

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DE CONSTANTINE 3

FACULTE D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME
DEPARTEMENT D'ARCHITECTURE

N° d'ordre...

Série ...

MEMOIRE

Pour l'Obtention du Diplôme de Magistère

Option : Architecture Bioclimatique

THEME

Pour une amélioration du potentiel solaire de la maison à patio

Source d'inspiration

La maison traditionnelle à patio de la médina d'Alger ottomane

Présenté par : **Mlle. KESKAS IMENE**

Sous la direction de : **Dr. DERRADJI MOHAMED**

Jury d'examen :

Président : Pr. BOUCHAHM Yasmina

Examineur : Pr. BOURBIA Fatiha

Examineur : Pr. DEBBACHE Samira

Examineur : Pr. BENRACHI Bouba

Rapporteur : Dr. DERRADJI Mohamed

Soutenu en : Novembre 2014

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

La mémoire de mon cher Père Mohamed Tahar

Ma Chère Mère Yasmina

Mes Chers Frères et Sœurs

Mes Chers Neveux et Nièces

Mes Chères amies

Imène, 2014

Remerciements

*Je tiens tout d'abord à remercier le bon Dieu le tout-puissant et miséricordieux, qui m'a donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail. En second lieu, je tiens à remercier mon directeur de mémoire Docteur **DERRADJI Mohamed** pour son orientation et sa patience. Qu'il trouve dans ce travail un hommage vivant à sa haute personnalité.*

*Je remercie également, le professeur **BOURBIA Fatiha** la directrice du laboratoire ABE pour son aide précieuse. Mes remerciements s'étendent également aux : Professeur **BOCHAHM Yasmina** de m'avoir fait l'honneur d'accepter de présider le jury de ma soutenance. Professeur **ABDOU Saliha**, ainsi que Madame **NINI Guermia** responsables du laboratoire « ABE ».*

*Je remercie vivement le Professeur **DEBBACHE Samira** et le professeur **BENRACHI Bouba** de m'avoir fait l'honneur d'accepter d'examiner ce modeste travail.*

*Nos vifs remerciements vont également à toutes les personnes qui m'ont aidé à réaliser ce travail notamment, le personnel de la direction de la culture de la wilaya d'Alger plus particulièrement : la directrice générale Madame **SATOUR**, les architectes : Mme. **Sadki**, Mr. **Righi** et Mlle. **Nabila**. Sans oublier de citer le chef du service d'urbanisme de l'APC de la Casbah ainsi que, le personnel. Je remercie également les Architectes Mme. **Sarmouk** et Mr. **Gueddouh**. Notre remerciement touche plus particulièrement tous les membres de ma famille qui m'ont soutenu dans le travail du terrain ainsi que, les habitants de la Casbah d'Alger particulièrement, **Louisa** et **Samia**, les familles : **Saâdi**, **Sebih**, **Menad** qui se sont montrés très compréhensives à l'égard de notre travail, et à toute personne qui, de près ou de loin, m'a soutenu.*

Imène, 2014

- فَإِنِ أَصَبْنَا فَمِنَ اللَّهِ وَإِنِ أَخْطَأْنَا فَمِنَ أَنفُسِنَا -

Résumé :

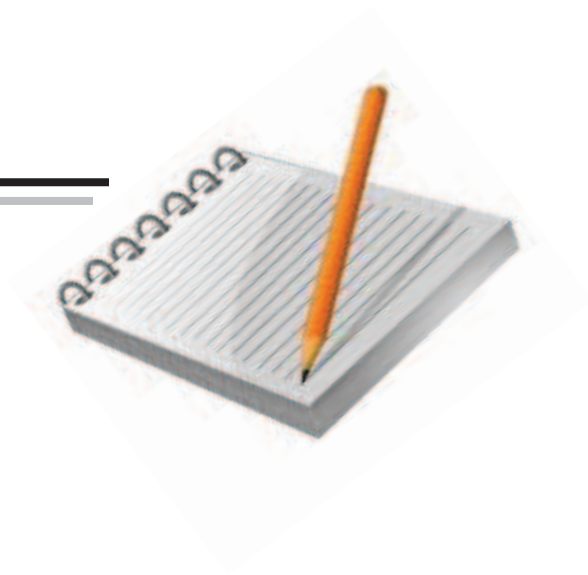
L'architecture bioclimatique cherche à procurer un bon confort aux occupants tout en alliant respect de son environnement naturel et climatique. De ce fait, l'exploitation de l'énergie solaire au niveau de l'habitat représente l'une des solutions durables de l'architecture. L'effet du rayonnement solaire sur la santé, et le bien-être a été pris en considération dans l'architecture traditionnelle, par l'exploitation judicieuse de certaines stratégies de conception et techniques de captage et de protection solaire passive, qui représentent le fruit d'un cumul de savoir-faire ancestraux. La médina d'Alger ottomane, est l'un des exemples spectaculaires de l'architecture traditionnelle qui était pendant des siècles une source d'inspiration des artistes et des peintres. Elle représente aussi notre source d'inspiration dans la présente étude. Le fait que, la Casbah d'Alger repose sur un monticule baigné de soleil, dont ses maisons n'en bénéficient pas remet en question la morphologie de ses maisons traditionnelles. Ce qui nous a incités à étudier la maison à patio de la Casbah d'Alger, en repensant sa géométrie pour procurer un bon ensoleillement dans ses espaces particulièrement, ceux du rez-de-chaussée, en hiver et assurer une bonne protection solaire en été.

Dans le but d'identifier l'origine du problème posé, on a effectué une étude in situ de la morphologie de la maison à patio de la Casbah d'Alger. Les résultats de cette étude ont montré que, les dimensions du patio ainsi que, la largeur de la galerie jouent un rôle majeur dans la détermination de la durée d'insolation des espaces du rez-de-chaussée. En s'inspirant par la suite de l'architecture de la maison traditionnelle à patio de la médina d'Alger, nous avons développé une méthode de conception de la maison à patio basée sur l'adaptation de ses dimensions géométriques à la géométrie solaire. Cette méthode s'appuie principalement sur la formule de calcul de la distance bioclimatique et les relations trigonométriques.

Après le dimensionnement d'un modèle virtuel de la maison à patio construit sur la même parcelle du cas d'étude, en suivant la méthode établie, une analyse d'ensoleillement a été élaborée sur les deux modèles existant et virtuel, en utilisant le logiciel « Ecotect ». Une étude comparative entre les résultats de simulation des deux modèles a été effectuée. La conception du modèle virtuel a permis d'optimiser la durée d'insolation utile pour les espaces du rez-de-chaussée pendant l'hiver. En effet, l'augmentation du gain solaire insignifiant pendant la période d'été par rapport à celui de la période d'hiver peut être atténuée par l'exploitation des dispositifs de protection solaire ou de rafraîchissement passif. Cela atténue les difficultés environnementales et sanitaires dues aux taux élevés d'humidité constatées particulièrement, dans les rez-de-chaussée des maisons à patio. Dans le cadre de la réhabilitation de la médina d'Alger, la méthode « d'établissement d'une stratégie de captage solaire en hiver et de protection en été dans la maison à patio » élaborée dans le présent travail, peut être exploitée dans l'édification de nouvelles maisons sur les parcelles récupérées des maisons qui sont tombées en ruine.

Mots clés : Architecture traditionnelle, Maison à patio, La médina d'Alger, Stratégie solaire passive : captage et protection, la distance bioclimatique, logiciel Ecotect.

Sommaire



Sommaire

| | |
|---------------------------------|-------------|
| Dedicace | |
| Remerciements | |
| Resumé | |
| Sommaire | I |
| Liste des figures | VIII |
| Liste des tableaux | XV |
| Nomenclature | XVII |

Introduction générale

| | |
|---|----|
| Introduction :..... | 1 |
| 1. Problématique :..... | 3 |
| 2. Les hypothèses :..... | 4 |
| 3. Les objectifs :..... | 5 |
| 4. Méthodologie et outils de recherche :..... | 6 |
| 5. Structure du mémoire :..... | 7 |
| 6. Motivation du choix du sujet :..... | 10 |
| 7. Motivation du choix du cas d'étude :..... | 11 |
| 8. Contraintes de la recherche :..... | 11 |

Chapitre I :

Géométrie, énergie solaires et réglementation

| | |
|---|-----------|
| Introduction | 13 |
| I.1 La prise en compte du soleil dans l'architecture à travers le temps : | 14 |
| I.1.1 L'architecture solaire dans les anciennes civilisations (L'Âge agricole) : | 14 |
| I.1.1.1 La civilisation babylonienne :..... | 14 |
| I.1.1.2 La civilisation de l'Égypte antique :..... | 15 |
| I.1.1.3 La civilisation de la Grèce antique :..... | 15 |
| I.1.1.4 La civilisation romaine :..... | 16 |
| I.1.1.5 La civilisation Maya..... | 17 |
| I.1.1.6 La civilisation islamique :..... | 18 |
| I.1.1.7 La civilisation de l'inde antique :..... | 18 |
| I.1.1.8 La civilisation du Sud-ouest américain :..... | 19 |
| I.1.2 L'architecture solaire dans l'ère moderne (L'Âge industriel) : | 19 |

| | | |
|---------------------|---|-----------|
| I.2 | La géométrie solaire | 24 |
| I.2.1 | Mouvement de la terre autour du soleil : | 24 |
| I.2.1.1 | Phénomène de succession du jour et de la nuit : | 25 |
| I.2.1.2 | Phénomène des saisons : | 25 |
| I.2.1.3 | Variation de la trajectoire solaire avec la latitude | 26 |
| I.2.2 | Mouvement apparent du Soleil : | 27 |
| I.2.2.1 | Repérage de la position du soleil : (les coordonnées angulaires solaires)..... | 27 |
| I.2.2.2 | Coordonnées solaires spécifiques : | 28 |
| I.2.2.3 | Temps relatif au soleil : | 29 |
| I.2.3 | Outils d'étude de l'ensoleillement en architecture : | 29 |
| I.2.3.1 | Les outils graphiques (diagrammes et abaquages solaires) : | 29 |
| I.2.3.2 | Outils expérimentaux : | 36 |
| I.2.3.3 | Outils et méthodes numériques : | 38 |
| I.3 | L'énergie solaire : | 38 |
| I.3.1 | Le rayonnement solaire que reçoit un bâtiment : | 39 |
| I.3.1.1 | Rayonnement absorbé : | 40 |
| I.3.1.2 | Rayonnement réfléchi : | 40 |
| I.3.1.3 | Rayonnement transmis : | 41 |
| I.3.2 | Les apports solaires : | 41 |
| I.3.2.1 | Flux constituant l'apport solaire : | 41 |
| I.3.2.2 | Types d'apports solaires : | 44 |
| I.3.2.3 | Facteurs influant sur la quantité des apports solaires : | 45 |
| I.4 | Ensoleillement et qualité de vie : | 52 |
| I.5 | Réglementation et exigences en matière d'ensoleillement dans l'architecture et l'urbanisme | 53 |
| I.5.1 | Réglementation algérienne en matière d'ensoleillement : | 54 |
| Conclusion : | | 54 |

Chapitre II :

La médina d'Alger ottomane et son évolution à travers le temps

| | | |
|---------------------------|---|-----------|
| Introduction | 56 | |
| II.1 | La ville arabo-musulmane au Maghreb : | 57 |
| II.1.1 | Dimension religieuse et socioculturelle dans l'urbanisme et l'architecture musulmans : | 58 |
| II.1.1.1 | L'agrégat : | 58 |
| II.1.1.2 | Le réseau routier : | 59 |
| II.1.2 | Dimension climatique dans l'urbanisme et l'architecture musulmans : | 60 |
| II.2 | La médina d'Alger | 61 |
| II.2.1 | Étude de l'évolution spatiale du site de la médina d'Alger à travers le temps : | 62 |
| II.2.1.1 | La période Pré-ottomane : | 62 |

| | | |
|---------------------|--|-----------|
| II.2.1.1.1 | Alger un comptoir phénicien « Icosim » : | 62 |
| II.2.1.1.2 | Alger une ville romaine “Icosium” | 63 |
| II.2.1.1.3 | Djazair Beni Mazghanna : | 64 |
| II.2.1.2 | Période intermédiaire (1150 - 1516)..... | 65 |
| II.2.1.3 | La période ottomane (1516 - 1830) | 66 |
| II.2.1.4 | La période coloniale (Post-ottomane) (1830 – 1962)..... | 66 |
| II.2.1.4.1 | La première période : 1830 -1846 | 67 |
| II.2.1.4.2 | La deuxième période : 1846-1880 | 67 |
| II.2.1.4.3 | La troisième période : 1880-1940..... | 68 |
| II.2.1.4.4 | La quatrième période : 1940-1962..... | 68 |
| II.2.1.5 | La Casbah d’Alger après l’indépendance :..... | 68 |
| II.2.2 | L’urbanisme de la médina d’Alger ottomane :..... | 69 |
| II.2.2.1 | Murailles et Portes de la médina : | 69 |
| II.2.2.2 | Réseau routier :..... | 70 |
| II.2.2.3 | Quartiers :..... | 71 |
| II.2.2.4 | La citadelle : | 72 |
| II.2.2.5 | Le port : | 73 |
| II.2.2.6 | Centre du pouvoir administratif et politique : | 73 |
| II.2.3 | L’architecture de la maison traditionnelle de la Casbah d’Alger :..... | 74 |
| II.2.3.1 | Typologies existantes : | 74 |
| II.2.3.1.1 | La maison avec wast-dar : | 74 |
| II.2.3.1.2 | La maison sans wast-dar al Alwi : | 74 |
| II.2.3.2 | Les éléments architecturaux et les compartiments de la maison traditionnelle de la Casbah d’Alger :..... | 75 |
| II.2.3.2.1 | L’entrée (Skifa) : | 75 |
| II.2.3.2.2 | Le patio (Wast-dar) : | 76 |
| II.2.3.2.3 | La galerie et les portiques :..... | 78 |
| II.2.3.2.4 | L’escalier : | 79 |
| II.2.3.2.5 | Les chambres :..... | 79 |
| II.2.3.2.6 | Le qbou :..... | 80 |
| II.2.3.2.7 | Les terrasses : | 81 |
| Conclusion : | | 81 |

Chapitre III :

Stratégies urbaines, architecturales et techniques d'amélioration du potentiel solaire passif – État de l'art-

| | |
|--|------------|
| Introduction : | 83 |
| III.1 Stratégies urbaines d'amélioration du potentiel solaire | 84 |
| III.1.1 Facteurs naturels liés au site d'implantation influant sur le potentiel solaire : | 85 |
| III.1.2 Facteurs physiques liés à la morphologie urbaine influant sur le potentiel solaire : | 87 |
| III.1.2.1 Orientation des rues et plan de parcellaire : | 88 |
| III.1.2.2 Rapport de la hauteur à la largeur de l'espace urbain (H/W) :..... | 90 |
| III.1.2.3 Gabarits | 92 |
| III.1.2.4 Facteur de vue du ciel (SVF sky view factor) : | 93 |
| III.1.2.5 Densité et configuration des blocs urbains :..... | 93 |
| III.2 Stratégies architecturales d'amélioration du potentiel solaire..... | 94 |
| III.2.1 Forme extravertie et potentiel solaire : | 96 |
| III.2.1.1 Effet de l'orientation sur le potentiel solaire d'une forme extravertie: | 96 |
| III.2.1.2 Effet de la géométrie sur le potentiel solaire de la forme extravertie :..... | 97 |
| III.2.1.3 Forme du toit et integration des stratégies solaires..... | 101 |
| III.2.2 Forme introvertie (la forme à patio) et potentiel solaire : | 102 |
| III.2.2.1 Effet de l'orientation de la cour sur le potentiel solaire : | 103 |
| III.2.2.2 Effet des proportions planimétriques de la cour sur le potentiel solaire: | 104 |
| III.2.2.3 Effet de la hauteur de la cour sur l'exposition solaire et l'ombre:..... | 108 |
| III.2.2.4 Le rôle régulateur des espaces semi-ouverts de l'architecture islamique à patio: | 111 |
| III.2.3 Forme du bâtiment, potentiel solaire et économie en énergie : | 112 |
| III.2.3.1 Coefficient de forme :..... | 113 |
| III.2.3.2 Rapport du volume à l'emprise au sol : | 114 |
| III.3 Stratégies urbaines et architecturales combinées d'amélioration du potentiel solaire: | 115 |
| III.3.1.1 L'enveloppe solaire : un outil de conception urbaine et architecturale:..... | 115 |
| III.3.1.1.1 Éléments influant sur la forme de l'enveloppe solaire : | 115 |
| III.3.1.1.2 Enveloppe des droits solaires et enveloppe de collecte solaire:..... | 117 |
| III.3.1.2 Boîte des liaisons solaires :..... | 118 |
| III.4 Stratégies d'amélioration du potentiel solaire liées aux propriétés de l'enveloppe architecturale : | 119 |
| III.4.1 Parois opaques et potentiel solaire | 119 |
| III.4.1.1 Caractéristiques statiques : | 120 |

| | | |
|------------------------|---|------------|
| III.4.1.2 | Caractéristiques dynamiques : | 120 |
| III.4.2 | Parois vitrées et potentiel solaire..... | 120 |
| III.4.2.1 | Conception et le dimensionnement de la fenêtre et potentiel solaire : | 121 |
| III.4.2.1.1 | Taille des fenêtres : | 121 |
| III.4.2.1.2 | Choix de l'orientation des baies : | 122 |
| III.4.2.1.3 | Hauteur d'allège : | 123 |
| III.4.2.1.4 | Protection solaire : | 123 |
| III.4.2.2 | Propriétés et performances thermiques des parois vitrées: | 123 |
| III.4.2.3 | Optimisation du captage solaire passif et amélioration du comportement thermique via une fenêtre intelligente : | 125 |
| Conclusion..... | | 127 |

Chapitre IV : _____

Investigation

| | | |
|---|---|------------|
| Introduction :..... | | 129 |
| IV.1Aperçu sur la ville d'Alger :..... | | 130 |
| IV.1.1 | Situation de la ville d'Alger : (zone géographique et ses caractéristiques) : | 130 |
| IV.1.2 | L'analyse climatique de la ville d'Alger : | 130 |
| IV.1.2.1 | Températures et humidités relatives : | 130 |
| IV.1.2.2 | Précipitations : | 131 |
| IV.1.2.3 | Les vents : | 132 |
| IV.1.2.4 | L'ensoleillement : | 133 |
| IV.1.2.4.1 | La moyenne mensuelle d'insolation : | 133 |
| IV.1.2.4.2 | La meilleure orientation pour l'emplacement géographique de la ville d'Alger | 133 |
| IV.1.2.4.3 | La zone énergétique de la ville d'Alger : | 134 |
| IV.2Présentation du site cas d'étude : | | 135 |
| IV.2.1 | Les limites du périmètre de sauvegarde | 136 |
| IV.3Investigation | | 137 |
| IV.3.1 | Le choix du cas d'étude : | 139 |
| IV.3.1.1 | Les critères historiques : | 139 |
| IV.3.1.2 | Critères formels liés à la typologie de la maison traditionnelle de la Casbah d'Alger | 140 |
| IV.3.1.3 | Critères naturels et climatiques | 140 |
| IV.3.1.4 | Critères liés aux paramètres urbains influant sur l'ensoleillement : | 141 |
| IV.3.1.5 | Critères liés à l'état physique du bâti : | 141 |

| | | |
|------------------------------|--|------------|
| IV.3.2 | Analyse du cas d'étude : | 141 |
| IV.3.2.1 | Présentation du cas d'étude : | 141 |
| IV.3.2.2 | Étude de l'ensoleillement : | 143 |
| IV.3.2.2.1 | L'orientation de la maison: | 143 |
| IV.3.2.2.2 | L'évaluation de la durée d'ensoleillement annuelle des fenêtres étudiées : | 144 |
| IV.3.2.2.3 | Conclusion de l'étude d'ensoleillement: | 147 |
| IV.3.2.3 | Étude formelle et morphologique de la maison traditionnelle avec wast-dar de la Casbah d'Alger : | 148 |
| IV.3.2.3.1 | Forme et volume de la maison : | 148 |
| IV.3.2.3.2 | Les dimensions des pièces habitables : | 150 |
| IV.3.2.3.3 | Les surfaces vitrées des façades « Les fenêtres » : | 151 |
| IV.3.2.3.4 | Les parties opaques des façades « Les matériaux » : | 157 |
| IV.3.2.3.5 | Le zoning des espaces et le phénomène du nomadisme : | 157 |
| IV.3.2.3.6 | Le rafraîchissement et le conditionnement de l'air : | 159 |
| IV.3.2.3.7 | Conclusion de l'étude formelle et morphologique | 162 |
| IV.3.2.4 | Campagne de mesures in situ : | 162 |
| IV.3.2.4.1 | Paramètres du confort thermique mesurés : | 162 |
| IV.3.2.4.2 | Périodes de prise des mesures | 163 |
| IV.3.2.4.3 | Emplacements des stations de mesure | 163 |
| IV.3.2.4.4 | L'appareil de mesure: | 164 |
| IV.3.2.4.5 | Résultats et interprétation des mesures de la période hivernale : | 164 |
| IV.3.2.4.6 | Résultats et interprétation de l'investigation de la période estivale : | 173 |
| IV.3.2.4.7 | Conclusion des résultats des mesures : | 176 |
| Conclusion générale : | | 177 |

Chapitre V :

Établissement de la stratégie de captage et de protection solaire dans la maison à patio et simulation

| | |
|---|------------|
| Introduction | 179 |
| V.1 Problématique de l'ensoleillement dans la maison traditionnelle à patio de la Casbah d'Alger | 180 |
| V.2 Les objectifs de l'étude | 180 |

| | | |
|---|---|------------|
| V.3 | Méthodologie et outils d'étude : | 182 |
| V.3.1 | Le développement du nouveau modèle de la maison à patio en utilisant la formule de calcul de la distance bioclimatique : | 183 |
| V.3.1.1 | La première étape : conception et dimensionnement de la partie basse de la maison à patio : | 184 |
| V.3.1.1.1 | Détermination des dimensions du patio (établissement du rapport H/W) : | 186 |
| V.3.1.1.2 | Dimensionnement des éléments architecturaux qui influencent le captage et la protection solaire : | 189 |
| V.3.1.2 | La deuxième étape : Conception et dimensionnement de la partie haute de la maison à patio. | 192 |
| V.3.1.2.1 | Détermination de la répartition de la masse bâtie de la partie haute : | 192 |
| V.3.1.2.2 | L'effet de l'orientation sur la géométrie de la partie haute : | 196 |
| V.3.1.2.3 | Proposition de la méthode inverse pour la répartition de la masse de la partie haute du patio : | 201 |
| V.3.1.2.4 | Détermination de la hauteur de la partie haute pour une bonne protection solaire. | 202 |
| V.4 | Application sur le cas d'étude et Conception du nouveau modèle de la maison à patio : | 203 |
| V.4.1 | Conception et dimensionnement de la partie basse | 205 |
| V.4.2 | Conception et dimensionnement de la partie haute du nouveau modèle : | 206 |
| V.5 | Étude comparative entre les deux modèles de la maison à patio : | 208 |
| V.5.1 | Comparaison des géométries des deux modèles étudiés de la maison à patio : | 208 |
| V.5.2 | Simulation et comparaison des résultats obtenus : | 210 |
| V.5.2.1 | Choix du logiciel de simulation « Ecotect » | 210 |
| V.5.2.2 | Performances et fonctionnalités du logiciel : | 210 |
| V.5.2.3 | Fonctionnement du logiciel : | 211 |
| V.5.2.4 | Les entrées | 211 |
| V.5.2.4.1 | Introduction des données relatives aux matériaux des différentes parois : | 212 |
| V.5.2.4.2 | Le fichier des données météorologiques. | 213 |
| V.5.2.5 | Résultats (Les sorties) : | 214 |
| V.5.2.5.1 | L'exposition solaire (La durée d'insolation) : | 214 |
| V.5.2.5.2 | Etude de l'ombrage: | 215 |
| V.5.2.5.3 | Estimations des apports solaires passifs : | 218 |
| Conclusion : | | 225 |
| Recommandations propres au cas d'étude : | | 227 |
| Conclusion générale et recommandations | | 229 |
| Bibliographie | | 236 |
| Annexes | | 247 |
| Abstract | | |
| ملخص | | |

Liste des figures :

| Chapitre I : | | |
|---------------------|--|----|
| Fig. I. 1 | Les jardins suspendus de Babylone | 14 |
| Fig. I. 2 | Akhnaton, Néfertiti et leurs enfants protégés par le soleil | 15 |
| Fig. I. 3 | Les rapports géométriques entre les espaces intérieurs et les ouvertures (salle du temple de Hathor à Dendérah) | 15 |
| Fig. I. 4 | (A) Plan typique d'une maison (ouverte vers le soleil), (B) Plan d'un quartier d'Olynthus | 16 |
| Fig. I. 5 | L'orientation du mégaron | 16 |
| Fig. I. 6 | Tepidarium à Pompéi. | 17 |
| Fig. I. 7 | Le bâtiment de Monte Alban, et principes astronomiques de sa conception. | 17 |
| Fig. I. 8 | L'occupation des espaces selon les mouvements du solaires | 18 |
| Fig. I. 9 | Les vestiges du site Mohenjo daro | 18 |
| Fig. I. 10 | Taos, Nouveau-Mexique. Exemple des maisons des pueblos | 19 |
| Fig. I. 11 | Les premières observations qui ont fait naître l'enveloppe solaire | 19 |
| Fig. I. 12 | Henri Sauvage 1922-1927 Immeuble d'habitation ; piscine municipale façade sur la rue des Amiraux, avec les balcons en gradins. | 20 |
| Fig. I. 13 | Une réorganisation héliothermique d'un ilot (A) et d'un quartier (B) | 21 |
| Fig. I. 14 | Les dispositifs de protection solaire utilisés par Le Corbusier : (A) : les loggias brise-soleil, (B) : les débords du bâtiment. | 22 |
| Fig. I. 15 | Maison solaire de David Wright -1970- | 23 |
| Fig. I. 16 | Le mouvement de la terre autour du soleil | 24 |
| Fig. I. 17 | Le phénomène jour / nuit | 25 |
| Fig. I. 18 | L'exposition de la ville d'Alger au soleil dans les différentes saisons | 26 |
| Fig. I. 19 | Carte d'enseillement moyen annuel mondial | 26 |
| Fig. I. 20 | Les digrammes des différentes latitudes. | 26 |
| Fig. I. 21 | Le mouvement apparent du soleil autour de la terre et du bâtiment. | 27 |
| Fig. I. 22 | Les coordonnées angulaires solaires | 28 |
| Fig. I. 23 | L'altitude solaire. | 30 |
| Fig. I. 24 | Les diagrammes solaires | 30 |
| Fig. I. 25 | La déclinaison du soleil en fonction de la date | 31 |
| Fig. I. 26 | Principe de la projection cylindrique | 32 |
| Fig. I. 27 | Principe de la projection sphérique | 32 |
| Fig. I. 28 | Principe de la projection gnomonique | 32 |
| Fig. I. 29 | Principe de la projection orthographique | 33 |
| Fig. I. 30 | Principe de la projection stéréographique | 33 |
| Fig. I. 31 | Les angles d'ombre. (A) auvent, (B) les flancs | 34 |
| Fig. I. 32 | Le tracé des hauteurs des masques | 35 |
| Fig. I. 33 | Le tracé des masques : (A) : masque continu, (B) : masque isolé | 35 |
| Fig. I. 34 | L'angle d'ombre rapporteur | 35 |
| Fig. I. 35 | (A) Schéma de principe de l'horizontoscope, (B) superposition de l'abaque solaire et le reflet de l'environnement | 36 |
| Fig. I. 36 | Illustration du potentiel solaire d'un point donné en utilisant les photographie fish-eye | 37 |
| Fig. I. 37 | Schéma de principe de l'héliodon. | 38 |

| | | |
|-------------------|---|----|
| Fig. I. 38 | Le flux solaire incident sur terre. | 39 |
| Fig. I. 39 | L'énergie solaire à la limite de l'atmosphère | 39 |
| Fig. I. 40 | Les composantes du rayonnement solaire global | 41 |
| Fig. I. 41 | L'énergie moyenne reçue à Bruxelles sur une surface horizontale | 45 |
| Fig. I. 42 | La moyenne des apports solaires sur une surface verticale -Carpentras .France. | 45 |
| Fig. I. 43 | L'angle d'incidence des rayons solaires et surface de référence | 46 |
| Fig. I. 44 | Variation du rayonnement normal direct avec la hauteur du soleil | 47 |
| Fig. I. 45 | L'angle d'incidence. | 48 |
| Fig. I. 46 | Calcul de l'angle d'incidence | 48 |
| Fig. I. 47 | Outils de calcul de l'angle d'incidence | 49 |
| Fig. I. 48 | La variation de l'intensité du rayonnement solaire reçu en fonction de l'orientation | 50 |
| Fig. I. 49 | La température de surface interne des murs de différentes orientations, épaisseurs et couleurs externes | 51 |

Chapitre II :

| | | |
|--------------------|--|----|
| Fig. II. 1 | Les étapes d'exécution d'un projet dans la ville musulmane | 57 |
| Fig. II. 2 | Le principe de la géométrie fractale de l'urbanisme musulman. | 58 |
| Fig. II. 3 | Les types de nœuds routier dans la ville musulmane (A) : Les nœuds en "Y", (B) : Les nœuds en "T" | 60 |
| Fig. II. 4 | Les aspects bioclimatiques de l'architecture islamique | 61 |
| Fig. II. 5 | L'établissement humain sur le lieu d'Alger à l'époque phénicienne | 63 |
| Fig. II. 6 | L'établissement humain sur le lieu d'Alger à l'époque romaine | 64 |
| Fig. II. 7 | L'établissement humain sur le lieu d'Alger à l'époque berbère. | 65 |
| Fig. II. 8 | La médina d'Alger à l'époque ottomane | 66 |
| Fig. II. 9 | Les grandes modifications coloniales menées sur la médina d'Alger | 67 |
| Fig. II. 10 | Les portes de la médina d'Alger ottomane | 70 |
| Fig. II. 11 | Sabbat Ahmed Allem- la Casbah d'Alger- | 71 |
| Fig. II. 12 | La citadelle : (a, c, d) Vues sur la maquette de la citadelle, (b) Vue sur mer depuis la citadelle. (e) Emplacement de la citadelle dans la médina | 72 |
| Fig. II. 13 | Port et mole d'Alger A. Genêt | 73 |
| Fig. II. 14 | Le centre du pouvoir « La Djenina » 1817 | 73 |
| Fig. II. 15 | Exemple d'un plan de maison traditionnelle avec wast dar (patio) | 74 |
| Fig. II. 16 | Exemple d'un plan de maison traditionnelle Alwi : (a) tripartite, (b) bipartite. | 74 |
| Fig. II. 17 | La Skifa du palais Mustapha Pacha | 75 |
| Fig. II. 18 | Wast-dar du palais Mustapha Pacha | 76 |
| Fig. II. 19 | Le was-dar un espace social par excellence | 76 |
| Fig. II. 20 | La fonction de ventilation naturelle attribuée au patio (Alger). | 77 |
| Fig. II. 21 | L'exposition solaire du patio sous différents climats. (A) : le patio à Alger, (B) : le patio au M'Zab, (C) le patio à Rome | 78 |
| Fig. II. 22 | Une galerie du palais Mustapha Pacha. | 78 |
| Fig. II. 23 | Un escalier dans le palais Mustapha Pacha | 79 |
| Fig. II. 24 | Chambre-type aménagée dans le palais de Mustapha Pacha | 80 |

| | | |
|-----------------------|---|-----|
| Fig. II. 25 | Le Qbou | 80 |
| Fig. II. 26 | Les terrasses de la Casbah d'Alger s'échelonnent jusqu'à la mer. | 81 |
| Chapitre III : | | |
| Fig. III. 1 | La bonne intégration au site de l'habitat vernaculaire (les Troglodytes) | 85 |
| Fig. III. 2 | Variation des températures en fonction de l'ensoleillement | 86 |
| Fig. III. 3 | Variation des températures en fonction de l'altitude dans un relief montagneux | 86 |
| Fig. III. 4 | Les différentes possibilités d'implantation en fonction du climat | 87 |
| Fig. III. 5 | Coupe selon l'axe (sud/nord) sur un ensemble de bâtiments de même hauteur | 88 |
| Fig. III. 6 | L'orientation des rues et des parcelles | 89 |
| Fig. III. 7 | Les différentes configurations spatiales du tissu urbain. | 90 |
| Fig. III. 8 | Schéma des géométries de canyons urbains étudiés | 90 |
| Fig. III. 9 | Les géométries testées | 91 |
| Fig. III. 10 | Schéma de principe de la distance bioclimatique | 92 |
| Fig. III. 11 | Le facteur de vue du ciel | 93 |
| Fig. III. 12 | Les géométries urbaines étudiées | 94 |
| Fig. III. 13 | L'axe de meilleure orientation | 96 |
| Fig. III. 14 | Influence de l'orientation sur les températures internes | 96 |
| Fig. III. 15 | Le rapport d'aspect | 97 |
| Fig. III. 16 | Paramètres de conception solaire | 98 |
| Fig. III. 17 | Les formes étudiées et le rayonnement solaire transmis de la fenêtre sud | 99 |
| Fig. III. 18 | Les géométries testées | 99 |
| Fig. III. 19 | L'effet de la rotation des arêtes sur le rayonnement solaire transmis des fenêtres sud de la forme U et L | 100 |
| Fig. III. 20 | La configuration volumétrique des blocs résidentiels étudiés : (A, B) : blocs résidentiels classiques, (C) : Le bloc résidentiel solaire. | 100 |
| Fig. III. 21 | Les formes de base de la toiture (a) crête unique, (b) double crête (c) toit en U et H. | 101 |
| Fig. III. 22 | Les piques de la génération d'électricité (a) inclinaison de 30°, (b) inclinaison de 45°. | 102 |
| Fig. III. 23 | La configuration spatiale de la zone des maisons à cour étudiées | 103 |
| Fig. III. 24 | Changement de l'orientation de la cour de 0° à 90° chaque les 10°. | 103 |
| Fig. III. 25 | L'effet du changement de l'orientation de la cour en hiver et en été sur l'exposition solaire. | 104 |
| Fig. III. 26 | Le rapport entre la largeur et la hauteur de la cour | 104 |
| Fig. III. 27 | L'effet du changement des rapports R1 et R2 sur les charges annuelles de chauffage et de refroidissement. | 107 |
| Fig. III. 28 | Les géométries des cours étudiées | 107 |
| Fig. III. 29 | Les hauteurs des cours testées | 108 |
| Fig. III. 30 | Des cours avec une planimétrie en forme polygonale | 110 |
| Fig. III. 31 | Modèle d'une cour circulaire. | 110 |
| Fig. III. 32 | Schéma d'organisation de Sahabiye Madrasa à Kayseri | 111 |
| Fig. III. 33 | Les périodes d'exposition de l'iwan principal au soleil. | 111 |
| Fig. III. 34 | Section horizontale montre la relation entre la MTR et le PMV à midi | 112 |
| Fig. III. 35 | Les facteurs influant sur la compacité | 114 |

| | | |
|---------------------|---|-----|
| Fig. III. 36 | La forme de profil de la rue et du gabarit en fonction des cut off time | 115 |
| Fig. III. 37 | Les volumes générés par les limites annuelles et journalières | 116 |
| Fig. III. 38 | La taille du site | 116 |
| Fig. III. 39 | L'influence de la pente sur la forme de l'enveloppe solaire | 117 |
| Fig. III. 40 | Les formes issues de l'application de l'enveloppe solaire | 117 |
| Fig. III. 41 | (A) Enveloppe de collecte solaire, (B) Enveloppe des droits solaires | 118 |
| Fig. III. 42 | La génération du SBB dans la notion de l'ordre | 119 |
| Fig. III. 43 | Le positionnement des fenêtres et le calendrier des gains solaires passifs (arch. H. Bolliger). | 122 |
| Fig. III. 44 | Variation des besoins annuels de chauffage d'une habitation, de l'orientation et des dimensions des surfaces vitrées. | 122 |
| Fig. III. 45 | protection solaire intérieure. | 123 |
| Fig. III. 46 | Performances thermiques des différents types de vitrages. | 124 |
| Fig. III. 47 | Variation du facteur solaire en fonction de l'angle d'incidence et du type de protection solaire. | 124 |
| Fig. III. 48 | Les valeurs K et la conductivité effective (Keff) des ossatures en aluminium avec rupture de pont thermique | 125 |
| Fig. III. 49 | Géométrie de joint d'étanchéité de bord d'un double vitrage | 125 |
| Fig. III. 50 | Valeurs de PPD pour les différents types de vitrage | 126 |
| Fig. III. 51 | Schéma des différents modes de fonctionnement de la fenêtre à double flux d'air | 126 |

Chapitre IV :

| | | |
|--------------------|--|-----|
| Fig. IV. 1 | La situation géographique de la wilaya d'Alger | 130 |
| Fig. IV. 2 | La moyenne annuelle des températures et des humidités relatives de la ville d'Alger (2000-2009). | 131 |
| Fig. IV. 3 | Les moyennes annuelles des précipitations de la ville d'Alger (2000-2009). | 132 |
| Fig. IV. 4 | Les roses des vents pour la ville d'Alger(A) hiver, (B) été. | 132 |
| Fig. IV. 5 | La moyenne mensuelle de l'insolation en heures- Alger- (2000- 2009). | 133 |
| Fig. IV. 6 | La meilleure orientation pour la situation de la ville d'Alger et la moyenne annuelle de l'irradiation solaire incidente sur un plan vertical pour les différentes orientations. | 134 |
| Fig. IV. 7 | Les sous-zones énergétiques du nord algérien. | 135 |
| Fig. IV. 8 | La situation de la Casbah dans la baie d'Alger | 136 |
| Fig. IV. 9 | Les limites du secteur sauvegardé « la Casbah d'Alger ». | 137 |
| Fig. IV. 10 | Méthodologie et étapes du travail du terrain | 138 |
| Fig. IV. 11 | Délimitation de la zone d'étude | 139 |
| Fig. IV. 12 | L'orientation des différentes pentes du relief de la Casbah d'Alger. | 140 |
| Fig. IV. 13 | La situation de la maison cas d'étude dans la Casbah d'Alger. | 142 |
| Fig. IV. 14 | Les plans des différents niveaux de la maison cas d'étude (maison n°3, rue Ahmed Allem). | 143 |
| Fig. IV. 15 | L'orientation de la maison cas d'étude | 144 |
| Fig. IV. 16 | Les abaques de masques et la durée d'insolation annuelle des fenêtres étudiées | 144 |
| Fig. IV. 17 | l'intervalle horaire de la durée d'insolation des fenêtres étudiées par | 147 |

| | | |
|--------------------|--|-----|
| | rapport à la durée d'insolation utile. | |
| Fig. IV. 18 | :La forme et le volume de la maison étudiée. | 149 |
| Fig. IV. 19 | les dimensions des chambres | 151 |
| Fig. IV. 20 | Les fenêtres | 151 |
| Fig. IV. 21 | La forme des différents espaces de la maison étudiée | 154 |
| Fig. IV. 22 | Les masques solaires proches (Architecturaux) | 155 |
| Fig. IV. 23 | La fixation de la fenêtre | 156 |
| Fig. IV. 24 | Masques solaires lointains (Urbains) : (A) vue sur l'impasse, (B) vue sur la terrasse | 156 |
| Fig. IV. 25 | La composition du plancher de la maison traditionnelle de la Casbah d'Alger. | 157 |
| Fig. IV. 26 | Emplacement des différents espaces de la maison et course solaire | 158 |
| Fig. IV. 27 | Le phénomène du nomadisme dans la maison à patio de la Casbah d'Alger | 159 |
| Fig. IV. 28 | L'exposition du relief de la Casbah d'Alger à la brise rafraîchissante de la mer | 159 |
| Fig. IV. 29 | Les terrasses balayées par la brise de mer | 159 |
| Fig. IV. 30 | le rapport H/W du canyon | 160 |
| Fig. IV. 31 | Le rôle du patio dans la ventilation naturelle de la maison | 161 |
| Fig. IV. 32 | Les ouvertures d'aération sur les différentes façades | 161 |
| Fig. IV. 33 | Les axes d'organisation des stations de mesure. | 164 |
| Fig. IV. 34 | L'emplacement des stations de mesure | 164 |
| Fig. IV. 35 | L'appareil de mesure | 164 |
| Fig. IV. 36 | La hauteur solaire minimale du mois de février | 165 |
| Fig. IV. 37 | Variation bi-horaire des températures journalières de deux chambres de différentes orientations. | 165 |
| Fig. IV. 38 | Variation bi-horaire des températures internes pendant deux journée (tempérée avec une faible insolation / froide avec une forte insolation) | 166 |
| Fig. IV. 39 | Variation bi-horaire des températures journalières internes de la maison | 168 |
| Fig. IV. 40 | La morphologie urbaine de la Casbah d'Alger et exposition solaire | 169 |
| Fig. IV. 41 | Variation bi-horaire des températures journalières internes de la maison. | 170 |
| Fig. IV. 42 | Les températures journalières internes de la maison et plages de confort | 171 |
| Fig. IV. 43 | Variation bi-horaire des humidités relatives journalières internes | 173 |
| Fig. IV. 44 | Variation bi-horaire des températures journalières internes. | 174 |
| Fig. IV. 45 | Variation bi-horaire des températures journalières internes. | 175 |
| Fig. IV. 46 | Variation bi-horaire des températures des espaces intérieurs de la maison et plages de confort | 176 |
| Fig. IV. 47 | Variation bi-horaire des humidités relatives des espaces intérieurs de la maison et plages de confort. | 176 |

Chapitre V :

| | | |
|------------------|---|-----|
| Fig. V. 1 | Interprétation de la configuration volumétrique de la maison traditionnelle à patio de la Casbah d'Alger vis-à-vis du soleil. | 180 |
|------------------|---|-----|

| | | |
|-------------------|---|-----|
| Fig. V. 2 | Les abaquages de masques solaires de la façade intérieure sud-ouest : (A) la fenêtre du rez-de-chaussée. (B) : la fenêtre du premier étage | 181 |
| Fig. V. 3 | Schéma expliquant le principe de calcul de la distance bioclimatique. | 184 |
| Fig. V. 4 | Adaptation des valeurs aux cas d'étude | 184 |
| Fig. V. 5 | Les limites horaires et solaires | 186 |
| Fig. V. 6 | Les hauteurs H du patio en fonction de la date du début de captage solaire passif pour une même largeur L. | 188 |
| Fig. V. 7 | Schéma expliquant la relation entre la hauteur d'allège et la hauteur solaire. | 190 |
| Fig. V. 8 | La relation géométrique entre la hauteur de la fenêtre et la hauteur solaire | 191 |
| Fig. V. 9 | La relation géométrique de la largeur de la galerie et de la hauteur solaire. | 191 |
| Fig. V. 10 | La détermination de la relation entre les azimuts et la durée d'insolation. (A) : l'angle d'ombre horizontal HSA. (B) : les points d'intersection des limites horaires de la durée d'insolation utile avec les azimuts. | 193 |
| Fig. V. 11 | La durée d'insolation en fonction de l'ouverture du bâti selon Les différents intervalles d'azimuts. | 193 |
| Fig. V. 12 | La durée d'insolation en fonction des intervalles d'azimuts. | 194 |
| Fig. V. 13 | La relation entre l'axe d'azimut 30° et les dimensions du patio : (A) vue en perspective, (B) vue en plan | 196 |
| Fig. V. 14 | L'unité de partage du cercle pour définir les différentes orientations à étudier. | 196 |
| Fig. V. 15 | (A) : le calcul de la largeur des avancées verticales (Source : (B) : la bonne orientation de la forme en U par rapport au soleil (C) : la distance « b » en fonction de l'azimut- vue en plan- | 201 |
| Fig. V. 16 | Quelques géométries possibles pour la partie haute. | 202 |
| Fig. V. 17 | Orientation de la parcelle du cas d'étude et zonage de la partie chaude. | 204 |
| Fig. V. 18 | Le changement du sens du nomadisme dans la maison à patio | 204 |
| Fig. V. 19 | La course du soleil des mois : d'août et d'avril (latitude de 36° Nord). | 205 |
| Fig. V. 20 | La répartition de la masse de la partie haute selon une ouverture d'azimut de $(-30^\circ, 30^\circ)$ | 208 |
| Fig. V. 21 | : La différence entre les deux géométries étudiées de la maison à patio. A : la maison de la Casbah d'Alger, B : le nouveau modèle | 208 |
| Fig. V. 22 | Les modèles étudiés dans les interfaces (3d editor et visualise). | 212 |
| Fig. V. 23 | La bibliothèque des matériaux d'Ecotect. | 213 |
| Fig. V. 24 | L'introduction du fichier météo dans le fichier de simulation | 213 |
| Fig. V. 25 | Le schéma de fonctionnement d'Ecotect. | 214 |
| Fig. V. 26 | L'exposition solaire de la fenêtre du rez-de-chaussée de la façade la mieux orientée au soleil des deux modèles. A : le modèle de la Casbah d'Alger, B : le nouveau modèle | 215 |
| Fig. V. 27 | Le pourcentage annuel d'ombre des la fenêtre du rez-de-chaussée des modèles étudiés | 215 |
| Fig. V. 28 | Le pourcentage d'ombrage des fenêtres du rez-de-chaussée des modèles étudiés pour le 21 décembre et le 21 juin | 218 |
| Fig. V. 29 | La moyenne journalière d'énergie incidente pendant le mois de décembre sur les fenêtres du rez-de-chaussée. (A) la fenêtre de l'ancien modèle (B) la fenêtre du nouveau modèles | 219 |

| | | |
|-------------------|---|-----|
| Fig. V. 30 | Le rayonnement incident sur les fenêtres du rez-de-chaussée des modèles étudiés pendant le 21 décembre | 220 |
| Fig. V. 31 | La moyenne journalière des apports solaires directs (21 décembre). | 220 |
| Fig. V. 32 | La moyenne journalière d'énergie incidente pendant le mois de Juin sur les fenêtres du rez-de-chaussée. (A) la fenêtre de l'ancien modèle (B) la fenêtre du nouveau modèles | 221 |
| Fig. V. 33 | la moyenne journalière du rayonnement solaire direct incident sur les fenêtres étudiées (21 juin). | 221 |
| Fig. V. 34 | Comparaison des moyennes journalières des apports directs captés par chacune des fenêtres étudiées (21 juin). | 222 |
| Fig. V. 35 | La moyenne journalière d'énergie incidente pendant le mois de décembre sur la partie opaque de la façade du rez-de-chaussée. (A) l'ancien modèle (B) le nouveau modèle | 222 |
| Fig. V. 36 | La moyenne journalière du rayonnement solaire direct incident sur la partie opaque de la façade du rez-de-chaussée des deux modèles étudiés (21 décembre). | 223 |
| Fig. V. 37 | Comparaison des moyennes journalières des apports indirects captés dans les deux modèles étudiés (21 décembre). | 223 |
| Fig. V. 38 | La moyenne journalière d'énergie incidente pendant le mois de Juin sur la partie opaque de la façade du rez-de-chaussée. (A) la fenêtre de l'ancien modèle (B) la fenêtre du nouveau modèles | 224 |
| Fig. V. 39 | la moyenne journalière du rayonnement solaire direct incident sur la partie opaque de la façade des modèles étudiés (21 juin). | 224 |
| Fig. V. 40 | Comparaison des moyennes journalières des apports indirects captés par chacune des fenêtres étudiées (21 juin). | 225 |
| Fig. V. 41 | La comparaison entre l'énergie reçue pour les deux modèles étudiés Pendant les journées types. | 226 |
| Fig. V. 42 | Le meilleur emplacement de la terrasse et de la partie chaude en fonction de la situation de la maison dans les différents profils | 227 |
| Fig. V. 43 | La période préférée pour la pénétration des rayons solaires. | 228 |

Liste des tableaux :

| Chapitre I : | | |
|------------------|---|----|
| Tab. I. 1 | Les rapports du rayonnement solaire en fonction du type de ciel. | 43 |
| Tab. I. 2 | Les valeurs d'albédo pour certaines surfaces. | 44 |
| Tab. I. 3 | Le pourcentage du rayonnement intercepté en fonction de l'angle d'incidence | 47 |
| Tab. I. 4 | les valeurs du rayonnement solaire en fonction des hauteurs solaires. | 47 |
| Tab. I. 5 | Coefficient d'absorption pour différents matériaux et différentes couleurs | 51 |

| Chapitre III : | | |
|--------------------|--|-----|
| Tab. III. 1 | Les proportions géométriques des cours étudiées. | 106 |
| Tab. III. 2 | Les taux moyens de l'augmentation de la surface ombrée en fonction de la hauteur de la cour. | 109 |
| Tab. III. 3 | Le pourcentage de réduction des surfaces ensoleillées et ombrées. | 109 |
| Tab. III. 4 | Les rapports des surfaces vitrées recommandés pour chaque zone climatique en Grèce | 122 |
| Tab. III. 5 | L'économie d'énergie de l'appartement avec la fenêtre à double flux | 127 |

| Chapitre IV : | | |
|-------------------|--|-----|
| Tab. IV. 1 | La moyenne journalière des irradiances solaires en fonction de l'orientation (KW / m ²). | 134 |
| Tab. IV. 2 | La durée d'insolation des fenêtres étudiées | 145 |
| Tab. IV. 3 | Le rapport d'aspect et l'indice d'ombrage de la cour étudiée | 150 |
| Tab. IV. 4 | Rapport de la surface vitrée à la surface totale de la façade des fenêtres étudiées | 152 |

| Chapitre V : | | |
|------------------|---|-----|
| Tab. V. 1 | Le rapport L/H pour de différentes hauteurs solaire pour la latitude 36°Nord | 187 |
| Tab. V. 2 | Les coordonnées solaires relatives à la durée d'insolation utile | 189 |
| Tab. V. 3 | Les intervalles horaires d'insolation qui correspondent aux différents intervalles d'azimuts. | 195 |
| Tab. V. 4 | Le classement des différentes orientations en fonction de leur potentiel solaire. | 197 |
| Tab. V. 5 | La configuration spatiale de la maison à patio en fonction des orientations. | 199 |
| Tab. V. 6 | le rapport de la hauteur de la partie haute à la largeur du patio. | 203 |
| Tab. V. 7 | Les dimensions des éléments architecturaux du nouveau modèle de la maison à patio | 206 |
| Tab. V. 8 | Le rapport de la hauteur de la partie haute à la largeur du patio | 207 |

| | | |
|-------------------|---|-----|
| Tab. V. 9 | La valeur des rapports de dimensions des deux modèles étudiés | 209 |
| Tab. V. 10 | Les gammes d'ombre (le 21 décembre). | 216 |
| Tab. V. 11 | Les gammes d'ombre (21 juin). | 217 |

Nomenclature

| Symbole | Définition | Unite |
|-----------|--|------------------|
| H max | La hauteur solaire maximale | ° |
| L | La latitude | ° |
| d | La déclinaison | ° |
| B | L'azimut | ° |
| H | La latitude | ° |
| A | La hauteur solaire | ° |
| L | L'angle horaire | ° |
| δ | La déclinaison solaire | ° |
| j | Le numéro d'ordre du jour considéré dans l'année à partir du premier janvier ($1 \leq j \leq 365$) | / |
| α | La hauteur du soleil | ° |
| Φ | la latitude du lieu | ° |
| ω | L'angle en radian correspondant à l'heure solaire du jour considérée | Rad |
| A | L'énergie absorbée | W/m ² |
| r | L'énergie réfléchie | W/m ² |
| t | L'énergie transmise | W/m ² |
| IRV | Rayonnement solaire réfléchi sur une surface verticale | W/m ² |
| ITH | Le rayonnement global tombant sur une surface verticale | W/m ² |
| r | Le facteur de réflexion moyen | / |
| la | La quantité de l'énergie absorbée | W/m ² |
| li | Rayonnement solaire incident | W/m ² |
| a | Le facteur d'absorption de la surface | / |
| ID | Le rayonnement direct du soleil | W/m ² |
| ld | Le rayonnement diffusé par le ciel | W/m ² |
| lr | Le rayonnement réfléchi par l'environnement | W/m ² |
| L DN | L'intensité du rayonnement direct normal à la surface de la terre | W/m ² |
| φ | L'angle d'incidence | ° |
| LD | La quantité du rayonnement direct | W/m ² |
| b | L'angle de position relative du mur | ° |
| LDH | Le rayonnement direct tombe sur un toit ou un plan horizontal | W/m ² |
| K | La constante de proportionnalité | W/m ² |
| lrv | Le rayonnement global tombant sur | W/m ² |

| | une surface | |
|-----|---|------------------|
| lth | Le rayonnement global tombant sur une surface horizontale | W/m ² |
| r | facteur de réflexion moyen. | / |
| αs | L'azimut | ° |
| γ | Hauteur solaire | ° |
| α | Coefficient d'absorption | / |
| ρ | Coefficient de réflexion | / |
| τ | Coefficient transmission | / |
| C F | Coefficient de forme | / |
| SE | Les surfaces en contact avec l'extérieur | m ² |
| VU | Le volume utile ou habitable | m ³ |
| L | La longueur du patio | m |
| W | La largeur du patio | m |
| R2 | Longueur / Largeur | m |
| H | La hauteur du patio | m |
| P | La profondeur du patio | m |
| R1 | La hauteur / la profondeur | m |
| x | La hauteur de la cour | m |
| AR | Rapport d'aspect | / |
| ω | La pente du terrain | %, ° |

Introduction générale



« Il ne sert de rien à l'homme de gagner la lune s'il vient
à perdre la Terre. »

1

François Mauriac

Introduction :

Notre écosystème est un ensemble d'éléments naturels qui constituent notre cadre de vie et nous assurent la continuité. Il y a des siècles seulement, l'humanité ne pouvait guère peser sur son écosystème, car l'homme a concilié les enjeux environnementaux ; pour assurer son confort et sa sécurité, sans entraver l'équilibre de l'écosystème. Actuellement, l'homme commence à prendre conscience des dégâts qu'il a causés, vis-à-vis de son environnement, et réalise qu'il doit vivre en entente parfaite avec sa nature. En effet, le remède de la situation actuelle, réside bien dans l'assignation de retourner à la nature du journaliste Jean Palaiseul, qui admit que « C'est en redécouvrant des vérités toutes simples, nées avec nos plus lointains ancêtres, et confirmées par des siècles d'expérience, que se trouve la clé du bonheur »².

D'autre part, la crise d'énergie que nous vivons menace notre existence et pousse chaque spécialiste à explorer son domaine, afin d'apporter de nouvelles solutions, car "Il n'existe pas de crise énergétique, de famine ou de crise environnementale. Il existe seulement une crise de l'ignorance"³. Le bâtiment est l'un des domaines d'étude les plus importants pour l'application d'une démarche de développement durable, car il offre une multitude de champs d'intervention.

Suite à cette prise de conscience, plusieurs sommets ont été organisés et de nombreux traités ont été signés. La première conférence des nations unies sur l'environnement humain (CNUEH) s'est tenue du 5 au 16 juin 1972 à Stockholm⁴. Cette dernière a été suivie par plusieurs autres sommets comme : Nairobi 1982, Río de Janeiro 1992 et celui de Johannesburg 2002 qui a traité la problématique du développement durable et l'exploitation des énergies renouvelables, telles que : les énergies solaire et éolienne⁵. Ces sommets représentent le premier pas concret vers une démarche de développement durable qui vise à atténuer les répercussions du réchauffement climatique sur l'écosystème. Leur but majeur était de réduire l'épuisement de l'énergie fossile et de diriger l'attention vers l'utilisation de l'énergie renouvelable comme : l'énergie solaire passive, l'éolienne, la géothermie et encore

¹ **En ligne** [<http://eveve.lefigaro.fr/>].

² **En ligne** [www.jardingourmand.com].

³ **Richard Buckminster Fuller**, En ligne [<http://www.ecologik-business.com/>].

⁴ **En ligne** [<http://www.futura-sciences.com>].

⁵ **En ligne** [www.Wikipedia.fr].

d'autres ressources dont l'exploitation est très limitée. Il est évident qu'une nouvelle relation entre l'homme et la nature s'est établie et par conséquent, l'architecture fidèle à son objectif de créer un milieu adéquat et confortable à vivre, se trouve face au dilemme de s'adapter au modèle technique de consommation énergétique intense du monde postindustriel, ou bien de suivre le courant naturaliste.⁶ De cette idéologie, découle l'architecture bioclimatique solaire qui avait pour but, de construire des bâtiments (collectifs, individuels ou tertiaires) à énergie positive, qui produisent leur propre énergie via l'exploitation des énergies renouvelables, dont la quantité d'énergie produite est supérieure à leur consommation énergétique totale⁷.

L'utilisation de l'énergie renouvelable ne devrait pas être limitée à une échelle architecturale, l'urbanisme doit également la prendre en compte dans l'aménagement urbain pour en tirer bénéfice, car une planification urbaine qui intègre l'orientation du site et les stratégies passives de conception peut réduire les coûts d'énergie jusqu'à 20 à 50% (Lehmann, 2008)⁸. Suite à cette prise de conscience, les gouvernements des différents pays particulièrement, ceux des pays développés ont mis en place des politiques énergétiques afin de maîtriser et d'exploiter les énergies renouvelables dans le but de faire durer le plus longtemps possible leurs réserves⁹. À titre d'exemple : en France, un mètre carré de panneau solaire fournit une énergie équivalente en moyenne à dix (10) litres de pétrole¹⁰.

D'autre part, le savoir-vivre avec la nature de nos ancêtres se reflète dans l'adaptation de leur environnement physique à leur mode de vie. Cette adaptation manifeste de manière plus évidente dans leur architecture vernaculaire, considérée comme une architecture bioclimatique, qui s'est imposée par sa bonne adaptation à son contexte global. Bernard Rudofsky assura à l'égard de cette architecture, dans son ouvrage intitulé « l'architecture sans architecte » (1964) et admit que « L'architecture vernaculaire n'est pas soumise aux caprices des modes. Pratiquement immuable, elle n'est pas non plus susceptible d'améliorations, puisqu'elle répond parfaitement à son objet »¹¹. Les performances qu'a montré l'architecture vernaculaire la rendent une réserve de secrets à découvrir et une source d'apprentissage et d'inspiration pour les concepteurs de bâtiment et de l'espace urbain. D'autre part, le

⁶ **Jaime Lopez de Asiain**, 2010, 'La formation des architectes à l'environnement et sa pertinence à l'heure actuelle', le carré bleu, n° 3-4. Napoli, Italie.

⁷ **Yann Arthus-Bertrand**, 2007, Compte rendu conférence international de Derbi 'développement des énergies renouvelables dans le bâtiment et l'industrie.

⁸ **Kanters Jouri**, 2012, 'Solar integrated architecture in Scandinavia An analysis of the design process', Université de L'und.

⁹ **Radanne Pierre**, 2006, Compte rendu conférence international de Derbi.

¹⁰ **Chauvot Myriam**, 2008, La filière solaire dénonce un G8 qui l'a oubliée Journée d'étude « solaire, architecture et patrimoine ».

¹¹ **Boulfekhar Sarah**. 2011' L'architecture vernaculaire comme modèle pour assister la conception environnementale des bâtiments', Master, École Nationale Supérieure d'Architecture de Nancy.

développement de la recherche scientifique nous a offert une multitude de moyens et de procédés de conception bioclimatique. En effet, l'exploitation de la science moderne et du savoir-faire vernaculaire nous permettra d'intégrer de nouvelles contraintes dans le processus de la conception architecturale et de leurs trouver des solutions originales.

L'architecture islamique est l'un des exemples de l'architecture vernaculaire, les biens adaptés à leurs contextes socioculturel, économique et naturel. Cette architecture s'est propagée dans le nord de l'Afrique suite aux reconquêtes musulmanes. L'installation des musulmans dans l'Afrique du Nord a influencé d'une manière remarquable son environnement physique, en adaptant les principes des villes islamiques de l'orient au contexte maghrébin (économique, naturel et climatique, socioculturel et surtout politique). Ce mariage entre la ville islamique et le contexte maghrébin a donné la ville arabo-musulmane maghrébine appelée « la Medina ». La médina d'Alger ottomane est l'exemple de la ville maghrébine musulmane, qui se caractérise par un urbanisme et une morphologie urbaine très dense et compacte. Cet urbanisme très spécifique concilie les règles religieuses, sociales, économiques, et **relativement** les règles climatiques.

1. Problématique :

La médina d'Alger ottomane est l'exemple de la ville maghrébine musulmane qui se caractérise par une morphologie urbaine très dense et compacte qui était une réponse au mode de vie et aux conditions climatiques extrêmes de l'été. De ce fait, la maison à patio de la Casbah d'Alger révèle de plusieurs techniques de conception et de construction utilisées pour assurer de bonnes conditions internes de confort thermique pendant les mois chauds comme : le refroidissement passif qui est assuré par la génération d'un écoulement d'air vertical entre le patio et la voûte céleste et horizontal entre le patio et les pièces qui l'entourent.

En outre, l'analyse climatique et bioclimatique de la ville d'Alger (cf. Annexe C) montre que, le climat de cette ville peut être divisé en deux périodes distinctes : une période froide qui s'étale du mois d'octobre, jusqu'au mois de mai et une période chaude qui débute en juin et s'achève en septembre. On remarque que, la période froide est plus longue que la période chaude ce qui expose les habitants de la médina d'Alger à des conditions climatiques extrêmes pendant l'hiver. De plus, les maisons de la Casbah d'Alger conçues pour la saison chaude, sont froides en hiver et plus en plus humides, les rez-de-chaussée des maisons qui n'ont ni socle ni sous-sol, sont devenus difficilement habitables à cause de l'accroissement

des taux d'humidité relative.¹² En effet, pendant la saison froide l'architecture générale de la maison ne permet pas aux rayons solaires hivernaux de pénétrer à l'intérieur des espaces de vie et de contribuer à l'amélioration des conditions de confort thermique interne qui y règnent, particulièrement, dans les espaces situés au rez-de-chaussée. Le manque d'ensoleillement dans la maison à patio de la Casbah d'Alger est l'un des facteurs majeurs qui ont causé le problème d'excès d'humidité et accélérer la détérioration et la dégradation de ce patrimoine. De ce fait, le fruit de la présente étude sera une arme à double tranchant, car le fait d'apporter des solutions au problème du manque d'ensoleillement pourra résoudre le problème d'excès d'humidité. Cette situation remet en question la configuration spatiale de l'architecture de la maison traditionnelle de la Casbah d'Alger et en général, celle de la maison à patio vis-à-vis de l'ensoleillement et nous a incités à poser les interrogations suivantes :

- Quels sont les facteurs liés à la conception architecturale qui ont causé le problème du manque d'ensoleillement dans la maison traditionnelle de la Casbah d'Alger ?
- Ou autrement dit, quels sont les éléments architecturaux qui influencent l'ensoleillement dans une architecture introvertie ?
- Méritent-ils un redimensionnement pour qu'ils permettent aux rayons solaires d'atteindre les espaces de vie situés au rez-de-chaussée ? Peut-on attribuer au patio des dimensions en fonction des coordonnées solaires ?
- À quel point permettra un nouveau modèle de la maison à patio, inspiré de la maison traditionnelle à patio de la Casbah d'Alger de bénéficier du rayonnement solaire hivernal ?

On a mentionné plus haut que, la conception de la maison traditionnelle à patio de la Casbah d'Alger été particulièrement pensée en fonction du confort estival. Ce qui nous a menés à poser la question suivante :

- Peut-on repenser l'architecture de la maison à patio, en conciliant entre un bon captage solaire passif en hiver et une bonne protection solaire passive en été ?

2. Les hypothèses :

Les interrogations posées dans la problématique nous ont incité d'emmètre cette première l'hypothèse :

¹² **Kamous Chahrazad, kamous Ahmed**, (1993), Algérie 90 architecture en attente, revue d'architecture et d'urbanisme N° 01, Arcco.

- Les dimensions planimétriques ainsi que, la hauteur du patio sont les principaux facteurs qui ne permettent pas un bon ensoleillement aux espaces situés au rez-de-chaussée de la maison traditionnelle à patio de la Casbah d'Alger.

D'autre part, admettant que l'ensoleillement et la quantité des gains solaires passifs sont fortement liés à l'emplacement des fenêtres et à leur taille, cela nous a laissés énoncer la deuxième hypothèse :

- Les fenêtres de la maison traditionnelle à patio de la Casbah d'Alger sont mal positionnées et mal dimensionnées, ce qui est à l'origine du problème du manque d'ensoleillement.

3. Les objectifs :

D'après la problématique et les hypothèses posées, qui sont directement liées à la géométrie de la maison à patio de la Casbah d'Alger, les objectifs principaux de l'étude seront de :

- **Augmenter** la durée d'insolation des espaces les mieux orientés au soleil, situés au rez-de-chaussée de la maison à patio, pendant la durée d'insolation utile¹³ de la saison froide de l'année. En effet, les dimensions et la forme des éléments architecturaux qui constituent des masques solaires aux fenêtres du rez-de-chaussée doivent être repensés en fonction des mouvements solaires annuels.
- **Développer** une méthode simple pour la conception des maisons à patio ; qui permettra de concilier entre le captage solaire hivernal et la protection solaire estivale, en s'inspirant de l'architecture de la maison à patio de la Casbah d'Alger.
- **Améliorer** la qualité de l'ensoleillement des espaces du rez-de-chaussée, sans dénaturer le caractère unique de la maison traditionnelle à patio de la Casbah d'Alger.
- **Élaborer** des solutions qui permettent d'intégrer la dimension environnementale dans l'opération de réhabilitation de la Casbah d'Alger particulièrement, de ses maisons à patio. Une telle approche assure la durabilité de ce patrimoine, en

¹³ **Mazria E.**, 2006 'le guide de la maison solaire', parenthèses p 62. La durée ou l'énergie solaire interceptée est importante pour être captée.

l'adaptant à son contexte climatique particulièrement aux conditions relatives à l'ensoleillement.

Donc notre étude vise notamment, à repenser la morphologie de la maison traditionnelle à patio de la Casbah d'Alger vis-à-vis de l'ensoleillement et de proposer un nouveau modèle de la maison à patio qui s'inscrit dans le même contexte socioculturel en visant de l'intégrer aussi à son contexte climatique.

4. Méthodologie et outils de recherche :

Cette étude de la problématique de l'ensoleillement dans la maison traditionnelle à patio de la Casbah d'Alger, présente une opportunité d'évaluer la qualité de l'ensoleillement dans cette typologie d'habitat traditionnel. Ce qui nous aide par la suite de concevoir un nouveau modèle, en s'inspirant du modèle étudié pour un meilleur rendement, en matière de captage solaire passif et de protection solaire passive. Pour atteindre les résultats escomptés et les objectifs ciblés, nous avons eu recours aux outils de recherche suivants :

La recherche documentaire et la collecte d'informations : cette étape était le premier pas à faire pour élaborer ce modeste travail, dont les sources bibliographiques incluses et exploitées étaient principalement : les thèses, les mémoires, les ouvrages, les revues, et les bases de données numériques. Cette recherche documentaire nous a permis d'acquérir une vision globale sur le sujet et sur la problématique de l'ensoleillement dans l'habitat traditionnel des médinas arabo-musulmanes.

L'observation : utilisée afin de comprendre d'une manière directe de tels problèmes. Cette dernière est consolidée par la prise de photo et le relevé de la maison étudiée qui témoignent de son état et du vécu actuel de ses habitants.

Le constat et l'interview : outils de recherche qui nous ont permis de compléter les informations recueillies, de vérifier les hypothèses émises et de reconnaître la perception de l'ambiance hygrothermique de la maison traditionnelle à patio de la Casbah d'Alger par ses occupants.

Le modelage et la simulation : sur la base du travail analytique approfondi effectué et l'application des outils d'étude d'ensoleillement tels que : l'enveloppe solaire et la formule de calcul de la distance bioclimatique (Theodoridou-Sotiriou, et al, 2005), un nouveau modèle de maison à patio a été développé tout en cherchant à améliorer le captage solaire passif pendant

l'hiver et la protection solaire passive pendant l'été. Après l'établissement du nouveau modèle et le dimensionnement de ses éléments architecturaux qui influencent l'ensoleillement en fonction des mouvements annuels du soleil, une simulation à l'aide du logiciel informatique « Ecotect » a été effectuée pour l'élaboration d'une étude comparative entre le modèle existant de la maison à patio de la Casbah d'Alger et celui conçu selon la méthode proposée.

Pour conclure enfin par une synthèse, en précisant qu'avec les résultats obtenus, le captage solaire passif des maisons à patio peut être amélioré sans trop dénaturer le caractère unique de la maison traditionnelle et par conséquent celui de la médina.

5. Structure du mémoire :

Afin de répondre à la problématique posée ci-dessus et aux questionnements soulevés précédemment, nous avons structuré ce travail de recherche selon les orientations méthodologiques susmentionnées et l'avons scindé en deux parties :

- la première partie (théorique) : consiste à explorer les concepts liés à l'ensoleillement, de comprendre les mouvements solaires annuels, d'assimiler les outils et les méthodes graphiques d'investigation de l'ensoleillement et de comprendre l'étude des phénomènes de l'ensoleillement sur le bâti, et d'explorer l'architecture de la maison à patio de la Casbah d'Alger. Cette partie est composée des chapitres suivants :

Chapitre I : il étudie les différents aspects du soleil, en mettant l'accent sur l'aspect géométrique qui permet de comprendre les mouvements annuels du soleil, ainsi que, son mouvement apparent afin de capter ou bien de se protéger des rayons solaires.

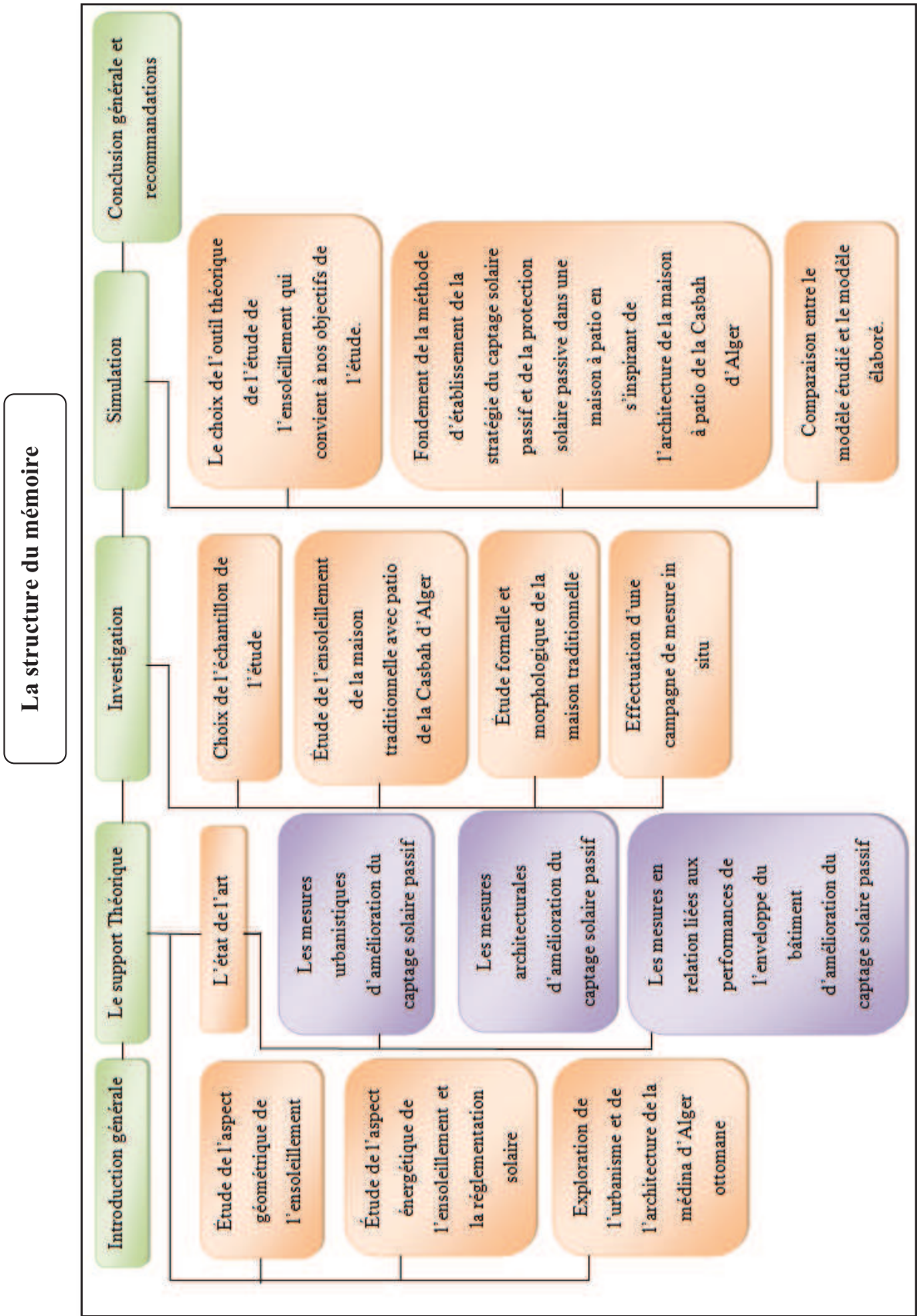
Chapitre II : ce chapitre présente l'architecture et l'urbanisme de la médina d'Alger, ainsi que les changements qu'a subis ce tissu traditionnel depuis sa création pendant la période ottomane jusqu'à nos jours. Cette partie nous a servis d'introduction au travail du terrain ; elle nous a décryptés le langage architectural de la maison à patio de la Casbah d'Alger qui représente notre source d'inspiration dans la présente étude.

Chapitre III : la dernière partie du volet théorique présente l'état de l'art, qui regroupe l'ensemble des travaux de recherche qui traitent la même thématique que l'ensoleillement en architecture, ou bien des thématiques qui ont une relation avec la problématique du présent travail.

- La deuxième partie (pratique) : C'est une partie complémentaire de la première, qui se veut pratique, centrée sur l'investigation dans la qualité de l'ensoleillement dans la maison à patio de la Casbah d'Alger. Cette partie est scindée également en 2 chapitres :

Chapitre IV : ce chapitre présente les critères de choix de la maison cas d'étude, sa présentation et l'évaluation quantitative et qualitative de l'ensoleillement dans ses différents espaces. Notre étude in situ de la maison traditionnelle à patio de la Casbah d'Alger, avait pour but d'étudier ses éléments architecturaux et de distinguer ceux qui causent ou bien aggravent le problème du manque d'ensoleillement dans les espaces du rez-de-chaussée. Pour cela, on présente dans ce chapitre, une étude morphologique et formelle qui fait ressortir les règles de la conception climatique de cette maison. Une campagne de mesure in situ a été effectuée par la suite pendant les deux périodes de l'année : hivernale (février 2013) et estivale (août 2013) dans le but d'évaluer la qualité du confort hygrothermique de la maison à patio de la Casbah d'Alger. Ce travail a été accompagné d'un constat et d'une interview entretenue avec les habitants, ainsi qu'avec les architectes responsables de l'opération de réhabilitation de la Casbah d'Alger.

Chapitre V : après avoir identifié les éléments architecturaux qui occultent la fenêtre du rez-de-chaussée et minimisent sa durée d'insolation pendant l'hiver, ce chapitre présente la façon dont laquelle on a utilisé les outils d'étude d'ensoleillement, comme : l'enveloppe solaire et la formule de calcul de la distance bioclimatique (Theodoridou-Sotiriou, et al, 2005), dans le développement d'une méthode de conception d'un nouveau modèle de la maison à patio. Cela, est réalisé en s'inspirant de la maison traditionnelle à patio de la Casbah d'Alger. Cette méthode numérique propose des formules simples, obtenues à partir des données relatives à la géométrie solaire, pour dimensionner les éléments de la maison à patio afin de concilier entre un bon captage solaire passif en hiver et une bonne protection solaire passive en été. La simulation été faite dans le but de vérifier le potentiel solaire du nouveau modèle de la maison à patio, par apport à celui de la maison à patio de la Casbah d'Alger. Enfin la conclusion incluant les résultats et les recommandations en rapport avec l'ensoleillement dans la maison à patio sont présentés.



6. Motivation du choix du sujet :

Notre choix de sujet d'étude s'est porté sur la thématique de l'architecture traditionnelle car : « Poser le problème de l'habitat traditionnel à partir de l'exemple de l'Algérie ouvre un champ de réflexion exceptionnellement riche. En effet, et en se limitant volontairement au modèle urbain, on peut dire qu'à la confrontation déjà complexe de la ville arabe à la modernité, s'ajoute la recherche d'une identité culturelle que la brutalité de la rupture coloniale a rendue plus difficile à atteindre, mais encore plus nécessaire ».¹⁴ Vis-à-vis de la problématique posée dans cet extrait d'article qui a pour titre « Tradition ou modernité : un faux problème. Axes de réflexion à partir de l'exemple algérien », l'architecture bioclimatique doit prendre la question de la modernisation du traditionnel, mais à sa propre manière. Elle doit proposer de nouveaux modèles architecturaux qui gardent les atouts du modèle traditionnel en matière de fonctionnalité et d'adaptation, en intégrant la problématique de l'environnement et des énergies renouvelables.

De plus, la crise de qualité de la création architecturale que nous vivons aujourd'hui nous pousse à chercher de nouvelles méthodes de conception qui permettent de créer une architecture qui s'adapte à notre contexte ; sans pour autant importer une architecture qui semble moderne et contemporaine, mais réellement dénuée de tout caractère propre à notre société. Nous devons donc évoquer des sujets de recherche qui font émerger une architecture algérienne maghrébine méditerranéenne.

Parmi toutes les énergies renouvelables, l'énergie solaire occupe une place très importante dans l'industrie. Elle représente une source d'énergie incontournable, elle peut être captée pour générer de la chaleur ou bien du froid, ce double rôle reflète la multitude de domaines qui peuvent l'exploiter. En effet, l'intégration de l'énergie solaire dans le bâtiment peut prendre différentes formes : elle peut être via l'utilisation des systèmes actifs qui consomment de l'énergie pour leur fonctionnement, ou bien à travers la mise en place des procédés passifs qui ne nécessitent pas de l'énergie pour leur fonctionnement. Dans l'architecture bioclimatique, il est judicieux d'avoir recours aux procédés passifs dans la conception et aux systèmes actifs dans l'amélioration des performances énergétiques du bâtiment. Donc, notre intérêt est d'exploiter le potentiel solaire à travers l'adaptation passive du bâti à la géométrie solaire. Pour atteindre cet objectif et afin d'intégrer le captage solaire à

¹⁴ **Joëlle Deluz labruyère.** 1991, 'Maghreb architecture et urbanisme patrimoine, tradition et modernité'. Publisud, p 53.

la maison à patio en s'inspirant d'une architecture traditionnelle, on a envisagé d'élaborer ce modeste travail de recherche.

7. Motivation du choix du cas d'étude :

Parmi toutes les médinas du Nord algérien, notre choix du cas d'étude s'est porté sur la médina ou la Casbah d'Alger ottomane. Cette dernière procure une richesse architecturale unique par son emplacement sur le littoral algérien. Ainsi que, par son orientation favorable au soleil, qui n'en bénéficie pas, grâce à son aménagement urbain et à la conception de ses maisons qui ne favorisent pas la pénétration des rayons solaires à l'intérieur des espaces de vie, pendant l'hiver. Cette médina fascinante a été durant une longue période de l'histoire une source d'inspiration pour beaucoup de peintres et d'artistes. Notre choix de la Casbah d'Alger, affirme ce qu'explique le grand peintre Léonard de Vinci en disant que « Toute connaissance commence par les sentiments »¹⁵. Dont l'image des maisons traditionnelles de la Casbah d'Alger qui s'échelonnent depuis la mer, rayonnantes et splendides par leur blancheur, nous a charmé et évoqué notre curiosité pour explorer cette médina, afin de découvrir les circonstances et les secrets qui ont fait naître ce bijou architectural et le prendre comme source d'inspiration dans la présente étude, en repensant son architecture vis-à-vis de l'ensoleillement.

8. Contraintes de la recherche :

Notre étude s'intéresse à l'un des exemples de l'architecture traditionnelle des médinas arabo-musulmanes en Algérie, qui représente une réserve d'un savoir-faire architectural à découvrir et depuis lequel on vise à tirer des leçons de conception architecturale. Le travail du terrain dans le site choisi était soumis à différentes contraintes, ce qui nous a laissés penser à les exposer dans cette partie d'étude pour donner des recommandations et des orientations aux chercheurs qui comptent étudier l'un des aspects architecturaux ou urbains de la Casbah d'Alger et leur faciliter la tâche d'accès aux informations nécessaires pour aborder le sujet, ainsi que, le choix de la bonne méthode d'approche du travail du terrain. Ces contraintes se résument en :

- L'insécurité : comme tout espace délaissé et mal entretenu, la Casbah d'Alger souffre de l'insécurité, particulièrement dans le cœur de son quartier résidentiel, ce qui nous a

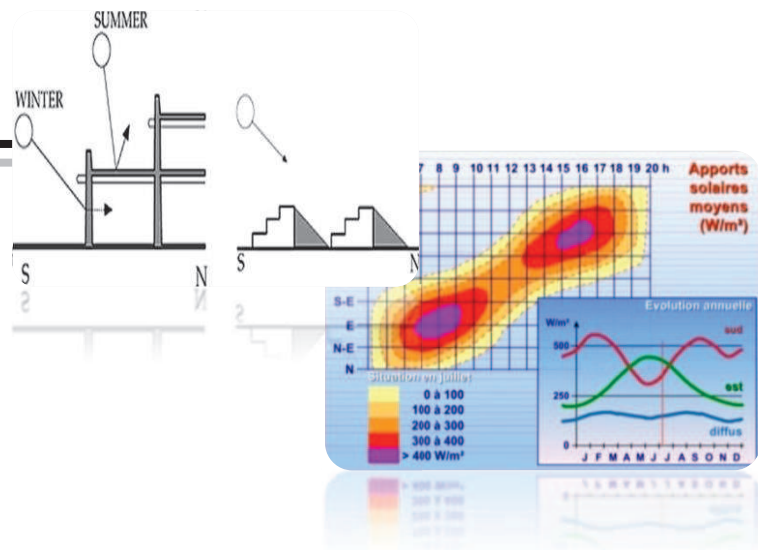
¹⁵ **En ligne** [<http://www.citation-celebre.com/>].

poussés à choisir comme cas d'étude une maison qui répond aux critères de choix, située dans la périphérie de la médina.

- Un manque d'appareillage qui mesure l'irradiation solaire et qui peut nous fournir des données réelles sur la quantité des irradiances solaires qui atteignent les différentes parois vitrées et opaques des façades étudiées, nous a limités à l'adoption seulement des résultats de simulation.
- Les données météorologiques horaires de la journée de déroulement des mesures de la période estivale (26 août 2013) n'ont pas été fournies par l'office national de météorologie pour des raisons administratives. Donc l'interprétation des résultats des mesures de la même période est faite seulement en référence aux températures de confort obtenues de l'analyse bioclimatique (cf. Annexe C).

Chapitre : I

Géométrie, énergie solaires et réglementation



*« L'architecture est fatalement climatique,
il n'y a architecture que lorsque il y'a contraintes.
Le climat en est une, à laquelle on n'échappe pas »¹*

Introduction

Pourriez-vous imaginer une vie sans soleil ? Notre planète verte sera trempée dans l'obscurité totale, nous n'aurons même pas la chance de voir ces belles couleurs que nous offre la nature ; on partage tous la même opinion : ça serait même difficile à imaginer.

Le sens étymologique du mot climat est pente ; en référence à l'angle d'incidence des rayons solaires (la déclinaison du soleil), qui varie aussi bien au cours de la journée que tout au long de l'année et conditionne l'ensemble des paramètres climatiques². De ce fait, le soleil sera le premier élément climatique à prendre en considération lors d'une conception architecturale bioclimatique. L'intégration du soleil dans le processus de la création architecturale remonte aux anciennes civilisations, dont nous présentons quelques-unes dans le présent chapitre. Nous abordons par la suite, la géométrie solaire et son adaptation à l'architecture par l'utilisation d'un système de repérage du soleil et des outils d'étude et de simulation. Nous allons ainsi, étudier l'aspect énergétique du rayonnement solaire qui permet de bien gérer les apports solaires passifs.

En outre, nous abordons dans ce chapitre la question de la qualité de l'ambiance qui est directement liée à l'intégration des facteurs climatiques dont le soleil est le principal, dans la conception architecturale et urbaine. Une ambiance architecturale de qualité peut être réalisée, par la mise en œuvre d'un cadre réglementaire qui garantit un droit au soleil égal pour toutes les habitations d'un même site. Nous allons par la suite, vérifier la prise en considération de la contrainte climatique d'ensoleillement dans la réglementation algérienne lors de la conception architecturale et urbaine.

¹ **Fernandez Pierre. Lavigne Pierre**, 2009 'Concevoir des bâtiments climatiques fondements et méthodes', le Moniteur, Paris, France.

² **Gonzalo Roberto. Habermann Karl J.**, 2008 ' Architecture et efficacité énergétique', Birkhauser. p30.

I.1 La prise en compte du soleil dans l'architecture à travers le temps :

« L'architecture est la volonté d'une époque traduite en espace »³. De ce fait, nous allons exposer le développement de la perception du soleil à travers les différentes ères historiques et dans les différentes civilisations. Nous allons aussi, découvrir la manière dans laquelle la conscience humaine s'est développée envers son environnement climatique particulièrement, envers le soleil et l'avait intégré dans sa création architecturale. Donc, le soleil a tant changé de symbole et de rôle le long de l'histoire humaine, dont nous distinguons les deux périodes historiques suivantes :

I.1.1 L'architecture solaire dans les anciennes civilisations (L'Âge agricole) :

Les traces laissées par nos prédécesseurs montrent que, la prise en compte du soleil dans la conception architecturale, date depuis l'ère préhistorique. Le soleil dans les anciennes civilisations était considéré comme un objet de culte. La première réflexion climatique de l'architecture était l'orientation par rapport au soleil et par rapport au vent. Les gens étaient conscients que, le soleil est la source principale de confort ou de l'inconfort. Ils déterminaient l'orientation des espaces en fonction de la course solaire ; à l'exception des édifices religieux islamiques orientés vers La Mecque, ou dans la présence d'autres contraintes, telles que : l'orientation vers une vue ou la défense. Chaque civilisation a exploité le potentiel solaire, en créant une architecture qui relie ses traditions et coutumes aux besoins énergétiques. Nous allons examiner cet aspect dans différentes civilisations qui ont existé pendant l'âge agricole.

I.1.1.1 La civilisation babylonienne :

Le royaume de Babylone s'est épanoui en Mésopotamie du sud ; au début du II^e millénaire av. J.-C. jusqu'en 539 av. J.-C.⁴, durant cette période les Babyloniens ont créé les jardins suspendus de Babylone qui ont été construits sur une série de terrasses en gradins (cf. Fig. I. 1), irrigués par un système de pompes à partir de l'Euphrate. Ces jardins considérés comme l'une des sept

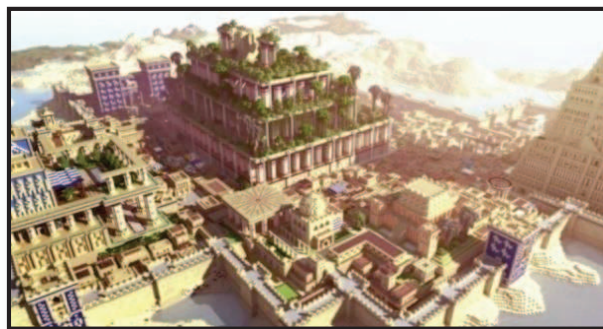


Fig. I. 1 : Les jardins suspendus de Babylone

(Source : [http:// www.mapmincraft.fr](http://www.mapmincraft.fr))

³ Ludwig Mies Van der Rohe, En ligne : [<http://www.aroots.org/>].

⁴ En ligne [[http:// www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)]

merveilles du monde, peuvent aussi être considérés comme l'un des premiers et des plus spectaculaires exemples de l'architecture solaire⁵.

I.1.1.2 La civilisation de l'Égypte antique :

La civilisation égyptienne s'est développée de 3200 av. J.-C (époque des premiers pharaons) jusqu'à 30 av. J.-C.⁶ La prise en compte du soleil en architecture dans la société des pharaons s'est manifestée dans la ségrégation entre les différentes couches sociales et leurs occupations de la ville. À titre d'exemple : dans la ville de Kahun en Égypte, les esclaves étaient logés dans le quartier (ouest), comme un tampon humain contre le vent et les surchauffes dues au soleil, pour la protection des habitants les plus riches qui habitaient la partie (est) du site. D'autre part, les fouilles réalisées sur le site de Dendérah en Égypte, illustrent le soin avec lequel les anciens égyptiens ont dessiné puis construit avec le soleil, en gérant une relation géométrique intime entre les espaces intérieurs, les ouvertures et la position de l'astre roi⁷ (cf. Fig. I. 3).



Fig. I. 2 : Akhnaton, Néfertiti et leurs enfants protégés par le soleil.

(Source : <http://www.herodote.net>)

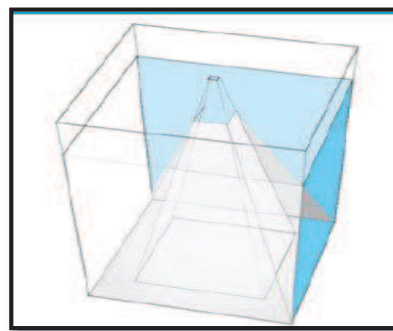


Fig. I. 3 : Les rapports géométriques entre les espaces intérieurs et les ouvertures (salle du temple de Hathor à Dendérah)

(Source : Bernard P. Francis M., 2012)

I.1.1.3 La civilisation de la Grèce antique :

Cette civilisation est apparue vers l'an 1200 av. J.-C. (pendant les siècles obscurs) et a continué à exister jusqu'en 146 av. J.-C. (l'ère historique qui correspond à la Grèce romaine⁸).

⁵ TOPALOĞLU Birol. 2003 'l'enveloppe solaire et la génération de la forme en architecture', master en architecture, université du moyen orient.

⁶ En ligne [<http://www.jesuiscultive.com>].

⁷ Bernard P. Francis M., 2012 'Soleil et architecture - Potentiel climatique', dossier Techniques de l'Ingénieur, Paris, France.

⁸ En ligne [<http://www.wikipedia.org>].

Les philosophes de la Grèce antique ont été les premiers à établir des règles qui pourraient être reproduites par la suite. À titre d'exemple et d'après Xénophon, Socrate expliquait qu'une maison avec un portique orienté au Sud (cf. Fig. I. 4. A) permet aux rayons solaires de pénétrer à l'intérieur, pendant l'hiver ; tout en restant à l'ombre en été, car le trajet du soleil pendant l'été est plus élevé dans le ciel que celui de l'hiver. Ce concept a été utilisé pour le développement de l'architecture des cités grecques ; en instaurant un droit au soleil pour chaque parcelle (cf. Fig. I. 4. B) à l'intérieur de laquelle, les habitants pouvaient disposer les pièces de telle manière qu'ils puissent tirer profit de l'énergie solaire tout au long de l'année. ⁹

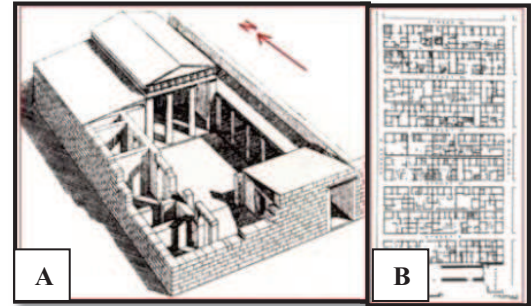


Fig. I. 4 : (A) Plan typique d'une maison (ouverte vers le soleil), (B) Plan d'un quartier d'Olynthus (Source : www.technomc.info)

I.1.1.4 La civilisation romaine :

La civilisation de la Rome antique est apparue vers l'an 753 av. J.-C. et a chuté en 476 ap. J.-C. L'architecture domestique de l'Empire romain a largement suivi les concepts grecs. À l'échelle urbaine, les villes ont été planifiées rationnellement selon des grilles qui organisent les rues, pour fournir un maximum d'ombre et de brise. ¹⁰

Vitruve le grand architecte de la civilisation romaine, a consigné dans son ouvrage intitulé « Les dix livres d'architecture » des recommandations qui se rapportent tant au climat local, qu'à la course solaire ¹¹. Il a aussi dénoté l'importance du zoning des pièces par rapport au soleil et leur répartition autour d'une cour, à l'aide d'un diagramme tracé au sol ¹². D'autre part, Socrate décrit le mégaron de la Grèce antique dans ses écrits comme étant un mégaron bien orienté au soleil (cf. Fig. I. 5).



Fig. I. 5 : L'orientation du mégaron (Source : Bernard P. Francis M., 2012)

⁹ 'De l'architecture bioclimatique de la Grèce antique au vitrage romain', [En ligne] [http:// www.technomc.info](http://www.technomc.info)

¹⁰ TOPALOĞLU B., 2003 'l'enveloppe solaire et la génération de la forme en architecture', master en architecture, université du moyen orient. p 8.

¹¹ Faist A P. Gay J. B., 1993, le sommet mondial du soleil, l'énergie solaire en architecture.

¹² Bernard P. Francis M., 2012 'Soleil et architecture - Potentiel climatique', dossier Techniques de l'Ingénieur, Paris, France. p 2

Dans le premier siècle, Vitruve a écrit son célèbre traité "De Architectura", pour exposer la totalité de ses connaissances architecturales. Parmi les 10 livres, un était consacré aux nombreuses innovations intervenues dans la conception des bâtiments d'habitation pour l'amélioration des conditions de vie des habitants. Il a donné également, des instructions explicites sur la façon de concevoir de tels bâtiments, afin d'optimiser leur efficacité énergétique mais, il a fallu attendre encore un siècle, avant de voir la naissance de l'innovation primordiale du confort dans l'habitat, qui est le vitrage.¹³ Les Romains ont amélioré la technique du chauffage passif en utilisant le verre qui a constitué une étape décisive dans l'amélioration du confort thermique. Cette technique de chauffage a permis le développement d'édifices thermaux (cf. Fig. I. 6).



Fig. I. 6 : Tepidarium à Pompéi.

(Source : www.technomc.info)

I.1.1.5 La civilisation Maya

Le peuple maya a établi un calendrier solaire, presque aussi précis que le nôtre. Leurs bâtiments avaient une forme de flèche pointée orientée approximativement vers le coucher des cinq des plus brillantes étoiles du ciel. Un excellent exemple d'orientation astronomique est présent dans le bâtiment de Monte Alban, originairement construit en 275 (cf. Fig. I. 7). En effet, si nous traçons une ligne perpendiculaire aux marches dévalant en face de la ruine, nous pouvons apercevoir le lever de Capella qui coïncide avec le passage du soleil au zénith¹⁴

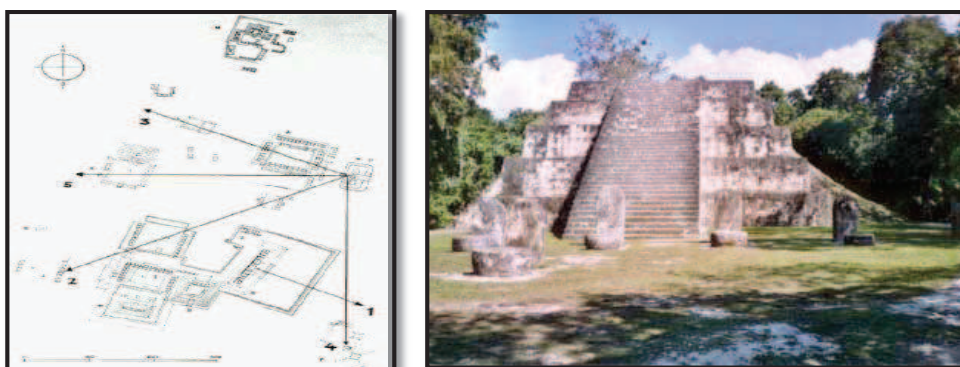


Fig. I. 7 : Le bâtiment de Monte Alban, et principes astronomiques de sa conception.

(Source : <http://www.caabm.org>)

¹³ De l'architecture bioclimatique de la Grèce antique au vitrage romain [En ligne] <http://www.technomc.info>

¹⁴ Vézina A., 2005, L'astronomie chez les Mayas. [En ligne] <http://www.caabm.org>

I.1.1.6 La civilisation islamique :

Elle s'est apparue au VII^e siècle¹⁵ pour la première fois dans le moyen orient et s'est propagée par la suite, jusqu'au nord africain et même le sud de l'Europe. De ce fait, Il existe plusieurs exemples qui illustrent l'architecture islamique comme celle de : Sanaa au Yémen, d'el Ateuf dans le M'Zab et de Matmata en Tunisie. En général, la maison islamique est conçue selon un zoning thermique, qui permet aux habitants de se déplacer selon les conditions thermiques des différentes saisons, entre les chambres ouvertes d'été situées en avant comme les iwans orientés au nord et l'hébergement d'hiver situé derrière la cour orienté au sud (cf. Fig. I. 8).

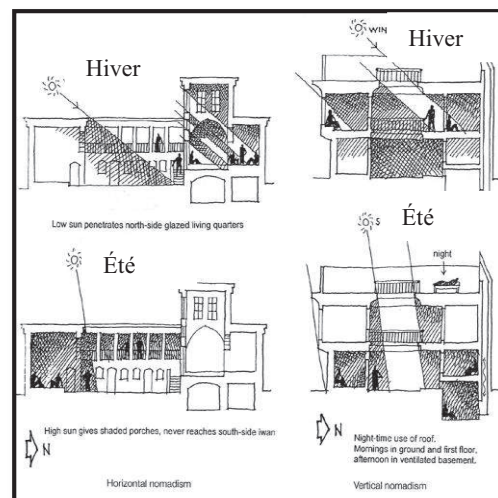


Fig. I. 8 : L'occupation des espaces selon les mouvements solaires
(Source : Garcia-Pulido L J., 2012)

En été, les habitants occupent les étages inférieurs de la maison pendant le matin et les terrasses pendant le soir, ce phénomène est appelé le nomadisme (vertical ou horizontal) (cf. Fig. I. 8). Des éléments architecturaux qui marquent le style islamique comme les galeries qui représentent des espaces de circulation, jouent un rôle climatique majeur dans la protection solaire en été et la protection contre la pluie pendant l'hiver.¹⁶

I.1.1.7 La civilisation de l'inde antique :

Dans la vallée de l'Indus, à quelque 650 km de Karachi, Mohenjo Daro n'est aujourd'hui qu'un ensemble de ruines en brique, qui couvrent une superficie d'une centaine d'hectares (cf. Fig. I. 9). Il y a près de 5 000 ans au troisième millénaire av. J-C la civilisation de Mohenjo Daro a précédé les invasions



Fig. I. 9 : Les vestiges du site Mohenjo daro

(Source : Plenderleith H. J., Voûte C., De Beaufort T, 1965)

¹⁵ **En ligne** [<http://fr.wikipedia.org>].

¹⁶ **GARCÍA-PULIDO L J.**, 2012 'Bioclimatic Devices of Nasrid Domestic Buildings'

aryennes.¹⁷ La vallée de l'Indus est l'une des contrées les plus chaudes du monde ; où il est nécessaire de se protéger contre le soleil, cette contrainte a influencé l'environnement bâti de la ville, à titre d'exemple : les rues étaient généralement étroites, les murs des maisons n'avaient aucune ouverture qui donne sur l'extérieur, à l'exception des portes qui laissent pénétrer l'air et la lumière dans des cours sur lesquelles donnaient plusieurs appartements.¹⁸

I.1.1.8 La civilisation du Sud-ouest américain :

Au XI^{ème} et XII^{ème} siècle, les Anasazi¹⁹, amérindiens du grand sud-ouest de l'Amérique du Nord, orientaient leurs maisons face au sud afin de mieux profiter de la chaleur du soleil. Une étude des maisons d'Acoma où l'alignement des maisons est très visible²⁰ comme le montre la figure (Fig. I. 10), a montré que, la distance laissée entre les rangées de maisons permet aux terrasses et aux murs d'être exposés au soleil pour accumuler de la chaleur solaire en hiver (cf. Fig. I. 11). Effectivement, c'est cette relation critique de la hauteur du bâtiment à la surface ombragée qui a fait naître le concept de l'enveloppe solaire par Knowles [Knowles, 2003](cf. Fig. I. 11).

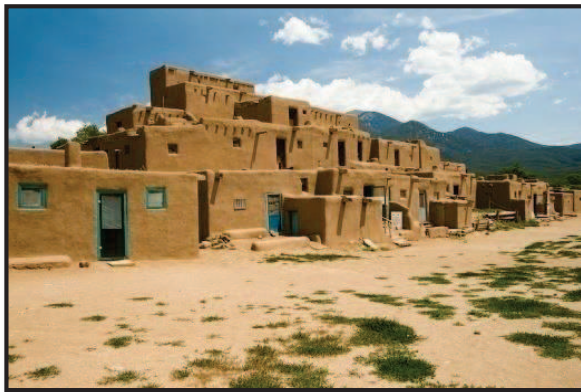


Fig. I. 10 : Taos, Nouveau-Mexique.
Exemple des maisons des pueblos
(Source : <http://fr.wikipedia.org/>)

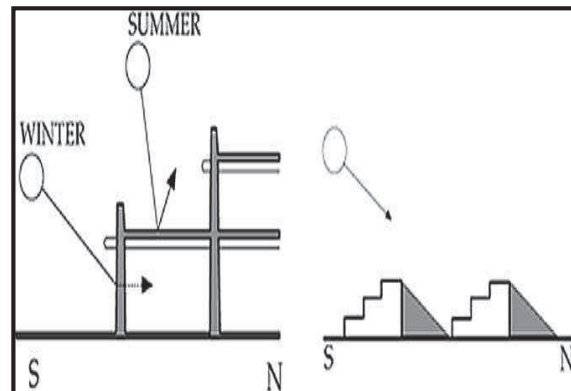


Fig. I. 11 : Les premières observations
qui ont fait naître l'enveloppe solaire
(Source : Knowles 2003)

I.1.2 L'architecture solaire dans l'ère moderne (L'Âge industriel) :

Le saut d'une économie agraire à une économie industrielle a apporté de nouvelles réflexions en termes d'architecture. Il faut noter que, les premiers architectes qui se sont

¹⁷ Plenderleith H. J., Voûte C., de Beaufort T., 1965, 'MOHENJO DARO un patrimoine millénaire menacé de destruction', Le courrier, p 22-23

¹⁸ Idem, p 29

¹⁹ Laurène Tournaire, 2010' Quels sont les fondements de l'architecture pueblo ?'Mémoire fin d'étude M2, p 6 : ils sont les anciens habitants de l'Amérique.

²⁰ L'architecture solaire passive, En ligne [<http://fr.solarpedia.net>]

intéressés à l'intégration du soleil dans leurs conceptions particulièrement, celles de l'habitat ont été les architectes modernistes suite aux découvertes médicales, qui mettent en avant l'ensoleillement comme un facteur microbicide, utilisé dans le traitement de la tuberculose, décrite comme étant la maladie de l'obscurité [Siret, Harzallah, 2006].

Dans son article intitulé «**Qui est le premier architecte solaire ?** » Donald Watson a fait une requête à la recherche des preuves claires des conceptions solaires passives dans l'ère moderne des années 1910. En effet, William Atkinson est le premier architecte qui a apporté des idées pour créer des espaces en fonction de la lumière et du soleil. Suite à ses études sur l'architecture hospitalière il a affirmé que, l'orientation solaire et la lumière du soleil sont des facteurs importants à intégrer dans la conception architecturale pour des raisons d'hygiène. Donc l'hygiène était un concept clé, dans l'établissement de la discipline de l'architecture bioclimatique²¹. En 1904, les efforts d'Atkinson lui ont permis d'établir la première loi en vigueur de l'ensoleillement qui a traité la question des " droits solaires ", qui limitait la hauteur des bâtiments pour assurer l'accès à la lumière du soleil. Il a par la suite, construit une maison solaire expérimentale en 1911. D'autre part, les architectes : F.L. Wright et son prédécesseur Richardson ont aussi intégré les facteurs climatiques tels que : le vent et le soleil, dans leurs conceptions architecturales. En 1912, Henri Sauvage a conçu des bâtiments en forme de gradins, en élargissant progressivement le profil de la rue de bas en haut, en s'inspirant des sanatoriums construits en Allemagne. Ces bâtiments en gradins (cf. Fig. I. 12) sont supposés favoriser le renouvellement de l'air, augmenter la durée d'ensoleillement des étages situés en bas et offrir à chaque appartement une terrasse aérée et baignée de lumière naturelle [Siret, Harzallah, 2006].



Fig. I. 12 : Henri Sauvage 1922-1927 Immeuble d'habitation ; piscine municipale façade sur la rue des Amiraux, avec les balcons en gradins.

(Source : <http://fr.wikipedia.org/>)

²¹ TOPALOĞLU.B, 2003, ' l'enveloppe solaire et la génération de la forme en architecture', master en architecture, université du moyen orient, p 8

En 1928, A.A.Rey, J. Pidoux et C. Boude publiaient « La science des plans de ville », qui traite le sujet de l'architecture et de l'urbanisme hygiéniques et la théorie héliothermique. Cette théorie qui attribue à chaque période de temps une température moyenne de l'air admet que, l'orientation optimale est celle de 20° par rapport à l'axe sud-nord. Elle était mise en œuvre dans le projet de le Corbusier « La ville radieuse », et présentée comme un principe de projet dans les CIAM de Bruxelles en 1930.²²

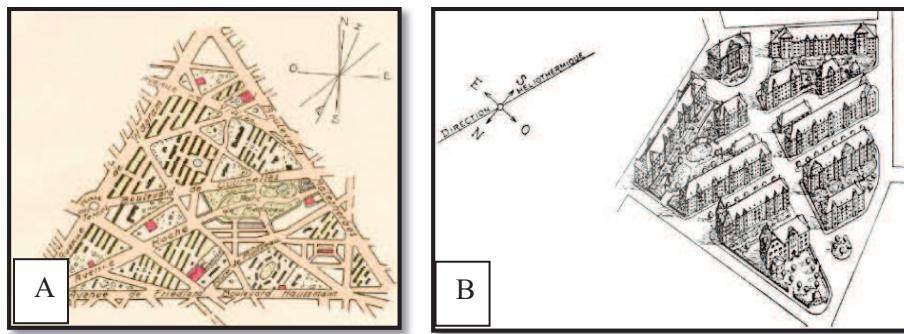


Fig. I. 13 : Une réorganisation héliothermique d'un îlot (A) et d'un quartier (B)

(Source : Siret, Harzallah, 2006)

L'axe héliothermique ne réalise « la symétrie thermique » de l'immeuble qu'en été, amplifiant aux autres dates l'écart de température entre la façade exposée au soleil et celle qui se trouve dans l'ombre. Enfin, les théories de Rey ont été violemment contestées, au début des années 1940 par Gaston Bardet, qui a considéré que le principe de valeur héliothermique est physiquement vide de sens [Siret, Harzallah, 2006] . Dans les années 1930, les principes de la conception solaire passive ont été explorés et promulgués par d'autres architectes,²³ tel que Richard Neutra venu à la scène avec sa conception naturaliste, ses créations en Californie lui ont permis de comprendre la réponse architecturale climatique. Richard Neutra a développé ses idées avec le terme " bio-réalisme " en tenant compte des conditions de bien-être des occupants. Henry Wright, urbaniste à l'université de Columbia a publié au milieu des années 30 de nombreuses études sur les installations et les lotissements solaires, offrant l'opportunité d'être plus largement divulgués à des concepts européens.²⁴ On cite aussi Hugo Haring, l'un des fondateurs des CIAM, qui a attiré l'attention avec ses maisons solaires.

De l'autre côté de l'Atlantique, les frères Keck ont été les premiers à professer une conception solaire avec leurs descriptions. En construisant leurs pavillons « Cristal House »

²² Siret, D., 2012 'Soleil, lumière et chaleur dans l'architecture moderne excursions dans l'œuvre de le Corbusier', L'Émoi de l'histoire n° 34.

²³ TOPALOĞLU, B., 2003, 'l'enveloppe solaire et la génération de la forme en architecture', master en architecture, université du moyen orient. p 11.

²⁴ Xavier Bélorgey, 2005 'Une chronologie de l'architecture solaire aux USA', Architecture et soleil.

entre 1932 et 1933, les frères Keck ont découvert l'effet du soleil d'hiver dans le chauffage des maisons de verre. Hannes Meyer a montré un grand intérêt envers l'environnement, suivi par Gropius et Breuer qui ont intégré le climat et le soleil dans leurs projets réalisées aux États-Unis (Watson 1998, p.214). Enfin dans cette décennie, Alvar Aalto mérite aussi d'être mentionné pour son usage élégant de la lumière du jour. Dans les années 1940, les réalisations des Frères Olgyay étaient significatives, ils se sont engagés dans la conception architecturale avec les outils de la science formative de la construction climatologique.²⁵ Les architectes de cette époque ont cherché des conceptions qui favorisent l'optimisation des gains solaires en hiver en outre, ils se sont rendu-compte aussi de la nécessité des protections solaires, pendant la saison chaude par une maîtrise géométrique de l'ombre.

Le Corbusier écrit ainsi : « c'est en pays tempéré, à Paris, que j'ai ressenti les effets inamicaux du soleil à certaines saisons (été) derrière un pan de verre. Ce vitrage qui est adorable pendant dix mois devient un ennemi à la canicule. Il fallait donc inventer quelque chose. C'est dans mon atelier privé de la rue Nungesser et Coli où je souffrais en silence (pour cause !) que j'ai ouvert l'œil sur le brise-soleil, que j'ai imaginé et baptisé de ce terme, devenu aujourd'hui universel : le brise-soleil (Sun- breaker). » (Œuvre complète 1952-1957).²⁶ Suite à cette prise de conscience de la nécessité de la protection solaire, les loggias brise-soleil (cf. Fig. I. 14. A) ainsi que, les débordes du bâtiment qui génèrent de l'ombre, sont apparues dans les différents projets de le Corbusier comme celui de Chandigarh²⁷ (cf. Fig. I. 14. B).

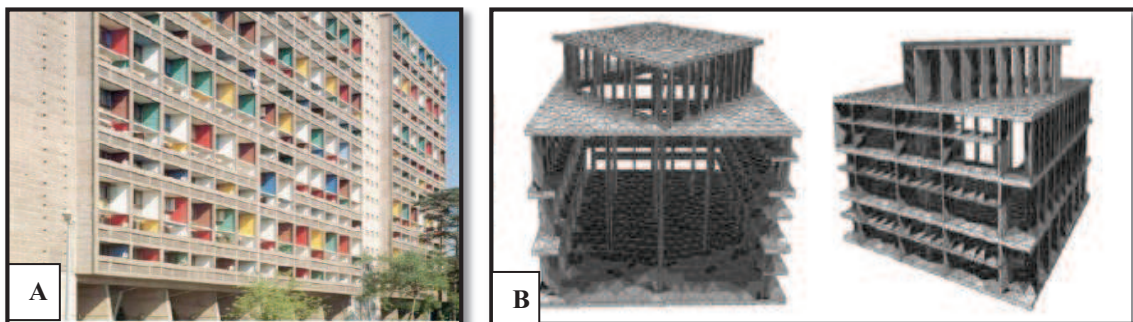


Fig. I. 14 : Les dispositifs de protection solaire utilisés par Le Corbusier : (A) : les loggias brise-soleil, (B) : les débordes du bâtiment.

(Source : Siret, Harzallah, 2006)

²⁵ TOPALOĞLU.B, 2003 'l'enveloppe solaire et la génération de la forme en architecture', master en architecture, université du moyen orient. p 12.

²⁶ Idem.

²⁷ Siret. D., 2012 'Soleil, lumière et chaleur dans l'architecture moderne excursions dans l'œuvre de le Corbusier', L'émoi de l'histoire n° p 34.

Passant à la période qui a suivi la guerre mondiale, Watson résume l'atmosphère d'après-guerre comme suit : " ... Avec l'ère de l'énergie bon marché des années 1950 et le développement du chauffage compact et des équipements de climatisation, la conception climatique n'était guère mise en évidence par le courant des années 1950 et 60. Les exceptions à cette pléthore d'intérêt général, comprennent le travail d'un groupe diffus de grands architectes et chercheurs des universités et de divers spécialistes du bâtiment, tels que : Ralph Knowles, George Lof, William Caudill, Ben Evans, Baruch Givoni et divers praticiens et régionalistes ... "28. De nombreuses publications témoignent de cet élan solaire en architecture diffusées à la fin du vingtième siècle. Les préconisations des auteurs, portent avant tout sur la forme urbaine permettant le meilleur accès au soleil tout au long de l'année, dont les orientations et les gabarits des bâtiments qui longent les voies étaient repensés de manière à augmenter les gains solaires et à protéger les espaces intérieurs des surchauffes d'été.

Dans les années 70, la crise d'énergie qui a fait signe à la naissance de la société post-industrielle a aussi défini la place du soleil dans l'architecture et dans l'urbanisme. Les architectes ont pensé à l'exploitation de l'énergie solaire comme l'architecte David Wright qui a développé l'archétype d'une maison solaire capteur en 1970²⁹ (cf. Fig. I. 15).

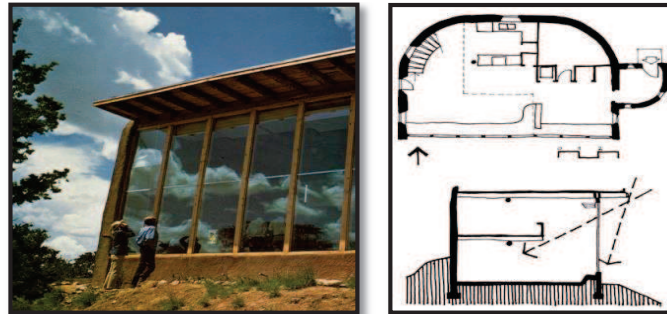


Fig. I. 15 : Maison solaire de David Wright -1970-
(Source : Belkhamza Sarah)

L'approche bioclimatique a été tout d'abord très intuitive ; sans des outils réels de conception ou de mise en œuvre. Elle a tout de même évolué, vers une série de grilles d'évaluation importantes (HBC, HPE). En 1990, la première grille d'évaluation objective des caractéristiques environnementales du bâtiment est apparue ; suivie après de plusieurs autres grilles et labels comme : Green building Tool en Amérique du Nord. Breeam au Royaume-Uni, Dbca aux Pays-Bas, Klimaaktiv Haus en Autriche, Minergie en Suisse, Habitat passif en

²⁸ **TOPALOĞLU.B**, 2003, l'enveloppe solaire et la génération de la forme en architecture, master en architecture, université du moyen orient. p 13.

²⁹ **Belkhamza Sarah**, 2013 'Eco-conception et architecture bioclimatique', Cours Master n°1, école des beaux Arts, Tunis.

Allemagne et en Autriche. En 1992, le sommet organisé au Brésil, décrit des engagements en faveur du développement durable, de nombreux pays ont accéléré le processus menant à la généralisation de la démarche environnementale dans tous les secteurs économiques. De nos jours, nous continuons à mener des recherches qui ont pour but d'intégrer l'énergie solaire dans le bâtiment.

I.2 La géométrie solaire

L'ensoleillement que reçoit une bâtisse dépend principalement de l'angle d'incidence des rayons solaires, qui change en fonction de l'heure, et de la saison. Donc la compréhension de la trajectoire solaire et du mouvement de la terre autour du soleil est indispensable pour pouvoir bénéficier ou optimiser le captage de l'énergie solaire, le long de l'année. La géométrie solaire définit les différentes positions de la terre par rapport au soleil (la distance qui sépare la terre du soleil) le long de son parcours annuel tout autour. Nous allons présenter dans cette section, l'interprétation des mouvements de la terre autour du soleil, leur simplification ainsi que, les outils d'étude de l'ensoleillement.

I.2.1 Mouvement de la terre autour du soleil :

La terre accomplit son tour autour du soleil en 365 jours, selon une orbite de forme elliptique. La terre tourne simultanément sur son axe, qui fait un angle de 23.27° avec la normale de son orbite (cf. Fig. I. 16). Ces deux mouvements produisent les phénomènes naturels suivants :

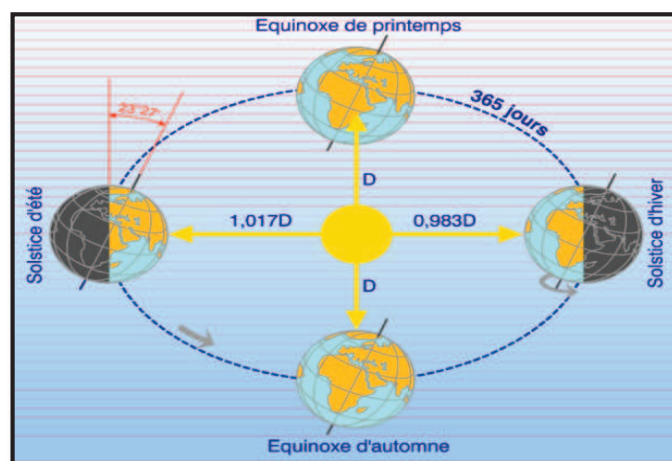


Fig. I. 16 : Le mouvement de la terre autour du soleil

(Source : Liebard A., De herde A, 2005)

I.2.1.1 Phénomène de succession du jour et de la nuit :

La terre change d'exposition par rapport au soleil pendant les 24 heures du jour. En tournant sur son axe de rotation (cf. Fig. I. 17), elle expose un hémisphère au soleil tandis que, l'autre se trouve dans l'obscurité. Cela induit la succession de la nuit et du jour. Les deux hémisphères sont délimitées par un cercle appelé le cercle d'illumination (cf. Fig. I. 17).

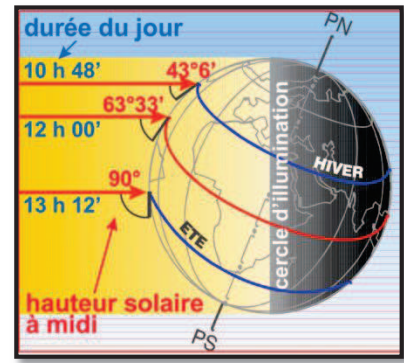


Fig. I. 17 : Le phénomène jour / nuit

(Source : Liebard A., De herde A, 2005)

I.2.1.2 Phénomène des saisons :

La terre change de position pendant les 365 jours de l'année ce qui expose ses différentes régions à de différentes conditions climatiques pendant les 365 jours et produit le phénomène des saisons. L'inclinaison de la terre est constante tout au long de sa course autour du soleil³⁰ mais, c'est l'axe des pôles qui change de position par rapport au cercle de l'orbite terrestre³¹ (cf. Fig. I. 18). Ce phénomène est le facteur responsable des variations climatiques saisonnières. Pour mieux expliquer le phénomène on a pris l'exemple de la ville d'Alger qui se situe à une latitude $L = 36^\circ$ Nord, dont les hauteurs maximales qu'atteigne le soleil pendant chaque saison sont données par les formules suivantes :

Pendant le solstice d'été : $H \text{ max} = (90^\circ + 23.27) - L$

Pour la ville d'Alger : $H \text{ max} = (90^\circ + 23.27) - 36^\circ = 77.26^\circ$

Pendant les équinoxes (automne et printemps) : $H \text{ max} = 90^\circ - L$

Pour la ville d'Alger : $H \text{ max} = 90^\circ - 36^\circ = 54^\circ$

Pendant le Solstice d'hiver : $H \text{ max} = (90^\circ - 23.27) - L = 30.74^\circ$

Pour la ville d'Alger : $H \text{ max} = (90^\circ - 23.27) - 36^\circ = 30.7^\circ$

La variation de l'exposition de la ville d'Alger, par rapport au soleil, induit une variation du flux solaire reçu, d'une saison à une autre. Comme le montre la figure (Fig. I. 18) la largeur du faisceau solaire intercepté est importante en été ; moyenne pendant les deux

³⁰ Liebard A., De herde A, 2005, Traité d'urbanisme et d'architecture bioclimatiques, Observ'ER.

³¹ Siret D., 1997, Propositions pour une approche déclarative des ambiances dans le projet architectural. Application à l'ensoleillement, thèse de Doctorat, École d'architecture de Nantes, France. p 67- 68.

équinoxes et petite en hiver. Donc l'intensité du flux solaire est le facteur responsable des conditions climatiques qui caractérisent les différentes saisons.

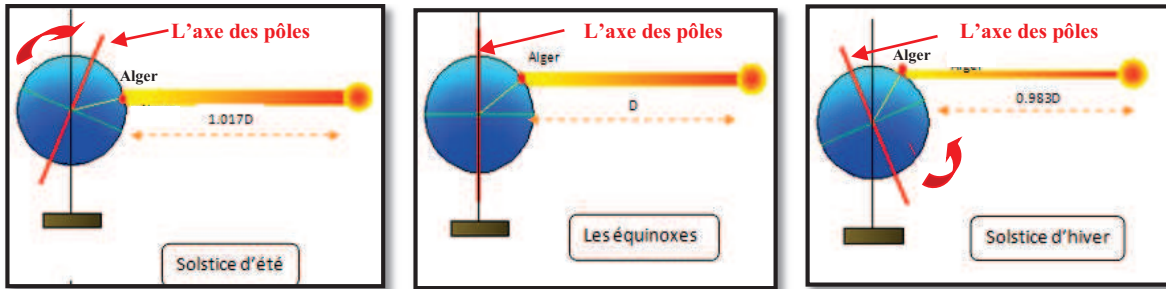


Fig. I. 18 : L'exposition de la ville d'Algier au soleil dans les différentes saisons
(Source: Auteur)

I.2.1.3 Variation de la trajectoire solaire avec la latitude

La carte (cf. Fig. I. 19) illustre la moyenne annuelle de l'ensoleillement pour les différentes régions du monde. Selon cette carte (cf. Fig. I. 19) on remarque que, la ville d'Algier, reçoit de 4 à 5 KWh/m²/jour. La zone du grand Sahara et la zone équatoriale reçoivent la plus grande quantité des irradiations solaires. Le potentiel solaire thermique de l'Algérie représente **quatre fois** la consommation énergétique mondiale³². Donc on possède en Algérie une opportunité qu'on doit exploiter. D'autre part, la variation de la moyenne annuelle de l'ensoleillement en matière de quantité et d'intensité est due à la variation de la trajectoire solaire (chemin solaire) en fonction de la latitude, représentée dans les diagrammes solaires de la figure (Fig. I. 20).

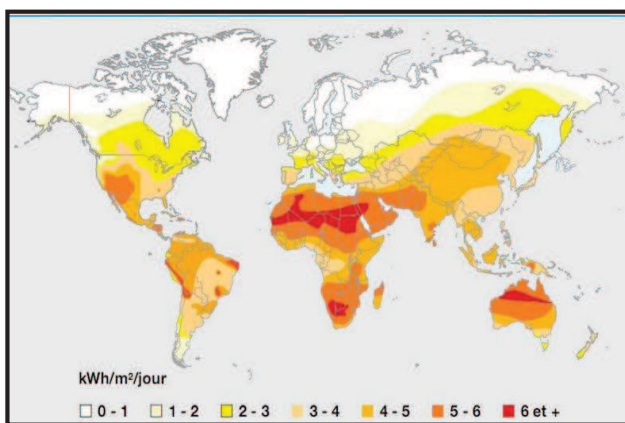


Fig. I. 19 : Carte d'ensoleillement moyen annuel mondial
(Source : <http://tpesolaire.chez.com/>)

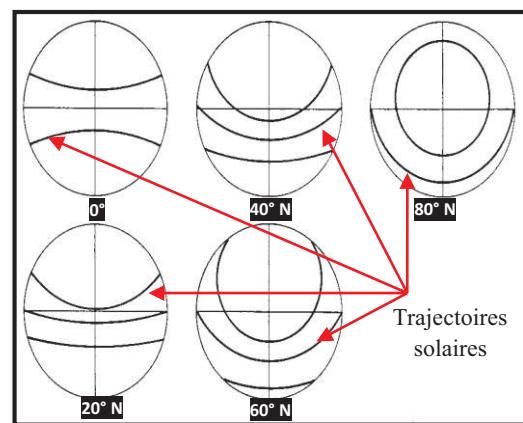


Fig. I. 20 : Les digrammes des différentes latitudes.
(Source : Jacques Teller)

³² Nait Nadia, 2011, 'La réhabilitation énergétique dans les logements collectifs existants cas du climat semi aride de Constantine', mémoire de magistère, université de Constantine, Algérie.

I.2.2 Mouvement apparent du Soleil :

Afin de faciliter l'étude de l'ensoleillement en architecture on considère que, la terre et le bâtiment sont stables et immobiles et que c'est le soleil qui est en mouvement (cf. Fig. I. 21). C'est ce qu'on appelle le mouvement apparent du soleil³³, suivant ce principe, le soleil passe par différentes positions. Ce passage successif est à l'origine du changement progressif des conditions climatiques tout au long de la journée, de la saison et de l'année. La position du soleil pour un moment et un emplacement de l'observateur donnés, peut-être désignée à l'aide des coordonnées angulaires solaires qui sont : l'azimut solaire et la hauteur solaire.

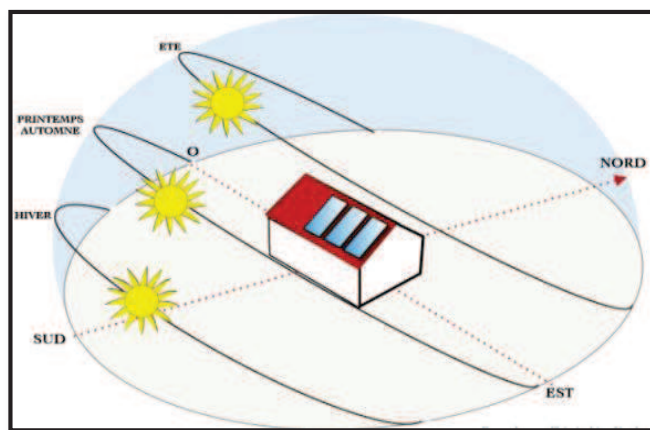


Fig. I. 21 : Le mouvement apparent du soleil autour de la terre et du bâtiment.

(Source : <http://www.energieplus-lesite.be/>)

I.2.2.1 Repérage de la position du soleil : (les coordonnées angulaires solaires)

En architecture, la position du soleil peut être déterminée par rapport à un point fixe (comme l'emplacement d'un bâtiment) par ses deux coordonnées :

- L'angle de la hauteur solaire (A) : qui est l'angle que fait la direction du soleil avec le plan horizontal, il est compté de 0° à 90° à partir de l'horizon vers la voûte céleste (cf. Fig. I. 22).
- L'angle d'azimut solaire (B) : est l'angle créé entre le plan vertical passant à la fois par le soleil et par le plan vertical Nord-Sud. Cet angle est de 0° au sud, conventionnellement positif vers l'ouest et négatif vers l'est³⁴ (cf. Fig. I. 22).

³³ Givoni B., 1978 'l'homme l'architecture et le climat', le Moniteur, Paris, France, p 205.

³⁴ Givoni B., 1978 'l'homme l'architecture et le climat', le Moniteur, Paris, France, p 208.

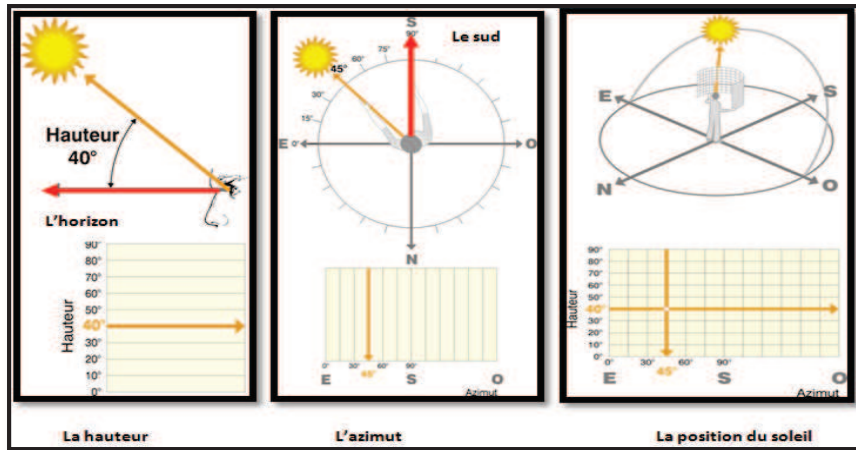


Fig. I. 22 : Les coordonnées angulaires solaires
 (Source : <http://www.energieplus-lesite.be/>).

I.2.2.2 Coordonnées solaires spécifiques :

I.2.2.2.1 La hauteur solaire à midi

C'est la hauteur maximale qu'atteigne le soleil dans sa course journalière. Elle change d'une saison à une autre et elle est égale à :

$$H \text{ max} = 90^\circ - L \text{ (Pour les équinoxes)}$$

$$H \text{ max} = 90^\circ - L - 23^\circ 27' \text{ (Pour le solstice d'hiver)}$$

$$H \text{ max} = 90^\circ - L + 23^\circ 27' \text{ (Pour le solstice d'été), Dont : L est la latitude (l'exemple numérique de la ville d'Alger (cf. Chap. I, section 2.1.2).}$$

I.2.2.2.2 L'azimut du levé et du coucher du soleil

Dans seulement deux jours de l'année, le soleil se lève à l'est et se couche à l'ouest ; pour tous les autres jours, le soleil se lève au sud-est ou bien au nord-est et se couche au sud-ouest ou bien au nord-ouest. Ce qui influence la durée d'ensoleillement. Ce n'est qu'aux équinoxes de printemps et d'automne que, la durée du jour est égale à celle de la nuit.³⁵ Le mouvement du soleil est caractérisé par l'équation suivante :

$$\sin A = \sin L \sin d + \cos L \cos d \cos H$$

$$\sin B = \sin H \cos d \sec A$$

³⁵ Givoni B., 1978 'l'homme l'architecture et le climat', le Moniteur, Paris, France, p 211.

Dont :

H : la latitude

d : la déclinaison

A : la hauteur solaire

L : l'angle horaire

B : l'azimut

I.2.2.3 Temps relatif au soleil :

I.2.2.3.1 Le midi solaire :

Le midi solaire est l'instant où le soleil est situé au sud ou au nord de l'observateur (azimut=0°). L'angle horaire (h) mesure le mouvement relatif du soleil par rapport à midi, en degré sur un plan perpendiculaire à l'axe du monde, chaque heure représente un écart longitudinal de 15°. ³⁶

I.2.3 Outils d'étude de l'ensoleillement en architecture :

Si les méthodes graphiques relatives à l'étude de l'ensoleillement ou de l'éclairage sont nombreuses, elles relèvent toujours du domaine de la géométrie projective, de manière exclusive dans le cas des méthodes graphiques et partiellement pour les méthodes numériques³⁷. Il existe plusieurs outils d'investigation et de simulation de l'ensoleillement mais, nous allons nous limiter à la présentation des outils fréquemment utilisés.

I.2.3.1 Les outils graphiques (diagrammes et abaques solaires) :

Cette étude s'appuie sur la représentation de l'hémisphère terrestre sur un schéma circulaire en deux dimensions (2 D), accompagné des tracés représentatifs des courses solaires relatives aux différents mois, d'un réseau de coordonnées solaires (azimuts et hauteurs), et des lignes qui représentent les heures de la journée. Le regroupement de ces données sur un même graphique permet de projeter les ombres et de lire par la suite, les durées d'exposition solaire et d'occultation. Les abaques et les diagrammes solaires utilisent comme support graphique une carte du ciel³⁸. Cependant, le principe de travail sur les deux outils n'est pas le même.

³⁶ Givoni B., 1978 'l'homme l'architecture et le climat', le Moniteur, Paris, France, p 208.

³⁷ Francis Miguet, 2000, 'Paramètres physiques des ambiances architecturales : Un modèle numérique pour la simulation de la lumière naturelle dans le projet urbain', Thèse de doctorat, École d'Architecture de Nantes, p 75

³⁸ Bernard P. Francis M., 2012, Soleil et architecture - Potentiel climatique, dossier Techniques de l'Ingénieur, Paris, France. p 4.

I.2.3.1.1 Les abaques solaires

Les abaques solaires doivent permettre le passage d'une latitude à une autre, par l'intermédiaire d'une construction géométrique simple. L'altitude solaire (cf. Fig. I. 23) met en œuvre la rotation d'un disque fixe transparent portant les parcours du soleil gradués en heures, pour diverses dates. L'abaque élaboré par le centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB) met en œuvre la translation des parcours du soleil sur une carte du ciel développée sur un rectangle.

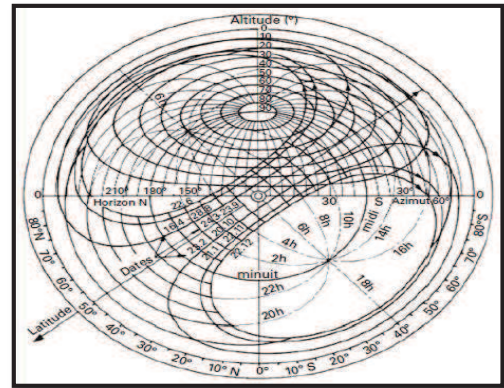


Fig. I. 23 : L'altitude solaire.

(Source : Bernard P. Francis M., 2012)

Ces abaques permettent à partir des hauteurs et des azimuts ainsi repérés, d'effectuer les tracés d'ombre sur les plans et sur les élévations. Les abaques solaires ne permettent pas les études directes d'insolation, d'éclairement et d'irradiation³⁹. Cet outil est appelé aussi « le Girasol ».

I.2.3.1.2 Les diagrammes solaires

Pour étudier l'ensoleillement on utilise le diagramme solaire qui est l'outil qui regroupe toutes les données qui aident à repérer le soleil dans le ciel et dans le temps. Il représente une projection du mouvement apparent du soleil. Pour faciliter sa lecture, on représente généralement la course solaire par un diagramme en coordonnées rectangulaires mais, il existe aussi d'autres représentations.

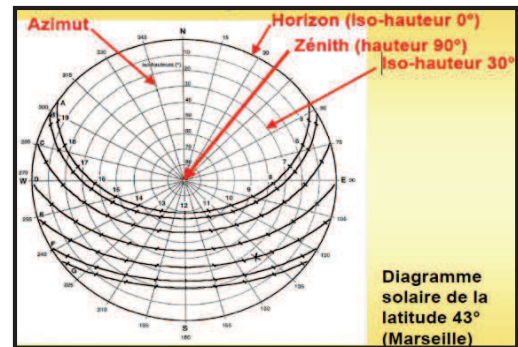


Fig. I. 24 : Les diagrammes solaires

(Source : <http://www.energieplus-lesite.be/>

Jean-Louis Izard)

a. Types de diagrammes solaires :

Il existe plusieurs méthodes de projection des diagrammes solaires que nous allons présenter dans cette section, chaque projection nous donne un type de diagramme. La

³⁹ Bernard P. Francis M., 2012, Soleil et architecture - Potentiel climatique, dossier Techniques de l'Ingénieur, Paris, France. p 4.

construction des diagrammes solaires est issue d'une modélisation mathématique, permettant de représenter la trajectoire du soleil en deux dimensions (2D). Les coordonnées solaires à un moment et à une latitude donnés, sont dérivées des équations suivantes.

- **Algorithme pour le calcul numérique de la position du soleil par rapport à une face quelconque :**

La déclinaison solaire (∂) est l'angle compris entre le rayon solaire et le plan équatorial, elle est donnée en fonction de la date. Elle permet de déterminer sur la sphère céleste la position du soleil,⁴⁰ qui varie selon un cycle de quatre ans. On peut calculer sa valeur moyenne par la formule suivante :

$$\partial = 0.33281 - 22.984\cos J' - 0.34990\cos 2J' - 0.13980\cos 3J' + 3.7872\sin J' + 0.03205\sin 2J' + 0.07187\sin 3J'$$

Dont :

∂ : la déclinaison solaire en degré.

j : le numéro d'ordre du jour considéré dans l'année à partir du premier janvier ($1 \leq j \leq 365$) et $j' = 360^\circ j / 365,25$.

Concernant les coordonnées solaires, la hauteur du soleil (α) est donnée par la formule suivante :

$$\sin \alpha = \sin \Phi * \sin \partial + \cos \Phi * \cos \partial * \cos \omega$$

Tandis que, l'azimut du soleil, α_s , est égal

$$\alpha : \cos \alpha_s = \sin \Phi \sin \alpha - \sin \partial / \cos \Phi \cos \alpha$$

Dont : (Φ) est la latitude du lieu, (∂) la déclinaison solaire du jour considéré et (ω) l'angle en radian correspondant à l'heure solaire du jour considéré (varie entre -12 et $+12 * \pi/12$).

Nous allons présenter les différentes méthodes de projection et les types de diagrammes solaires qui en découlent :

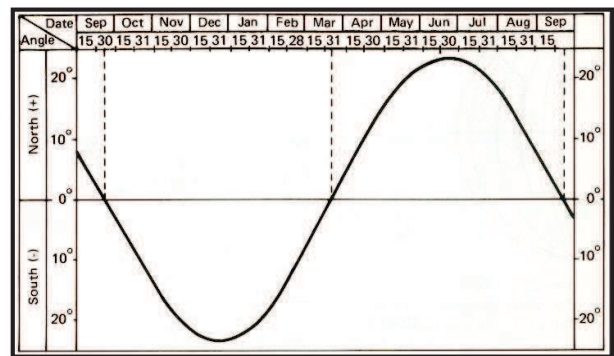


Fig. I. 25 : La déclinaison du soleil en fonction de la date

(Source : Jacques Teller)

⁴⁰ **Bellara Samira**, 2005 'Impact de l'orientation sur le confort thermique intérieur dans l'habitation collective, magistère, université de Mentouri, Constantine.

- **Projection cylindrique (ou diagramme de Waldram) :**

Dans cette projection, la hauteur angulaire du soleil est représentée par une projection de l'hémisphère céleste sur une surface verticale cylindrique, où les lignes verticales représentent les azimuts et les lignes horizontales représentent les hauteurs angulaires du soleil (cf. Fig. I. 26). Ce type de diagramme est utilisé particulièrement, au Royaume-Uni et aux États-Unis. Il est très utile pas seulement dans l'étude des irradiances solaires mais aussi, dans l'étude : des fenêtres, du champ normal (horizontal), de la vision humaine et de la lumière diffuse⁴¹. Pour l'étude de l'ensoleillement, on superpose le tracé de la course solaire des différents mois, pour obtenir le diagramme cylindrique (cf. Fig. I. 26).

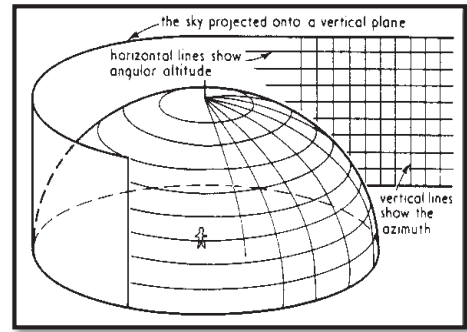


Fig. I. 26 : Principe de la projection cylindrique
(Source : Jacques Teller)

- **Projection sphérique :**

Elle consiste à projeter l'hémisphère sur un plan parallèle au cercle d'horizon⁴². Il découle de ce principe de projection les quatre méthodes suivantes :

- **Projection gnomonique**

Dans ce type de projection on considère que, l'observateur est le centre de projection, puis on projette les cercles de l'horizon sur le plan qu'y est parallèle. On trace un cercle sur le plan parallèle, dont le diamètre du cercle est la distance orthogonale entre l'observateur et le point d'intersection du tangent du cercle de l'horizon et de l'azimut. Pour cette méthode, les points projetés sortent au-

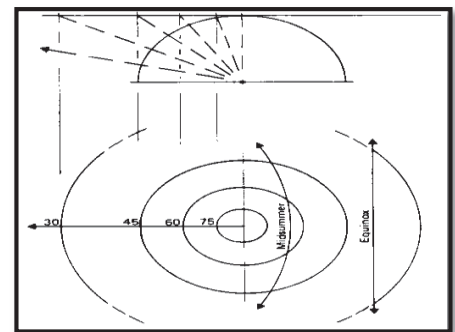


Fig. I. 27 : Principe de la projection sphérique
(Source : Jacques Teller)

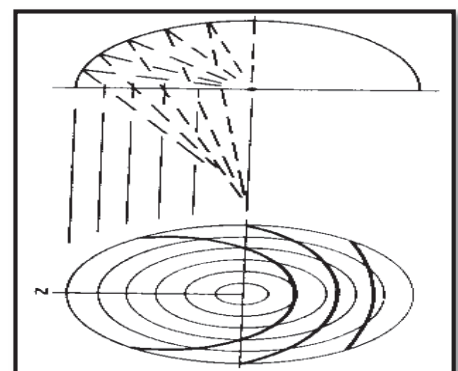


Fig. I. 28: Principe de la projection gnomonique
(Source : Jacques Teller)

⁴¹ Jacques Teller, 'Géométrie solaire' cours 2, Université de Liège, [En ligne] www.lemma.ulg.

⁴² Jacques Teller, 'Géométrie solaire' cours 2, Université de Liège, [En ligne] www.lemma.ulg.

delà du cercle de l'horizon. En effet, ce type de projection présente beaucoup d'inconvénients.

○ Projection orthographique

Cette projection ressemble à la précédente, quoique les points projetés soient les points d'intersection entre le cercle d'horizon et les azimuts. Dans ce cas, tous les cercles représentent des hauteurs solaires qui se trouvent à l'intérieur du grand cercle qui délimite l'horizon. L'inconvénient de cette méthode, est que les cercles d'altitude sont trop serrés près du cercle d'horizon et trop desserrés près du centre (cf. Fig. I. 29). Il en suit que, la précision de cette méthode est insuffisante pour les latitudes supérieures à 40°. Elle est utilisée particulièrement, dans le calcul de l'éclairage naturel des locaux.⁴³

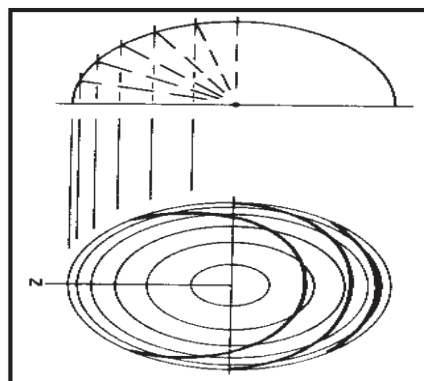


Fig. I. 29 : Principe de la projection orthographique
(Source : Jacques Teller)

○ Projection équidistante

Cette méthode est venue apporter des améliorations aux méthodes précédentes ; en proposant de maintenir les cercles d'altitude, définis par des distances angulaires constantes et de projeter les points de l'hémisphère sur le cercle d'horizon par une méthode de projection radiale, dont le centre est mobile et se déplace sur l'axe zénith-nadir entre les distances de 1.6 à 1.75 fois du rayon situé au-dessous de la position de l'observateur.⁴⁴

○ Projection stéréographique

La méthode des projections stéréographiques est très semblable à la précédente. La différence est que le centre de la projection radiale est fixe et situé au nadir. Les cercles d'altitude sont légèrement moins serrés aux faibles hauteurs angulaires qu'aux grandes. Ceci a l'avantage de fournir une meilleure résolution à l'horizon qu'au zénith et convient donc parfaitement, pour l'introduction des masques solaires dans l'analyse du site. De plus, sa formulation mathématique et sa construction graphique

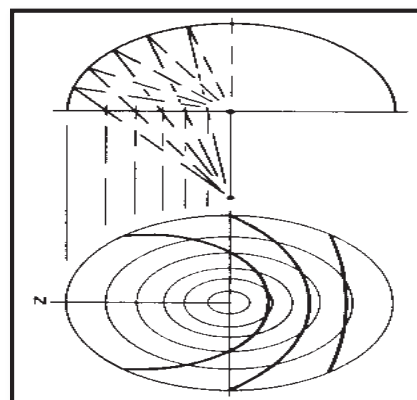


Fig. I. 30 : Principe de la projection stéréographique
(Source : Jacques Teller)

⁴³ Jacques Teller, 'Géométrie solaire' cours 2, Université de Liège, [En ligne] www.lemma.ulg.ac.be

⁴⁴ Idem.

sont beaucoup plus simples que les autres méthodes de projection. Cette méthode est de pratique courante au Royaume-Uni, en Australie et dans le Commonwealth⁴⁵.

b. Méthode d'utilisation des diagrammes solaires dans l'étude des ombres :

Les méthodes de la géométrie descriptive permettent de projeter les ombres sur un plan de n'importe quel volume élémentaire, suivant une direction donnée. Le tracé des masques solaires se fait à l'aide des angles d'ombre qui indiquent la position du soleil par rapport à une façade d'un bâtiment d'orientation donnée. Il est souvent utilisé pour décrire la performance c'est-à-dire l'ombre produite par un dispositif d'ombrage. On distingue les deux angles d'ombre suivants :

- **Angle d'ombre horizontal (HSA) :** Il est la différence entre l'azimut de la position du soleil et l'orientation de la façade du bâtiment considéré. il est donné par la formule suivante : $HSA = AZI - ORI$ (cf. Fig. I. 31).
- **Angle d'ombre vertical (VSA) :** (ou «Angle de profil» pour certains auteurs) : Il est mesuré dans un plan perpendiculaire à la face du bâtiment. VSA peut exister uniquement lorsque le HSA est compris entre (-90°) et (90°) , c'est-à-dire quand le soleil atteint la façade du bâtiment considéré. Quand le soleil est juste en face, à savoir quand $ORI = AZI$ ($HSA = 0^\circ$), le VSA est le même que l'angle d'altitude solaire ($VSA = ALT$). Quand le soleil est à côté, son angle d'altitude sera projeté en parallèle avec la façade du bâtiment sur le plan perpendiculaire et le VSA sera plus grand que l'ALT⁴⁶ (cf. Fig. I. 31). Ces angles d'ombre sont utilisés dans la détermination des dimensions des auvents et des flancs pour assurer une bonne protection solaire.

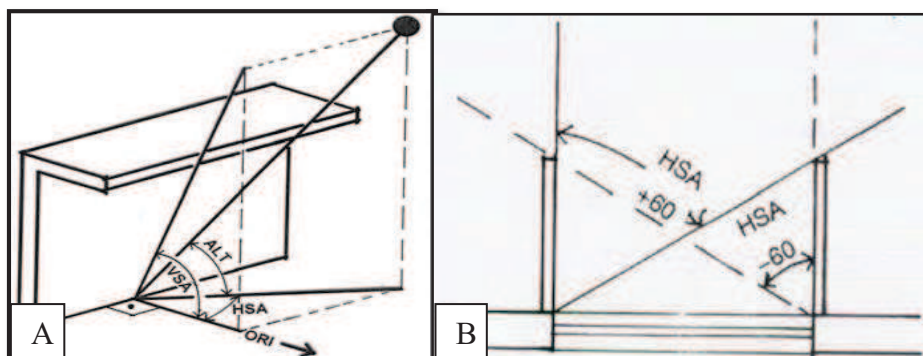


Fig. I. 31 : Les angles d'ombre. (A) auvent, (B) les flancs

(Source : S. Zokolay. Steven V., 1996)

⁴⁵ Jacques Teller, 'Géométrie solaire' cours 2, Université de Liège, [En ligne] www.lemma.ulg.

⁴⁶ S. Zokolay. Steven V., 1996, 'solar geometry', passive and low energy architecture international (plea notes)

Ces techniques graphiques résolvent également le tracé des ombres propres et portées (Ruegg 1993)⁴⁷. Dans le tracé des ombres, on projette les lignes verticales qui fuient vers le zénith, qui sont représentées en projection sphérique zénithale par des rayons et les horizontales qui fuient à l'horizon en deux points diamétralement opposés sur les deux côtés du cercle (cf. Fig. I. 32). Elles sont donc représentées en projection sphérique zénithale par des courbes⁴⁸. Il existe des masques continus qui balayent tous les azimuts de 0° jusqu'à 360° (cf. Fig. I. 33/ A) et des masques isolés qui n'occupent qu'une certaine surface du diagramme, limitée par deux angles d'azimut et une hauteur donnée (cf. Fig. I. 33/ B).

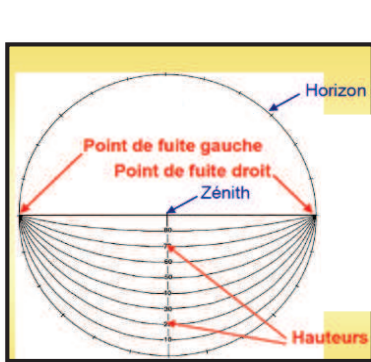


Fig. I. 32 : Le tracé des hauteurs des masques
(Source : Jean-Louis IZARD)

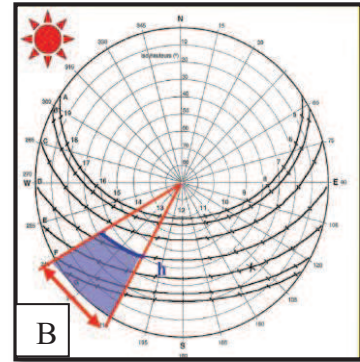
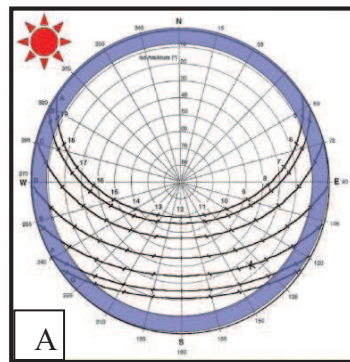


Fig. I. 33 : Le tracé des masques : (A) : masque continu, (B) : masque isolé
(Source : Jean-Louis Izard)

• **L'angle d'ombre rapporteur**

Il s'agit d'un rapporteur d'angle semi-circulaire, montrant deux ensembles de lignes (cf. Fig. I. 34) :

- Des lignes radiales : donnent la lecture de HSA qui est égal à 0° au centre, -90 ° à gauche et +90° à droite.
- Des arcs : coïncident avec les milieux d'altitude le long de la ligne médiane mais, ils s'écartent et se convergent par la suite dans les deux coins du rapporteur ; ceux-ci donnent les valeurs du VSA. (cf. Fig. I. 34).

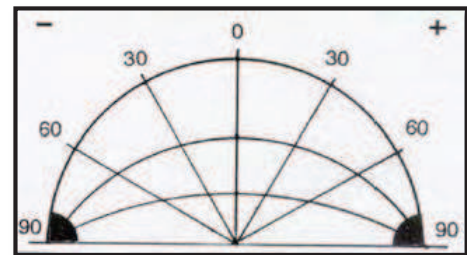


Fig. I. 34 : L'angle d'ombre rapporteur
(Szokolay. Steven V. 1996)

⁴⁷ S. Zokolay. Steven V., 1996, 'solar geometry', passive and low energy architecture international (plea notes).p 85- 86.

⁴⁸Jean-Louis IZARD., 'Outils de représentation de la course apparente du soleil', école nationale supérieure de d'Architecture, Marseille.

I.2.3.2 Outils expérimentaux :

Il existe plusieurs outils expérimentaux utilisés dans l'étude de l'ensoleillement mais, nous allons présenter dans cette section, ceux qui sont couramment utilisés. On distingue deux types d'outils : les outils utilisés sur terrain comme : l'horizontoscope et la photographie fish-eye ainsi que, ceux utilisés à l'intérieur d'un espace où le soleil est simulé à l'aide d'une source de lumière comme : les maquettes et l'héliodon.

I.2.3.2.1 L'horizontoscope :

L'horizontoscope est un outil d'étude de l'ensoleillement qui permet de superposer les trajectoires solaires et les masques environnants, autour d'un point donné d'un plan, d'une maquette ou d'un site réel.⁴⁹ Ce dispositif comporte un socle, des diagrammes circulaires et une coupole transparente (cf. Fig. I. 35/ A). Les parties non masquées des trajectoires représentent les périodes pour lesquelles le point considéré est potentiellement ensoleillé. Ce dispositif fonctionne pour une latitude fixe. Un observateur regardant verticalement l'horizontoscope effectue la lecture directe des périodes d'ombrage et d'ensoleillement du point considéré⁵⁰ (cf. Fig. I. 35/ B).

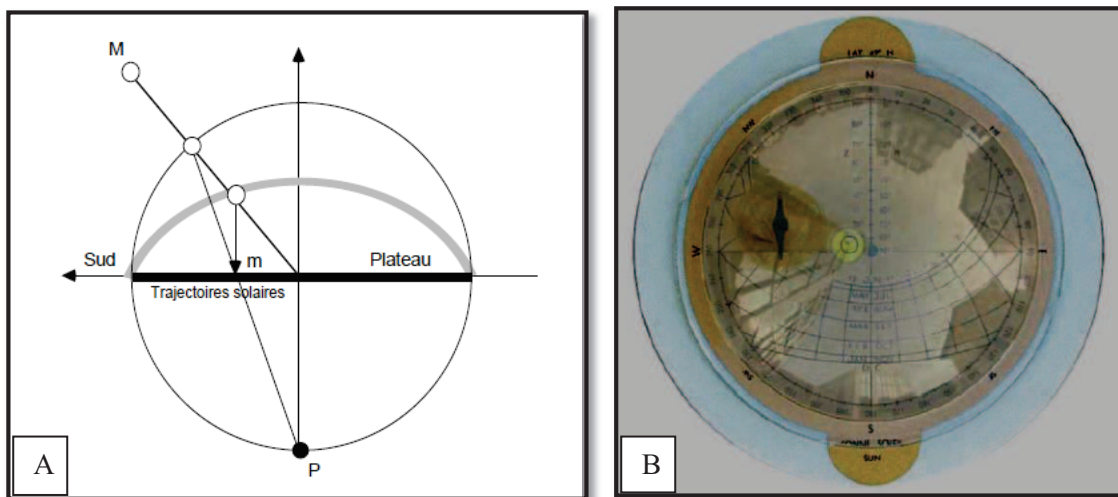


Fig. I. 35 : (A) Schéma de principe de l'horizontoscope, (B) superposition de l'abaque solaire et le reflet de l'environnement.

(Source : Bernard P. Francis M., 2012)

⁴⁹ Siret D., 1997, Propositions pour une approche déclarative des ambiances dans le projet architectural. Application à l'ensoleillement, thèse de Doctorat, École d'architecture de Nantes, France.

⁵⁰ Idem.

I.2.3.2.2 La photographie fish-eye :

L'utilisation d'un appareil photographique classique, doté d'un objectif fish-eye, permet en prenant le cliché verticalement vers le haut, d'obtenir une projection équidistante du site et des masques solaires. En superposant par la suite un abaque à la photographie (dont sa projection correspond aux caractéristiques de l'objectif et à la latitude du lieu d'intervention)⁵¹ nous pouvons déterminer les périodes d'exposition et d'occultation du point étudié (cf. Fig. I. 36).

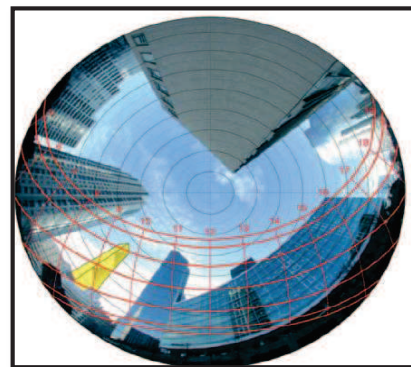


Fig. I. 36 : Illustration du potentiel solaire d'un point donné en utilisant les photographie fish- eye
(Source : Bernard P. Francis M., 2012)

I.2.3.2.3 La maquette :

Si la composition volumétrique à étudier est très complexe, l'étude sur maquette sera plus rapide que sur les graphes. Il suffit d'éclairer la maquette par un projecteur équipé d'une lentille de Fresnel à défaut et d'une lampe placée à six ou à huit fois la plus grande dimension de la maquette pour obtenir une simulation d'ensevelissement⁵².

I.2.3.2.4 L'héliodon :

Ce dispositif reproduit les taches d'ombre et du soleil sur une maquette, pour un instant qui correspond à la position solaire pour une latitude donnée. L'héliodon est composé d'un plateau articulé et d'une source lumineuse fixe. P. Steadman (1992) a appelé solarscope (en anglais) le dispositif analogue doté d'un plateau fixe et d'une source articulée. Quel que soit le système, la source est placée au foyer d'un miroir parabolique reproduisant les rayons parallèles du soleil. Les différentes positions du plateau et de la source simulent les positions relatives de la terre et du soleil.⁵³ À l'aide de ce dispositif, une maquette installée sur le plateau reçoit un ensoleillement factice, qui correspond aux jours et aux heures simulés (cf. Fig. I. 37). Le réglage des paramètres temporels s'opère suivant les diagrammes propres à l'héliodon. L'inconvénient de ce dispositif, est qu'il ne permet pas d'utiliser des maquettes

⁵¹ **Bernard P. Francis M.**, 2012, Soleil et architecture - Potentiel climatique, dossier Techniques de l'Ingénieur, Paris, France p 8.

⁵² **Idem.**

⁵³ **Siret D.**, 1997 'Propositions pour une approche déclarative des ambiances dans le projet architectural Application à l'ensevelissement, thèse de Doctorat, École d'architecture de Nantes, France. p 89- 90.

d'étude comportant des éléments mobiles ou interchangeables. Ces maquettes peuvent être couplées d'un cadran solaire.⁵⁴

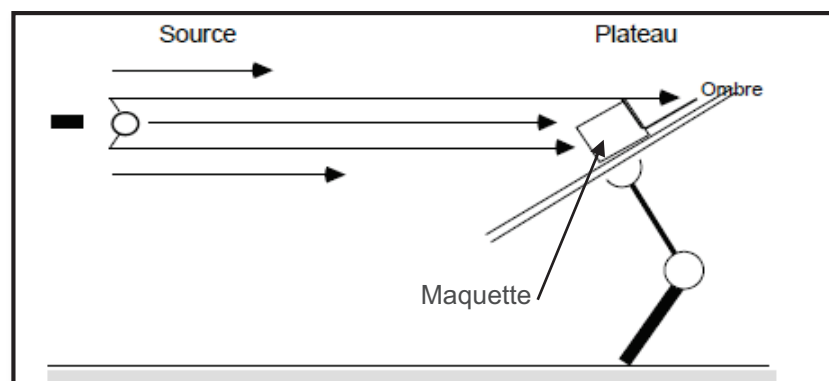


Fig. I. 37 : Schéma de principe de l'héliodon.

(Source : Bernard P. Francis M., 2012)

I.2.3.3 Outils et méthodes numériques :

Les outils informatiques, particulièrement ceux de la géométrie algorithmique et de la synthèse d'image ont notablement amplifié les possibilités de simulation de l'enseillement. Ils permettent une connaissance à la fois exacte et formelle (polygones géométriques ou intervalles temporels) des états d'enseillement d'une maquette numérique d'objets existants ou projetés. Ces outils de simulation de l'enseillement offrent de nouvelles possibilités de croisement et de traitement analytique des résultats⁵⁵. Il existe plusieurs logiciels qui font la simulation de l'enseillement, dont on cite à titre d'exemple : Solène, Vasari et Ecotect qui est utilisé dans la présente étude (cf. Chap. V, section, 5.2.1).

I.3 L'énergie solaire :

Par convention, le soleil libère de l'énergie sous forme d'onde électromagnétique. Ces ondes sont définies comme étant des vibrations ondulaires rapides des champs électrique et magnétique, ou bien comme un flux de particules d'énergie appelé photon (définition abstraite).⁵⁶ Avec sa température d'émission de 5500°C,⁵⁷ le soleil rayonne la plus grande partie de son énergie, dans les hautes fréquences (courtes longueurs d'onde) (cf. Fig. I. 38).

⁵⁴ **Bernard P. Francis M.**, 2012, Soleil et architecture - Potentiel climatique, dossier Techniques de l'Ingénieur, Paris, France, p 7-8.

⁵⁵ **Siret D.**, 1997, Propositions pour une approche déclarative des ambiances dans le projet architectural. Application à l'enseillement, thèse de Doctorat, École d'architecture de Nantes, France. p 92.

⁵⁶ **Mazria E.**, 2006 ' le guide de la maison solaire', parenthèses, p 13.

⁵⁷ **Mazria E.**, 2006 ' le guide de la maison solaire', parenthèses, p 13.

Cette l'énergie émise par le soleil est principalement contenue dans le spectre visible et le proche infrarouge (cf. Fig. I. 38).

Le spectre visible (La lumière visible) s'étend de 0.35 à 0.75 microns et représente 46 % de l'énergie totale émise par le soleil. La lumière naturelle comprend toutes les radiations fondamentales du violet de très courte longueur d'onde (0.35m) jusqu'au rouge de grande longueur d'onde (0.75m). 49 % du rayonnement énergétique émis se situe au-delà du rouge visible dans l'infrarouge (cf. Fig. I. 38). Concernant l'ultraviolet il représente les radiations de longueur d'onde inférieure à celle de l'extrémité violet du spectre visible (moins de 0.35m) (cf. Fig. I. 38).

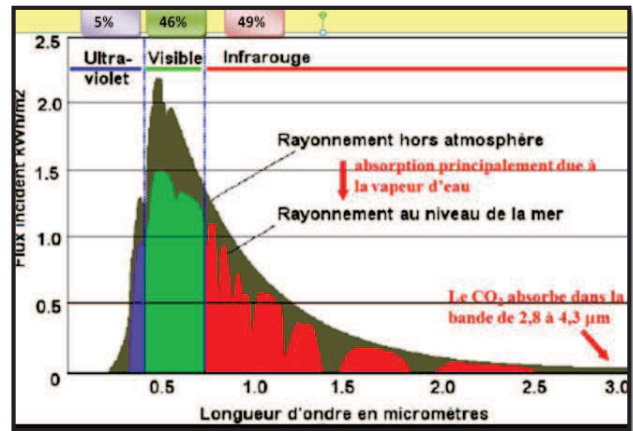


Fig. I. 38 : Le flux solaire incident sur terre.

Source : (www.centrere.uqam.ca)

I.3.1 Le rayonnement solaire que reçoit un bâtiment :

La taille de la terre si petite en la comparant avec le soleil, ne lui permet d'intercepter qu'une si petite quantité d'énergie radiante, estimée à deux milliardièmes de la puissance totale émise par le soleil. La constante solaire qui définit l'intensité du rayonnement solaire atteignant la limite de l'atmosphère terrestre est de 1353 w,⁵⁸ dont 60% sont réfléchis et 40% continuent leur chemin jusqu'aux bâtiments (cf. Fig. I. 39).

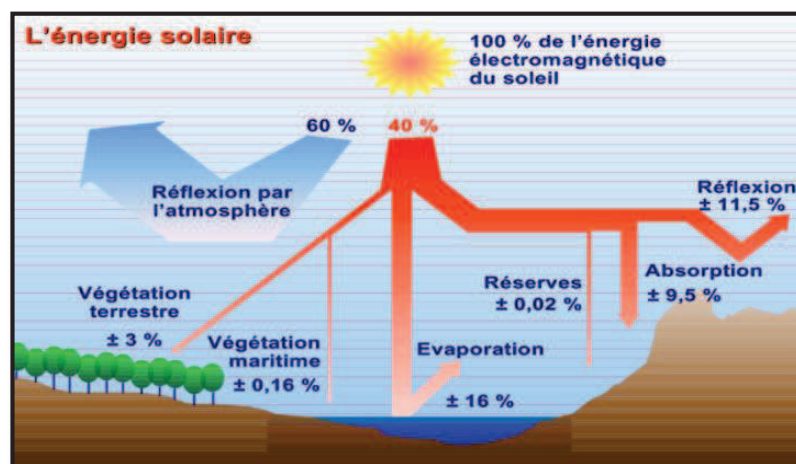


Fig. I. 39 : L'énergie solaire à la limite de l'atmosphère

(Source : Liebard A., De herde A, 2005)

⁵⁸ Liebard A., De herde A, 2005, Traité d'urbanisme et d'architecture bioclimatiques Observ'ER p a2.

En tant qu'architecte bio-climaticien on s'intéresse à la partie du rayonnement solaire transmise par l'atmosphère, donc nous allons étudier dans cette section le devenir de la partie du rayonnement solaire qui atteint la terre. En effet, le rayonnement solaire total est la somme des trois rayonnements : absorbé, réfléchi et transmis. Le rayonnement solaire total que reçoit une paroi représente seulement une petite partie du rayonnement solaire qui traverse l'atmosphère ; car la grande partie est diffusée ou bien absorbée un nombre incalculable de fois, par les particules et les poussières qui se trouvent dans l'atmosphère. Une très simple équation permet d'exprimer la relation entre les parties : absorbée(a) réfléchi(r) et transmise(t) de l'énergie solaire contenue dans le rayonnement solaire total :

$$A+r+t= 1 \quad 59$$

I.3.1.1 Rayonnement absorbé :

Le rayonnement absorbé est la partie du rayonnement solaire qui parvient à traverser la paroi. La quantité d'énergie absorbée (la) est le produit du rayonnement solaire incident (li), par le facteur d'absorption de la surface (a). Elle est donnée par la formule suivante :

$$la = a li \quad 60$$

Cette relation vaut pour des angles d'incidence allant jusqu'à environ 45° ; mais au-delà de cet angle, la quantité d'énergie absorbée décroît progressivement, du fait que le rayonnement incident s'approche de la parallèle au mur. En architecture bioclimatique, on utilise l'absorption pour optimiser le captage solaire, soit en augmentant l'absorption des surfaces opaques ou bien des surfaces vitrées. L'absorption dépend de la nature du matériau, de sa couleur et de l'inclinaison de la surface extérieure de la façade réceptrice.

I.3.1.2 Rayonnement réfléchi :

La réflexion des rayons solaires et leur rejet vers l'atmosphère leur interdit de traverser la paroi ou l'obstacle qu'elles rencontrent dans leur trajet. La quantité de ce rayonnement réfléchi dépend de plusieurs facteurs en relation directe avec la paroi réceptrice, comme : la couleur et la nature de la surface extérieure de cette paroi ainsi que, de son angle d'inclinaison. Ces facteurs déterminent le facteur de réflexion connu par l'albédo. Le calcul

⁵⁹ Givoni B., 1978 'l'homme l'architecture et le climat', le Moniteur, Paris, France, p200.

⁶⁰ Givoni B., 1978 'l'homme l'architecture et le climat', le Moniteur, Paris, France, p200.

du rayonnement solaire réfléchi est très délicat, mais sa simplification donne la relation suivante :

$$IRV = (r \cdot ITH) / 2$$

Dont :

IRV : le rayonnement réfléchi tombant sur une surface verticale.

r : le facteur de réflexion moyen.

ITH : le rayonnement global tombant sur une surface verticale.

Cette équation est basée sur l'hypothèse que le rayonnement réfléchi est parfaitement diffusé.⁶¹ En architecture bioclimatique, on utilise la réflexion pour rejeter les rayons solaires d'été.

I.3.1.3 Rayonnement transmis :

La quantité du rayonnement solaire transmis est la partie du rayonnement qui non seulement parvient à traverser la paroi, mais aussi à atteindre sa surface interne. Autrement dit, c'est la partie de l'énergie absorbée qui continue son chemin vers l'espace intérieur.

I.3.2 Les apports solaires :

I.3.2.1 Flux constituant l'apport solaire :

Le rayonnement solaire global ou le flux global que reçoit une paroi comprend trois composantes : la composante directe qui représente le flux qui frappe directement la paroi, la composante diffuse qui est la partie du rayonnement solaire qui provient de la voûte céleste et la composante réfléchi qui est le flux qui arrive à la surface après avoir été réfléchi par les différents corps environnants (cf. Fig. I. 40).

La quantité du flux solaire global est donnée par la relation suivante : $L = I D + I d + I r$ ⁶²

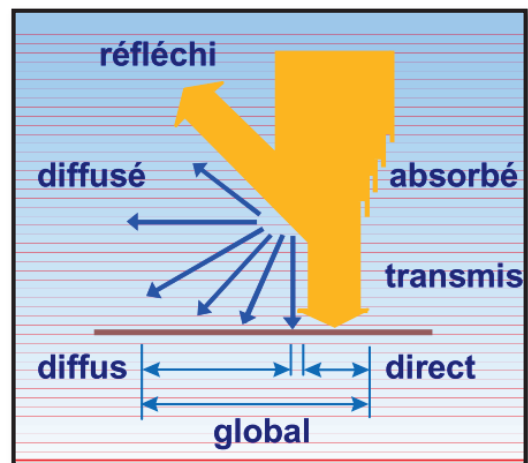


Fig. I. 40 : Les composantes du rayonnement solaire global

(Source : Liebard A., De herde A, 2005)

⁶¹ Givoni B., 1978 'l'homme l'architecture et le climat', le Moniteur, Paris, France, p204.

⁶² Givoni B., 1978 'l'homme l'architecture et le climat', le Moniteur, Paris, France, p202.

Dont :

ID : le rayonnement direct du soleil

ld : le rayonnement diffusé par le ciel.

lr : le rayonnement réfléchi par l'environnement

I.3.2.1.1 Flux solaire direct :

La constante solaire estimée à $1.94 \text{ cal/cm}^2 \text{ mn}$, soit $1164 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}$, ou encore 1354 w/m^2 ⁶³ est la quantité du rayonnement solaire qui atteint l'atmosphère. Elle ne représente guère la quantité d'énergie qui atteint la façade ou la paroi car elle diminue en traversant l'atmosphère. La partie restante représente le rayonnement solaire direct qui contient le flux solaire direct reçu sur la paroi et provenant directement du soleil. La quantité du rayonnement direct (LD) tombant sur une surface est égale au rayonnement direct normal (IDN) corrigé par l'angle d'incidence (φ) de la surface :

$$LD = IDN \cos \varphi$$

La détermination de l'angle d'incidence se fait en fonction des deux cas suivants :

- Si la surface réceptrice est un mur ou un plan vertical, l'angle d'incidence est calculé en fonction de la hauteur du soleil (a) et de l'angle de position relative du mur (b) :

$$\cos \varphi = \cos a * \cos b$$

- Si le rayonnement direct tombe sur un toit ou un plan horizontal l'angle d'incidence est simplement le complément de la hauteur du soleil ($\varphi = 90^\circ - A$) et le rayonnement direct normal sera donné par la relation suivante :

$$LDH = IDN * \sin A$$
⁶⁴

I.3.2.1.2 Flux solaire diffus :

Lors de sa traversée de l'atmosphère, le flux solaire rencontre des particules et des aérosols qui le diffusent dans toutes les directions. Cette partie diffusée représente généralement le un dixième du flux solaire global, elle augmente lorsque le soleil est bas dans le ciel ou en présence de nuages comme le montre le tableau (Tab. I. 1) :

⁶³ Mazria E., 2006 'le guide de la maison solaire', parenthèses p 15.

⁶⁴ Givoni B. 1978 'l'homme l'architecture et le climat' le Moniteur, la France, p202- 203.

Tab. I. 1 : Les rapports du rayonnement solaire en fonction du type de ciel.
(Source : Givoni. B, 1978)

| Conditions de ciel | Rapport du flux direct réel au flux direct max | Rapport du flux diffus au flux direct max |
|--------------------------|--|---|
| Clair | 1 | 0.12 |
| Clair légèrement brumeux | 0.8 | 0.25 |
| Brumeux | 0.6 | 0.35 |
| Couvert | 0.4 | 0.55 |

L'estimation du rayonnement solaire diffus incident sur une surface horizontale (I_{dh}) peut être effectuée en fonction du rayonnement direct normal (I_{dn}) et du coefficient d'extinction atmosphérique (E). Pour un ciel clair, la constante de proportionnalité (K) est de 0.05 (pour $E=0.07$) et 0.15 (pour $E=0.20$) mais, on prend 0.12 (la moyenne) dans l'application de la relation suivante :

$$I_{dh} = K I_{dn}^{65}$$

L'intensité du rayonnement direct normal à la surface de la terre pour un jour clair est donnée par la relation suivante :

$$I_{DN} = I_0 \exp(-E_i / \sin A)$$

I.3.2.1.3 Flux solaire réfléchi :

La composante réfléchie est le rayonnement solaire que réfléchit l'environnement vers la façade. Sa quantité dépend de l'albédo moyen de tous les corps réflecteurs qui est fonction de la couleur, de la texture et de la nature des surfaces. La quantité du rayonnement réfléchi (I_{rv}) est estimée au cas où le rayonnement global tombant sur une surface est connu, en utilisant la relation suivante :

$$I_{rv} = (r \cdot I_{th}) / 2$$

Dont : r : le facteur de réflexion moyen.

I_{th} : le rayonnement global tombant sur une surface horizontale.

Cette équation est basée sur l'hypothèse que, tout le rayonnement solaire réfléchi est parfaitement diffusé ou réfléchi de manière égale dans toutes les directions. Une surface

⁶⁵ Givoni B 1978, l'homme l'architecture et le climat, le Moniteur, la France, p202- 203.

verticale quelle que soit son orientation ne voit qu'une moitié du rayonnement solaire réfléchi par rapport à une surface horizontale⁶⁶.

Tab. I. 2 : Les valeurs d'albédo pour certaines surfaces. (Source : Givoni B 1978)

| Le matériau | Le facteur de réflexion moyen estimé (L'albédo) |
|---|---|
| Forêt sombre, champs verdoyants | 3 à 8% |
| Bâtiments, sable humide, rochers, Asphalte, sol nu sec | 8 à 15% |
| Brique, herbes sèches, déserts étendus de sel | 15 à 25% |
| | 25 à 40% |

Dans tous les milieux, il existe une partie de surface du sol recouverte d'ombre, parfois projetée par des objets aussi petits que des brins d'herbe ou des grains de sable. Donc la proportion de la surface horizontale dans l'ombre doit être prise en considération lors de l'estimation de l'albédo moyen.⁶⁷

I.3.2.2 Types d'apports solaires :

La densité du flux incident du rayonnement solaire direct à l'intérieur d'un espace quelconque est la somme de l'énergie qui provient directement du soleil à travers les surfaces vitrées et celle restituée par les surfaces opaques. La paroi exposée au soleil capte de l'énergie solaire selon deux mécanismes qui nous permettent de distinguer les deux types suivants d'apports solaires :

I.3.2.2.1 Les apports solaires directs :

Ce sont les gains solaires provenant des rayons solaires qui traversent les surfaces vitrées vers l'intérieur des espaces de vie, et contribuent dans l'augmentation de leur température ambiante. Le vitrage représente le capteur solaire le plus simple grâce à sa capacité de transmettre une grande quantité d'énergie solaire. La fraction du rayonnement solaire absorbé par le vitrage est réémise sous forme de rayonnement de grande longueur d'onde. Étant pratiquement opaque au rayonnement de grandes longueurs d'onde (supérieures à 2.5 microns), le vitrage piège le rayonnement solaire réémis à l'intérieur du volume de

⁶⁶ Givoni B, 1978, l'homme l'architecture et le climat, le Moniteur, la France, p203.

⁶⁷ Givoni B, 1978, l'homme l'architecture et le climat, le Moniteur, la France, p204.

l'espace ce qui augmente sa température ambiante. Ce phénomène de piégeage du rayonnement solaire est appelé « l'effet de serre ».⁶⁸

I.3.2.2 Les apports solaires indirects :

Ce sont les gains énergétiques qu'emmagasine la partie opaque et massive de la façade. La paroi opaque absorbe une partie de l'énergie et reflète le reste, donc il n'existe pas une transmission directe. La partie d'énergie absorbée sera diffusée de l'autre côté de la paroi après un certain décalage horaire appelé « le déphasage thermique » à condition que, la température de l'ambiance intérieure soit inférieure à la température extérieure.

En effet, l'ensoleillement des parois opaques influence les transferts de chaleur et réduit les déperditions thermiques du bâtiment, puisque celles-ci sont proportionnelles à la différence entre les températures intérieures et extérieures⁶⁹. La figure (Fig. I. 41) illustre l'évolution des apports solaires annuels à Bruxelles sur une surface horizontale. Par ailleurs, les courbes relatives à l'évolution annuelle des apports solaires (cf. Fig. I. 42) montrent que, la façade sud capte relativement peu d'énergie solaire en été mais, davantage en hiver (grâce à la hauteur du soleil dans le ciel).

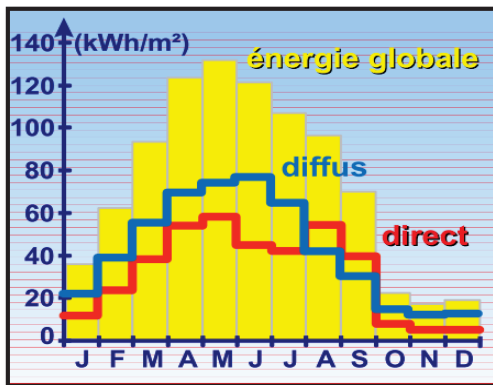


Fig. I. 41 : L'énergie moyenne reçue à Bruxelles sur une surface horizontale
(Source : Liebard A., De herde A, 2005)

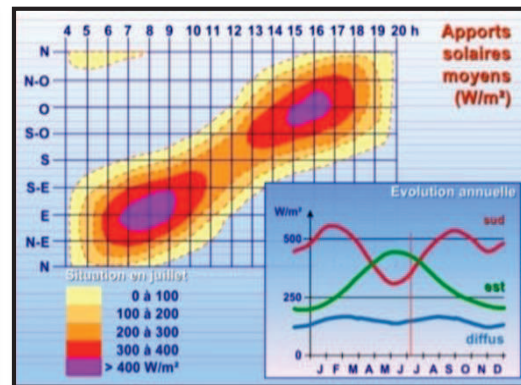


Fig. I. 42 : La moyenne des apports solaires sur une surface verticale - Carpentras .France.
(Source : Liebard A., De herde A, 2005)

I.3.2.3 Facteurs influant sur la quantité des apports solaires :

Sous un ciel clair et bien dégagé, le rayonnement solaire mesuré hors atmosphère est estimé à 1300 W/m², il diminue jusqu'à 1100W/m² lorsqu'il atteint le sol. La quantité

⁶⁸ Liebard A., De herde A, 2005 'Traité d'urbanisme et d'architecture bioclimatiques', Observ'ER, 87a.

⁶⁹ Liebard A., De herde A, 2005 'Traité d'urbanisme et d'architecture bioclimatiques', Observ'ER, 87a.

d'énergie globale incidente qu'apporte ce rayonnement dépend principalement de l'épaisseur et de la qualité de l'atmosphère (cf. Chap. I, section 3.2.1.2), de la nébulosité, de la latitude (cf. Chap. I, section 2.1.3), du type du ciel et de la hauteur solaire. À titre d'exemple : pour une hauteur solaire de 30° les rayons doivent traverser une masse d'air égale au double de l'épaisseur de l'atmosphère⁷⁰. En outre, l'intensité du rayonnement solaire dépend aussi des valeurs déterminant l'inclinaison des rayons solaires et des caractéristiques relatives à la surface réceptrice, parmi lesquels on cite :

I.3.2.3.1 L'angle d'incidence :

L'angle d'incidence est l'angle compris entre : le faisceau de rayons solaires tombant sur une paroi et la paroi elle-même. L'intensité de l'énergie captée augmente à chaque fois que l'angle d'incidence se rapproche du plan normal à la surface réceptrice. Ce phénomène peut être illustré par l'exemple suivant : Le faisceau de rayons solaires est représenté par une poignée de crayons, la surface réceptrice par la feuille et les grains d'énergie par les points (cf. Fig. I. 43).

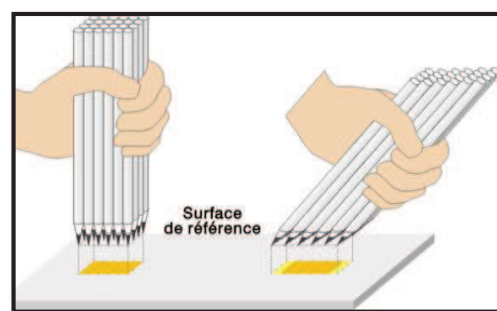


Fig. I. 43 : L'angle d'incidence des rayons solaires et surface de référence
(Source : <http://www.energieplus-lesite.be/>)

Lorsque les crayons sont perpendiculaires à la feuille, les points seront serrés ce qui est expliqué par la forte densité de l'énergie solaire reçue. Lorsque les crayons sont inclinés les points seront éloignés, cela veut dire que la densité de l'énergie solaire reçue a diminué et la surface de référence s'est étalée.⁷¹ Les valeurs du rayonnement direct dans des conditions de beau temps, se mesurent par la quantité d'énergie incidente sur une surface de 1 m^2 perpendiculaire à la direction du rayonnement solaire. Le tableau (Tab. I. 3) donne les pourcentages du rayonnement intercepté par unité de surface pour différents angles d'incidence.

⁷⁰ Mazria E. 2006 'le guide de la maison solaire', parenthèses p 202.

⁷¹ En ligne :[<http://www.energieplus-lesite.be/>].

Tab. I. 3 : Le pourcentage du rayonnement intercepté en fonction de l'angle d'incidence

(Source : www.energieplus-lesite.be)

| Angle d'incidence (degré) | Rayonnement intercepté (pourcentage) |
|---------------------------|--------------------------------------|
| 0 | 100,0 |
| 5 | 99,6 |
| 10 | 98,5 |
| 15 | 96,5 |
| 20 | 94,0 |
| 25 | 90,6 |
| 30 | 86,6 |
| 35 | 81,9 |
| 40 | 76,6 |
| 45 | 70,7 |
| 50 | 64,3 |
| 55 | 57,4 |
| 60 | 50,0 |
| 65 | 42,3 |
| 70 | 34,2 |
| 75 | 25,8 |
| 80 | 17,4 |
| 85 | 8,7 |
| 90 | 0,0 |

a : angle d'incidence
b : hauteur angulaire

D'après le centre scientifique et technique du bâtiment (C.S.T.B, 1986), les ordres de grandeurs retenus pour les calculs du tableau (Tab. I. 4) qui donne la quantité d'énergie solaire reçue en fonction de la hauteur solaire, sont en fonction de la hauteur du soleil au-dessus de l'horizon (cf. Fig. I. 44).

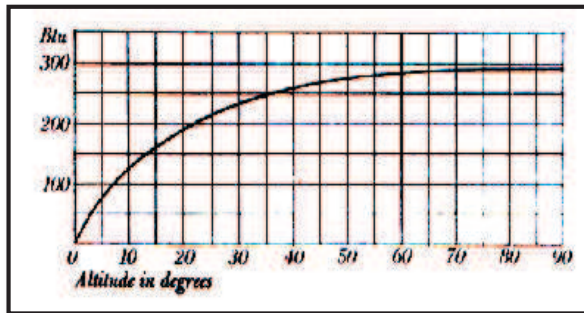


Fig. I. 44 : Variation du rayonnement normal direct avec la hauteur du soleil

(Source: Olgyay.A & Olgyay.V, 1957)

Tab. I. 4 : les valeurs du rayonnement solaire en fonction des hauteurs solaires.

(Source : le C.S.T.B, 1986)

| Hauteur du soleil | 10° | 20° | 30° | 40° | 50° | 60° | 70° |
|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Energie R en W/m² | 320 | 550 | 680 | 750 | 800 | 850 | 860 |
| En Kcal/h m² | 280 | 475 | 580 | 645 | 690 | 730 | 740 |

- Détermination de l'angle d'incidence :

- Méthode 1 :

D'après (S. Szokolay.S) l'angle d'incidence (β) pour une surface donnée est calculé par la formule suivante :

$$\cos \beta = \sin h \times \cos \psi + \cos A \times \cos h \times \sin \psi$$

Dont :

β : l'angle d'incidence

Ψ : l'inclinaison de la surface par rapport à l'horizon

h : la hauteur solaire

A : l'azimut solaire

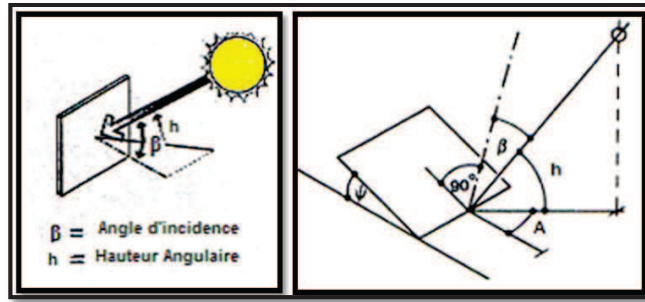


Fig. I. 45 : L'angle d'incidence.

(Source : MAZRIA. E.1980)

Pour une surface verticale : L'angle d'incidence sera fonction de l'azimut (a) et de la hauteur du soleil (h), il est donné par la formule suivante : $\text{Cos } \beta = \text{Cos } a \times \text{Cos } h$ ⁷²

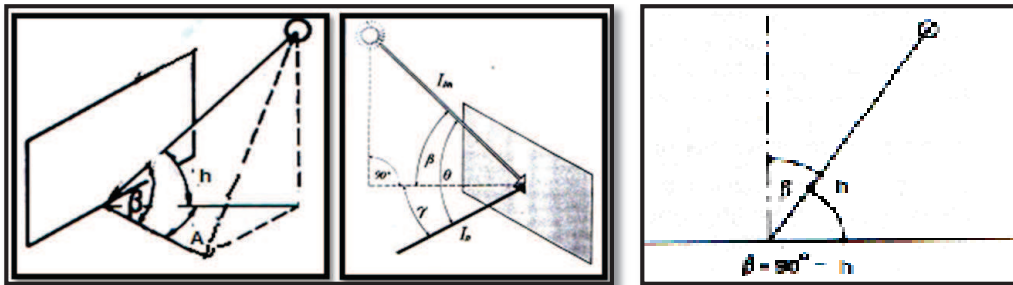


Fig. I. 46 : Calcul de l'angle d'incidence

(Source : S.V.SZOKOLAY, 1978)

Pour une surface horizontale l'angle d'incidence est fonction de la hauteur solaire (h). Il est égal à :

$$\beta = 90 - h$$

○ **Méthode 2 :**

Il est possible de calculer l'angle d'incidence du rayonnement direct reçu par une paroi dans une plage d'heure donnée, en utilisant deux outils de travail : le diagramme solaire de la latitude étudiée et le tableau qui donne le pourcentage du rayonnement intercepté par la paroi en fonction de l'angle d'incidence (cf. Fig. I. 47). En fonction de la position du soleil qui peut être lue sur le diagramme solaire, on fait ressortir l'azimut (a) et la hauteur angulaire du soleil (h) à partir du tableau (cf. Fig. I. 47), pour calculer l'angle d'incidence (I), selon la formule suivante :

$$\text{Cos } I = \text{cos } a * \text{cos } h$$

⁷² Bellara Samira, 2005 'Impact de l'orientation sur le confort thermique intérieur dans l'habitation collective, magistère, université de Mentouri, Constantine.

Après avoir calculé l'angle d'incidence, on cherche dans le tableau (cf. Fig. I. 47) la valeur du pourcentage du rayonnement intercepté par la façade qui correspond à la valeur de l'angle d'incidence obtenue.⁷³

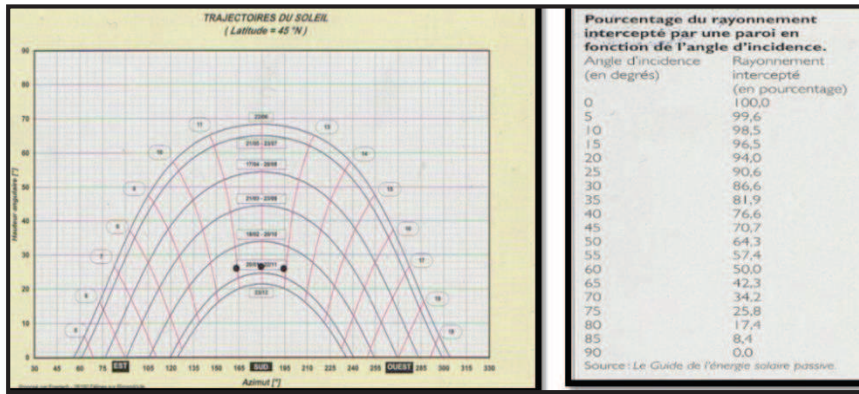


Fig. I. 47 : Outils de calcul de l'angle d'incidence

(Source : Courgey S., Oliva J. P., 2007)

- **Calcul de l'angle d'incidence d'un faisceau solaire sur une surface inclinée :**

Pour une surface orientée selon un angle horizontal (α) par rapport au sud et une pente (β) par rapport au plan horizontal, l'angle d'incidence (ν) du faisceau solaire, mesuré par rapport à la normale de la face est donné par la formule suivante :

$$\cos \nu = \cos \beta \sin \gamma + \sin \beta \cos \gamma \cos (\alpha - \alpha_s)$$

Dont : α_s : l'azimut γ : Hauteur solaire

Cette formule permet de calculer la position du soleil par rapport à un plan, pour une heure, un jour et une latitude donnés.

I.3.2.3.2 La durée d'ensoleillement (insolation) :

La quantité des gains solaires passifs qu'intercepte une paroi augmente en fonction de la durée d'exposition de cette dernière au soleil. La durée d'ensoleillement ou l'insolation est le nombre d'heures d'exposition d'une surface au soleil. Elle dépend principalement de la situation de la bâtisse dans son environnement. On considère également que, le rayonnement solaire n'est utile que pour une hauteur solaire supérieure à 10°, pour tenir compte des masques solaires généralement présents dans l'environnement et du faible rayonnement

⁷³ Courgey S., Oliva J. P., 2007 'la conception bioclimatique des maisons confortables et économes', terre vivante, Mens, France, p 64

énergétique du soleil au lever et au coucher. La durée d'insolation doit être comprise dans l'intervalle horaire qui s'étend de 9 h jusqu'à 15 h⁷⁴, elle varie en fonction de la latitude. Cette période est appelée la durée d'insolation utile où la quantité d'énergie que contient le rayonnement solaire est assez importante pour qu'elle soit captée. La durée d'ensoleillement ou de l'exposition énergétique peut être déterminée facilement à l'aide des diagrammes solaires. En effet, l'ensoleillement doit être vu sous trois aspects :

- La durée d'ensoleillement (en heures)
- La quantité d'énergie solaire incidente et celle transmise par le vitrage (en kWh/m²).
- La possibilité de la protection solaire assurée par des systèmes fixes.⁷⁵

I.3.2.3.3 l'orientation de la surface réceptrice :

Les apports calorifiques varient en fonction de l'orientation des parois comme le montrent les diagrammes (cf. Fig. I. 48). Les températures de l'air intérieur suivent le régime des températures des surfaces extérieures, donc l'orientation influence la température des surfaces extérieures de laquelle dépend la qualité de l'ambiance thermique intérieure⁷⁶

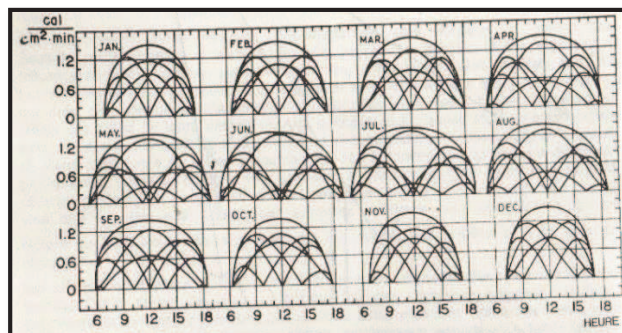


Fig. I. 48 : La variation de l'intensité du rayonnement solaire reçu en fonction de l'orientation

(Source : Givoni 1978)

I.3.2.3.4 La nature de la surface réceptrice :

La proportion variable de chacun des flux d'énergie solaire : diffus, transmis et absorbé dépend grandement de la nature de la surface qui reçoit le rayonnement ; ce phénomène est exprimé par des coefficients : d'absorption (α) de réflexion (ρ) et de transmission (τ), dont la somme de ces coefficients est égale à la quantité totale du rayonnement solaire reçu.

$$\alpha + \rho + \tau = 1. \quad 77$$

⁷⁴ Mazria E., 2006 'le guide de la maison solaire', parenthèses.

⁷⁵ Jean-Louis IZARD., 'Outils de représentation de la course apparente du soleil', école nationale supérieure de d'Architecture, Marseille.

⁷⁶ Givoni B., 1978 'l'homme l'architecture et le climat', le Moniteur, la France, p235.

⁷⁷ Idem.

Le coefficient d'absorption dépend aussi de la couleur et de la nature de la surface réceptrice comme le montre le tableau (Tab. I. 5) ce facteur peut être combiné aux autres facteurs, comme la couleur de la paroi ; à titre d'exemple : pour une façade de couleur blanche la quantité des apports solaires est quasiment la même pour toutes les orientations. Tandis que, pour une couleur sombre la transmission de la chaleur solaire à travers le mur accroît proportionnellement au coefficient d'absorption de sa face externe.

Tab. I. 5 : Coefficient d'absorption pour différents matériaux et différentes couleurs
(Source : Courgey S., Oliva J. P., 2007)

| | | | |
|-------------------------------|------|--|------|
| Aluminium poli | 0,15 | | 0,15 |
| | | | 0,20 |
| | | | 0,25 |
| | | | 0,30 |
| Calcaire clair | 0,35 | | 0,35 |
| | | | 0,40 |
| Marbre blanc | 0,43 | | 0,45 |
| Calcaire sombre | 0,50 | | 0,50 |
| Béton propre | 0,55 | | 0,55 |
| Bois clair | 0,60 | | 0,60 |
| Grès gris clair | 0,62 | | 0,65 |
| Acier galvanisé, cuivre terni | 0,64 | | 0,70 |
| Brique rouge | 0,68 | | 0,75 |
| Ciment (1 an) | 0,71 | | 0,80 |
| Béton sale | 0,80 | | 0,85 |
| Bois foncé | 0,85 | | 0,90 |
| Ardoise | 0,89 | | 0,95 |

(Bansal NK, Garg SN, Kothari.S, 1992) ont démontré que, la différence de température intérieure entre les bâtiments peints en couleurs claires et les bâtiments peints en couleurs sombres varie de 1°C à 6°C. D'autre pat, (Givoni.B, Hoffman, 1991) reconnaissent que, l'effet de l'absorption est plus ressenti dans la construction légère⁷⁸ (cf. Fig. I. 49)

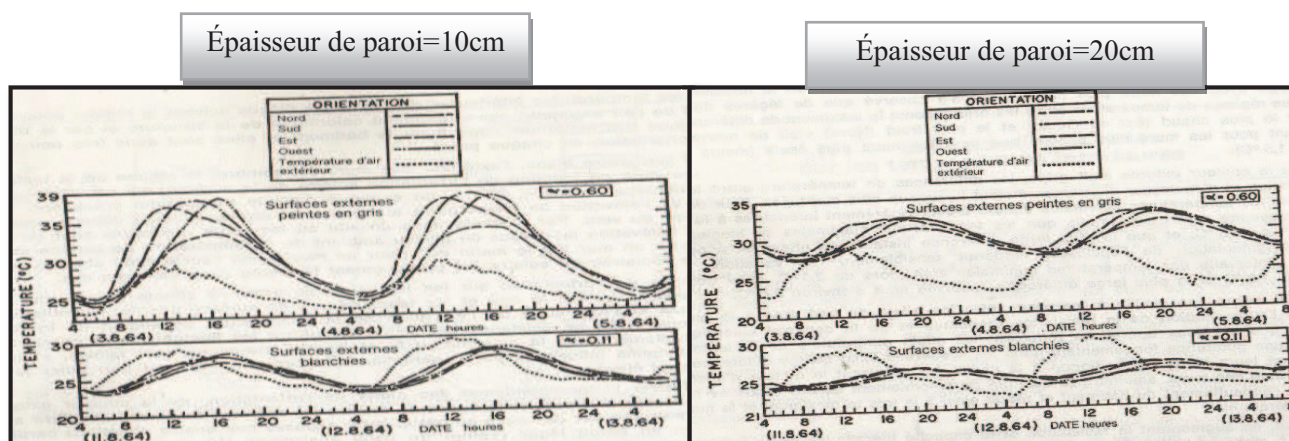


Fig. I. 49 : La température de surface interne des murs de différentes orientations, épaisseurs et couleurs externes
(Source : Givoni 1978)

⁷⁸ Givoni B, 1978 'l'homme l'architecture et le climat', le Moniteur, la France,

I.4 Ensoleillement et qualité de vie :

La qualité de vie est une thématique dans laquelle beaucoup de sociologues et d'économistes ont développé un grand nombre de théories. Maslow est l'un des chercheurs qui se sont montrés intéressés par ce sujet, dont il s'est rendu compte des différents besoins de l'être humain et de leur hiérarchisation dans le temps.⁷⁹ Il a structuré sa théorie des besoins humains en les énumérant respectivement :

1 - Les besoins physiques (nutrition, logement ...)

2 - Les besoins en sécurité (sécurité, protection, santé ...)

3 – Les besoins sociaux (sentiment d'appartenance à une société, l'amour ...)

4 – La nécessité d'être respecté (statut social)

5 – La nécessité de développer des intérêts personnels et des idées, (développement individuel, l'enrichissement de la vie personnelle, la réalisation des objectifs personnels) (Maslow, 1970, p.35 -47)⁸⁰

La qualité de vie a une forte relation avec les ambiances internes que procure le bâtiment à ses habitants. Donc, l'architecte a un rôle très important dans l'approvisionnement des conditions habitables de qualité, par l'utilisation des différentes méthodes qui permettent d'exploiter les dons de la nature. La qualité de l'ambiance thermique, hygrothermique et lumineuse a une relation directe ou indirecte avec le soleil. D'après Ralph Knowles « Le confort physique est généralement exprimé en plages numériques de la température, de l'humidité, de la vitesse de l'air, de la lumière et des niveaux sonores, ... L'accès au soleil a un impact direct sur les composants thermiques et lumineux de cet ensemble complexe et une relation secondaire à la plupart des autres composants ». ⁸¹ Donc un bon ensoleillement contribue grandement dans l'amélioration de la qualité globale des espaces.

Le soleil est l'un des paramètres de la qualité de vie qui ont été fixés par Vitruvius. Selon la Commission européenne (CE) la qualité en architecture veut dire que : " ... Les bâtiments doivent être secs, économes en consommation d'énergie et d'entretien pour une

⁷⁹ TOPALOĞLU.B, 2003, l'enveloppe solaire et la génération de la forme en architecture, master en architecture, université du moyen orient.

⁸⁰ TOPALOĞLU.B, 2003, l'enveloppe solaire et la génération de la forme en architecture, master en architecture, université du moyen orient. p 15.

⁸¹ *Idem.* p16.

durée de vie satisfaisante et un fonctionnement sans défaut. L'élégance des proportions est une joie d'une bonne exécution, d'une prise de conscience des possibilités de la couleur, de la lumière et de l'ombre... » (ACE, 1999, p.02).⁸² Le soleil est indispensable pour notre vie ; c'est la source de vision, de chaleur, de l'énergie et c'est selon sa course que, notre mode de vie est organisé, c'est pour cela que la garantie de l'accès au soleil en architecture est l'une des qualités d'un bâtiment [Knowles 2003].

D'autre part, le soleil rend le milieu de vie plus hygiénique et sanitaire, à titre d'exemple : l'action antirachitique des rayons solaires revêt d'une importance capitale, dont l'exposition de l'enfant aux rayons solaires est nécessaire à la synthèse de « la vitamine D » dans son corps.⁸³ En effet, la qualité de l'espace public joue un grand rôle dans le bien-être des habitants. La densification verticale permet d'aménager de larges espaces verts et paysagers, baignés de soleil pour la détente et le bien-être des habitants, ce qui renforce la cohésion sociale entre les groupes et leur permet de vivre en contact avec la nature. Pour cette dernière raison, les habitants de la ville fuient pour la périphérie, en quête de la nature et de ses bienfaits dont le soleil est le premier.⁸⁴ La qualité des ambiances en architecture est apparue sous plusieurs formes comme on trouve les labels de la qualité environnementale à titre d'exemple : la haute qualité environnementale HQE.

Les exigences qualitatives des ambiances internes des bâtiments ont fait naître la réglementation solaire dans l'architecture et l'urbanisme, en vue d'assurer un droit au soleil égal à toutes les habitations d'un même site.

I.5 Réglementation et exigences en matière d'ensevelissement dans l'architecture et l'urbanisme

La notion de durée d'ensevelissement a donné naissance à la réglementation solaire en urbanisme. En 1904, les efforts d'Atkinson lui ont permis d'établir la première loi en vigueur de l'ensevelissement qui a traité la question des " droits solaires ", qui limitait la hauteur des bâtiments pour assurer l'accès à la lumière du soleil.⁸⁵ Les règlements de plusieurs villes ont évolué par la suite, afin de promulguer des lois et des décrets qui gèrent l'ensevelissement en

⁸² **TOPALOĞLU.B.**, 2003, l'enveloppe solaire et la génération de la forme en architecture, master en architecture, université du moyen orient, p16.

⁸³ **Arkady Warszawa**, 1967, 'Soleil et architecture'. p 7.

⁸⁴ Une architecture intelligente un immeuble en escalier, En ligne [<http://www.les-passerelles.frss>].

⁸⁵ **TOPALOĞLU.B.**, 2003, l'enveloppe solaire et la génération de la forme en architecture, master en architecture, université du moyen orient.

urbanisme et en architecture. À titre d'exemple : l'article du règlement français d'urbanisme (décret du 30 novembre 1961) stipule que « la moitié au moins des façades percées de baies servant à l'éclairage des pièces d'habitation doit bénéficier d'un ensoleillement de 2 heures par jour, au moins deux cents jours par année ». Vis-à-vis des pratiques courantes de ces dernières décennies, cette réglementation s'est révélée totalement inopérante, la tendance tend plutôt à éloigner les constructions⁸⁶. D'autre part, il est assez difficile d'approcher précisément, la satisfaction psychologique liée à l'ensoleillement, il s'agit de relier des quantités physiques à des opinions subjectives et à de nombreux facteurs viennent modifier la perception subjective du confort et de son expression. En effet, Grandjean estime qu'un espace mal ensoleillé, est un espace d'une durée d'ensoleillement perçue par le un dixième (1/10) de ses occupants comme médiocre.⁸⁷ Cela a fixé les seuils minimaux et désirables à 120 min pour la salle de séjour, 30 min pour la chambre parentale et 90 min pour la chambre d'enfant.⁸⁸

I.5.1 Règlements algérienne en matière d'ensoleillement :

Après avoir exploré les différents décrets et articles du journal officiel algérien qui gèrent l'ensoleillement à l'échelle de l'urbanisme et de l'architecture, on a remarqué qu'en général, la réglementation algérienne ne prend pas vraiment l'ensoleillement en considération dans la conception architecturale et dans l'aménagement urbain. Ainsi que, le peu de réglementations qui dictent des règles urbaines et architecturales en matière de l'ensoleillement sont rarement prises en considération par les concepteurs dans leur production (cf. Annexe A).

Conclusion :

L'amélioration du confort thermique intérieur par l'utilisation des énergies renouvelables ne peut être achevée, que par une bonne compréhension des phénomènes naturels qui gèrent le cycle de ses énergies dans la nature. De cette logique, on conclut de ce chapitre que la relation entre le soleil et l'architecture est purement géométrique. La bonne adaptation de la géométrie d'un bâtiment à la géométrie solaire permet d'établir une bonne stratégie de captage solaire en hiver et de protection solaire en été. Donc la maîtrise de l'ensoleillement et

⁸⁶ **Boland P.**, les espaces publics comme outils du développement durable Architecture et Climat.

⁸⁷ **Blachère**, pp. 20 - 21. In **Zineddine Hanane**, 2011, 'l'enveloppe solaire un outil de contrôle de l'ensoleillement', p38.

⁸⁸ **Bernard P. Francis M.**, 2012 'Soleil et architecture - Potentiel climatique', dossier Techniques de l'Ingénieur, Paris, France.

l'établissement d'une bonne stratégie solaire passive dans un bâtiment, peuvent être atteints en reliant les dimensions du bâti aux mouvements solaires, pendant les différentes heures de la journée et les différents mois et saisons de l'année.

L'ensoleillement a un autre aspect très important à prendre en considération, qui est l'aspect énergétique, dont l'énergie solaire n'est utile à capter que pour une période limitée de la journée qui s'étend de 9 h jusqu'à 15 h (cette période varie en fonction de la latitude), également lorsque l'énergie interceptée est capable de contribuer à l'amélioration du confort thermique interne, hors cette période, il est judicieux de protéger les fenêtres afin de réduire les déperditions thermiques en hiver.

D'autre part, la réglementation qui gère les droits solaires, découle de la nécessité de fournir un bon ensoleillement pour tous les bâtiments situés dans un même site. Après l'exploration de la réglementation algérienne on a constaté que, cette dernière prend l'orientation par rapport au soleil en considération mais, elle n'a pas assez évolué pour traiter la problématique du droit à l'ensoleillement.

La qualité de vie liée à l'ensoleillement, représente un troisième aspect sanitaire et psychologique du soleil. D'après le présent chapitre on remarque que, la relation qui réside entre les trois aspects du soleil est une relation de complémentarité. De ce fait, les architectes doivent exploiter les méthodes et les outils d'étude de l'ensoleillement élaborés, afin d'adapter le bâti à **l'aspect géométrique du soleil** pour tirer profit de **ses deux aspects énergétique et sanitaire**.

Après avoir exploré les aspects : géométrique, énergétique et sanitaire de l'ensoleillement dans l'architecture, le prochain chapitre étudie l'évolution spatiale de la Casbah d'Alger à travers le temps.

Chapitre : II

La médina d'Alger ottomane et son évolution à travers le temps



« Elle est unique. Elle n'a pas sa pareille. Aucune autre n'a à la fois cette orientation, cette position, ce climat et cette précise architecture ... Elle est le pur fruit du génie algérien. On la disait turque mais, les maisons de la Turquie n'ont pas ses patios, ne lui ressemble en rien. À leur arrivée les Turcs ont construit comme il était déjà d'usage dans le pays ».

André Ravéreau¹

Introduction

La Casbah d'Alger est l'une des plus belles Casbahs du nord de l'Afrique. Elle était méconnue par les historiens de l'art, éblouie par l'abondance du décor du Maghreb occidental et de l'Espagne. La médina d'Alger ottomane est une ville qui prend ses principes d'organisation de la ville islamique de l'orient. De ce fait, le présent chapitre expose un aperçu sur la ville islamique, ses composants, ses caractéristiques, et ses principes de fondement. En effet, notre étude architecturale touche principalement, les maisons qui remontent à l'époque ottomane, ce qui nous a incités à étudier dans ce deuxième chapitre l'évolution spatiale de la médina d'Alger à travers le temps, en divisant son histoire en trois époques historiques : l'époque pré-ottomane, l'époque ottomane, et l'époque post-ottomane.

La création de l'ancienne ville sur l'emplacement actuel de la Casbah d'Alger trouve ses origines dans un passé lointain qui remonte à plus de 3000 ans,² durant la période libyque. Malheureusement, les traces historiques correspondent seulement à la période qui a suivi le V^e siècle³. Concernant l'abondance de l'information qui traite le sujet de l'histoire de la médina d'Alger on peut dire que, les sources sont limitées pour pouvoir fixer les limites exactes de la ville d'Alger pendant la période romaine et phénicienne. Quant au noyau arabo-berbère les informations sont principalement, extraites depuis un nombre de documents habous elles se basent exclusivement, sur les sources écrites des voyageurs et finalement pour l'époque turque ottomane l'information est plus abondante⁴. En outre, les aspects urbains et

¹ **André Ravéreau**, la Casbah d'Alger et le site créa la ville, Sindibad. p 33.

² **Ichbouden Larbi**, (1997). Alger histoire et capitale de destin national. Alger : Casbah éditions. p19.

³ **Ben hamouche Mustapha, Belkadi Badredine**, (2003), architecture et urbanisme de la Casbah d'Alger d'après les écritures d'Albert Devoulx. Alger : ENAG. p21.

⁴ **Missoum Sakina**, (2003). Alger à l'époque ottoman la médina et la maison traditionnelle, Edisud Paris p 15.

architecturaux de la médina d'Alger ottomane seront étudiés en mettant l'accent sur les facteurs climatiques particulièrement, ceux liés à l'ensoleillement qui ont influencé l'environnement physique de cette médina et ont modelé et fait naître son architecture. Cette étude repose principalement sur les ressources bibliographiques et les documents disponibles.

II.1 La ville arabo-musulmane au Maghreb :

L'installation des musulmans dans l'Afrique du nord a influencé d'une manière remarquable son environnement physique. En adaptant les principes des villes islamiques de l'orient au contexte maghrébin (économique, naturel et climatique, socioculturel et particulièrement politique), les musulmans ont créé leurs villes au Maghreb connues sous l'appellation de « médinas » ou « Casbahs ». La création de la ville islamique était un acte politique et populaire à la fois, deux agents ont contribué aux décisions liées à la planification de la ville et à sa construction : le souverain ou le khalife et l'autorité qui définissaient la structure générale de la ville, ses limites et l'emplacement des grands équipements. Tandis que, le citoyen avait la liberté totale de façonner l'espace à l'échelle de sa demeure.⁵ La figure (Fig. II. 1) nous montre les différentes étapes que suivait un projet public ou bien une action privée, pour qu'elle soit exécutée au sein de la ville musulmane.

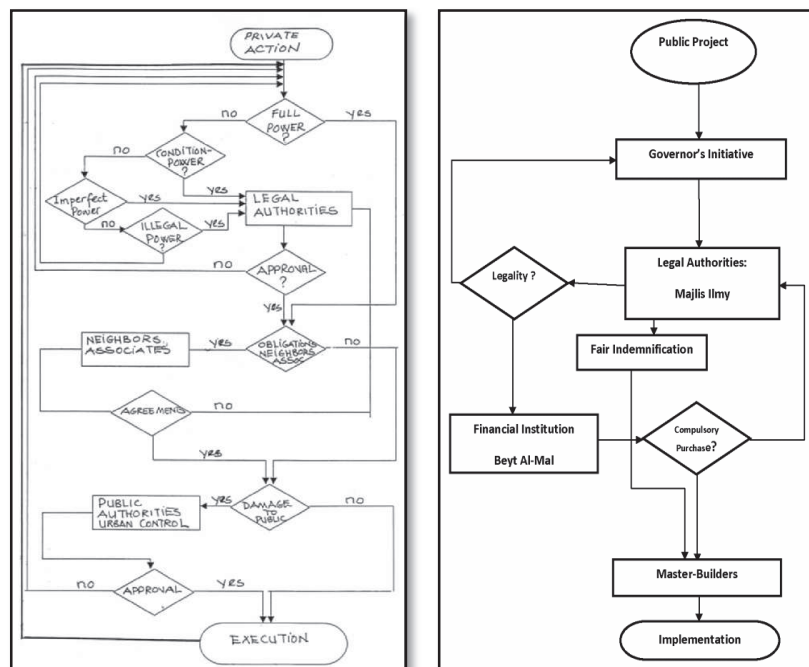


Fig. II. 1 : Les étapes d'exécution d'un projet dans la ville musulmane.

(Source : BESIM S HAKIM)

⁵Besim S Hakim. 1994 'arabe chroniques', université du roi Faisal, Dammam, Arabie saoudite.

II.1.1 Dimension religieuse et socioculturelle dans l'urbanisme et l'architecture musulmans :

L'Urf qui représente l'ensemble des coutumes de la société et les méta-principes qui sont les règles religieuses issues de la jurisprudence de la sharia islamique⁶ ont façonné la ville islamique à différentes échelles : urbaine et architecturale. Nous allons aborder deux éléments principaux qui composent le tissu urbain de la ville islamique qui sont : **l'agrégat** qui est le groupement de maison, dont nous allons étudier sa morphologie et **le réseau routier**.

II.1.1.1 L'agrégat :

Au niveau de l'urbain, la loi de l'héritage était à l'origine de la géométrie fractale de la ville musulmane qui est issue de la subdivision des propriétés et de l'espace habité sur le nombre d'héritiers⁷. Le processus de la fraction dans les anciennes villes musulmanes pourrait se terminer après la sixième ou la septième étape de réduction d'échelle (cf. Fig. II. 2).

Cette subdivision s'effectue autour de l'espace commun qui est généralement la cour.

Contrairement à la loi de l'héritage la loi de préemption unifie certaines parties du bâti en créant une partie commune⁸. À titre d'exemple, deux maisons sur deux côtés opposés d'une rue peuvent être jointes, avec une chambre qui surmonte la rue. D'autre part, l'extension de la ville islamique ne s'effectue pas au-delà de ses limites à cause de la présence des murailles qui l'entourent. Ce qui a mené à une densification verticale du bâti. Donc ces deux facteurs sont à l'origine de la morphologie compacte des villes islamiques.

Cependant, au niveau de la maison le citoyen musulman avait le droit ultime de façonner sa maison à condition de ne pas causer des dommages ou des gênes à autrui. L'aspect renfermé de l'habitat musulman introverti résulte de la grande importance accordée à la préservation de l'intimité du ménage. Les façades extérieures des maisons sont

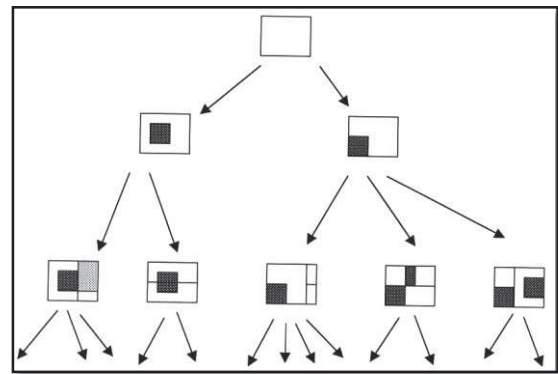


Fig. II. 2 : Le principe de la géométrie fractale de l'urbanisme musulman.

(Source : Besim S Hakim)

⁶ Besim S Hakim. 2001, 'Reviving the Rule System An approach for revitalizing traditional towns in Maghreb'.

⁷ Idem.

⁸ Idem.

caractérisées par un petit nombre d'ouvertures dotées d'un grillage en bois appelé « mousharabiya », qui permet aux femmes de voir l'extérieur sans qu'elles soient vues. La maison musulmane représente un univers fermé qui a son propre extérieur qui peut être un patio ou une cour, support de la vie sociale. Cet espace peut être réduit à un conduit d'air et parfois il est prolongé et aménagé autant qu'un jardin intérieur appelé Al Riyad⁹.

Dans la ville islamique, on peut remarquer l'autosimilarité à différentes échelles. Il s'agit de donner le micro et le macro-objet la même structure et règle de conception. De ce principe, découle l'espace unique communautaire dans chaque composé de l'espace. Au niveau de l'agrégat, l'espace commun peut être une impasse, une ruelle tortueuse, ou bien un finaa utilisé à des fins diverses. À l'échelle de la maison, malgré son irrégularité géométrique, l'espace attribué à la cour (Sahn, Hawsh, Wast ad-dar) est souvent de forme carrée et placé dans le centre. La cour est l'élément principal de la composition géométrique de la maison autour duquel s'organisent les autres espaces. La ville pourrait donc être comparée à un volume de tapis en trois dimensions, qui subit en permanence une subdivision en petits cubes perforés à leurs centres. Concernant la forme carrée, elle pourrait être modifiée en essayant de concilier entre les autres contraintes du site. La hiérarchisation spatiale des activités est l'un des principes de la gestion urbaine appliqué dans les villes islamiques. Ce principe est issu des règles religieuses de la pureté et de la propreté. À titre d'exemple : la tannerie et la forgerie qui sont des activités nuisibles ont été souvent placées à l'extérieur des remparts de la ville.

II.1.1.2 Le réseau routier :

Le tracé des rues était fait de manière à ce que les habitations et les lieux d'intérêt (les marchés, les mosquées, les portes de la ville) seront connectés. Selon Ribeiro [1997: 294], les nœuds dans les villes islamiques sont classés en deux catégories :

- Les nœuds en forme de "Y" : qui ont été associés à l'intersection des routes principales avec les réseaux secondaires, avec les voies ou les impasses [Ribeiro, 1997: 296]. Ce type de nœuds représente un moment de décision en tant que piéton pour choisir une destination privilégiée entre deux égaux chers (cf. Fig. II. 3/A).
- Les nœuds en forme de "T" : Ils ont été généralement associés à une divergence et / ou une convergence vers un point d'intérêt dans le réseau primaire des voies. Donc c'est un passage à une autre échelle du réseau de circulation qui est propre à la zone

⁹Stephano Bianca ,1980 ' Nécessité de sauvegarde des centres historique urbain et des monuments exceptionnel en pays islamiques'.

résidentielle exclusivement, réservée aux habitants (cf. Fig. II. 3/B). Les jonctions en "T" ont été souvent dotées de portes fermées pendant la nuit.

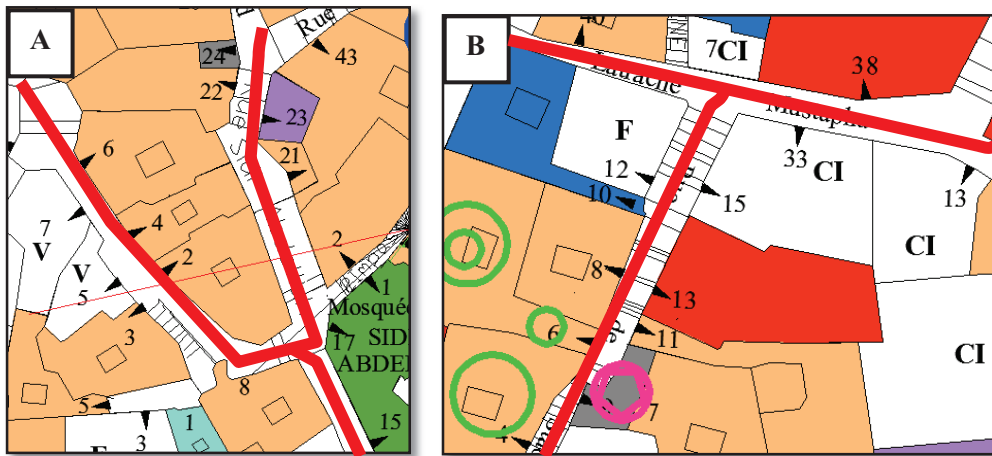


Fig. II. 3 : Les types de nœuds routier dans la ville musulmane
(A) : Les nœuds en "Y", (B) : Les nœuds en "T"

(Source : PPSMVSS)

II.1.2 Dimension climatique dans l'urbanisme et l'architecture musulmans :

Les musulmans ont utilisé plusieurs techniques et procédés passifs pour fournir de bonnes conditions de confort à l'intérieur de leurs habitations, pendant les différentes saisons de l'année. Les musulmans distribuaient les espaces de vie en fonction des mouvements solaires et des conditions climatiques propres à chaque saison (cf. Chp. I, section 1.1.6). Dans la même maison il existait des espaces attribués à l'hiver avec un plafond bas dotés de larges baies exposées au soleil et d'autres espaces qui ne reçoivent plus les rayons solaires attribués à la saison chaude. Dans les climats extrêmes, les habitants passent les nuits sur le toit, et les journées dans les étages inférieurs où dans le sous-sol qui est conçu spécialement pour qu'il soit occupé pendant l'été. La masse de la construction est un autre facteur important dans la régulation du confort thermique dans l'architecture islamique. Elle joue un rôle d'isolation contre la chaleur du jour et fait retarder l'émission de la chaleur à l'intérieur des espaces de vie.¹⁰ Concernant la protection solaire, l'installation des vélums (cf. Fig. II. 4) correspond à une tradition qui a traversé les siècles et qui a permis de moduler l'ensoleillement avec souplesse¹¹. Pour le rafraîchissement les musulmans construisaient des bassins, des étangs ou des fontaines d'eau dans les cours pour rafraîchir l'espace par l'évapotranspiration de l'eau

¹⁰ Garcia-Pulido J., 2012, dispositifs bioclimatiques des bâtiments domestiques Nasride.

¹¹ Knowles Ralph. 2006 'Ritual house', Island press, Washington, USA.

comme dans : la maison du Caire ou celle de Damas. Dans certains palais, comme à Grenade, l'eau est accompagnée de la végétation qui améliore le confort thermique estival.¹²

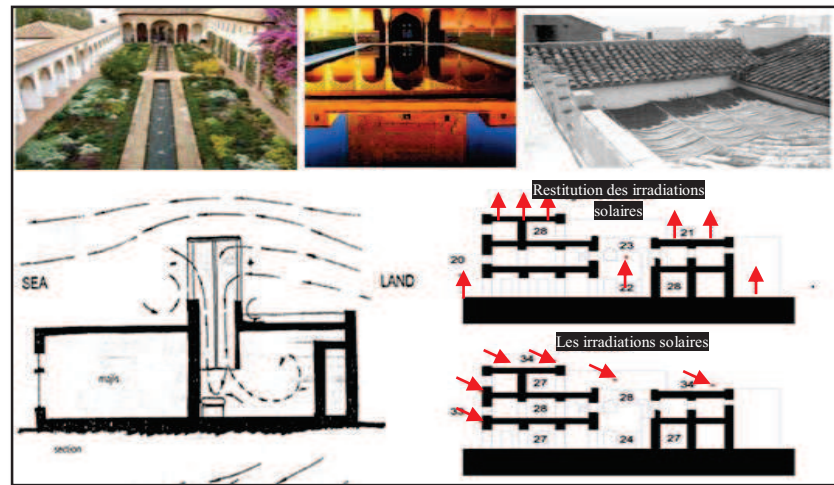


Fig. II. 4 : Les aspects bioclimatiques de l'architecture islamique.

(Source : Samir Abdulac, 2011/ knowels, 2003/)

Les galeries sont des éléments architecturaux qui caractérisent le style islamique et qui ont un double rôle climatique. Elles protègent du soleil sous les climats chauds et de la pluie sous les climats humides. En effet, le dispositif le plus remarquable utilisé dans l'architecture islamique pour la ventilation naturelle est la tour à vent, ce système qui fonctionne avec l'effet de cheminée dont l'air chaud au niveau de la tour provoque un mouvement d'air dans toute la maison. Ce qui renouvelle l'air et fournit de l'air frais le long de la journée. Il existe des tours à vent multidirectionnelles qui ont marqué l'architecture du Golfe.¹³

II.2 La médina d'Alger

La médina d'Alger représente l'objet d'étude de ce chapitre. De ce fait, nous allons étudier les circonstances de sa création et de son évolution spatiale à travers les différentes périodes qui ont marqué son histoire. Nous examinons aussi les composants principaux de la médina d'Alger et de son espace urbain mais, comme notre étude est menée à une échelle architecturale l'intérêt est beaucoup plus porté sur l'étude de l'architecture de la maison traditionnelle de cette médina et de ses éléments et compartiments.

¹² Abdulac Samir, 2011, les maisons à patio, Continuités historiques, adaptations bioclimatiques et morphologies urbaines, Icomos, Paris, France.

¹³ Garcia-Pulido J., 2012, dispositifs bioclimatiques des bâtiments domestiques Nasride.

II.2.1 Étude de l'évolution spatiale du site de la médina d'Alger à travers le temps :

Nous allons citer les civilisations qui se sont succédé sur l'emplacement de la Casbah d'Alger, durant trois périodes historiques : la période pré-ottomane, la période ottomane, et la période post-ottomane.

II.2.1.1 La période Pré-ottomane :

L'histoire du centre de la ville d'Alger se fonde tel qu'un puzzle géant. Ses origines remontent à plus de 10000 ans av. J-C., dont plusieurs civilisations comme : la civilisation ibéro- maurassienne, capsienne (7000-5000 av. J-C.) et néolithique (6500-2000 av. J-C.) (Qui correspond au premier arrivé des Méditerranéens au Sahara), se sont succédé sur les lieux jusqu'à l'arrivée des Phéniciens.¹⁴

II.2.1.1.1 Alger un comptoir phénicien « Icosim » :

La première implantation humaine sur l'emplacement d'Alger est supposée être un comptoir Phénicien, attestée par la découverte d'un trésor monétaire en 1940, dans le quartier de la marine¹⁵. La présence des Phéniciens était principalement due au commerce entretenu avec les peuplades qui se trouvaient aux environs d'Alger.¹⁶ Ce comptoir faisant partie du royaume de Maurétanie, gouverné par des rois berbères était appelé « **Icosim** », qui a pour origine le mot d'Eicosi qui signifie le nombre «vingt » relatif au nombre de ses îles¹⁷. Une autre légende rapportée par Solin (Caisus Julius Solinus) atteste que, le nombre vingt renvoie au nombre d'hommes d'Hercule (de Libye) qui ont choisi l'emplacement pour édifier des murailles et ils donnaient le nom qui renvoie à leur nombre à cette ville afin qu'aucun d'eux n'imposât son nom¹⁸. Alger n'a jamais dévoilé ses secrets, c'est pourquoi les documents relatifs à ses origines ont d'abord eu recours à la légende¹⁹.

¹⁴ APC Alger centre, 2004 'la ville d'Alger « la protégée de dieu »', p 23.

¹⁵ Ichbouden Larbi, 1997 'Alger histoire et capitale de destin national'. Alger : Casbah éditions, p 23.

¹⁶ Ichbouden Larbi. Op. cit. p 23.

¹⁷ Ben hamouche Mustapha, Belkadi Badredine, (2003). Alger : ENAG. p21.

¹⁸ Assari Nadir, 2007, 'Alger des origines à la régence turque'. Alpha, Alger, Algérie. P26.

¹⁹ Ichbouden Larbi. Op. cit, p 22.

Une approximation des limites d'extension d'Icosim, est illustrée dans la figure (Fig. II. 5). Pasqualli décrit ses limites comme suit : « Elle devait se limiter au bord de la mer approximativement à l'avenue du 1^{er} novembre (cf. Fig. II. 5) ; Puisque c'est à cet endroit qu'on a découvert les pièces puniques ». Cresti a aussi déclaré que : « L'agglomération phénicienne était constituée de quelques maisons et de dépôts de marchandises, probablement entourée d'une construction défensive d'importance médiocre, et qu'il est possible qu'à son origine le comptoir punique était limité à quelques constructions en bois levées sur l'îlot en face de la côte »²⁰.

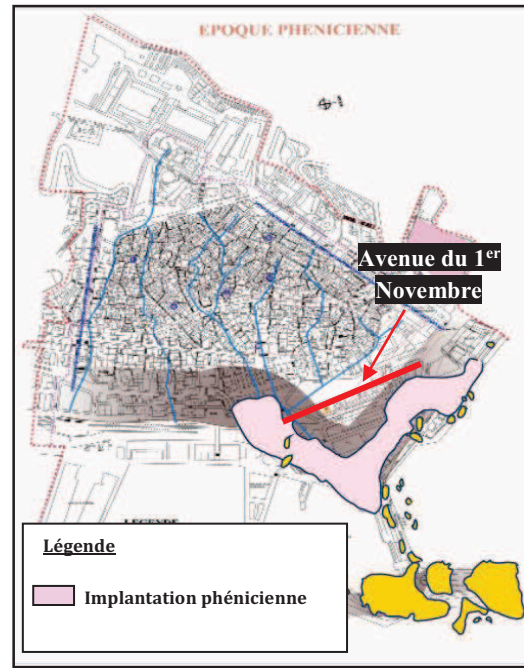


Fig. II. 5 :L'établissement humain sur le lieu d'Alger à l'époque phénicienne
(Source : le PPSMVSS de la Casbah d'Alger)

II.2.1.1.2 Alger une ville romaine "Icosium"

La création d'**Icosium** remonte à la période qui s'étend de 79 jusqu'à 70 av. J-C.²¹. Le géographe arabe Al bakri (1086) atteste que, la médina d'Alger fut construite sur des ruines romaines en décrivant un théâtre pavé d'une mosaïque et un mur provenant d'une grande église qui existait encore à son époque²². De plus, les premiers travaux de restructuration urbaine et architectonique de la médina d'Alger ont fait apparaître les premiers vestiges de l'époque romaine²³. « Adrien Berburugger » est un historien connu pour ses travaux menés dans cet axe de recherche, il a écrit plusieurs articles publiés principalement, dans la revue africaine²⁴.

La structuration coloniale ainsi que, les travaux de construction des maisons, d'installation de canalisations, de creusement, et les résultats d'observation depuis 1830, ont permis d'arriver à une approximation des limites d'Icosium. Cette dernière a occupé la plaine

²⁰ **Atek Amina**, 2012. Pour une réinterprétation du vernaculaire dans l'architecture durable cas de la Casbah d'Alger. Tizi-ouzou. p 77.

²¹ **Ben hamouche Mustapha, Belkadi Badredine**, (2003). Alger : ENAG.p 21.

²² **MISSOUM Sakina**, (2003) 'Alger à l'époque ottoman la médina et la maison traditionnelle', Edisud, Paris, France, p 15.

²³ **Idem**.

²⁴ **Ben hamouche Mustapha, Belkadi Badredine**. Op. cit. p 25.

limitée par la rue de la marine, qui correspond au cardo (est-ouest), par la mer et la rue Bab-El-Oued qui se prolonge par la rue Bab-Azzoun en direction nord-sud correspondant ainsi, au decumanus romain. Elle s'étendait à peine sur le côté sud vers Bab-Azzoun, comme le montre la figure (cf. Fig. II.6).

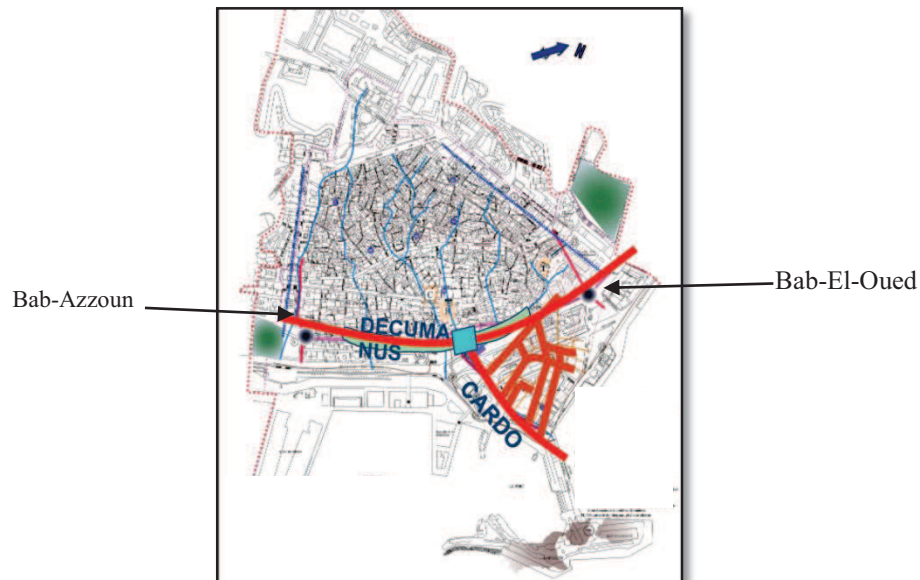


Fig. II. 6 : L'établissement humain sur le lieu d'Alger à l'époque romaine

(Source : le PPSMVSS de la Casbah d'Alger)

II.2.1.1.3 Djazair Beni Mazghanna :

Avant de donner un aperçu historique sur cette période de l'histoire de la médina d'Alger, on est sensé de parler de la période qui a suivi directement la disparition d'Icosium. En effet, avec la décadence de l'Empire romain pendant le V^e siècle, les Vandales ont occupé les lieux pendant un siècle ; pour laisser la place à la présence byzantine qui a chuté devant les conquêtes musulmanes de l'Afrique du nord (647-703).²⁵ Les musulmans ont su vivre avec les Berbères pour fonder à la fin la ville arabo-berbère connue par le nom de Djazair Benni-Mazghanna. On constate que, pendant la période qui s'étend du début des conquêtes musulmanes jusqu'à la fondation de Djazair Benni-Mazghanna (pendant deux siècles et demi), la ville n'occupait pas une place importante dans l'histoire de la région²⁶

²⁵ L'Algérie à travers les époques, p 121.

²⁶ Ben hamouche Mustapha, Belkadi Badredine, 2003. Alger: ENAG.

Djazair Benni-Mazghana a été créée par Bouloughine ibn Ziri en 950.²⁷ Le choix de son emplacement revient à l'abondance des matériaux provenant des ruines romaines ; ainsi qu'à la proximité de la tribu de Sanhadja.

Avec la prospérité de la ville et de son commerce, elle a bien grandi comme l'avait décrit Ibn Hawkel « El Djazair est bâtie sur un golfe et entourée d'une muraille, elle renferme un grand nombre de bazars et quelques sources de bonne eau près de la mer... ».²⁸ El Djazair a préservé les limites sud et nord d'Icosium à cause de la présence des cimetières romains. Donc le développement de la ville était orienté vers le haut du relief montagneux, ce qui a constitué la fameuse forme du triangle.²⁹ La figure (Fig. II. 7) illustre les limites de la médina arabo-berbère « Djazair Benni-Mazghanna ».

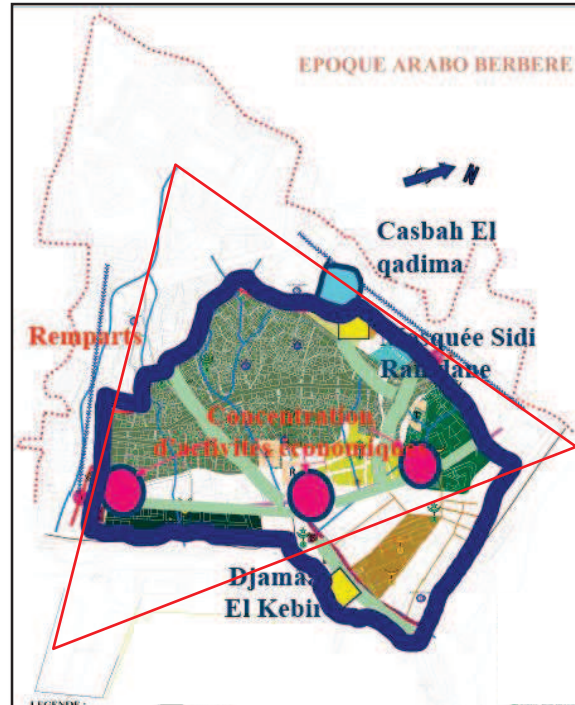


Fig. II. 7 : L'établissement humain sur le lieu d'Alger à l'époque berbère.

Source : le PPSMVSS de la Casbah d'Alger, 2005

II.2.1.2 Période intermédiaire (1150 - 1516)

Le Maghreb central de cette période était le théâtre de morcellement, du désordre politique et d'anarchie. El Djazair était indépendante de tout royaume, ce qui l'a exposé aux dominations successives des différentes dynasties de l'Afrique du nord : les Hamadites, les Almoravides en 1185, les Hafsides en 1230, jusqu'à où elle était prise par les Zayanistes dont elle est devenue capitale deux fois, la première lors de la gouvernance du roi Zyanide Abou Hammou en 1378 et la deuxième en 1438 (cf. Annexe. B.1). El Djazair a fini par être une

²⁷ Ben hamouche Mustapha, Belkadi Badredine. Op. cit. p27.

²⁸ Ichbouden Larbi, 1997 'Alger histoire et capitale de destin national'. Casbah éditions, Alger, p 25.

²⁹ Missoum Sakina, 2003 'Alger à l'époque ottoman la médina et la maison traditionnelle', Edisud, Paris, France.

république municipale autonome sous la protection des Thaâlibas. Elle jouait un rôle modeste dans la région par rapport aux autres grandes villes du Nord-africain.³⁰

II.2.1.3 La période ottomane (1516 - 1830)

Ce n'est que dans cette période qu'el Djazair a connu son apogée. La médina turque était entourée de remparts au bord de la mer d'abord et sur la colline,³¹ pour assurer sa protection contre les attaques extérieures. Ces fortifications militaires donnaient à la médina son appellation « d'Alger la bien gardée ». Son organisation urbaine était fondée sur les principes de l'islam³². Le musulman citadin avait toujours tendance à séparer sa vie familiale de celle publique. Suivant ce principe, la médina d'Alger a été divisée en deux parties : la partie haute qui englobe les quartiers d'habitations denses et la partie basse animée par les activités qu'elle abrite et par l'existence des grandes mosquées, du souk et des demeures prestigieuses des notables de la ville. Cette partie est traversée par les deux artères les plus importantes : Bab-El-Oued et Bab-Azzoun.³³ La figure (Fig. II. 8) montre les limites de l'Alger turc. Vu son architecture et urbanisme de qualité la médina d'Alger ottomane était admirée par un grand nombre d'artistes. Chacun deux lui a donné une représentation imagée, dont on cite à titre d'exemple : « une cascade éclatante », « une ville de neige sous l'éblouissante lumière ».³⁴

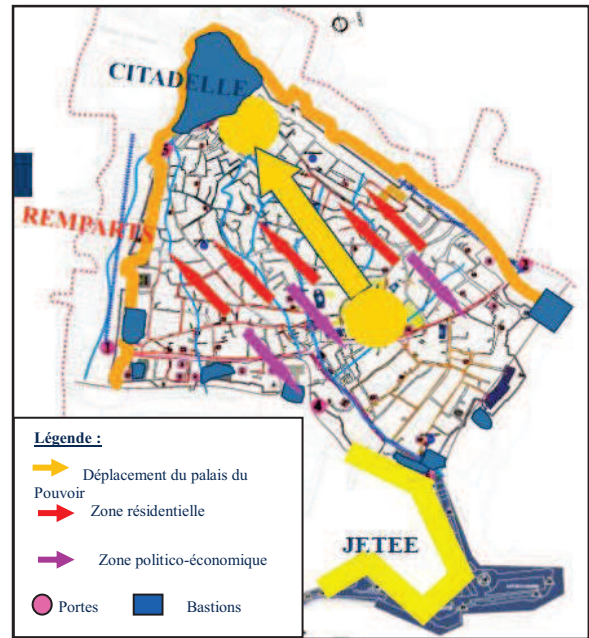


Fig. II. 8 : La médina d'Alger à l'époque ottomane.

(Source : le PPSMVSS de la Casbah d'Alger)

II.2.1.4 La période coloniale (Post-ottomane) (1830 – 1962)

L'incompréhension des Européens vis-à-vis du style de vie arabe et le désir des nouveaux colons d'imposer leurs propres usages et leurs conceptions esthétiques de

³⁰ Ichbouden Larbi, 1997. Op. cit. p26.

³¹ Ichbouden Larbi, (1997).Alger histoire et capitale de destin national. Casbah éditions. Alger, p 58.

³² Missoum Sakina, (2003) 'Alger à l'époque ottoman la médina et la maison traditionnelle', Edisud, Paris, France.

³³ Ichbouden Larbi. Op. cit. p 59-61.

³⁴ Ichbouden Larbi. Op. cit. p54.

l'architecture et de l'urbanisme, engendrèrent d'importantes destructions,³⁵ particulièrement, dans la partie basse de la médina d'Alger. Nous allons exposer les modifications qu'a subies le tissu urbain de cette médina, pendant la période de la colonisation française en Algérie, dont on distingue les périodes suivantes :

II.2.1.4.1 La première période : 1830 -1846

L'appropriation de l'espace était l'un des aspects à travers lesquels les Français ont essayé d'imposer leur pouvoir. Ils ont dépouillé l'organisme urbain de la médina de ses éléments vitaux³⁶, en détruisant des édifices importants et élargissant les voies à des fins militaires³⁷

II.2.1.4.2 La deuxième période : 1846-1880

Dans cette période, les démolitions eurent lieu principalement à l'entrée de Bab-Azzoun et à l'endroit où fut créée la place du gouvernement. Cette période a connu la destruction de la Djenina (centre du pouvoir) en 1856. Les Français ont rasé des vergers et des centaines de maisons traditionnelles (environ 300 bâtisses), afin de percer des voies carrossables dans la partie basse, la partie centrale et la partie haute.³⁸ Ce qui a dissocié la médina de sa citadelle qui se trouve au sommet et de la mer.³⁹ Dans une période ultérieure, un quadrillage systématique matérialisé par les boulevards actuels de : Ourida Meddad, Hahhad Abderezak et le boulevard de la Victoire (cf. Fig. II. 9), a été mis en place pour isoler la médina de l'ensemble de la ville et enfin

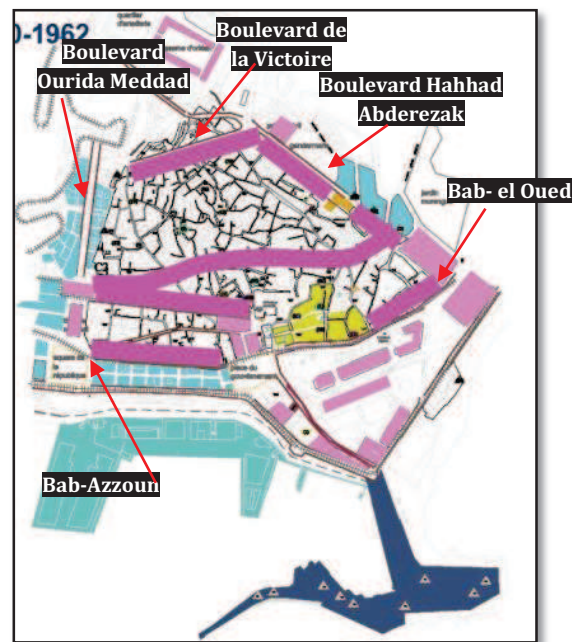


Fig. II. 9 : Les grandes modifications coloniales menées sur la médina d'Alger
(Source : le PPSMVSS.)

³⁵ En ligne [<http://whc.unesco.org/>].

³⁶ Ichbouden Larbi, (1997) 'Alger histoire et capitale de destin national', Casbah éditions, Alger, p 118-119.

³⁷ Le ministère algérien de la culture, (2005) Le plan permanent de sauvegarde et de mise en valeur du secteur sauvegardé la casbah d'Alger (le PPSMVSS).

³⁸ Ichbouden Larbi, (1997). Op. cit. p 136.

³⁹ Le ministère algérien de la culture, (2005) Le plan permanent de sauvegarde et de mise en valeur du secteur sauvegardé la casbah d'Alger (le PPSMVSS).

la rue Rondon pour isoler la partie basse de la médina de sa partie haute⁴⁰.

II.2.1.4.3 La troisième période : 1880-1940

Le génie militaire français rasa plusieurs quartiers de la Casbah d'Alger comme celui de la marine et les anciens faubourgs de Bab-Azoun et Bab-El-Oued pour percer des voies larges et des esplanades de défilé⁴¹ et édifier de grands équipements. Suite à l'exécution de ces opérations, une grande partie des anciennes constructions fut démolie notamment, dans la partie basse. Selon Ichebouden, le centre d'Alger durant cette période est devenu un vaste blanc. L'isolement de la médina s'est fait vers le sud et vers l'ouest.⁴²

II.2.1.4.4 La quatrième période : 1940-1962

Dans cette dernière période de la colonisation française en Algérie la basse Casbah était la victime d'une table rase, qui la fut disparue en laissant place au quadrillage de la ville-type napoléonienne.

II.2.1.5 La Casbah d'Alger après l'indépendance :

Après l'indépendance, on s'est confronté à une dégradation accélérée de la Casbah d'Alger. Cela était dû principalement à l'envahissement des biens vacants par de nouveaux habitants qui se sont installés à Alger suite à l'exode rural.⁴³ Ce n'est qu'en 1967, que les premiers textes juridiques étaient promulgués, définissant la politique en matière de protection et de mise en valeur des monuments et des sites historiques, en élargissant la notion de biens culturels au patrimoine immatériel, ignoré jusque-là. La nouvelle loi 98-04 du 15 juin 1998 constitue une réelle avancée, cette loi définit la notion de patrimoine culturel, comme étant « l'ensemble des biens culturels immobiliers, mobiliers et immatériels ». ⁴⁴ D'après J.J. Deluz la ville historique reste toujours une lourde interrogation. Plusieurs organismes ont été intéressés par la sauvegarde de la médina d'Alger, dont on cite à titre d'exemple : l'Atelier Casbah qui était créé et rattaché successivement aux : ministère de la Culture, au COMEDOR, à l'ETAU puis autonome sous l'appellation de BEREP. Ses interventions douces étaient dans le but de sauver la Casbah⁴⁵. Le 09 mai 2005 le décret exécutif n° 05-173 de la loi 98-04 du 15 juin

⁴⁰ **Idem.**

⁴¹ **Ichbouden Larbi.** Op. cit. p 136.

⁴² **Le ministère algérien de la culture,** (2005) Le plan permanent de sauvegarde et de mise en valeur du secteur sauvegardé la Casbah d'Alger (le PPSMVSS).

⁴³ **Atek Amina,** 2012, 'Pour une réinterprétation du vernaculaire dans l'architecture durable cas de la Casbah d'Alger', magistère, université de Tizi-ouzou p 86.

⁴⁴ **Boussad A. Cherbi F. Oubouzar L.** 'Patrimoine architectural et urbain des XIX^e et XX^e siècles en Algérie'.

⁴⁵ **Deluz J.J.,** 1988 'L'urbanisme et l'architecture d'Alger', OPU, Alger, Algérie, p 118.

1998 était promulgué pour délimiter le secteur sauvegardé de la Casbah d'Alger⁴⁶ mais, il faudra attendre l'année 2003, pour que soit promulgué le décret N°03-324 du 5 octobre 2003 relatif aux modalités d'établissement du plan permanent de sauvegarde et de mise en valeur des secteurs sauvegardés⁴⁷. Par ailleurs, ce n'est qu'en 2005 que fut promulgué le décret exécutif N°05.173 du 09 mai 2005 portant sur la création et la délimitation du Secteur Sauvegardé la «CASBAH d'ALGER». Suite à cette délimitation le plan permanent de sauvegarde et de mise en valeur du secteur sauvegardé (PPSMVSS) de la Casbah d'Alger a été mis en œuvre afin de redonner à cette médina son dynamisme. Cette opération qui est toujours dans sa première phase et qui consiste à consolider le bâti avec des mesures d'urgence a rencontré plusieurs contraintes sur terrain, comme l'occupation des maisons par de nouveaux habitants après le relogement de ses propriétaires. Ce qui a entravé son avancement.

II.2.2 L'urbanisme de la médina d'Alger ottomane :

Nous allons parler de l'organisation spatiale de la médina d'Alger de l'époque ottomane, en évoquant les circonstances liées aux contextes : politique, socio-économique, culturel et climatique qui ont influencé son environnement physique. En effet, les règles et les pratiques religieuses ont considérablement influencé l'organisation spatiale de la médina d'Alger, qui se caractérise par l'existence des éléments principaux suivants :

II.2.2.1 Murailles et Portes de la médina :

Les conditions politiques qui prévalaient à la médina d'Alger ottomane étaient caractérisées par les menaces européennes. D'après Icheboudene, les tentatives des Espagnoles et des Européens de conquérir la ville ont poussé les Turcs à construire les forts, ainsi que, les remparts qui entourent la médina, ce qui a donné à cette dernière un caractère purement militaire. Comme l'explique Lespes en disant « Il faut avouer que, rarement une place maritime fut dotée d'autant d'ouvrage et qu'ils purent sans exagération décorer celle-ci du titre de bien gardée »⁴⁸. Donc la médina d'Alger ottomane combinait la science de l'architecture militaire turque à la tradition architecturale arabo-méditerranéenne et islamique⁴⁹. Comme la médina d'Alger était dotée de murailles qui l'entourent de partout, l'échange ainsi que, les déplacements hors médina s'effectuaient à travers ses portes ; qui

⁴⁶ Proposition d'une approche méthodologique pour une stratégie de revitalisation de la Casbah d'Alger.

⁴⁷ Le ministère algérien de la culture, (2005) Le plan permanent de sauvegarde et de mise en valeur du secteur sauvegardé la casbah d'Alger (le PPSMVSS).

⁴⁸ Ichbouden Larbi, (1997) 'Alger histoire et capitale de destin national', Casbah éditions, Alger, p 57.

⁴⁹ En ligne [<http://whc.unesco.org/>].

assurent le transit des différents flux, et jouent aussi un rôle défensif. La médina d'Alger comportait cinq portes qui sont : La porte de Bab-El-Oued sur le coté nord, la porte de Bab-Azzoun sur le coté sud-est, la porte de Bab-Al-Jadid sur le coté ouest, la porte de Bab-El-Bahr et la porte de Bab-El-Jihad sur le coté est⁵⁰. La carte (cf. Fig. II. 10) montre l'emplacement de chacune.

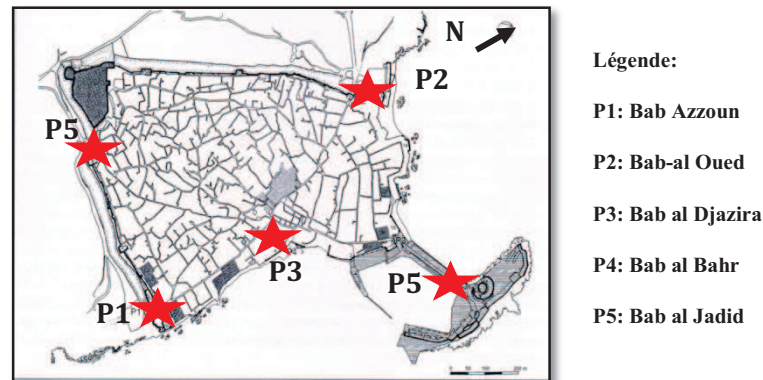


Fig. II. 10 : Les portes de la médina d'Alger ottomane.

(Source : Missoum 2003)

II.2.2.2 Réseau routier :

On a déjà mentionné que, la médina d'Alger est composée de deux parties distinctes : la partie haute et la partie basse. Le relief et la vacation de chaque partie ont influencé la forme et les dimensions des rues, dont le tracé des voix de la médina d'Alger a principalement suivi les dépressions du terrain⁵¹. Concernant la partie basse, elle est caractérisée par l'existence de deux axes structurant qui se superposent aux ex-cardo et l'ex-decumanus (cf. Fig. II. 6), qui représentent actuellement, la rue de Bab-Azoun et la rue de Bab-El-Oued de caractère commerçant. La partie haute qui se distingue par son relief accidenté et sa forte densité de l'habitat, comporte des ruelles étroites et sinueuses ainsi que des impasses. La largeur des ruelles varie entre 2 et 2.5 m et elle est d'une moyenne de 1.5 m pour les impasses⁵². Ces derniers représentent 45.7% de la longueur totale du réseau routier⁵³. À

⁵⁰ **Missoum Sakina**, (2003) 'Alger à l'époque ottoman la médina et la maison traditionnelle', Edisud, Paris, France, p131.

⁵¹ **Richa M.** 1998 'les formes actuelles de protection du patrimoine historique et culturel bâti'. Les cahiers de l'EPAU.N° 7/8. p 62.

⁵² **Hassas N.** 2012 'Étude du patrimoine architectural de la période ottomane entre valeurs et confort', mémoire magistère, Université de Tizi-Ouzou, Algérie.

⁵³ **Missoum Sakina**, (2003) 'Alger à l'époque ottoman la médina et la maison traditionnelle', Edisud, Paris, France, p 75.

l'exception des deux voix radiales qui relient la citadelle à la partie basse⁵⁴, les ruelles de la médina sont souvent couvertes par une voûte ce qui leur donne le nom d'Essabat (cf. Fig. II. 11), issu du besoin de récupérer l'espace au-dessus des ruelles⁵⁵. En effet, la Casbah d'Alger n'a pas de centre géométrique, soit on grimpe pour atteindre la citadelle ou on descend pour rejoindre le port.⁵⁶



Fig. II. 11 : Sabbat Ahmed Allem- la Casbah d'Alger-
(Source : Auteur)

II.2.2.3 Quartiers :

La notion de quartier dans la médina d'Alger est différente de la notion de quartier dans les grandes villes. Concernant celui de la médina d'Alger Sakina Missoum le définit comme suit « un ensemble de maisons structurées par une ou plusieurs rues hiérarchisées, fermées par des portes et dotées d'organismes élémentaires et indispensables pour la communauté qui y vit : une mosquée,...un groupe de boutiques ...un bain, une fontaine et un four ...reliés par le réseau des rues... ».⁵⁷ Donc les quartiers résidentiels se développaient sur le versant orienté à l'est et s'ouvraient sur la mer⁵⁸. D'après André Ravereau « Alger prisonnière de ses murs, ne pouvait ni avancer ni reculer, tant sa géographie la contient dans le microclimat d'une orientation protégée et favorable ».⁵⁹ Contrairement aux autres villes qui modifient leurs limites, l'extension de la médina d'Alger se faisait en hauteur en rajoutant des étages même sur les espaces urbains créant ainsi, une architecture spécifique du lieu tel que

⁵⁴ **Idem.**

⁵⁵ **Ichbouden Larbi**, (1997). 'Alger histoire et capitale de destin national'. Alger : Casbah éditions, p 62.

⁵⁶ **Keddache Mahfoud**, (2002) 'L'Algérie durant la période ottomane', l'office des publications universitaires, Alger, Algérie, 193.

⁵⁷ **Missoum Sakina**, (2003) 'Alger à l'époque ottoman la médina et la maison traditionnelle', Edisud, Paris, France, p 85.

⁵⁸ **Tsouria Kassab**. 2010 'Réécriture des espaces, entre discours idéologiques et pratiques La Casbah d'Alger'. Québec.

⁵⁹ **André Ravereau** 1989 'La Casbah d'Alger, et le site créa la ville' Sindibad - p 34.

qualifié par C.N.Schulz et faisant ainsi de cette médina son exception qui lui valut son classement.⁶⁰

Le tissu urbain de la médina d'Alger se caractérise par sa compacité et sa forte densité, ainsi que, par la présence des ruelles étroites qui ne laissent pas une grande distance entre le bâti, et ne permettent pas aux rayons solaires d'atteindre les façades extérieures afin d'éviter leur échauffement. Cette morphologie urbaine compacte des maisons traditionnelle de la Casbah d'Alger minimise les déperditions thermiques pendant l'hiver, en renforçant l'inertie thermique. La configuration urbaine de cette médina est principalement pensée dans le but d'assurer une protection solaire le long de l'année. De plus, les maisons de la médina d'Alger sont caractérisées par le nombre réduit d'ouvertures sur les façades extérieures, dans le but de se protéger du soleil et du regard.

II.2.2.4 La citadelle :

Avant de construire la citadelle actuelle, la médina d'Alger avait une ancienne citadelle qui se trouvait quelque 300 m plus bas. Entre les années 1552 et 1572-73 la nouvelle citadelle fut construite. Elle occupe actuellement le sommet de la Casbah⁶¹(cf. Fig. II. 12/ e). Cette position stratégique lui a permis un très bon contrôle maritime⁶² (cf. Fig. II. 12/ b). La citadelle était séparée du reste de la médina par une muraille. Elle englobe la résidence du sultan ainsi que, d'autres entités et annexes.

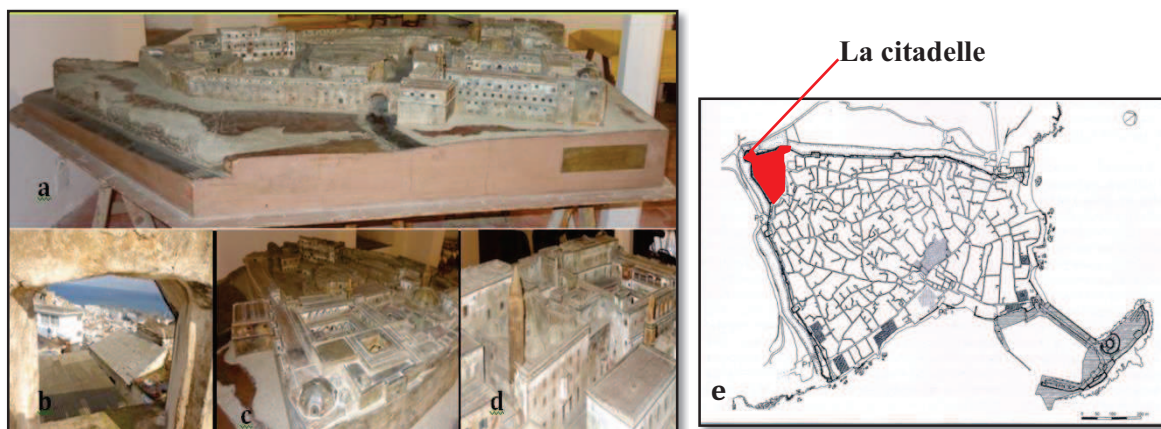


Fig. II. 12 : La citadelle :(a, c, d) Vues sur la maquette de la citadelle, (b) Vue sur mer depuis la citadelle. (e) Emplacement de la citadelle dans la médina.

(Source : Auteur / Missoum, 2003)

⁶⁰ Tsouria Kassab. Op. cit.

⁶¹ Missoum Sakina, (2003). Alger à l'époque ottomane. Paris : Edisud p131.

⁶² Ichbouden Larbi, (1997). Alger histoire et capitale de destin national. Alger : Casbah éditions.

II.2.2.5 Le port :

La médina d'Alger est dotée d'un port qui fut agrandi par khayr Eddine Arroudj, pour qu'il puisse répondre à la fonction commerciale qu'il abrite. Il l'a aussi équipé d'une môle qui relie les îles à la médina. Comme le montre la figure (Fig. II.13), il l'avait même protégé des vents qui gênent les navires, en édifiant un mur qui sert de brise-vent.⁶³



Fig. II. 13 : Port et mole d'Alger A. Genêt
(Source : Assari Nadir, 2007)

II.2.2.6 Centre du pouvoir administratif et politique :

La résidence des deys représentait à l'époque ottomane le centre du pouvoir politique. Elle était située au cœur de la médina,⁶⁴ dans la partie basse au sein de l'aire urbaine, qui regroupe les différents équipements publics ainsi que, les organes de l'état et de la ville. Dans cette partie de la ville se concentre un grand nombre d'activités.⁶⁵ La figure (Fig. II. 14) illustre la partie basse de caractère public.



Fig. II. 14 : Le centre du pouvoir « La Djenina » 1817.
(Source : Série de l'art et de la culture- L'Algérie-)

⁶³ Missoum Sakina, (2003) 'Alger à l'époque ottomane la médina et la maison traditionnelle', Edisud, Paris, France, p 118.

⁶⁴ Idem, p 144.

⁶⁵ Tsouria Kassab. 2010. Réécriture des espaces, entre discours idéologiques et pratiques La Casbah d'Alger. Québec.

⁶⁵ Missoum Sakina, Op. cit. p 203.

⁴² Idem.

II.2.3 L'architecture de la maison traditionnelle de la Casbah d'Alger :

II.2.3.1 Typologies existantes :

À l'œil de plusieurs explorateurs de la médina d'Alger pendant la période ottomane, la maison traditionnelle est perçue comme étant une maison typique d'un même plan.⁶⁶ En réalité, les maisons de la Casbah d'Alger sont classées en deux typologies qui sont : la maison avec wast-dar, ce dernier peut être découvert ou bien couvert d'un chebek. La deuxième typologie est la maison sans wast-dar.

II.2.3.1.1 La maison avec wast-dar :

La maison avec wast-dar découvert : elle est de petites, moyennes ou grandes dimensions. Elle s'organise autour du patio qui peut être central ou latéral, c'est une maison à portiques d'arcs brisés outrepassés (qui entourent le patio) portés par des colonnes monolithiques avec la présence de linteaux en bois.⁶⁷ Elle est aussi appelée une maison à portiques⁶⁸ (cf. Fig. II. 15).

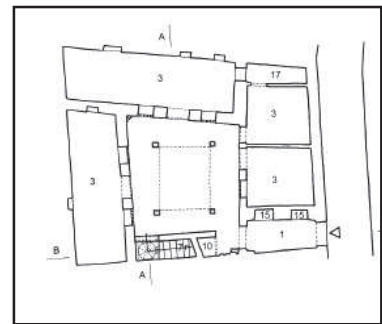


Fig. II. 15 : Exemple d'un plan de maison traditionnelle avec wast dar (patio)

(Source : Sakina Missoum 2003)

La maison avec wast-dar partiellement découvert : elle est de moyennes ou de petites dimensions. Elle s'organise autour d'un wast-dar couvert de barreaux (chebak), qui laissent pénétrer l'air et la lumière.

II.2.3.1.2 La maison sans wast-dar al Alwi :

Elle est de petites dimensions, dont elle occupe une petite emprise au sol et se développe en hauteur. Elle comporte souvent un puits de lumière. L'escalier est un élément principal dans l'organisation spatiale de ce type de maisons. Dont on distingue deux organisations différentes : bipartite avec un escalier latéral ou bien tripartite avec un escalier central⁶⁹ (cf. Fig. II.16).

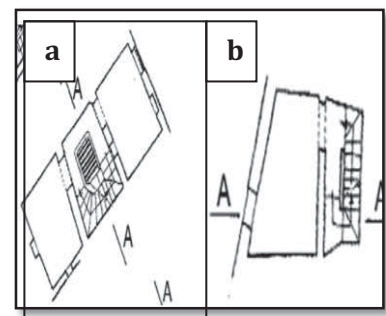


Fig. II. 16 : Exemple d'un plan de maison traditionnelle Alwi : (a) tripartite, (b) bipartite.

(Source : Sakina Missoum 2003)

⁶⁶ Missoum Sakina, Op. cit. p 204.

⁶⁷ Idem.

⁶⁸ Kamous Chahrazad, kamous Ahmed, (1993), 'Algérie 90 architecture en attente, revue d'architecture et d'urbanisme', N° 01, Arcco, p 128.

Lors de notre visite de terrain, on a remarqué qu'il existe des maisons classées selon le plan permanent de sauvegarde et de mise en valeur du secteur sauvegardé (PPSMVSS) de la Casbah d'Alger, sous la typologie de maison avec wast-dar découvert. Tandis que, leur wast-dar était couvert d'un chebek et que les maisons avaient des portiques comme la maison N° 68, située dans la rue Mohamed Benghanif. D'après ses habitants elle est classée comme étant un petit palais. Cela nous a permis d'admettre que, la présence d'un chebek n'est pas vraiment un critère de classification typologique car des maisons à portiques ou sans portiques peuvent toutes les deux avoir un chebek. C'est plutôt la présence des portiques et la taille de la maison qui font la différence dans la classification.

II.2.3.2 Les éléments architecturaux et les compartiments de la maison traditionnelle de la Casbah d'Alger :

Nous allons essayer d'exposer les principaux composants et compartiments de la maison traditionnelle de la Casbah d'Alger (cf. Annexe. B), en mettant l'accent sur la relation qui existe entre la position et la configuration spatiale de chaque élément étudié et les facteurs climatiques particulièrement, l'ensoleillement.

II.2.3.2.1 L'entrée (Skifa) :

La notion de la hiérarchisation de l'espace peut être clairement observée dans l'organisation spatiale de la maison traditionnelle de la Casbah d'Alger. La skifa est un espace intermédiaire qui sépare l'extérieur de l'intérieur de la maison. Elle représente un vestibule ou un espace d'attente avant d'avoir la permission d'entrer au sein de la maison.⁷⁰ Elle est aussi un espace de regroupement des hommes en fin de journée. La skifa comporte des bancs en maçonnerie revêtus de céramique ou de marbre⁷¹, cet espace est généralement de forme rectangulaire. La skifa est présente dans les grandes demeures de la Casbah d'Alger, où elle se multiplie en



Fig. II. 17 : La Skifa du palais Mustapha Pacha
(Source : Auteur)

⁶⁹ Missoum Sakina, (2003) 'Alger à l'époque ottomane la médina et la maison traditionnelle', Edisud, Paris, France, p 211

⁷⁰ Ichbouden Larbi, (1997) 'Alger histoire et capitale de destin national'. Alger : Casbah éditions, p.64

⁷¹ Missoum Sakina. Op. cit.

deux ou trois autres skifas, dont chacune a son rôle et sa forme. Elle comporte une porte qui la sépare de l'intérieur de la maison ce qui préserve l'intimité des gens. En outre, la skifa représente un volume fermé, qui sépare l'extérieur de l'intérieur et joue un rôle dans la diminution des déperditions thermiques à travers la porte d'entrée, en hiver. Tandis qu'en été, elle contribue au refroidissement de l'air qui pénètre de l'extérieur vers l'intérieur de la maison, car elle se trouve à l'abri des rayons solaires tout au long de la journée.

II.2.3.2.2 Le patio (Wast-dar) :

C'est un espace ouvert sur le ciel qui occupe généralement le centre de la maison ou bien l'un de ses côtés. Il est de forme quadrangulaire⁷². Généralement profond dont ses dimensions planimétriques sont souvent plus petites que sa hauteur. Il est l'élément architectonique autour duquel s'organisent les différents espaces de la maison. Le patio représente un espace de circulation qui sert d'un hall de distribution aux différents espaces de la maison. Le wast-dar est le lieu de pratique de plusieurs activités quotidiennes comme le lavage du linge pendant l'été. C'est un espace où les habitants prennent leurs repas, discutent et se regroupent (cf. Fig. II. 19). « Dans un west ed-dar à Alger, on vit »,⁷³ cette constatation d'André Ravereau, reflète par excellence le rôle social que joue cet espace.



Fig. II. 18 : Wast-dar
du palais Mustapha Pacha.
(Source : Auteur)



Fig. II. 19 : Le wast-dar un espace social
par excellence
(Source : la régence d'Alger.)

D'autre part, caractérisé par sa forte profondeur, le patio occulte les espaces situés au rez-de-chaussée, tandis que, les espaces du dernier étage sont bien exposés au soleil. Le patio représente aussi un régulateur thermique de la maison traditionnelle de la Casbah d'Alger, car il assure la ventilation naturelle de ses espaces. Pendant la nuit, il aspire l'air frais qui pénètre

⁷² Missoum Sakina. Op. cit. p 215.

⁷³ André Ravereau. 1989 'La Casbah d'Alger, et le site créa la ville', Sindibad, p 60.

aux chambres à travers les fenêtres et la porte ce qui pousse l'air chaud à sortir par les petites ouvertures qui se trouvent au-dessus des portes et des fenêtres des chambres (cf. Fig. II. 20). Il assure aussi l'éclairage naturel aux différentes pièces qui l'entourent.

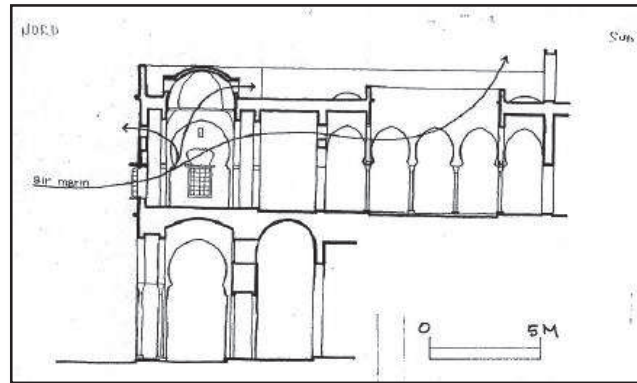


Fig. II. 20 : La fonction de ventilation naturelle attribuée au patio (Alger).

(Source : Samir Abdulac, 2011)

Donc, le patio est une sorte d'isolement de l'intérieur de la maison des conditions climatiques extérieures, dont il réduit l'influence du climat, particulièrement du rayonnement solaire sur l'ambiance interne de la maison.⁷⁴ Nous allons faire une petite comparaison entre la configuration spatiale du patio de la maison traditionnelle de la Casbah d'Alger et ceux des maisons situées à Rome et au M'Zab. Bien qu'Alger et Rome se situent sur le littoral méditerranéen et soient quasiment soumis aux mêmes conditions climatiques, la configuration et le rôle climatique attribué au patio dans les deux emplacements mentionnés est différent. D'après La figure (Fig. II. 21) on remarque que, le comportement climatique du patio de la maison de la Casbah d'Alger vis-à-vis du rayonnement solaire est plus proche du comportement d'un patio d'une maison située au M'Zab sous un climat chaud et désertique, où les rayons solaires ne parviennent pas à balayer le patio mais, elles s'arrêtent à l'extrémité de la galerie (cf. Fig. II. 21/ A, B). Le patio dans une telle situation joue un rôle principal dans la ventilation et l'éclairage naturels. Tandis qu'il rejette les rayons solaires et ne permet pas un captage solaire passif, contrairement à la fonction du patio dans la maison de Rome, où il permet aux rayons solaires de balayer sa surface, ce qui augmente sa température ambiante (cf. Fig. II. 21/ C).

⁷⁴ Atek Amina, 2012, 'Pour une réinterprétation du vernaculaire dans l'architecture durable cas de la Casbah d'Alger'.magistère, université de Tizi-ouzou. p 125.

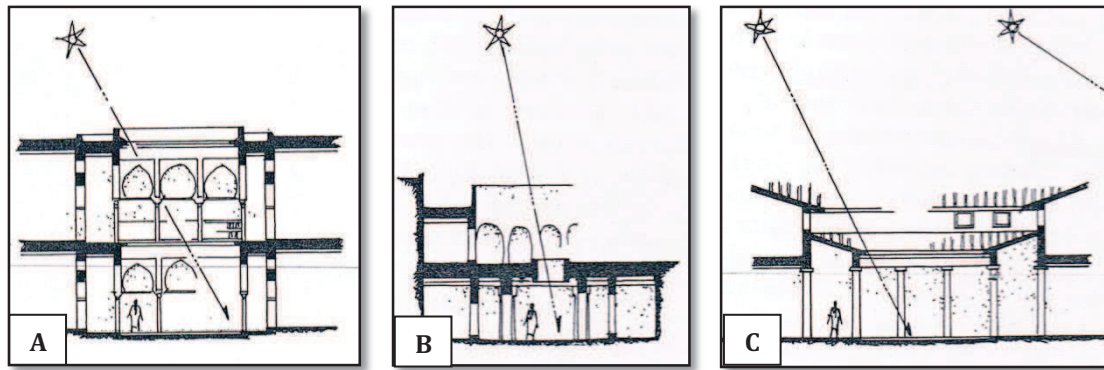


Fig. II. 21 : L'exposition solaire du patio sous différents climats. (A) : le patio à Alger, (B) : le patio au M'Zab, (C) le patio à Rome.

(Source : André Raverau, 1987)

II.2.3.2.3 La galerie et les portiques :

La galerie est un espace semi-couvert, qui occupe une position intermédiaire entre le patio et les espaces qui l'entourent. Elle représente l'élément qui assure la circulation horizontale particulièrement, dans le premier étage. Les galeries jouent un rôle climatique très important dans la protection contre les rayons solaires et les orages. Pendant l'été, les galeries projettent leur ombre sur la façade pour éviter son échauffement (cf. Fig. II. 22). Dans les palais de la Casbah d'Alger, la chambre qui fait face au soleil, située au dernier niveau est dotée d'une double galerie pour une protection solaire maximale,⁷⁵ car les chambres situées au dernier étage sont plus exposées au soleil que celles situées au rez-de-chaussée.



Fig. II. 22 : Une galerie du palais Mustapha Pacha.

(Source : Auteur)

⁷⁵ Missoum Sakina. Op. cit. p 230.

II.2.3.2.4 L'escalier :

L'escalier, un espace de transition entre les différents étages, qui occupe l'un des angles de la planimétrie de la maison. Sa position permet aux chambres d'occuper le reste du périmètre de la parcelle. La hauteur importante des niveaux a offert des espaces qui occupent la longueur de l'escalier qui sont des espaces de rangement appelés *seddas* ou *bartozs*⁷⁶. Les escaliers des maisons traditionnelles de la Casbah d'Alger sont généralement de volée droite⁷⁷, revêtus de carreaux de céramique. Les marches sont caractérisées par leur hauteur importante estimée à 30 cm. Les habitants ouvrent souvent la porte de la terrasse et celle de l'entrée de la maison pour créer un courant d'air qui traverse le patio et la cage d'escalier et assure la ventilation des espaces intérieurs de la maison. Donc la cage d'escalier joue un rôle dans la régulation thermique de la maison à patio de la Casbah d'Alger.



Fig. II. 23 : Un escalier dans le palais Mustapha Pacha.

(Source : Auteur)

II.2.3.2.5 Les chambres :

La chambre de la maison traditionnelle de la Casbah d'Alger était considérée comme un appartement qui supporte les différentes pratiques de la vie quotidienne de ses habitants. La forme rectangulaire et la largeur limitée des chambres des maisons traditionnelles de la Casbah d'Alger représentent une réponse architecturale à une contrainte purement structurelle,⁷⁸ qui est due à la longueur limitée des troncs de thuya qui représentent les poutrelles. Les chambres ont une hauteur aussi importante, qui permet une bonne circulation de l'air qui pénètre par les ouvertures et pousse l'air vicié à sortir par les petites ouvertures qui se trouvent au-dessus de la porte. Les chambres occupent le périmètre de la maison et s'organisent autour du patio. La chambre prend son nom d'après sa situation dans la maison, si elle fait partie du rez-de-chaussée on l'appelle *bit*, au premier étage elle prend le nom de *ghourffa* qui contient le *qbou* et dans la terrasse elle s'appelle *menzeh*.⁷⁹ Les chambres s'encastrent l'une derrière l'autre en formant une hélice (le système antisismique) à l'intérieur

⁷⁶ **Missoum Sakina**, 2003 'Alger à l'époque ottomane la médina et la maison traditionnelle', Edisud, Paris, France, Edisud. p 221.

⁷⁷ **André Ravereau**, 1989 'La Casbah d'Alger, et le site créa la ville', Sindibad. p 201.

⁷⁸ Les poutrelles faites en thuya ont un franchissement limité.

⁷⁹ **André Ravereau**. 1989 'La Casbah d'Alger, et le site créa la ville', Sindibad.

du périmètre de la maison.⁸⁰ La chambre de la maison traditionnelle de la Casbah d'Alger est caractérisée par une organisation spatiale tripartite constituée d'un espace central profond qui contient le qbou et de deux espaces latéraux marqués par les niches généralement situées en face des fenêtres qui donnent sur la galerie.⁸¹



Fig. II. 24 : Chambre-type aménagée dans le palais de Mustapha Pacha.

(Source : Auteur)

II.2.3.2.6 Le qbou :

Le qbou est un volume saillant de la partie centrale de la chambre, il est situé dans le mur qui donne sur l'extérieur ; perçu comme un encorbellement qui couvre une partie ou bien toute la largeur de la ruelle. Le qbou est doté d'ouvertures qui assurent la ventilation des chambres, en laissant pénétrer un courant d'air qui sort par le patio (cf. Fig. II. 20). Sa largeur moyenne est de l'ordre de 2 m dans les grandes demeures. Il est de forme carrée surmontée d'une coupole⁸² (cf. Fig. II. 25). La partie saillante du qbou qui couvre une partie ou la totalité de l'espace public constitue une protection contre le rayonnement solaire en été, et contribue à l'amélioration des conditions de confort thermique dans l'espace urbain de la médina.



Fig. II. 25 : Le Qbou

(Source : www.memoria.dz)

⁸⁰ Missoum Sakina. Op. Cit. p 216.

⁸¹ André Ravereau. Op. Cit. p 201.

⁸² Missoum Sakina, 2003 'Alger à l'époque ottoman la médina et la maison traditionnelle', Edisud, Paris. France, Edisud. p 220.

II.2.3.2.7 Les terrasses :

Les terrasses sont les parties des maisons de la Casbah d'Alger qui ont donné l'image de la cascade à cette médina. Elles s'échelonnent depuis la mer jusqu'au sommet du relief ce qui les expose à la brise rafraîchissante de la mer. Le mur d'acrotère des terrasses des maisons de la Casbah d'Alger est moins élevé que celui de la maison du M'Zab. Il est d'une hauteur moyenne de 1.1 m,⁸³ car il limite les propriétés en permettant la vue sur les autres terrasses des maisons avoisinantes. Les terrasses représentent un lieu social où se rencontrent les femmes, c'est plutôt leur extérieur. Comme l'exprime le grand architecte André Ravereau « Cet espace est un lieu de vie comme le wast dar, son occupation se diffère d'une saison à une autre et d'une heure de la journée à une autre aussi ».

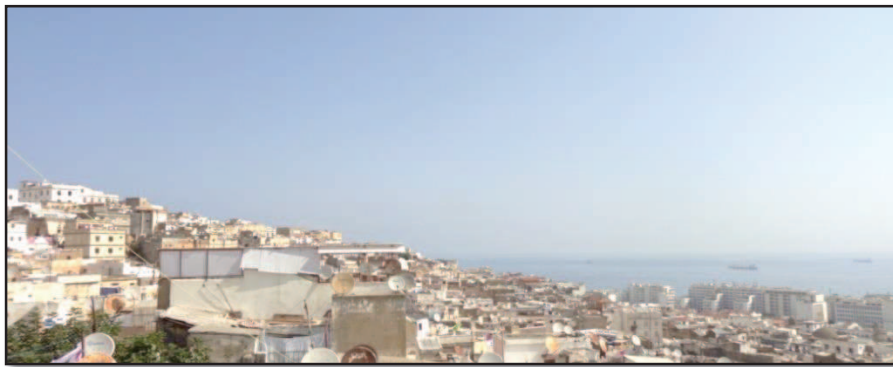


Fig. II. 26 : Les terrasses de la Casbah d'Alger s'échelonnent jusqu'à la mer.

(Source : Auteur)

Les terrasses des maisons traditionnelles de la Casbah d'Alger jouent un rôle climatique dans la récupération des eaux pluviales qui descendent à travers une conduite réalisée en terre cuite située dans l'un des murs intérieurs pour emmagasiner les eaux récupérées dans une citerne souterraine, qui se trouve sous le patio appelée El-Djeb.

Il existe d'autres espaces de service (cf. Annexe B) dans la maison traditionnelle de la Casbah d'Alger mais, nous n'avons cité que les espaces de vie occupés pendant la journée et au sein desquelles le soleil peut contribuer à améliorer les conditions du confort.

Conclusion :

La médina d'Alger a connu la succession de plusieurs civilisations, dont chacune a construit ses demeures sur les traces de celle qui l'a précédé. La topographie accidentée du

⁸³ André Ravereau. 1989 'La Casbah d'Alger, et le site créa la ville', Sindibad, p 204.

site n'a laissé qu'une petite surface plate qui a regroupé le centre administratif, les locaux commerciaux et les autres services. Tandis que, le monticule rocheux représentait la zone résidentielle par excellence. La nature accidentée du terrain et la nécessité de la protection solaire ont grandement influencé la morphologie urbaine de la médina d'Alger, qui est caractérisée par sa forte compacité. Les maisons accolées les unes aux autres, ne laissent que peu d'espace pour les ruelles étroites. Ces dernières sont totalement protégées du soleil, par la hauteur importante du bâti qui les délimitent et par les encorbellements des maisons comme le qbou.

Grâce à la rareté des terrains vides, les maisons ont été accolées les unes aux autres, ce qui a largement influencé l'architecture de la maison traditionnelle ottomane de la Casbah d'Alger et façonné ses éléments, particulièrement le patio. Ce dernier est caractérisé par ses petites dimensions planimétriques et sa profondeur importante qui lui permet de protéger les espaces intérieurs du soleil. Les galeries qui entourent le patio jouent un rôle complémentaire et représentent une double protection solaire.

L'architecture traditionnelle de la Casbah d'Alger se caractérise par la présence de certaines mesures de conception et de construction climatiques et bioclimatiques, qui ont pour but principal de protéger les espaces publics et les espaces de vie à l'intérieur des maisons des rayons solaires. Cette protection solaire est associée à un système de rafraîchissement naturel, pour affronter la chaleur d'été. Les ottomans ont donné une préoccupation à la protection solaire car ils admettaient que, le climat de la ville d'Alger est caractérisé par une période chaude plus longue que la période froide, ce qui contredit avec les résultats de l'analyse bioclimatique de cette ville (cf. Annexe C).

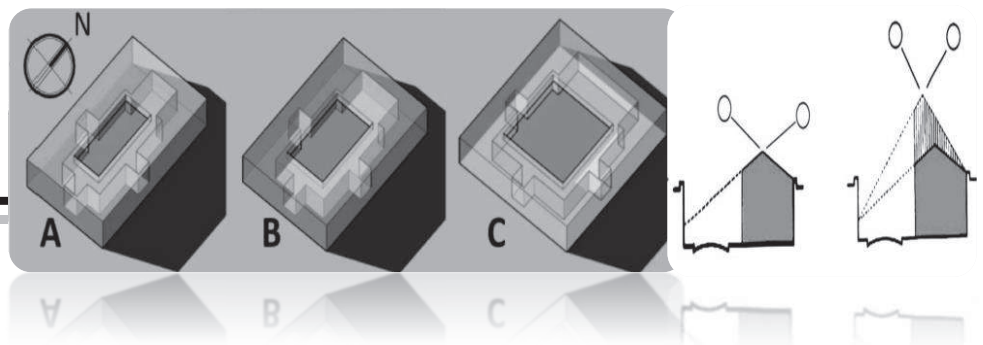
Cette analyse de la morphologie de la maison traditionnelle de la Casbah d'Alger vis-à-vis des facteurs climatiques particulièrement, du soleil sera étalée dans la présentation de l'investigation et du travail de terrain dans le quatrième chapitre, où l'observation in situ du cas d'étude nous a permis d'enrichir nos connaissances et de mieux comprendre l'intégration de la dimension climatique dans la conception de la maison traditionnelle de la Casbah d'Alger et dans sa genèse.

Après avoir exploré l'architecture de la maison traditionnelle de la Casbah d'Alger, connu ses éléments structurants et découvert les facteurs qui l'ont fait naître, on passe à l'étude de la forme architecturale vis-à-vis de l'ensoleillement dans le troisième chapitre.

Chapitre : III

Stratégies urbaines, architecturales et techniques d'amélioration du potentiel solaire passif

– État de l'art–



« On ne le répète jamais assez aux élèves architectes : armons-nous sur les conditions climatiques : le soleil, la pluie, le froid, la chaleur, les vents... préoccupons-nous des contraintes de l'environnement et nous serons certains de construire avec sérieux. Cherchons donc l'essentiel sans avoir recours à des apports superflus : jeux de matières, effets, formes et sans vouloir accomplir des gestes techniques qui dépassent la stricte nécessité ».

1

André Ravereau

Introduction :

L'approche bioclimatique en architecture a pour objectif global de créer un microcosme en concordance optimale avec son environnement. En effet, lorsque le soleil est considéré comme l'élément critique dans la conception d'une architecture bioclimatique le processus de genèse d'un projet doit passer par plusieurs étapes à différentes échelles pour parvenir à intégrer une stratégie passive de captage solaire et de protection dans un bâtiment. Ce travail commence à une macro échelle par la prise en compte de l'environnement naturel, du relief du site d'implantation et de son orientation par rapport au soleil, puis des mesures urbaines qui sont fortement liées à la géométrie du bâti et à sa densification.

En admettant que, le patio (qui est l'élément principal dans l'organisation spatiale de notre cas d'étude) est un espace intercalaire ou un vide entre deux masses de bâti, il pourra être considéré comme un espace urbain sur lequel on pourra appliquer les méthodes et les outils d'étude de l'ensoleillement des espaces urbains. De ce fait, nous allons prendre en compte les études d'ensoleillement dans l'espace urbain qui sont censées être applicables au patio.

Le potentiel solaire d'un bâtiment est régi aussi par la configuration volumétrique du bâtiment lui-même, sa forme en plan et en élévation détermine les surfaces exposées au soleil et celles cachées. L'organisation de l'étude de la forme architecturale vis-à-vis de l'ensoleillement dans ce chapitre est directement liée à la configuration spatiale de notre cas d'étude et d'inspiration, qui représente la maison à patio ou la typologie d'habitat introverti. Donc nous allons étudier le potentiel solaire de la forme architecturale, en distinguant deux

¹ André Ravereau, 2003, ' le M'Zab une leçon d'architecture', Sindibad.

types de formes : la forme extravertie et la forme introvertie. En effet, nous allons présenter par la suite les stratégies et les mesures qui permettent de combiner les contraintes solaires urbaines et architecturales à la fois par un seul outil ou technique de conception.

Cependant, la conception solaire passive ne permettra de tirer pleinement parti de l'énergie solaire, seulement si l'enveloppe du bâtiment est pensée de telle manière qu'elle assure une bonne gestion des flux solaires. La performance de l'enveloppe architecturale en matière de la conservation d'énergie solaire fait intervenir plusieurs paramètres, en relation avec la composition et les caractéristiques des matériaux constituant les parois opaques et les parois vitrées. Parmi lesquels nous allons exposer les caractéristiques les plus importantes.

Il est admis qu'une approche de conception bioclimatique s'appuie sur les stratégies et les techniques mises en place dans le projet qui permettent de capter et/ou de se protéger du soleil, de diffuser l'énergie captée, de la conserver et/ou de l'évacuer. Dont les facteurs urbains et architecturaux déterminent l'exposition du bâtiment au soleil et la performance de l'enveloppe du bâtiment détermine son comportement vis-à-vis de l'énergie incidente, selon les besoins énergétiques des différentes périodes de l'année. Tous ces facteurs contribuent à la création d'un environnement satisfaisant où l'énergie solaire joue son rôle par excellence tout au long de l'année.

Il est à noter que, les études de l'ensoleillement sont principalement élaborées, en fonction de l'emplacement géographique (défini par la latitude) et de l'orientation, dans le but d'optimiser les gains sous des climats froids ou tempérés, ou bien de se protéger du soleil sous les climats chauds. De ce fait, on s'est intéressé aux méthodes et outils d'étude de l'ensoleillement proposés, sans s'inquiéter du type du climat, car **les outils d'étude de l'ensoleillement** élaborés par les différents chercheurs **peuvent être appliqués à notre cas d'étude en tenant compte seulement de la latitude**. Le climat est pris en considération lors de la présentation **des résultats ou des recommandations** propres à un lieu donné.

III.1 Stratégies urbaines d'amélioration du potentiel solaire

À l'échelle de l'agglomération ou de la ville, le potentiel solaire d'un bâtiment est régi par un ensemble de paramètres naturels particuliers d'un site comme : le relief, l'orientation, la végétation, les vues offertes. Ainsi que, par un ensemble de paramètres physiques et géométriques liés à la morphologie urbaine et à la densité du bâti.

III.1.1 Facteurs naturels liés au site d'implantation influant sur le potentiel solaire :

« Les matériaux de l'urbanisme sont : le soleil, les arbres, le ciel, l'acier, et le ciment, dans cet ordre hiérarchique... »². Dans cette citation, le grand architecte le Corbusier considère que le soleil est le premier facteur à prendre en compte pour une maîtrise de l'urbanisme. De ce fait, il faut tenir compte des possibilités de l'ensevelissement d'un bâtiment qui sont fortement liées à son implantation dans le relief, car cette dernière détermine l'orientation du bâtiment et l'exposition de ses différentes façades au soleil. Le meilleur emplacement est celui qui permet de bénéficier du soleil bas de l'hiver, durant la période d'insolation utile qui dépend de la latitude (9 h jusqu'à 15 h³).

Donc le site offre des atouts qu'on exploite et des contraintes auxquelles on cherche des solutions liées au choix de la forme architecturale et de son implantation, afin d'optimiser la quantité d'énergie solaire captée. En effet, la création architecturale tire son originalité de la manière dont le concepteur cherche à résoudre et à gérer les contraintes du site. À titre d'exemple : l'habitat vernaculaire de Matmata en Tunisie, illustre la manière dont ses concepteurs ont réussi à assurer une bonne protection solaire, en minimisant les surfaces de contact avec le soleil par l'incorporation du volume habitable des maisons dans le relief (cf. Fig. III. 1).



Fig. III. 1 : La bonne intégration au site de l'habitat vernaculaire (les Troglodytes)

(Source : Courgey S., Oliva J, P., 2007)

D'autre part, l'exposition d'un relief au soleil fait naître deux phénomènes naturels, qui sont **l'ombrage mutuel et la ceinture chaude** (cf. Fig. III. 2). La quantité des irradiations solaires que reçoit chaque versant dépend de son orientation,⁴ dont les faces exposées au soleil seront plus chaudes que celles cachées. Dans un relief montagneux et grâce aux phénomènes d'ombrage mutuel et de ceinture chaude, les variations de l'ensevelissement entraînent une variation de température entre le haut et le bas des vallées (cf. Fig. III. 3), ce qui provoque des fluctuations de pression et un mouvement de masses (cf. Fig. III. 2).

² **En ligne** : [<http://www.aroots.org/>].

³ **Mazria E.**, 2006 'le guide de la maison solaire', parenthèses, p 62.

⁴ **Liebard A., De herde A.**, 2005, Traité d'urbanisme et d'architecture bioclimatiques Observ'ER.

En effet, sur le versant occulté la température qui diminue de 0.7°C par un accroissement d'altitude de $(100\text{ m})^5$ atteint le degré de saturation. Suite à ce phénomène une partie de l'eau se condense en pluie ou en neige. Sur l'autre versant, l'air non saturé redescend et se réchauffe par compression pour arriver en pied de montagne avec une humidité relative très faible. Ce phénomène est appelé « **la ceinture chaude** » (cf. Fig. III. 2) il peut faire remonter la température de 20°C en une journée. ⁶ Donc l'implantation d'un village dans un relief influence grandement la quantité des apports solaires. De même, l'orientation de la pente du terrain par rapport au soleil influence l'ensoleillement, la température de l'air, la nébulosité, le régime des vents et les précipitations. ⁷

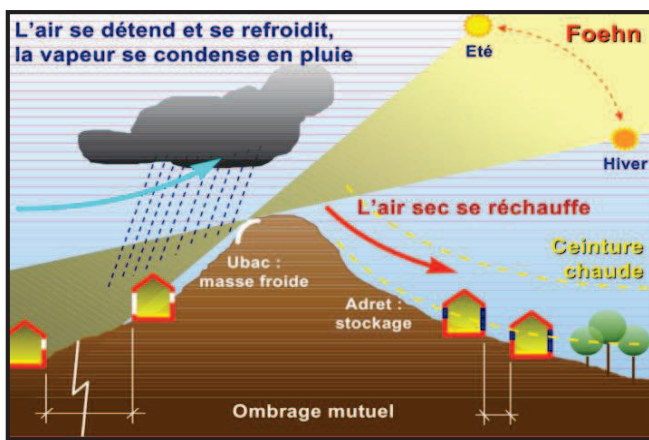


Fig. III. 2 : Variation des températures en fonction de l'ensoleillement

(Source : Liebard A., De herde A, 2005)

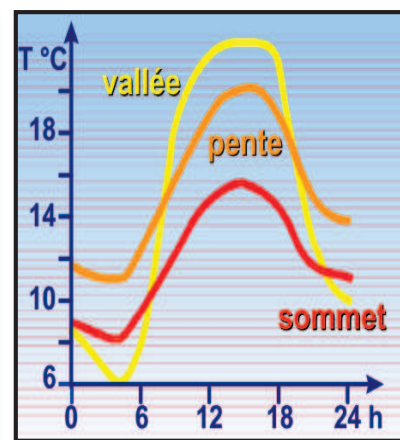


Fig. III. 3 : Variation des températures en fonction de l'altitude dans un relief montagneux

(Source : Liebard A., De herde A, 2005)

Les meilleures implantations d'un nouveau village sous les différents climats sont dictées par les conditions microclimatiques qui règnent dans un relief montagneux et qui dépendent grandement de l'ensoleillement. Il est constaté que, la vallée est le meilleur emplacement d'implanter un nouveau village dans une région de climat chaud et aride. Tandis que, sous un climat froid ou tempéré le versant du relief représente le meilleur emplacement. En effet, Le sommet s'avère très bien adapté au besoin d'exposition aux vents sous les climats chauds et humides⁸ (cf. Fig. III. 4).

⁵ Liebard A., De herde A, 2005, Traité d'urbanisme et d'architecture bioclimatiques Observ'ER p 21 a.

⁶ Courgey S., Oliva J, P., 2007, la conception bioclimatique des maisons confortables et économes, terre vivante, Mens, France, p 59.

⁷ Liebard A., De herde A, 2005, Traité d'urbanisme et d'architecture bioclimatiques Observ'ER p 21 b.

⁸ Brown G.Z., Dekay Marck, 2001, 'Sun , Wind and light', John wiley and sons.

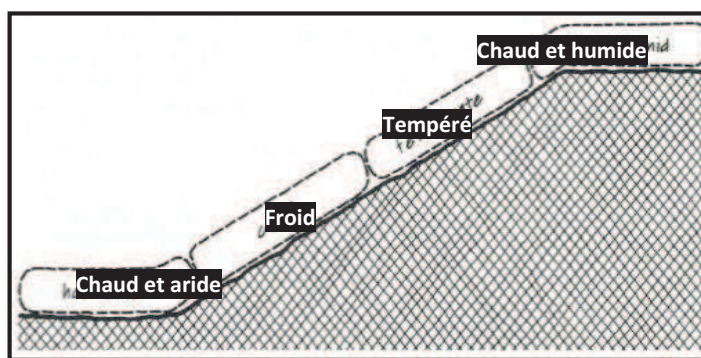


Fig. III. 4 : Les différentes possibilités d'implantation en fonction du climat
(Source : Brown G.Z., Dekay Marck, 2001)

III.1.2 Facteurs physiques liés à la morphologie urbaine influant sur le potentiel solaire :

Pour qu'un bâtiment situé dans un milieu urbain ne souffre plus de masques solaires et pour une latitude donnée, il est possible de définir la densité de l'habitat qui permet à tous les bâtiments d'un même site de bénéficier d'un droit au soleil égal. Cette densité optimale est déterminée par le calcul de la distance qui sépare deux bâtiments successifs, en fonction de la hauteur solaire minimale en hiver.

La figure (Fig. III. 5) représente la coupe nord-sud d'un ensemble non défini de bâtiments de même hauteur. Nous allons expliquer la méthode de détermination de la distance (L) (cf. Fig. III. 5) vis-à-vis d'un bon ensoleillement, au moment le plus critique de l'hiver. En admettant que : « h » est la hauteur solaire la plus basse en l'hiver, « n » le nombre de niveaux habitables et « d » le soubassement du bâtiment, qui n'est pris en considération dans le calcul sauf s'il diffère d'un bâtiment à un autre. Dans cet exemple, il n'intervient pas dans le calcul de la distance (L) (cf. Fig. III. 5), car il est identique pour tous les bâtiments. En revanche, on doit tenir compte de la hauteur d'allège des fenêtres « a » de telle sorte qu'à la fin du mois de décembre à midi solaire, l'ombre du bâtiment voisin au sud s'arrête au niveau bas de la fenêtre considérée. L'utilisation de la trigonométrie permet de déduire la relation entre la distance « L » et la hauteur solaire « h » dont :

$$\tan h = (\text{la hauteur totale par étage} \cdot (n) - a) / L$$

$$\text{Donc : } L = (\text{la hauteur totale par étage} (n) - a) / \tan h^9$$

⁹ Courgey S., Oliva J. P., 2007, 'la conception bioclimatique des maisons confortables et économes', terre vivante, Mens, France, p 59.

Après avoir calculé la distance (L), et choisi la hauteur des blocs on détermine le nombre de blocs qui peuvent être édifiés sur le site considéré.

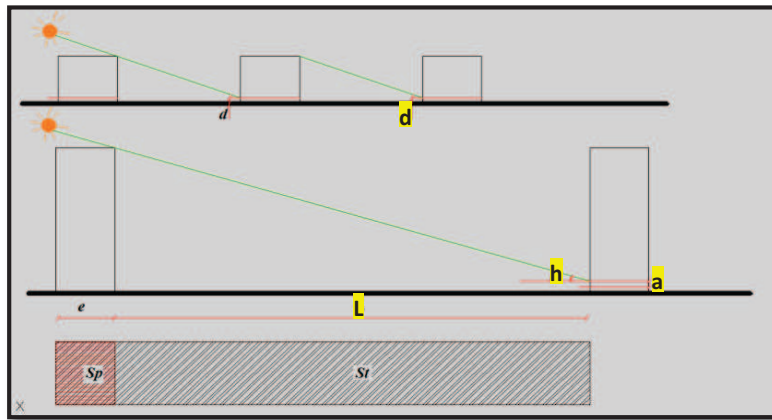


Fig. III. 5 : Coupe selon l'axe (sud/nord) sur un ensemble de bâtiments de même hauteur

(Source : Fernandez et al. 2009)

Cette formule gère la proportion des espaces libres par rapport aux espaces bâtis, en garantissant « un droit au soleil » égal à toutes les habitations d'un site urbain. Cette méthode simple de gestion des droits solaires est issue de la formule trigonométrique qui définit la tangente d'un angle aigu dans un triangle rectangle. Elle a été développée par un nombre de chercheurs comme : (Theodoridou-Sotiriou, et al, 2005) et (Isaac, Capeluto, Shaviv), pour obtenir des méthodes plus approfondies, qui déterminent la configuration des différents facteurs géométriques d'analyse de la morphologie urbaine vis-à-vis de l'ensoleillement. Ces facteurs géométriques sont principalement :

III.1.2.1 Orientation des rues et plan de parcellaire :

Une stratégie de captage solaire passif sera plus difficile à établir en milieu urbain à cause de sa forte densité. Il est donc judicieux de penser à cette contrainte depuis la phase du tracé des îlots et des voies pour assurer aux différentes parcelles l'accès à l'énergie solaire passive, pendant l'hiver. À ce stade, les rues et les plans de parcellaires doivent être conçus ensemble. Le changement des orientations des rues permet d'obtenir les configurations urbaines illustrées dans la figure (Fig. III. 6) qui répondent à l'objectif recherché pour les différentes latitudes de l'hémisphère nord de la terre dont :

- Les rues orientées selon l'axe nord-sud exigent des parcelles assez larges, pour éviter que les constructions ne se fassent successivement de l'ombre.

- Les rues orientées selon l'axe est-ouest imposent aux maisons desservies par le sud d'avoir un grand recul par rapport à la rue (cf. Fig. III. 6), pour profiter d'un jardin bien orienté au soleil.
- Le long des rues orientées selon l'axe sud-est ou nord-ouest, on doit éviter les parcelles allongées selon l'axe sud-ouest / nord-est particulièrement, si elles sont exposées aux vents dominants sur les deux façades principales.¹⁰

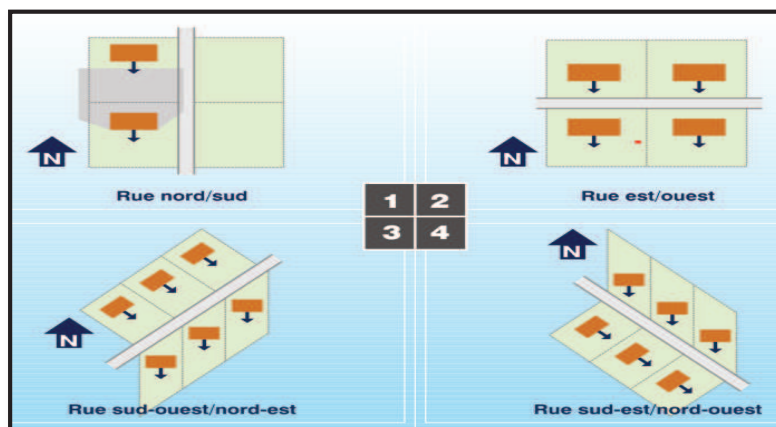


Fig. III. 6 : L'orientation des rues et des parcelles

(Source : Liebard A., De herde A, 2005)

En conjuguant les deux facteurs (densité urbaine et orientation des rues), (Isaac, Capeluto, Shaviv) ont trouvé que : la densité la plus élevée peut être atteinte dans des bâtiments rangés sur des rues orientées selon les axes suivants : nord-est/ sud- ouest, est / ouest et nord-est/ sud- est, en donnant à la distance «a» (cf. Fig. III. 7) une petite valeur ou bien une valeur nulle. En comparant après, avec d'autres configurations urbaines, dans lesquelles tous les paramètres sont les mêmes sauf la valeur de la distance "a", qui est supérieure à 0. Cependant, un rangement de bâti le long d'une rue orientée dans l'axe nord-sud a donné des résultats opposés. D'autre part, la densité la plus faible est réalisée le long des rues d'orientation nord/ sud.

L'augmentation de la distance "b" (cf. Fig. III. 7) donne la densité urbaine la plus élevée dans toutes les rues. La densité la plus élevée est aussi obtenue pour la configuration (a=0, b=24) le long des rues orientées selon l'axe nord-est/ sud-ouest. [Isaac, Capeluto, Shaviv] ont notamment conclu que, les différentes hauteurs de bâtiments sont admises, cela dépend de l'orientation de la rue, au long de laquelle ils sont implantés. L'étude a aussi montré

¹⁰ Liebard A., De herde A, 2005 'Traité d'urbanisme et d'architecture bioclimatiques', Observ'ER.

qu'il est possible d'atteindre une densité élevée dans un milieu urbain d'environ 160 % à 180 %, tout en conservant les droits solaires de tous les bâtiments du quartier.

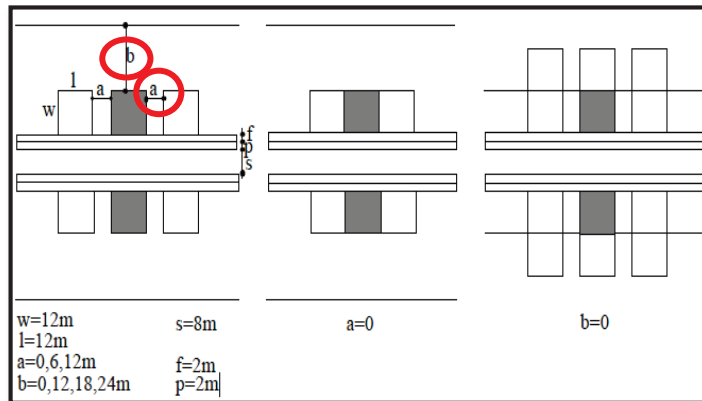


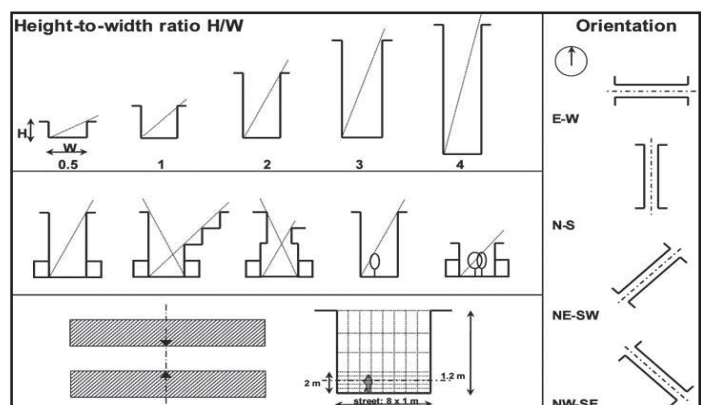
Fig. III. 7 : Les différentes configurations spatiales du tissu urbain.

(Source : Isaac, Capeluto, Shaviv).

III.1.2.2 Rapport de la hauteur à la largeur de l'espace urbain (H/W) :

Le rapport H / W est le rapport entre la hauteur moyenne des bâtiments qui entourent l'espace urbain à sa largeur¹¹. Ce rapport a été l'objet de plusieurs études qui ont porté sur le confort thermique extérieur qui est fortement lié au rayonnement solaire incident. À titre d'exemple, (Ali-Toudert, Mayer, 2005) ont examiné l'effet de l'orientation et du rapport de la hauteur à la largeur (H / W) du canyon, de l'asymétrie du profil vertical de la rue, de **l'utilisation des galeries**, des façades en surplomb, et des lignes d'arbres sur la qualité du confort thermique estival dans les espaces extérieurs en climat chaud et sec.

Fig. III. 8 : Schéma des géométries de canyons urbains étudiés
(Source : Ali-Toudert, Mayer, 2005)



¹¹ kedissa Chahrazed, 2010, ' Impact de la géométrie des espaces extérieurs sur le microclimat urbain, magister, Université de Constantine Algérie.

Cette étude a mis l’accent sur le rôle important que joue le rapport H/W ainsi que, l’effet de la géométrie du profil du canyon sur le confort thermique qui est directement lié à la quantité des irradiances solaires interceptées. Les résultats de cette étude ont montré que, la géométrie du profil du canyon, l’existence de certains éléments architecturaux comme les galeries et le rapport H/W ont une influence remarquable sur la quantité d’énergie solaire reçue et par extension, la qualité du confort thermique.

Une autre étude systématique de conception des bâtiments autour des places urbaines vis-à-vis d’une bonne exposition solaire de la place urbaine en hiver, a été développée par (Yezioro et al, 2006). Les géométries des places testées dans cette étude ont été obtenues par la modification des facteurs géométriques de la cour qui sont : la largeur, la longueur et la hauteur du bâti qui l’entoure.

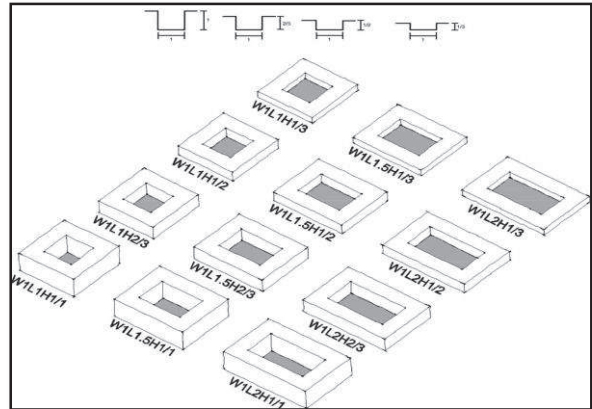


Fig. III. 9 : Les géométries testées
(Source : Yezioro et al, 2006)

L’étude a évalué la quantité et la qualité d’enseillement des places urbaines par l’établissement du **coefficient géométrique d’insolation (CPG)**, qui est le rapport entre la surface exposée au soleil de la place et sa superficie totale. La détermination du CPG moyen de l’hiver pour les différentes configurations spatiales des places urbaines étudiées a été effectuée par la suite (cf. Fig. III. 9).

Les résultats de l’étude ont montré qu’en général, les places urbaines rectangulaires allongées dans l’axe nord /sud représentent les meilleures configurations vis-à-vis d’un bon enseillement de la place urbaine, pendant l’hiver. Elles sont suivies par les places rectangulaires allongées le long des axes : nord-ouest / sud-est et nord-est /sud-ouest. Dans ces deux cas, les bâtiments qui entourent la place urbaine peuvent être aussi élevés que la moitié de sa largeur. Pour les autres cas qui peuvent exister, la hauteur des bâtiments autour de la place urbaine devrait être seulement d’environ un tiers de sa largeur. Les places urbaines allongées selon l’axe est/ ouest représentent la mauvaise configuration. Bien que, les recommandations ci-dessus soient limitées à des latitudes de 26° à 34° , la méthode est générale et peut être appliquée à d’autres latitudes.

La représentation des places urbaines et du bâti qui les entoure dans cette étude était très proche à la configuration spatiale d'une maison à patio (cf. Fig. III. 9), la différence est que l'objet d'étude de ce travail est la surface horizontale qui est la place urbaine. Tandis que, notre étude s'intéresse à l'ensoleillement des façades verticales plus particulièrement, à celui des surfaces vitrées.

III.1.2.3 Gabarits

Dans le but d'établir un plan d'aménagement urbain de façon qu'aucun bâtiment ne fasse un masque solaire aux autres bâtiments avoisinants, la formule trigonométrique de calcul de la distance qui sépare deux bâtiments successifs en vue d'assurer un droit solaire égal à tous les bâtiments (cf. Chap. III, section 1.2) a été utilisée par (Theodoridou-Sotiriou, et al, 2005) ; tout en intégrant dans le calcul autres paramètres que la hauteur des bâtiments et la hauteur solaire telles que : la pente du terrain et la profondeur atteinte par les rayons solaires à l'intérieur du bâtiment. Cette distance obtenue en fonction **des paramètres dimensionnels** du bâtiment et **les paramètres géométriques du soleil** est appelée «**la distance bioclimatique** » D(b) (cf. Fig. III. 10), elle est donnée par la formule suivante :

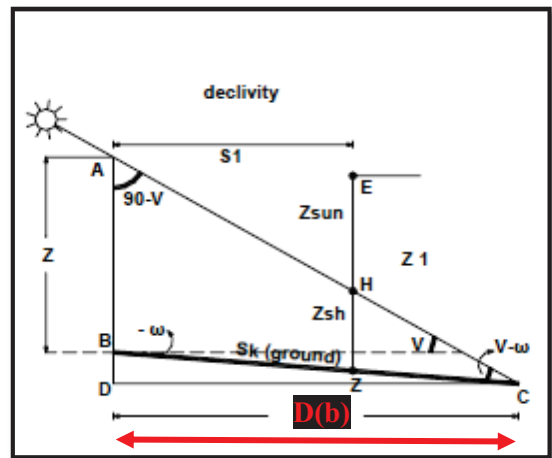


Fig. III. 10 : Schéma de principe de la distance bioclimatique

(Source : Theodoridou-Sotiriou, et al, 2005)

$$D(b) = \cos(\alpha) * (Z_{\text{building}} - Z_{\text{shading}}) * \cos \omega / \sin(\alpha)$$

Dont :

D (b) : la distance bioclimatique qui sépare le bâtiment de son masque solaire.

v : la hauteur solaire à midi de la journée la plus défavorable de l'hiver.

Z b : la hauteur du masque solaire.

Zsh : la hauteur de l'ombre.

ω : La pente du terrain

La formule de calcul de la distance bioclimatique peut être appliquée sur un bâtiment qui se trouve en bas ou en haut d'un relief ascendant ou descendant. Après l'application de la formule sur un cas d'étude situé dans la ville de Serres en Grèce (Theodoridou-Sotiriou, et al, 2005) affirment que, la formule de calcul de la distance bioclimatique peut être utilisée pour définir les gabarits vis-à-vis de l'ensoleillement lors de l'établissement des études d'aménagement urbain. Cette formule devrait constituer un outil innovateur de l'urbanisme solaire.

III.1.2.4 Facteur de vue du ciel (SVF sky view factor) :

Le facteur de vue du ciel est l'angle solide sous lequel le ciel est vu depuis un espace urbain. Il est défini par la partie visible du ciel depuis un point donné (De Souza et al. 2003). Ce facteur ne dépend ni de la latitude, ni de l'orientation, ni même de la période de l'année, mais il est fortement lié à la géométrie du bâti [Prévoist, Rodríguez, Molines, Beckers, 2001].

Les résultats des études menées sur le facteur de vue du ciel (SVF) ont montré que, le changement de l'angle du (SVF) peut produire une différence de température importante qui atteint 7°C (Oke, 1981)¹². D'autre part, l'étude de Cheng et al (2006) affirme que, la conciliation entre une densité urbaine acceptable et un bon potentiel solaire est gérée par le facteur de vue du ciel (SVF) qui est fortement lié au confort thermique des piétons. Le SVF a une forte relation avec la densité urbaine, dont il diminue avec l'augmentation du COS (Coefficient d'occupation au sol)¹³.

D'après la figure (Fig. III. 11) l'angle du facteur de vue du ciel (Svf) d'un point central laisse apparaître deux angles d'obstruction, dont la somme des trois angles est égale à 180°.

III.1.2.5 Densité et configuration des blocs urbains :

En termes d'urbanisme solaire, les villes doivent être pensées sous de nouvelles formes d'un tissu urbain dense¹⁴. (Kanters et Horvat, 2012) ont mené une étude paramétrique

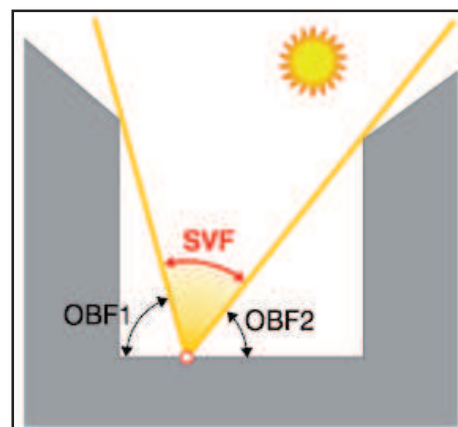


Fig. III. 11 : Le facteur de vue du ciel

(Source : <http://urbanisme.irisnet.be/>)

¹² **kedissa Chahrazed**, 2010, ' Impact de la géométrie des espaces extérieurs sur le microclimat urbain, magister, Université de Constantine, Algérie. p 105.

¹³ **Zinnedine Hanane**, 2011, L'enveloppe solaire un outil de contrôle de l'ensoleillement, magistère, université de Constantine. p 169.

qui consiste à étudier l'impact de la densité et du rangement des blocs dans les plans d'urbanisme sur le potentiel solaire des bâtiments. Ce dernier est limité dans cette étude dans la capacité de chaque bâtiment à satisfaire ses besoins énergétiques par l'installation d'un système solaire autonome de production d'eau chaude sanitaire. Différentes configurations urbaines (A, B, C, D) (cf. Fig. III. 12) associées à de différentes valeurs d'indice de la surface habitable (FSI), allant de 1 jusqu'à 5 (cf. Fig. III. 12) ont été étudiées.

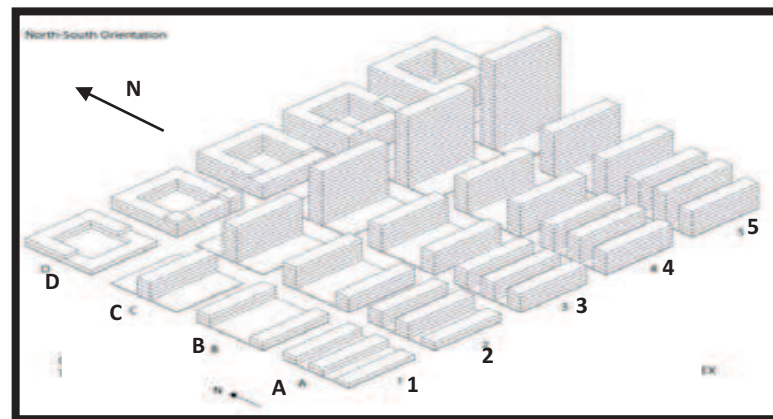


Fig. III. 12 : Les géométries urbaines étudiées
(Source : Kanters Horvat, 2012)

Les résultats de cette étude ont montré qu'en particulier, lorsque le rapport de la parcelle à l'indice de la surface habitable était de 1, la majorité des bâtiments étaient en mesure de répondre aux besoins énergétiques en utilisant l'énergie solaire. Lorsque le rapport était augmenté, les blocs de construction n'étaient pas en mesure de répondre à tous les besoins énergétiques par le captage de l'énergie solaire ; ce qui a diminué le potentiel solaire de 75 %. En effet, pour atteindre une autonomie totale en énergie, (Curreli, Roura, Sanchez, 2012) admettent qu'un seuil de 5 étages peut être considéré comme la "limite" de la hauteur du bâti, car au-delà de cette hauteur les bâtiments auront tendance à être moins appropriés pour l'autonomie énergétique solaire, en raison de la surface importante des planchers qui nécessite plus d'énergie thermique pour le chauffage.

III.2 Stratégies architecturales d'amélioration du potentiel solaire

« Les bâtiments sont aussi des enfants de la terre et **du soleil** »¹⁵ dans cette citation Frank Lloyd Wright a employé le mot « enfant » pour affirmer que, la nécessité du bâtiment

¹⁴ **Maugard Alain**, 2012, 3ème Solar meetings, Rencontres professionnelles du solaire, développement des énergies renouvelables dans le bâtiment et l'industrie

¹⁵ **Frank Lloyd Wright**, En ligne: [<http://www.aroots.org/>].

et de ses habitants aux rayons solaires est la même que le besoin d’un enfant à la présence de sa mère. Pour assurer ce besoin indispensable, la forme du bâtiment doit permettre un bon ensoleillement simultanément que la géométrie urbaine, car elle joue un rôle majeur dans la gouvernance de la consommation énergétique, comme elle optimise le captage d’énergie solaire (Ouarghi et Krarti, 2006). La forme architecturale doit favoriser la pénétration des rayons solaires à l’intérieur des espaces habitables, pendant l’hiver.

Parmi les travaux développés sur les études d’optimisation du captage solaire passif dans les différentes formes architecturales, on cite ceux de : (Chiras 2002), (Ouarghi et Krarti, 2006)¹⁶ ainsi que, (Muhaisen et Gadi, 2005), (Hachem, et al, 2011) et (Okeil, 2010). Toutes ces études ont testé un nombre de géométries proposées en vue de recommander les mieux adaptées aux climats étudiés, en matière de captage solaire passif hivernal et d’ombrage pendant l’été.

Deux approches principales sont utilisées dans les recherches qui ont traité les effets de la forme architecturale sur la performance énergétique due au captage solaire passif. La première approche consiste à étudier l’impact du changement de quelques paramètres géométriques et les caractéristiques de l’enveloppe du bâtiment sur la performance énergétique d’une forme prédéfinie. La seconde approche utilise des méthodes d’optimisation pour générer une forme éco-énergétique¹⁷. L’étude du comportement de la forme architecturale dans la présente section vis-à-vis du captage et de protection solaires, est organisée en fonction de la configuration spatiale de notre cas d’étude et source d’inspiration qui est la maison à patio de la Casbah d’Alger, en distinguant deux formes architecturales : la forme extravertie et la forme introvertie.

Dans une conception architecturale bioclimatique, on doit tenir compte en premier lieu de l’orientation du bâtiment par rapport au soleil, qui est fortement liée à son implantation (cf. Chap. III, section, 1.1). Le deuxième facteur à prendre en considération est le choix de la forme générale du bâtiment et ses rapports dimensionnels, en fonction du comportement du bâtiment qu’on souhaite établir avec son environnement extérieur. Nous allons donc, étudier l’effet de l’orientation par rapport au soleil sur les deux types de formes architecturales étudiés. Ainsi que, l’influence de la géométrie et des rapports de dimensions du bâtiment sur son potentiel solaire.

²³ **Hachem Caroline.** 2012 ‘Investigation of Design Parameters for Increased Solar Potential of Dwellings and Neighborhoods’, Ph D, Université de Concordia, Québec.

¹⁷ **Idem.**

III.2.1 Forme extravertie et potentiel solaire :

III.2.1.1 Effet de l'orientation sur le potentiel solaire d'une forme extravertie:

Une bonne orientation d'un bâtiment par rapport au soleil permet de profiter de l'énergie solaire gratuite. L'orientation des bâtiments dépend de la situation géographique (la latitude). À titre d'exemple : dans les zones tropicales, on doit diminuer la surface des façades exposées à l'est et à l'ouest. Donc la forme optimale est inévitablement la forme rectangulaire allongée dans l'axe est-ouest (Konya, 1980) (cf. Fig. III. 13) et par conséquent cette forme est peu profonde ce qui favorise la ventilation naturelle transversale.¹⁸

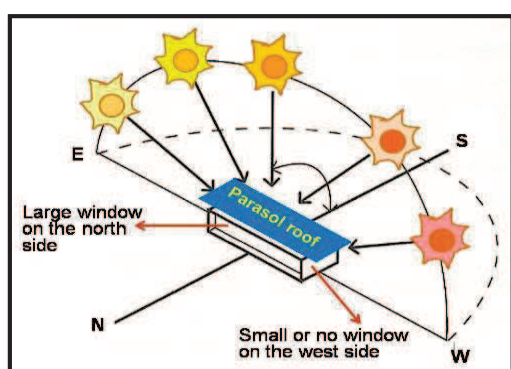


Fig. III. 13 : L'axe de meilleure orientation
(Source : Mohd Zaki, Nawawi, Ahmad, 2012)

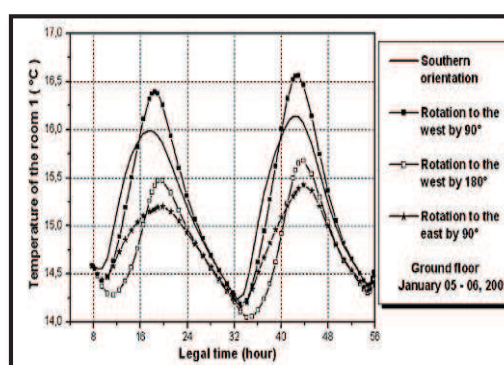


Fig. III. 14 : L'influence de l'orientation sur les températures internes
(Source : Benouazb, et al. 2011)

Les bâtiments orientés vers l'ouest peuvent être potentiellement soumis à une surchauffe durant la saison estivale et à un gain de chaleur réduit pendant la saison froide [Robertson and Athienitis, 2007]. Ce qui exige inévitablement une charge de refroidissement plus élevée [Sekhar, Lim, Toon, 1998]. Tandis que, l'orientation optimale pour optimiser le chauffage solaire passif en hiver, est celle du sud (plus ou moins 30°) car elle permet aux façades de recevoir plus d'énergie en hiver qu'en été. En effet, selon (Robertson, Athienitis, 2007), les écarts jusqu'à 30° du sud réduisent les gains solaires de 12 %, ce qui demeure acceptable.¹⁹

¹⁸ (Tombazis et Preuss, 2001) cité dans (Mohd Zaki, Nawawi Ahmad, 2012) et (Robertson and Athienitis, 2007).

¹⁹ **Émilie Bouffard**, 2013, 'Conception de bâtiments solaires : méthodes et outils des architectes dans les phases initiales de conception', Québec, Canada.

Le potentiel de captage de chaque façade diffère d'une région à une autre. À titre d'exemple : sous un climat équatorial, le mur orienté à l'est reçoit la plus grande quantité moyenne journalière d'énergie solaire, suivi par le mur sud, puis le mur ouest et vient en dernier le mur nord [Ling, Hamdan, Ossen, 2007]. Le choix d'une bonne orientation par rapport au soleil pour les futurs bâtiments et espaces publics, de manière à optimiser l'accès solaire des différentes façades du bâtiment permet d'atteindre la cible ZEB (zero energy building) [Amado, Poggi, 2012].

III.2.1.2 Effet de la géométrie sur le potentiel solaire de la forme extravertie :

Le comportement de la forme architecturale extravertie vis-à-vis de l'ensoleillement est régit par deux rapport de dimensions principaux qui sont :

- **Le rapport d'aspect :** un paramètre important dans le choix des dimensions d'un bâtiment solaire rectangulaire. Il est défini comme étant le rapport de la largeur de la façade équatoriale (qui fait face au soleil) (l) (cf. Fig. III. 15) à celle de la façade latérale (L) (cf. Fig. III. 15). Il décrit la profondeur du bâtiment par rapport à son allongement dans

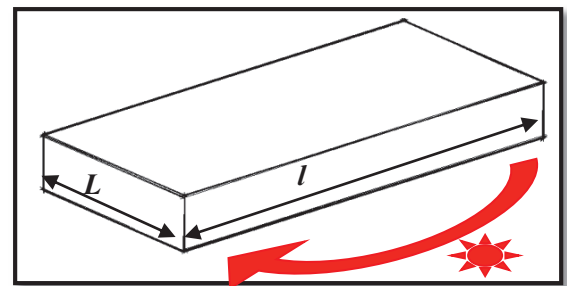


Fig. III. 15 : Le rapport d'aspect

(Source : Auteur)

l'axe est-ouest. Le rapport d'aspect est souligné dans plusieurs études comme un facteur important de l'efficacité énergétique dans la conception des bâtiments, sous les différentes conditions climatiques. À titre d'exemple : dans une région ayant un climat froid, le rapport d'aspect optimal pour une forme de maison solaire rectangulaire varie de 1,3 à 1,5 (Chiras 2002 ; Charron et Athienitis, 2006).²⁰

- **La surface vitrée de la façade équatoriale (qui fait face au soleil) :** elle représente un autre paramètre crucial dans la conception solaire passive. Une plage optimale de la surface vitrée de la façade équatoriale pour un climat froid est estimée entre 7% et 12% de la superficie totale du plancher (Charron et Athienitis, 2006). Pour certaines contraintes de conception, cette surface peut être augmentée jusqu'à 20 % de la surface chauffée du plancher (Charron et Athienitis, 2006). D'après l'analyse bioclimatique de

²⁰ **Émilie Bouffard**, 2013, 'Conception de bâtiments solaires : méthodes et outils des architectes dans les phases initiales de conception', Québec, Canada.

notre cas d'étude (cf. Annexe C.2), il s'avère qu'une surface de vitrage de 25 à 40 % est recommandée pour l'emplacement de la ville d'Alger.

(Hachem, Athienitis, Fazio, 2011) ont examiné l'influence de la forme en plan et des décrochements sur le potentiel solaire d'une maison de deux étages, en matière de quantité du rayonnement solaire incident sur la façade sud et la quantité du rayonnement transmis par le vitrage de cette façade. Pour cela, ils ont étudié divers formes : carrée, trapézoïdale, forme en L, U, H et en T, en faisant référence à la forme rectangulaire.

Pour l'évaluation du potentiel solaire des différentes formes étudiées (Hachem, Athienitis, Fazio, 2011) ont évalué le rapport d'aspect qui est le rapport de la largeur de la façade équatoriale à celle de la façade latérale (W / L) et celui de la surface vitrée de la façade équatoriale (S_v) à la surface totale de la façade pour chaque forme (cf. Fig. III. 16). En outre, pour une estimation précise du potentiel solaire des diverses formes, ils ont introduit un paramètre supplémentaire qui est le rapport de profondeur (a / b) (cf. Fig. III. 16), qui représente le rapport entre la largeur de la façade qui génère de l'ombre et celle ombragée²¹.

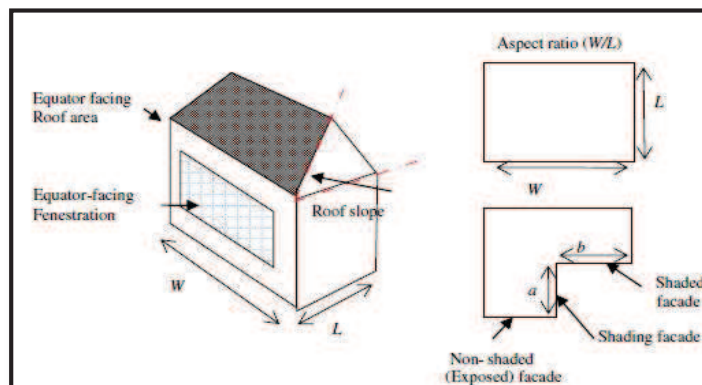


Fig. III. 16 : Paramètres de conception solaire.

(Source : Hachem, Athienitis, Fazio, 2011)

Les résultats ont montré que, la réduction du flux énergétique solaire transmis associé à un rapport de profondeur de 1 dans une journée du mois de décembre, peut atteindre 26 % pour la forme en L et 46 % pour la forme en U par rapport à la forme rectangulaire (la forme de base).

²¹ **Hachem Caroline.** 2012 'Investigation of Design Parameters for Increased Solar Potential of Dwellings and Neighborhoods', Ph D, Université de Concordia, Québec.

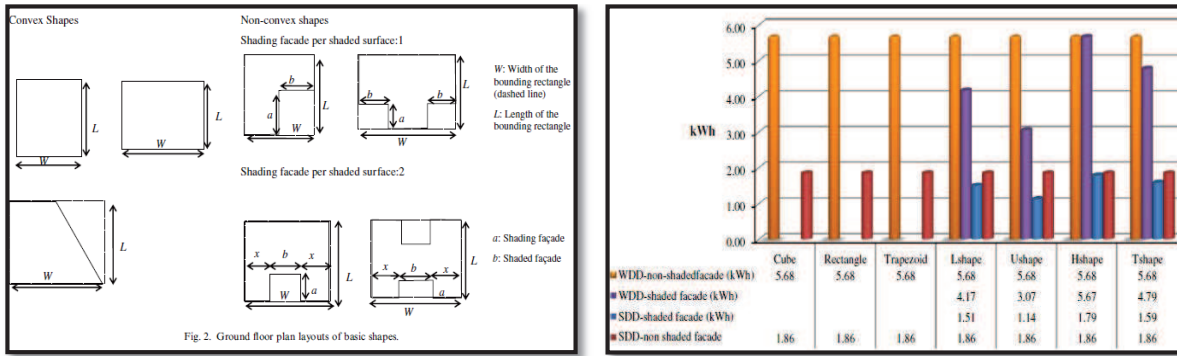


Fig. III. 17 : Les formes étudiées et le rayonnement solaire transmis de la fenêtre sud

(Source : Hachem, Athienitis, Fazio, 2011)

En admettant par la suite que, les effets de la forme sur l'ombrage peuvent être contrôlés et manipulés par le changement de la géométrie de base, en augmentant l'angle enfermé entre la façade qui génère de l'ombre et les ailes ombragées. (Hachem, Athienitis, Fazio, 2011) ont essayé d'examiner l'effet du changement de cet angle sur le potentiel solaire des formes étudiées (cf. Fig. III. 18).

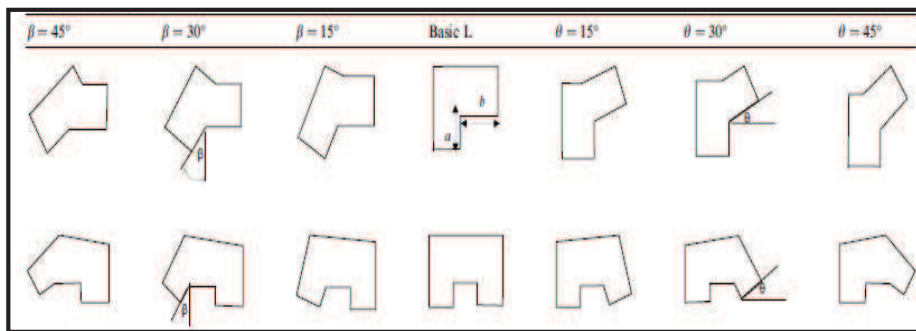


Figure. III. 18 : Les géométries testées

(Source : Hachem, Athienitis, Fazio 2011)

Les résultats ont prouvé que, le changement de l'angle compris entre la façade qui génère de l'ombre et les ailes ombragées engendre une atténuation de l'effet d'ombrage sur le potentiel solaire de la forme jusqu'à 27 % (cf. Fig. III. 19). (Hachem, Athienitis, Fazio, 2011) ont conclu finalement que, le nombre de façades ombragées et leurs dimensions relatives sont les principaux paramètres affectant le rayonnement solaire incident et transmis dans une forme extravertie.

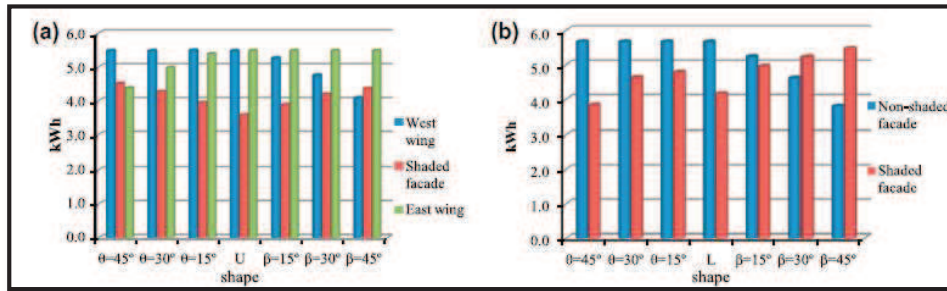


Fig. III. 19 : L'effet de la rotation des arêtes sur le rayonnement solaire transmis des fenêtres sud de la forme U et L

(Source : Hachem, Athienitis, Fazio 2011)

(Okeil, 2010) a mené une étude comparative entre trois formes du bloc résidentiel urbain : deux formes classiques (cf. Fig. III. 20, A et B) et une forme proposée par l'auteur (cf. Fig. III. 20, C), en matière d'exposition solaire en hiver et de la réduction de la quantité des surchauffes en été, par l'utilisation des stratégies d'atténuation de « l'îlot de chaleur urbain ». Les résultats de l'étude ont montré que, la forme graduée (cf. Fig. III. 20, C) est la meilleure, car elle permet d'optimiser la quantité d'énergie solaire captée par les façades et de diminuer la quantité d'énergie solaire interceptée par les toits et le sol des bâtiments en hiver en augmentant ainsi, le potentiel d'utilisation de l'énergie solaire passive. Cette forme est une forme énergétiquement efficace, elle soutient également des stratégies d'atténuation de l'îlot de chaleur urbain, en favorisant la circulation d'air accrue entre les bâtiments ainsi que, par la promotion des toits verts. (Okeil, 2010) a appelé « Le bloc résidentiel solaire » (RSB) Cette forme qui concilie entre les volets : fonctionnel, social et visuel de l'architecture. Elle offre aussi plus d'avantages en matière d'espace, que les autres formes des blocs résidentiels classiques (cf. Fig. III. 20, A, B). On peut dire que, les résultats de cette étude confirment les avantages des bâtiments en gradins de l'architecte Henri Sauvage (cf. Chap. I, section 1.2).

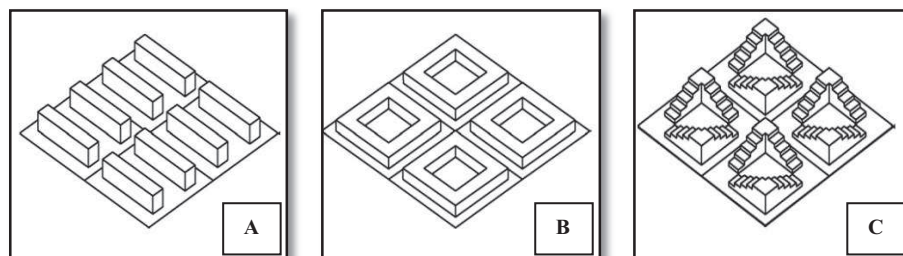


Fig. III. 20 : La configuration volumétrique des blocs résidentiels étudiés : (A, B) : blocs résidentiels classiques, (C) : Le bloc résidentiel solaire

(Source : Okeil, 2010)

Les études scientifiques se complètent, dont on trouve que, les résultats de l'étude de (Hachem, et al 2011) qu'a examiné le potentiel de la forme d'une maison isolée peuvent être complétés par les résultats de l'étude de (Okeil, 2010) qu'a étudié la forme du bloc résidentiel.

III.2.1.3 Forme du toit et integration des stratégies solaires

Les variations de la conception du toit qui comprend une modification de l'inclinaison des angles secondaires du toit en croupe ont été testées par (Hachem, Athienitis, Fazio, 2011) (cf. Fig. III. 21). Les résultats ont révélé de l'effet significatif de la manipulation de l'orientation des ailes de la forme en L sur l'augmentation du potentiel de production d'électricité, car le changement de la géométrie des formes du toit en L ou en U engendrent une variation dans les dimensions relatives de la surface ombragée.

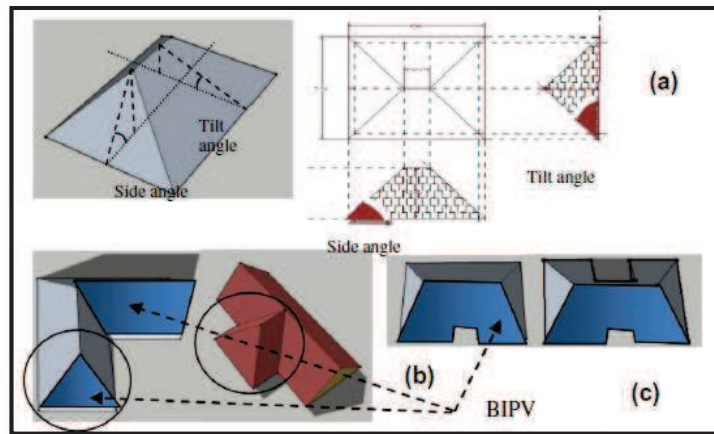


Fig. III. 21 : Les formes de base de la toiture (a) crête unique, (b) double crête (c) toit en U et H.

(Source : Hachem, Athienitis, Fazio, 2011)

La quantité du rayonnement solaire reçu sur le toit incliné et par conséquent, la génération d'électricité par unité de surface par le système photovoltaïque intégré dans le toit de la forme en L (rapport de profondeur de 1) est réduite de 3 % par an, par rapport au cas de référence (la forme rectangulaire). De même, la différence de production d'électricité entre la forme en L avec un rapport de profondeur de 1 ½ est inférieure à 4 % par rapport à la forme de base. Environ une durée de 3 h de production de pointe peut être obtenue par la rotation du toit entre 30° est-sud et 30° ouest-sud.

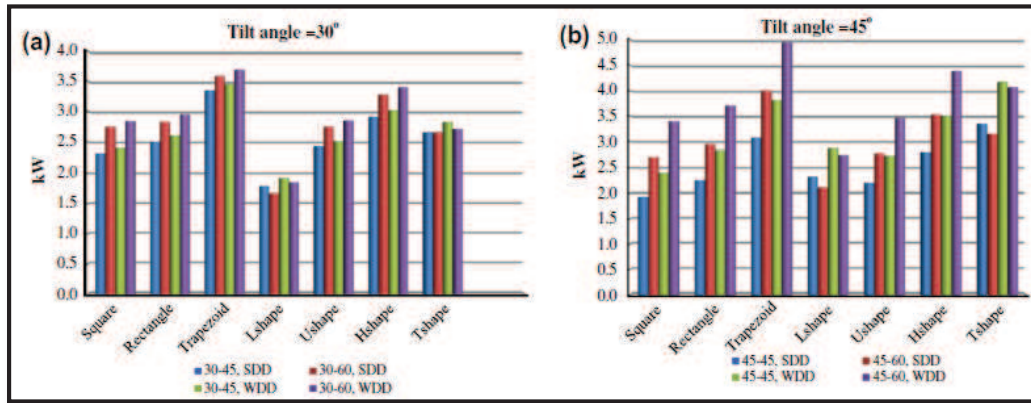


Fig. III. 22 : Les piques de la génération d'électricité (a) inclinaison de 30°, (b) inclinaison de 45°.

(Source : Hachem, Athienitis, Fazio 2011)

- Effet de la couleur de la toiture sur la température intérieure :** Dans le but de tester l'effet de la couleur de la toiture sur la température de l'air intérieur (M.S. Bakhlah, A.S. Hassan, 2012) ont mesuré la température de l'air intérieur avant et après la peinture de la surface externe de la toiture de l'espace étudié en blanc. Les résultats ont montré que, la couleur blanche peut réduire la température de l'air intérieur de 0,1 à 2,3 °C et la température de surface intérieure de 0,8 °C à 3,9 °C. Tandis que, la réduction de la température de la surface extérieure est de l'ordre de 2,5 °C pendant la nuit et de 22,8 °C à midi. Donc la couleur du toit a un effet significatif sur la température ambiante intérieure (cf. Chap. I, section 3.2.3.4).

III.2.2 Forme introvertie (la forme à patio) et potentiel solaire :

Les performances thermiques des bâtiments avec cour ont été étudiées par de nombreux chercheurs comme : Etzion (1995), Cadima (2000) et Mohaisen (2005), qui avaient pour objectif d'évaluer l'influence de la géométrie et des paramètres physiques de la cour sur la quantité du rayonnement solaire intercepté et sur la qualité du confort thermique. Dans un bâtiment avec cour le captage solaire passif est attribué aux façades intérieures qui donnent sur la cour. Cette dernière est créée pour assurer une connexion intime avec l'environnement extérieur, dont le soleil est l'un de ses facteurs. D'autre part, l'orientation de la cour n'est pas forcément la même que l'orientation du bâtiment et elle représente le facteur qui influence le potentiel solaire du bâtiment. En outre, les paramètres géométriques de la cour influent aussi sur son potentiel solaire.

III.2.2.1 Effet de l'orientation de la cour sur le potentiel solaire :

Meir et al. (1995) ont entrepris une étude sur l'ombrage interne de la cour en été, sur deux cours dans un climat chaud et aride. Les cours sont identiques en forme et en traitement mais, elles sont orientées selon deux axes différents : sud/ nord et est/ ouest, pour les deux cas d'étude le rapport de la longueur à la largeur (L / l) est égal à 3,8, et la valeur du rapport de la hauteur à la largeur (H / W) est comprise entre 0,47 et 0,56.

Les résultats de l'étude ont montré que, le rayonnement solaire direct atteint la cour exposée en plein sud le matin et l'après-midi beaucoup moins que la cour orientée à l'ouest. Généralement, le rayonnement solaire pris au piège dans le cas d'une ventilation insuffisante de la cour, entraîne une surchauffe qui affecte le comportement thermique du bâtiment.

Dans l'étude de (Muhaisen 2006), l'orientation de la cour était l'un des facteurs étudiés dans le but de déterminer l'angle d'orientation optimal et l'influence qu'entraîne le changement de l'orientation et par conséquent, l'angle d'incidence sur les taux des surfaces ombragées et des surfaces ensoleillées des parois internes de la cour, sous quatre climats différents : chaud et humide (Kuala Lumpur), chaud et sec (Le Caire), tempéré (Rome) et froid (Stockholm).

Les formes avec un rapport de la hauteur au périmètre de sol de la cour égale à 5 et un rapport de la longueur à la largeur égale à 0,5 ont été simulées, pendant la journée, à partir de 07:00 h jusqu'à 17:00 h. L'angle d'orientation de la forme a été modifié de 0° à 90° en changeant l'orientation chaque les 10° (cf. Fig. III. 24). La performance de la cour a été examinée en été et en hiver pour chaque orientation, sous les climats étudiés.

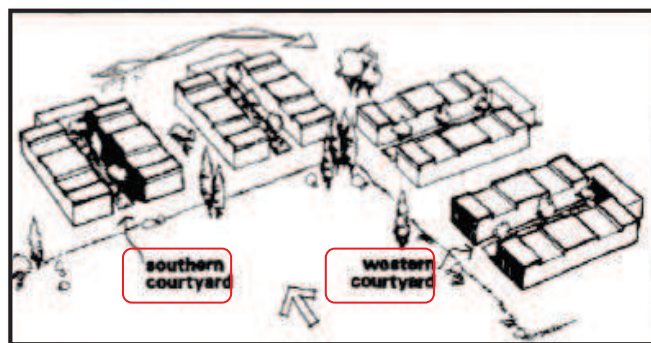


Fig. III. 23 : La configuration spatiale de la zone des maisons à cour étudiées.

(Source : Meir et al. 1995)

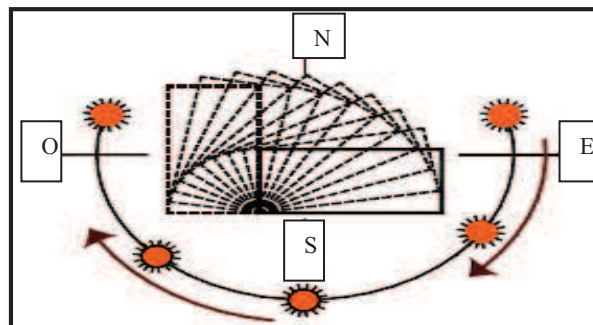


Fig. III. 24 : Changement de l'orientation de la cour de 0° à 90° chaque les 10° .

(Source : Muhaisen 2006)

Les résultats ont montré qu'à tous les emplacements examinés, les taux minimaux de surfaces ombrées en été sont générés lorsque, la forme est allongée selon l'axe est /ouest, c'est-à-dire avec un angle d'orientation de zéro (0°). La surface ombrée maximale est obtenue à Stockholm et à Kuala Lumpur, lorsque la forme est allongée selon l'axe nord / sud. Bien qu'il soit réalisé à des angles de 60° et 70° au Caire et à Rome, respectivement. En hiver, la surface exposée au soleil devient légèrement supérieure à proximité de l'orientation de 90°. La surface maximale ensoleillée est observée dans Le Caire et Rome avec les mêmes angles d'orientation qui ont généré la surface maximale ombrée en été. Dans Kuala Lumpur, l'angle optimal est de 30° ; dont toute augmentation supérieure à cette valeur aurait pour effet de réduire la surface exposée au soleil (cf. Fig. III. 25).

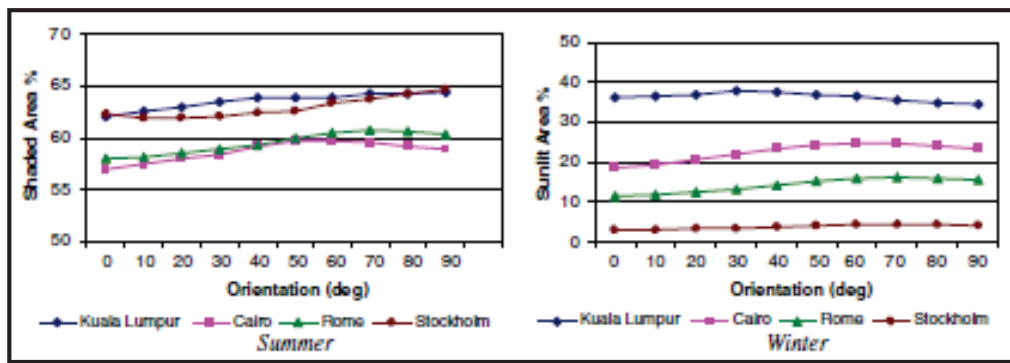


Fig. III. 25 : L'effet du changement de l'orientation de la cour en hiver et en été sur l'exposition solaire.

(Source : Muhaisen 2006)

III.2.2.2 Effet des proportions planimétriques de la cour sur le potentiel solaire:

Suite à ses études Koch-Nielsen (2002) a recommandé une largeur de la cour qui varie entre x et $3x$, ayant x la hauteur de la cour (2002, p. 57) (cf. Fig. III. 26).²² En outre, (Moreover et Laffah) indiquent que, les proportions ordinaires de la largeur à la longueur sont 1:01:08 et 1:03:06 (cité dans Edwards et al 2006, p.149). Un autre facteur est pris en considération lors de la conception des bâtiments avec cour, qui est le rapport de la surface de la cour à l'emprise au sol du

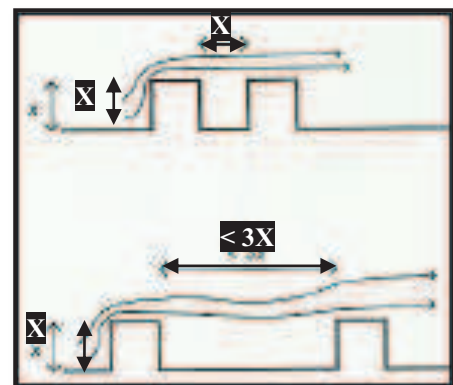


Fig. III. 26 : Le rapport entre la largeur et la hauteur de la cour
(Source : kolch-Nielsen, 2002)

²² Maryam Hasan, Al Awadhi 2011, 'Comfort Assessment of a Fully/Semi-enclosed Courtyard: Case Study of Bahrain Low Rise Villa Housing Model', l'université britannique à Dubai

bâtiment où il est suggéré que, la surface de la cour doit représenter de 25% à 30% de la surface totale de la parcelle (Reynold 2002, p. 177).²³

En effet, Reynolds a relié l'exposition de la cour à deux facteurs paramétriques qui sont : le rapport d'aspect (AR), et l'indice d'ombrage (SSI) (2002, p.16 et 17). Le rapport d'aspect est le degré d'exposition de la cour au ciel. Donc, il représente le SVF (cf. Chap. III, section 1. 2.4) de la cour. L'exposition de la cour au ciel augmente avec l'augmentation de ce rapport ce qui favorise la pénétration du rayonnement solaire (Reynold 2002)²⁴. AR est donné par la formule suivante :

$$\text{Le rapport d'aspect} = \frac{\text{La surface du sol de la cour (m}^2\text{)}}{(\text{La moyenne de la hauteur des murs qui entourent la cour})^2 \text{ (m)}}$$

L'indice d'ombrage solaire se réfère à l'exposition de la cour au soleil pendant l'hiver. Lorsque le SSI est grand le soleil d'hiver n'atteigne pas le mur sud et le périmètre du plancher, ce qui reflète la hauteur importante des murs entourant la cour. Par conséquent, si la cour est large et peu profonde (d'un rapport d'aspect important), elle favorise la collecte de l'énergie solaire. Cependant, une cour étroite et profonde (d'une petite valeur du rapport d'aspect) fournit une bonne protection solaire.²⁵ L'indice d'ombrage solaire (SSI) est donné par la formule suivante (Reynold 2002) :

$$\text{L'indice d'ombrage} = \frac{\text{La hauteur du mur sud (m)}}{\text{La largeur nord-sud de l'étage (m)}}$$

Pour trouver la conception architecturale d'un bâtiment avec cour qui permet de tirer pleinement parti du gain solaire disponible, (Muhaisen et Gadi, 2005) ont mené une étude pour savoir dans quelle mesure le gain de chaleur solaire de l'immeuble et par conséquent, les exigences en énergie sont influencés par la configuration géométrique de la cour.

Un outil informatique (IES) a été utilisé pour mener l'étude en prenant Rome comme fond empirique à climat tempéré (climat semblable à celui d'Alger notre cas d'étude dans le présent travail). Pour effectuer cette étude deux rapports R1 et R2 ont été établis : le rapport R1 est pris comme étant le rapport de la hauteur de la forme au périmètre de sol de la cour (H/P), il indique la profondeur de la forme et il varie entre 1 et 10 (cf. Tab. III. 1). Le rapport R2

²³ Maryam Hasan, Al Awadhi . OP. Cit.

²⁴ Idem.

²⁵ Nada Rafic Al Masri, 2010, ' Courtyard Housing in Midrise Building An Environmental Assessment in Hot-Arid Climate, The British University , Dubai p 15.

reflète l'allongement de la forme, il est le rapport de la longueur à la largeur (L/W) de la cour, il varie entre 0,1 et 1 (cf. Tab. III. 1). La largeur minimale de la cour prise, dans cette étude est de 1m qui est l'unité de distance utilisée pour représenter les dimensions réelles des formes (cf. Tab. III. 1).

En effet, une forme de cour avec rapport R_2 égale à 0,1 signifie que, la forme a une largeur de 1m et 10 m de longueur. Si le rapport R_1 pour la forme est égal à 1, la hauteur de la cour est de 22 m. Cette forme de cour avec les dimensions précédentes était prise comme étant la forme de base, sa surface interne qui est de 484 m² était fixée comme étant l'unité de surface constante de toutes les formes étudiées. Il est incontestable que, la contribution des surfaces des parois verticales de l'enveloppe de la cour dans la charge thermique du bâtiment est plus importante que celle de la surface du sol. Par conséquent, la température de l'air à la surface de la paroi était prise comme l'élément de comparaison des performances thermiques des différentes formes avec cour étudiées. L'espace intérieur de l'immeuble qui entoure la cour intérieure, est considéré comme une salle d'une profondeur égale sur les quatre côtés de la cour, il est symétrique autour des axes nord-sud et est-ouest de la cour (cf. Tab. III. 1).

Tab. III. 1 : Les proportions géométriques des cours étudiées.

(Source : Muhaisen et Gadi 2005)

| R_2 | $R_1=1$ | $R_1=5$ | $R_1=10$ |
|-------|---------|---------|----------|
| 0.2 | | | |
| 0.4 | | | |
| 0.6 | | | |
| 0.8 | | | |
| 1 | | | |

- **Changer R_1 et R_2** : L'étude des combinaisons des différentes valeurs de R_1 avec différentes valeurs de R_2 leur a permis de conclure que, la forme la plus profonde et la plus allongée d'un bâtiment avec cour, est la plus appropriée pour une réduction de la charge de refroidissement requise. En effet, dans le but de réduire la charge de chauffage hivernal, les formes profondes de valeurs R_2 supérieures à 0,4 sont souhaitables (cf. Fig. III. 27).

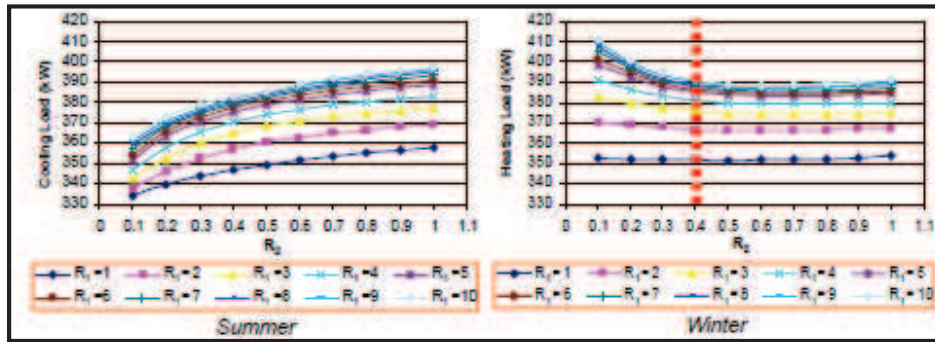


Fig. III. 27 : L'effet du changement des rapports R1 et R2 sur les charges annuelles de chauffage et de refroidissement.

(Source : Muhaisen et Gadi 2005)

Muhaisen et Gadi (2005) ont observé que, le changement du plan d'allongement de la cour a un effet mineur sur la demande de chauffage dans le bâtiment à cour. Donc pour un bon confort hivernal, la principale préoccupation devrait être accordée au choix de la profondeur de la cour. Les rapports optimaux d'un bâtiment avec cour sont définis comme ceux qui assurent les besoins énergétiques minimaux le long de l'année, en offrant un bon confort. En conséquence, les bâtiments avec cour intérieure de R1 et R2 égaux à 1 et 0,1 respectivement, sont jugés comme les formes optimales.

Hisarligil (2011) a mené une étude sur les cours construites par les Turcs seldjoukides dans l'Anatolie au XIII^e siècle, dont l'objectif était d'étudier l'effet de la géométrie de la cour sur le confort. Hisarligil (2011) a étudié trois formes, dont la hauteur de la cour était prise constante et égale à 8m qui est la hauteur de la cour du cas d'étude (la Madrasa Sahabiye, à Kayser). Cette dernière est prise comme référence avec des dimensions horizontales égales à 13 m x 20 m (proportion 1:5) (cf. Fig. III. 28. B). Les autres cas sont obtenus par la variation des dimensions horizontales (cf. Fig. III. 28. A) 6 m x 20 m (proportion 3:3), et (cf. Fig. III. 28. C) de 20 m x 20 m (proportion 1:1).

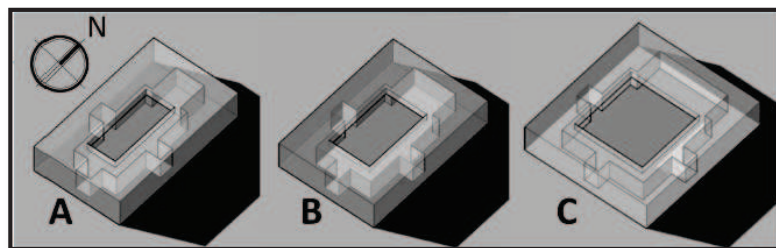


Fig. III. 28 : Les géométries des cours étudiées

(Source : Hisarligil. 2011)

Les simulations ont été effectuées pendant 18 heures, de 4 h à 22 h. Les paramètres de base dans ces simulations ont été choisis comme suit : la température de l'air = 273 K, la vitesse du vent (à 10 m au-dessus du sol) = 2,5 m /s ; la direction du vent : l'ouest et l'humidité relative (HR) =50 %. Les résultats ont montré que, le changement de rapport n'a pas un effet significatif sur la vitesse du vent. Tandis qu'il influence d'une manière significative la température de l'air, dont la différence de température entre la cour et l'extérieur est d'environ 2 K à 6 h et de 5 K à midi. D'autre part, les résultats montrent les différences considérables dans l'écart de température entre la cour et l'intérieur du bâtiment dans les trois formes étudiées, dont il est de 5K dans le type (A), de 3,8 K dans le type B et de 2,6 K dans le type (C) à midi. Donc plus la cour est profonde, plus la température de l'air dans la période froide est élevée. De même les cours étroites sont les plus appropriées que les cours larges dans les zones de forte densité [Tsiánaka, 2006].

III.2.2.3 Effet de la hauteur de la cour sur l'exposition solaire et l'ombre:

Muhsien (2006) a étudié l'effet de l'augmentation de la hauteur de la cour sur la surface des parois internes ombragées et celles exposées au soleil, sous quatre climats différents : chaud et humide (Kuala Lumpur), chaud et sec (Le Caire), tempéré (Rome) et froid (Stockholm). Dans cette étude, la hauteur d'étage est supposée être constante et égale à (3 m), de ce fait, la surface de paroi d'une cour rectangulaire avec un R2 (cf. Chap. III, section 2.2.2) de 0,5 est égale à 30 m². Cette valeur était prise comme une unité de surface de base dans l'étude. L'augmentation du nombre d'étages des cours considérées avec la surface et la hauteur supposées initialement a été étudiée, en élevant le nombre d'étages jusqu'à cinq (cf. Fig. III. 29), et en observant par la suite la variation dans les pourcentages des surfaces ombragées en été et ceux des surfaces exposées au soleil en hiver.

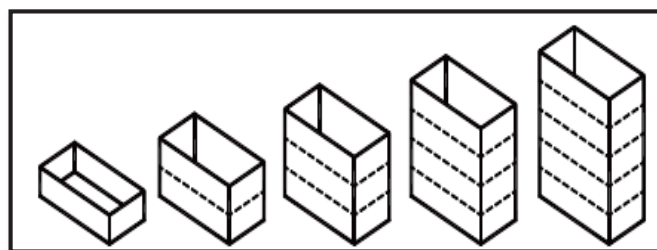


Fig. III. 29 : Les hauteurs de cour testées.

(Source : Muhsien 2006)

À 14 :00 h, les résultats ont montré que, toute augmentation dans le nombre d'étages de la cour en été, augmente progressivement le pourcentage de la zone ombrée des parois

internes, dans tous les emplacements considérés. La surface minimale ombrée est obtenue lorsque la forme est d’une hauteur d’un seul étage, dans des plages constantes entre environ 50 % et 60 % dans les quatre emplacements étudiés. Cependant, les valeurs des pourcentages maximaux de la zone ombrée sont obtenues pour une hauteur du bâtiment de cinq étages, ces valeurs diffèrent d’un endroit à un autre, dont les moyennes sont d’environ de 73 %, 65%, 67 % et 77% dans les endroits examinés, respectivement. Le tableau (Tab. III. 2) donne le taux moyen d’augmentation et de la diminution du pourcentage de la zone ombrée en été et en hiver dans les emplacements étudiés.

Tab. III. 2 : Les taux moyens de l’augmentation de la surface ombrée en fonction de la hauteur de la cour.

(Source : Muhaisen 2006)

| Kuala Lumpur | | Cairo | | Rome | | Stockholm | |
|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|--------|
| Summer | Winter | Summer | Winter | Summer | Winter | Summer | Winter |
| 4.3% | -6% | 2.9% | -7.5% | 3.4% | -6.6% | 6.3% | -1.3% |

En hiver, le taux de diminution de la surface exposée au soleil varie avec la diminution de la latitude. Il semble qu’une cour d’une hauteur de trois étages s’adapte efficacement à Kuala Lumpur, au Caire et à Rome. En effet, une cour d’une hauteur de deux étages est la forme optimale qui permet d’obtenir de bonnes performances thermiques en été et en hiver. À Stockholm, la hauteur la plus adéquate est celle d’un seul étage, en particulier pour de bonnes performances en hiver. Dans le but d’augmenter la surface ombrée au Caire et à Rome en été, il est observé que, l’augmentation de la hauteur jusqu’à trois étages serait acceptable, car la réduction de la surface ensoleillée en hiver ne serait pas si importante. Des cours avec R1 (cf. Chap. III, section 2.2.2) égale ou supérieure à 5 ont été recommandées ; car elles assurent un taux important de surfaces internes ombrées en été, ainsi qu’une surface considérablement ensoleillée en hiver.

Tab. III. 3 : Le pourcentage de réduction des surfaces ensoleillées et ombrées.

(Source : Muhaisen 2006)

| Building height | Kuala Lumpur | | Cairo | | Rome | | Stockholm | |
|-----------------|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|--------|
| | Summer | Winter | Summer | Winter | Summer | Winter | Summer | Winter |
| One storey | 17 | 0 | 10 | 0 | 14 | 0 | 25 | 0 |
| Two-storey | 14 | 5 | 8 | 14 | 11 | 16 | 19 | 3 |
| Three-storey | 10 | 11 | 6 | 23 | 7 | 22 | 13 | 4 |
| Four-storey | 6 | 18 | 3 | 27 | 4 | 25 | 6 | 5 |
| Five-storey | 0 | 24 | 0 | 30 | 0 | 26 | 0 | 5 |

Dans une autre étude Muhaisen et Gadi (2006) ont examiné l'effet du changement de la forme de la cour sur l'ombre, dont ils ont examiné des géométries de différentes formes polygonales (cf. Fig. III. 30). Les résultats de l'étude ont montré que, le taux d'ombrage des enveloppes internes des cours polygonales examinées dépend de la position du soleil dans le ciel et de la géométrie de la cour. Il a été constaté qu'en général, les cours profondes sont recommandées à toutes les formes planimétriques polygonales pour obtenir le maximum des surfaces ombragées des parois internes en été. En hiver, les formes peu profondes offrent l'avantage d'obtenir la plus grande surface exposée au soleil. Par ailleurs, la forme planimétrique de la cour a un effet très limité sur le taux des surfaces ensoleillées en hiver, tandis qu'en été l'influence est d'autant plus remarquable.

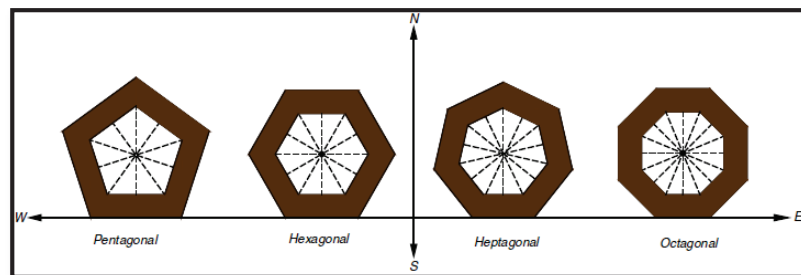


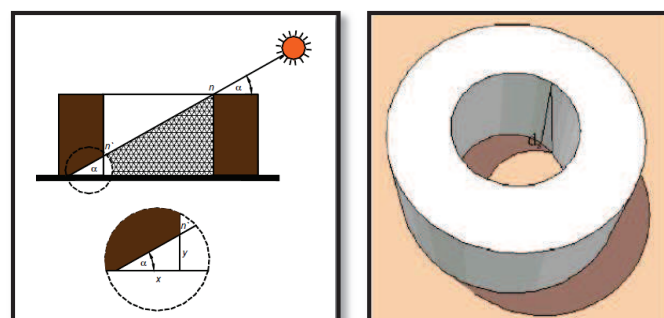
Fig. III. 30 : Des cours avec une planimétrie en forme polygonale.

(Source : Muhaisen et Gadi. 2006)

Dans une autre étude (Muhaisen, Gadi, 2005) ont examiné l'ensoleillement dans une cour de forme planimétrique circulaire (cf. Fig. III. 31). Les résultats de l'étude ont démontré que généralement, les cours circulaires peu profondes ont les meilleures performances tout au long de l'année en matière des taux de surfaces ombrées en été et de surfaces ensoleillées en hiver.

Fig. III. 31 : Modèle d'une cour circulaire.

(Source : Muhaisen, Gadi 2005).



Toutes les études effectuées par (Muhaisen et Gadi) ont confirmé que, les proportions et la géométrie de la cour ont une influence considérable sur la performance du captage et d'ombrage d'un bâtiment avec cour. (Olgyay 1963) affirme que, la forme planimétrique

optimale d'une cour est la forme rectangulaire ayant une proportion de 1: 1,3. Il a aussi indiqué que la hauteur autour de la cour est le facteur géométrique le plus important.²⁶

III.2.2.4 Le rôle régulateur des espaces semi-ouverts de l'architecture islamique à patio:

Hisarligil (2011) a étudié le rôle des espaces semi-ouverts, comme l'iwan et les galeries qui entourent la cour dans l'atténuation des variations des températures journalières et saisonnières. Dans cette étude, les simulations ont été faites dans ENVI-met 3.1. L'organisation spatiale du cas d'étude qui est l'école de Sahabiye Madrasa à Kayseri est illustrée dans la figure (Fig. III. 32).

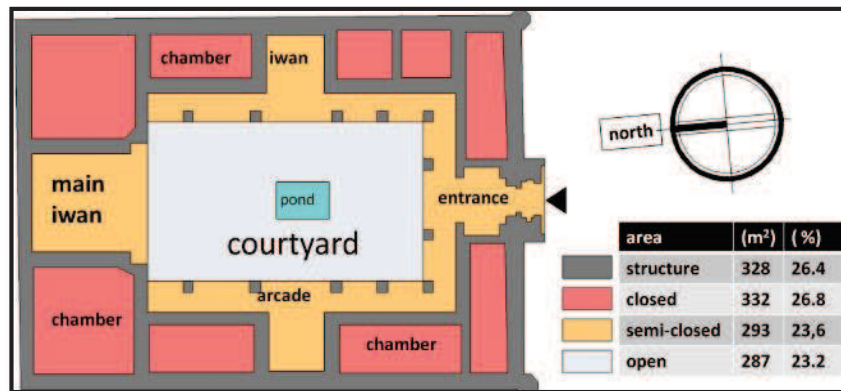


Fig. III. 32 : Schéma d'organisation de Sahabiye Madrasa à Kayseri.

(Source : Hisarligil. 2011)

Il a été constaté que, l'iwan principal orienté au sud reçoit le rayonnement solaire pour près de 4 h (10:00 h- 14 :00 h), pendant la journée du 21 décembre, la journée la plus courte à Kayseri. Ce résultat signifie que, l'iwan principal situé à l'extrémité nord de la cour est conçu pour recevoir autant de rayonnement de courtes longueurs d'onde pendant les périodes froides pour améliorer les conditions du confort thermique hivernal, via le captage solaire passif (cf. Fig. III. 33).

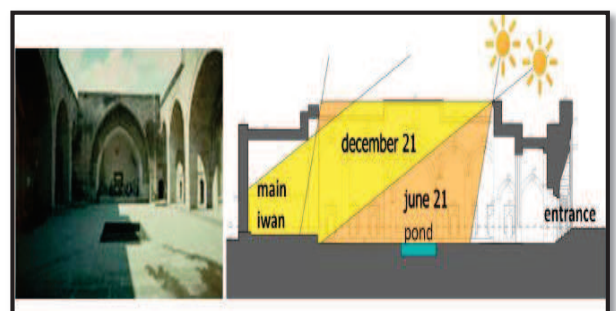


Fig. III. 33 : Les périodes d'exposition de l'iwan principal au soleil.

(Source : Hisarligil. 2011)

²⁶ Masoud Malekzadeh, 2009, 'Positioning of Outdoor Space in House Design - An Energy Efficiency and Thermal Comfort Perspective', these de doctora, université de Loughborough.

Les résultats de la période chaude ont montré que la température moyenne radiante TMR dans l'iwan et sous les arcades est inférieure à 299,4 K à midi, alors qu'elle est d'environ 339,5 K dans la partie centrale de la cour, qui est exposée aux rayons solaires directs. Tandis qu'elle baisse jusqu' à 314 K autour de l'étang (cf. Fig. III. 34).

Donc l'iwan principal est utilisé pour contrôler le microclimat. Il ressemble à une bouche de respiration ouverte et fonctionne comme un régulateur thermique durant les deux périodes de l'année. Dont il reçoit le rayonnement incident de courtes longueurs d'onde pendant les journées et libère le rayonnement de grandes longueurs d'onde durant les nuits dans les périodes froides. Cette étude a montré aussi comment que les espaces semi-ouverts et ouverts sont organisés de manière à répondre efficacement aux variations journalières et saisonnières de température.

Dans une étude de la maison à patio de Bagdad, (Al-Azzawi, 1996) a attesté que, lorsque les rayons solaires frappent la cour en été, les habitants se déplacent à l'**Iwan** ou bien, ils descendent au sous-sol appelé **Al-Serdab**, car ces espaces sont caractérisés par des températures ambiantes plus basses que celle de la cour. Donc, il existe aussi dans l'architecture islamique à patio des espaces totalement protégés du rayonnement solaire afin de procurer de bonnes conditions de confort pendant l'été (cf. Chap. I, section, 1.1.6).

III.2.3 Forme du bâtiment, potentiel solaire et économie en énergie :

La forme d'un bâtiment influence ses performances énergétiques par le nombre et la grandeur des surfaces qu'elle expose au soleil et aux autres facteurs climatiques. À titre d'exemple : Pour les formes de grande hauteur, la paroi verticale est la plus critique, d'environ 86,6 % de l'ensoleillement total annuel est reçu sur ses surfaces verticales [Ling,

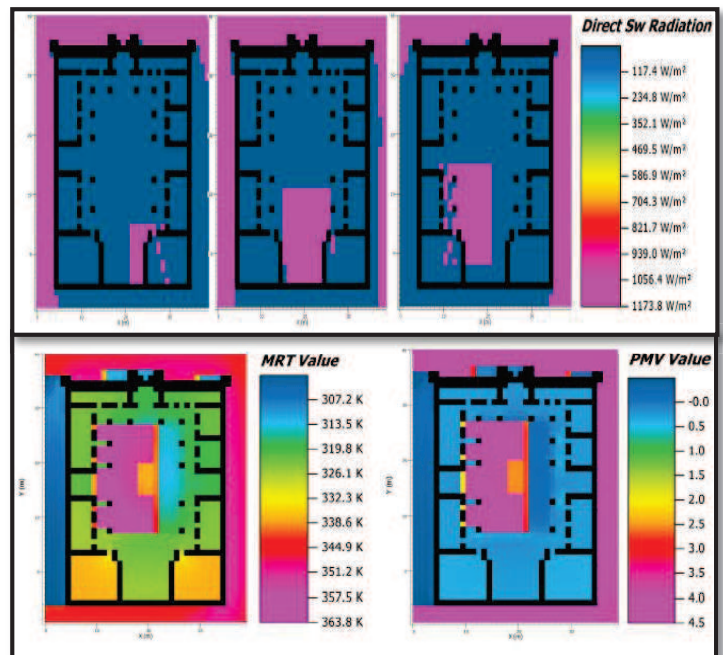


Fig. III. 34 : Section horizontale montre la relation entre la MTR et le PMV à midi.

(Source : Hisarligil, 2011)

Hamdan, Ossen, 2007]. Pessenlehner et Mahdavi (2003) ont analysé l'influence des paramètres de conception comme : la géométrie d'ensemble du bâtiment, la zone du vitrage et l'orientation sur la performance du bâtiment. Plusieurs formes ont été générées, en utilisant un système de géométrie modulaire basé sur un cube élémentaire. Les résultats ont montré que, la compacité et la surface du vitrage d'un bâtiment ont un impact significatif sur la performance thermique des différentes formes de construction résidentielle. Des stratégies solaires passives doivent être intégrées dans la conception des futurs bâtiments afin d'atteindre la cible de ZEB (zéro énergie building) [Amado, Poggi, 2012]

De même, l'étude d'Al-Anzi et al (2009) affirme que, les facteurs qui ont un effet majeur sur la consommation totale énergétique d'un bâtiment sont : la compacité, le rapport de la surface vitrée à la surface opaque, et le type de vitrage²⁷. Cela nous a mené à étudier la forme architecturale et d'essayer de donner les rapports qui nous permettent de la juger en matière de : consommation énergétique qui est fortement liée au captage solaire passif et à la protection solaire passive. Les bâtiments de forme allongée le long de l'axe nord-sud sont moins efficaces que les maisons carrées en matière de chauffage et de refroidissement²⁸. Tandis que, Olgyay (1963, 226) a prouvé qu'une maison carrée n'est pas la forme optimale dans n'importe quel emplacement. Donc plusieurs travaux de recherches scientifiques ont abordé le sujet de la forme architecturale en vue de trouver la meilleure configuration du bâti, en considérant que, la forme optimale d'un bâtiment solaire passif est la forme la plus économe en énergie (Chiras, 2002)²⁹. On remarque qu'il existe des rapports d'évaluation d'économie d'énergie d'une forme architecturale. Ce qui nous a mené à étudier les facteurs qui influencent l'économie d'énergie et le captage solaire passif simultanément. De cette approche découle des rapports qui permettent de juger la forme d'un bâtiment en matière d'économie en énergie comme :

III.2.3.1 Coefficient de forme :

Une forme qui expose le minimum de surfaces à l'extérieur est la forme compacte, qui est la plus économe en énergie. Le coefficient de forme (m^2/m^3) permet de qualifier et de juger

²⁷ **Hachem Caroline.** 2012 'Investigation of Design Parameters for Increased Solar Potential of Dwellings and Neighborhoods', Ph D, Université de Concordia, Québec.

²⁸ **Molnar William,** 1987, 'Factors affecting solar access in the Portland- Vancouver metropolitan area', Master, p 7.

²⁹ **Hachem Caroline.** 2012. OP. cit.

les volumes construits, en indiquant leur degré d'exposition aux rayons solaires et aux conditions climatiques ambiantes. Il est donné par la formule suivante :

$$C_F = S_E / V_U$$

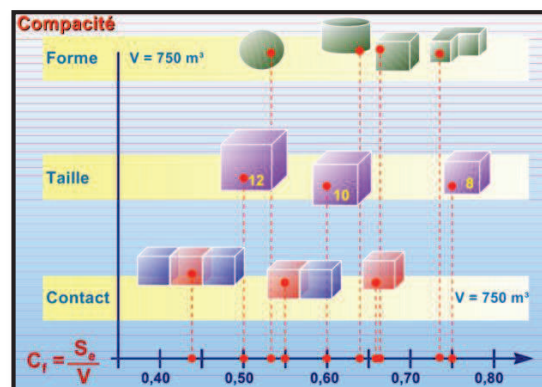
Dont : S_E : Les surfaces en contact avec l'extérieur,

V_U : Le volume utile ou habitable

Ce coefficient de forme ou de compacité mesure le rapport des surfaces déperditives par rapport au volume habitable (m^2 / m^3)³⁰. La compacité dépend de trois grands paramètres : la forme : plus elle est allongée plus le coefficient de la forme augmente (cf. Fig. III. 35). La taille : c'est les dimensions du projet ³¹(cf. Fig. III. 35). La mitoyenneté qui peut améliorer le confort thermique intérieur et atténuer le besoin de refroidissement mécanique (cf. Fig. III. 35).

Figure. III. 35 : Les facteurs influant sur la compacité

(Source : Liebard A., De herde 2005)



III.2.3.2 Rapport du volume à l'emprise au sol :

Les bâtiments de grande emprise au sol se caractérisent par une faible efficacité énergétique (d'environ moins de 12 % pour chaque 1000 m² de surface de plancher). D'autre part, les bâtiments d'un volume assez surprenant ont tendance d'être plus économes en énergie, en ajoutant d'environ 2,7% pour tous les 1000 m³. Les bâtiments avec un plus grand rapport entre le volume et l'emprise au sol sont caractérisés par les meilleures performances. En d'autres termes, les bâtiments les plus grands et les plus étroits sont les plus efficaces en matière d'énergie [Tzikopoulos, Karatza, Paravantis, 2005], car la demande d'énergie thermique est indirectement liée à l'élanement de la forme du bâtiment. L'équilibre d'énergie thermique peut être amélioré dans les premières étapes de la conception d'un bâtiment, par un

³⁰ Liebard A., De herde A, 2005, Traité d'urbanisme et d'architecture bioclimatiques Observ'ER.

³¹ Liebard A., De herde A, 2005, Traité d'urbanisme et d'architecture bioclimatiques Observ'ER.

bon choix de la forme architecturale qui pourrait également réguler la consommation en intégrant le captage solaire passif.

III.3 Stratégies urbaines et architecturales combinées d'amélioration du potentiel solaire:

III.3.1.1 L'enveloppe solaire : un outil de conception urbaine et architecturale:

Ralph Knowles est l'un des chercheurs qui se sont intéressés aux études d'optimisation de l'exploitation des dons que nous offre la nature ; tout en s'éloignant des énergies fossiles (cf. Chap. I, section 1.1.8). En 1974, il a écrit l'ouvrage qui traite le sujet sous l'intitulé de "**L'énergie et la forme : une approche écologique de la croissance urbaine**". En 1976, Il a commencé ses études qui l'ont conduit à obtenir l'enveloppe solaire [knowles, 2003], dans lesquelles, il a développé des formes pyramidales mais, il ne les a pas nommées comme enveloppe solaire jusqu'en 1981³². L'enveloppe solaire est définie comme étant la limite physique des propriétés environnantes qui assure une période minimale d'accès au soleil.

Donc l'enveloppe solaire fournit le plus grand volume constructible possible du bâtiment en fonction des contraintes de temps appelées temps de coupure « Cut off time ». L'enveloppe solaire est façonnée par des faces inclinées déterminées en fonction des clôtures d'ombre. Ces derniers sont des murs imaginaires qui s'élèvent à partir d'une ligne de propriété. Leur hauteur dépend des différents éléments environnants du site comme : les fenêtres et les murs mitoyens. Les clôtures d'ombre déterminent le caractère des rues et la forme du canyon (cf. Fig. III. 36).

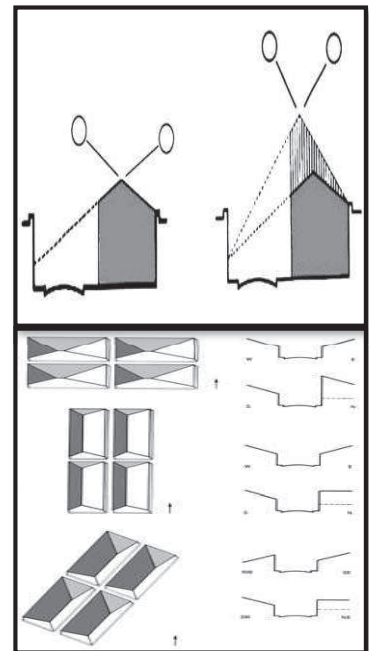


Fig. III. 36 : La forme de profil de la rue et du gabarit en fonction des cut off time.

(Source : Knowles, 2003)

III.3.1.1.1 Éléments influant sur la forme de l'enveloppe solaire :

Les éléments principaux qui influencent la forme de l'enveloppe solaire sont :

³² TOPALOĞLU B., 2003 'l'enveloppe solaire et la génération de la forme en architecture', master en architecture, université du moyen orient. p 29- 30.

- **Le temps** : l'enveloppe solaire est représentée par des facettes inclinées définies par les rayons solaires matinaux et ceux de l'après-midi, pendant l'hiver et l'été (cf. Fig. III. 37).³³ Chaque enveloppe solaire est construite en fonction des « Cut off time » qui sont les limites saisonnières et journalières du temps où l'énergie solaire est assez importante pour qu'elle soit captée³⁴.

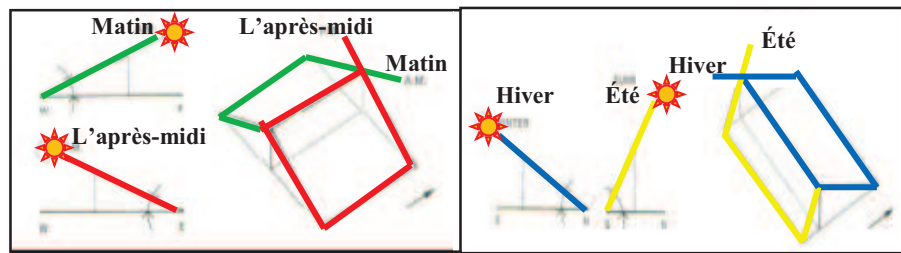


Fig. III.37 : Les volumes générés par les limites annuelles et journalières
(Source : Knowles, 2003)

- **L'espace** : plusieurs paramètres liés à l'espace affectent la forme de l'enveloppe solaire comme : la latitude, la présence des clôtures qui sont des limites de propriétés, les barrières et les rues publiques.³⁵ Concernant la latitude, il est à noter que, le volume de l'enveloppe solaire augmente à proximité de l'équateur, et décroît dans les régions proches des pôles nord et sud. Le deuxième facteur qui influence la forme de l'enveloppe solaire est la taille du site mais, il se peut que des sites de différentes tailles aient des enveloppes de mêmes proportions³⁶(cf. Fig. III. 38).

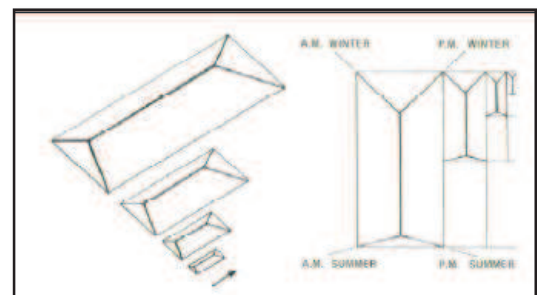


Fig. III. 38 : La taille du site
(Source : Knowles, 2003)

- **L'orientation de la pente du terrain** : l'orientation affecte la hauteur et la forme de l'enveloppe solaire. Les enveloppes des sites les plus exposés au sud sont généralement beaucoup plus élevées que les enveloppes solaires des autres

³³ Knowles Ralph. 2006 'Rituel house', Island press, Washington, USA, p129-131.

³⁴ TOPALOĞLU B., 2003 'l'enveloppe solaire et la génération de la forme en architecture', master en architecture, université du moyen orient, p 32

³⁵ Idem. p 37-40.

³⁶ Idem. p 35-36.

orientations. Les enveloppes des sites qui ont des pentes orientées à l'est ou à l'ouest sont caractérisées par des hauteurs modérées (cf. Fig. III. 39).³⁷

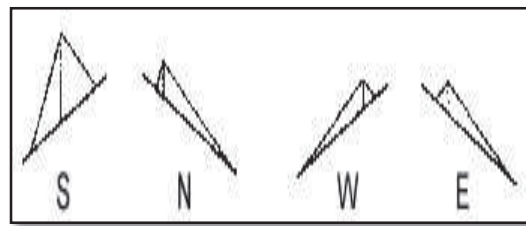
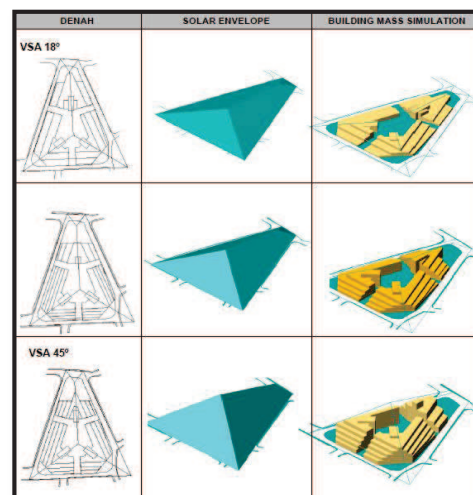


Fig. III. 39 : L'influence de la pente sur la forme de l'enveloppe solaire
(Source : Knowles, 2003)

L'enveloppe solaire est un outil d'analyse et de conception pour la mise en œuvre de l'énergie solaire dans le projet urbain ou architectural. L'étude menée par (Paramita, Koerniawan, Larasati) a montré que, l'enveloppe solaire offre plusieurs formes possibles au bâti (cf. Fig. III. 40), dont les performances de chacune diffèrent des performances des autres formes, en matière d'éclairage naturel et de surfaces ombrées, ce qui permet d'établir des directives pour le design urbain. Cet outil permet l'accès solaire qui n'entraîne pas automatiquement l'élimination des bâtiments de grande hauteur³⁸.

Fig. III.40 : Les formes issues de l'application de l'enveloppe solaire
(Source : Paramita, Koerniawan, Larasati)



III.3.1.1.2 Enveloppe des droits solaires et enveloppe de collecte solaire:

L'enveloppe solaire enrichit les façades par des éléments architecturaux tels que : les porches, les écrans et les lanterneaux³⁹. Elle peut être utilisée comme un guide de la forme et

³⁷ **Idem.** p 36.

³⁸ **Knowles Ralph.** 2006 'Rituel house', Island press, Washington, USA, p 131.

³⁹ **Knowles Ralph.** 2006 'Rituel house', Island press, Washington, USA, p135.

de la masse du bâtiment [Paramita, Koerniawan, 2013]. Plus tard, l'idée de Knowles a été étendue à « des enveloppes des droits solaires » (cf. Fig. III. 41/ A) et « des enveloppes de collecte solaire » (cf. Fig. III. 41/ B) par Morello et Ratti (2009). L'enveloppe des droits solaires est la même que celle de l'enveloppe solaire tandis que, l'enveloppe de collecte solaire est une enveloppe qui détermine le nombre maximal total d'heures d'insolation d'une surface donnée.

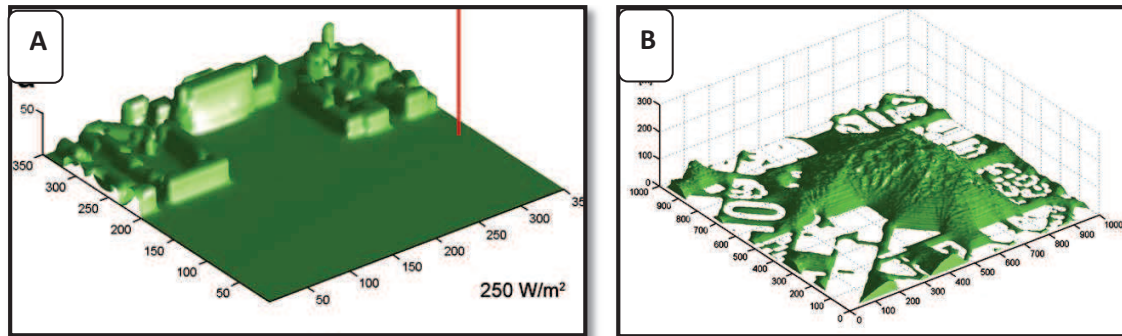


Fig. III. 41 : (A) Enveloppe de collecte solaire, (B) Enveloppe des droits solaires
(Source : Morelli et Ratti 2009).

Ensemble, ces deux enveloppes donnent les «Surfaces iso-solaires», qui représentent des enveloppes tridimensionnelles qui reçoivent des quantités égales d'énergie solaire. Cette méthode rend les calculs des enveloppes solaires des sites urbains plus complexes mais, elle fournit la quantité réelle des irradiances solaires interceptées par une surface quelconque au sein d'un milieu urbain dense.⁴⁰

III.3.1.2 Boîte des liaisons solaires :

Dans le but de combiner les contraintes solaires urbaines et architecturales, (Raboudi, Belkaid, Ben saci, 2012) ont essayé d'établir une approche qui consiste à construire un volume constructible qui englobe les règles urbaines définies par le règlement solaire urbain de la ville et les règles de l'enveloppe solaire. Ce volume est appelé « La boîte des liaisons solaires » « Solar bonding box » (SBB). La figure (Fig. III. 42) explique la génération du (SBB), dont le volume B1 intègre les règles de l'enveloppe solaire appliquées à une échelle architecturale, le volume B2 intègre les règles liées au domaine public (cf. Fig. III. 42). Chaque volume d'ordre (n) comprend toutes les contraintes solaires du volume d'ordre (n-1) dont, le volume B2 intègre les contraintes du volume B1. Le volume B3 est le volume de « La boîte des liaisons solaires » « Solar bonding box », il est le volume le plus restrictif (cf. Fig.

⁴⁰ **Jouri Kanters**, 2012, 'Solar integrated architecture in Scandinavia An analysis of the design process', L'und University.

III. 42). Les résultats de cette étude ont montré que, la boîte des liaisons solaires implique la réduction du volume constructible, ce qui ne tient pas compte de la politique de la densification urbaine. Mais une telle **approche multi-agent** permet de réaliser au mieux les objectifs ciblés vis-à-vis des contraintes solaires urbaines et architecturales simultanément.

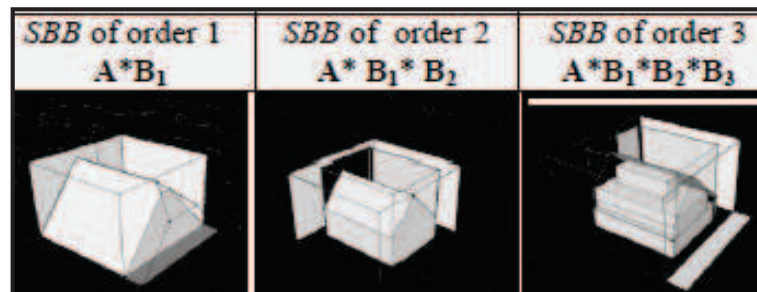


Fig. III. 42 : La génération du SBB dans la notion de l'ordre.

Source : (Raboudi, Belkaid, Ben saci, 2012)

III.4 Stratégies d'amélioration du potentiel solaire liées aux propriétés de l'enveloppe architecturale :

Un des moyens de gérer au mieux les gains solaires passifs est de concevoir l'enveloppe suivant les critères de l'architecture bioclimatique solaire. Ces approches étudient les performances et les propriétés thermiques ainsi que, les facteurs liés à la conception et au dimensionnement pour atteindre un compromis optimal entre l'optimisation du gain solaire et la diminution des déperditions thermiques en hiver. Nous allons présenter dans cette section les différentes propriétés des matériaux qui jouent un rôle important dans la gérance des gains solaires passifs pour les parois opaques et vitrées, en mettant l'accent sur l'étude des parois vitrées, responsable des gains solaires directs.

III.4.1 Parois opaques et potentiel solaire

La composition de la façade extérieure du bâtiment peut avoir un effet très important sur le bilan énergétique urbain et sur la performance du bâtiment (Gordon, 2001).⁴¹ Le choix des matériaux de construction les plus adéquats pour une construction bioclimatique sera en fonction du besoin de : capter, stocker, transmettre ou de conserver la chaleur. Les caractéristiques thermiques des matériaux sont de deux ordres :

⁴¹ **Jouri Kanters**, 2012, 'Solar integrated architecture in Scandinavia An analysis of the design process', Lund University.

III.4.1.1 Caractéristiques statiques :

Ce sont les propriétés qui caractérisent le comportement d'un matériau en présence d'un flux thermique, indépendamment du temps de réaction. On distingue deux caractéristiques : la conductivité et la capacité thermique.

La conductivité thermique : c'est la propriété thermique qui caractérise la transmission de la chaleur par conduction, elle est symbolisée par le coefficient lambda et exprimée en watt par mètre kelvin (W/m.k). Elle permet de quantifier le pouvoir isolant des parois. La conductivité thermique est représentée par la valeur (U) qui est le coefficient de transmission calorifique surfacique. Donc, il faut choisir une composition de paroi qui s'oppose aux fuites des calories qui parviennent de l'énergie solaire.

La capacité thermique : la capacité thermique d'un matériau désigne son aptitude à stocker la chaleur. Symbolisée par (ρC) la capacité thermique est exprimée en wattleure par mètre cube kelvin Wh/m³.k. Elle est prise en considération pour réussir une bonne gestion passive des apports solaires.

III.4.1.2 Caractéristiques dynamiques :

Ce sont les propriétés qui caractérisent la vitesse d'un matériau de gérer le flux thermique. Ce sont la diffusivité et l'effusivité dérivées des caractéristiques précédentes elles font en plus intervenir le facteur temps dans les réactions.

La diffusivité thermique : elle représente l'aptitude d'un matériau à transmettre rapidement un flux de chaleur. Elle accroît avec la conductivité et décroît avec la capacité thermique. Elle est représentée par « a » et exprimée par m²/h. La diffusivité est une caractéristique précieuse pour gérer le temps de restitution des gains solaires à travers une paroi.

L'effusivité thermique : elle décrit la vitesse avec laquelle un matériau absorbe les calories. Elle est désignée par « b » et exprimée en watt racine carré heure par mètre carré kelvin Wh^{0.5}/m².k.

III.4.2 Parois vitrées et potentiel solaire

Les parois vitrées qui peuvent causer de 25% à 35% des déperditions thermiques dans un bâtiment, représentent l'élément principal qui apporte la plus grande quantité des gains

solaires passifs, dont elles permettent de couvrir de 20% à 80% des besoins énergétiques⁴². De ce fait, plusieurs conditions doivent être prises en compte lors de la conception d'une fenêtre comme : le joint d'étanchéité, les fonctionnalités de structure, l'humidité, la transmission de vapeur, l'espérance de vie et la performance thermique [Van Den Bergha, et al, 2013]. Donc deux facteurs principaux doivent être pris en compte lors de la conception d'une fenêtre : les propriétés thermiques des composants et les facteurs physiques liés à la conception et au dimensionnement. Il est aussi susceptible d'améliorer les performances des parois vitrées en agissant sur l'un des facteurs cités préalablement. Donc le rendement des fenêtres dépend principalement des facteurs suivants :

III.4.2.1 Conception et le dimensionnement de la fenêtre et potentiel solaire :

Dans une stratégie de captage solaire passif, la fenêtre constitue le capteur solaire passif le plus simple et économique, à condition qu'elle soit bien dimensionnée, orientée et inclinée par rapport aux rayons solaires, en choisissant aussi, des vitrages de bonnes qualités thermiques.

III.4.2.1.1 Taille des fenêtres :

Kolokotroni et Young (1990) ont étudié la relation entre la capacité thermique, le niveau d'isolation et la taille des fenêtres de la façade sud qui influencent les conditions internes du confort thermique. Ils ont recommandé par la suite les combinaisons les plus efficaces pour les quatre régions climatiques de la Grèce qui concilient entre les trois critères suivants :

- fournir une température interne en été inférieure à la limite supérieure du confort thermique.
- obtenir une moyenne de la valeur U (le coefficient de transmission calorifique surfacique) du logement inférieure à la maximale autorisée par la réglementation thermique grec.
- La fenêtre doit avoir **la plus grande surface possible** pour optimiser la quantité des gains solaires directs en hiver et assurer la ventilation naturelle en été.

Des valeurs U compris entre 0,2 et 1,0 W m⁻² °C et des pourcentages de vitrage de la paroi sud, entre 6 et 48% étaient examinés. Le tableau (cf. Tab. III. 4) présente les valeurs alternatives qui satisfont aux deux premiers critères. Tandis que, les valeurs soulignées satisfont tous les trois.

⁴² **Liebard A., De herde A**, 2005, Traité d'urbanisme et d'architecture bioclimatiques Observ'ER.

Tab. III. 4 : Les rapports des surfaces vitrées recommandés pour chaque zone climatique en Grèce. (Source : Kolokotroni et Young 1990)

| Climatic region | U-value (W m ⁻² °C ⁻¹) | South openings (%) |
|-----------------|---|--------------------|
| A1 | 0.20 | 40 |
| | 0.40 | 24 |
| | > 0.40 | * |
| A2 | 0.20 | 24 |
| | 0.40 | 27 |
| | 0.60 | 6 |
| | > 0.60 | * |
| B1 | 0.20 | 9 |
| | 0.40 | 12 |
| | 0.60 | 15 |
| | 0.80 | 20 |
| | 0.90 | 24 |
| | 1.00 | 20 |
| B2 | 0.20 | 12 |
| | 0.40 | 15 |
| | 0.60 | 18 |
| | 0.80 | 12 |
| | 0.80 | 12 |
| | 1.00 | * |

III.4.2.1.2 Choix de l'orientation des baies :

L'orientation de la fenêtre est traitée de la même manière que l'orientation de la façade (cf. Chap. III, section 2.1.1). Pour un bon captage solaire passif, la fenêtre doit être placée sur la façade qui reçoit la plus grande quantité du rayonnement solaire. En effet, les besoins annuels de chauffage varient en fonction de l'orientation et du rapport de la surface vitrée à la surface totale de la façade (cf. Fig. III. 43). La conception des fenêtres de la maison construite à Wolfhzusen en Allemagne (cf. Fig. III . 44), montre la fonction du captage solaire passif attribuée à la fenêtre en hiver dont les fenêtres permettent le captage solaire même à une chambre située derrière les pièces de la partie orientée au sud (cf. Fig. III . 44).

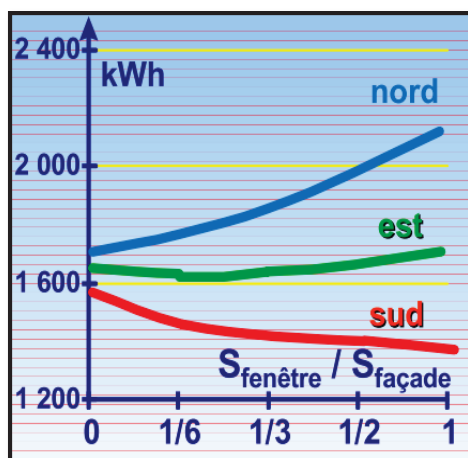


Fig. III . 43 : Le positionnement des fenêtres et le calendrier des gains solaires passifs (arch. H. Bolliger). (Source : Liebard A., De herde 2005)

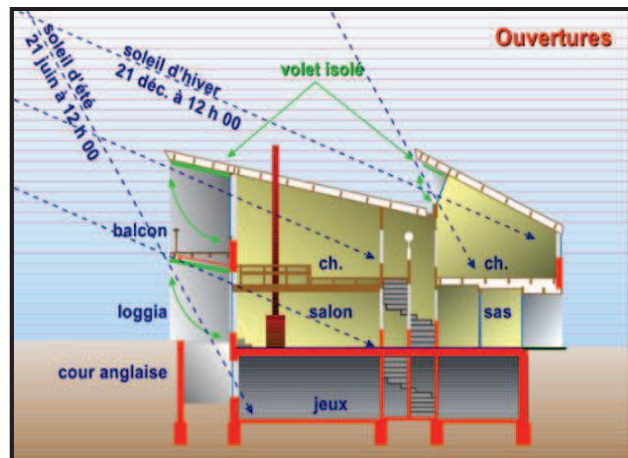


Fig. III. 44: Variation des besoins annuels de chauffage d'une habitation, de l'orientation et des dimensions des surfaces vitrées. (Source : Liebard A., De herde 2005)

Dans la conception de cette maison, la hauteur des fenêtres, la profondeur des pièces, la largeur des balcons, ou la longueur des avancées de toiture, ont été pensés de telle manière qu'elles permettent au soleil de pénétrer dans les pièces de vie et de s'en protéger en été.

III.4.2.1.3 Hauteur d'allège :

La hauteur d'allège, spécifiquement celle de la fenêtre du rez-de-chaussée intervient dans le calcul de la distance qui sépare deux bâtiments successifs (cf. Chap. III, section. 1.2). En hiver lorsque le soleil est bas dans le ciel une hauteur d'allège importante convient mieux à un bon captage solaire passif.

III.4.2.1.4 Protection solaire :

La protection solaire est le fait de ne pas laisser pénétrer les rayons solaires à l'intérieur des espaces pour éviter l'apport des surchauffes et l'accroissement de température de l'air ambiant. La protection solaire améliore l'isolation des vitrages en hiver et contrôle l'éclairage. Elle doit couvrir tous les murs extérieurs du logement, le toit, et les fenêtres car la réalisation d'une protection solaire efficace est la deuxième phase fondamentale de la conception des maisons économes en énergie [Bekkouche, et al, 2014]. Les dispositifs de la protection solaire peuvent être placés à l'intérieur, à l'extérieur ou au milieu en fonction du rôle qu'elles doivent accomplir.



Fig. III. 45 : protection solaire intérieure.

(Source : Oleskowicz, Sobczak, 2014)

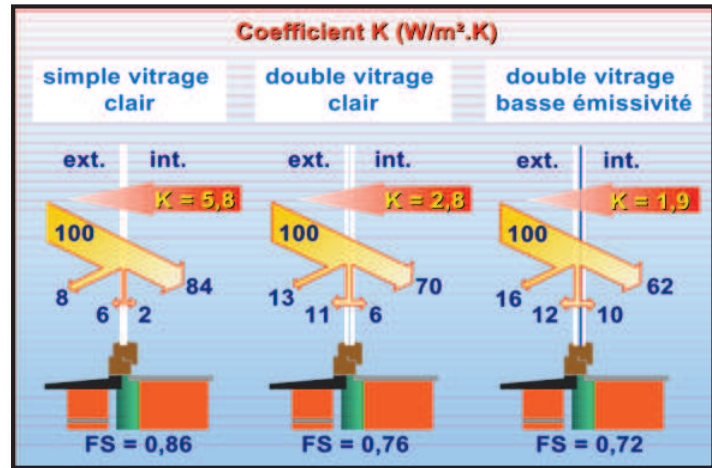
III.4.2.2 Propriétés et performances thermiques des parois vitrées:

Les parois vitrées sont caractérisées par plusieurs valeurs qui déterminent leurs caractéristiques thermiques dont, les plus importants sont :

- Le coefficient de transmission surfacique k : est un coefficient quantifiant le flux d'énergie traversant un milieu, par unité de surface, de volume ou de longueur.⁴³ Plus le vitrage est isolant plus son coefficient K est faible et les déperditions à travers sa surface sont réduites ce qui permet à sa face intérieure de rester chaude.

⁴³ **En ligne** :[<http://fr.wikipedia.org/>].

Fig. III. 46 : Performances thermiques des différents types de vitrages.
(Source : Liebard A., De herde 2005)



- le facteur solaire : il est le rapport entre la quantité d'énergie transmise qui provient du rayonnement solaire et l'énergie totale interceptée par la paroi.⁴⁴ La figure (cf. Fig. III. 47) représente la diminution du facteur solaire en fonction de l'angle d'incidence. Cette diminution est très rapide pour un angle d'incidence supérieur à 60° pour chaque type de vitrage. Pour un vitrage simple et un angle d'incidence donné, le facteur solaire varie en fonction de la nature du vitrage (clair absorbant ou réfléchissant).

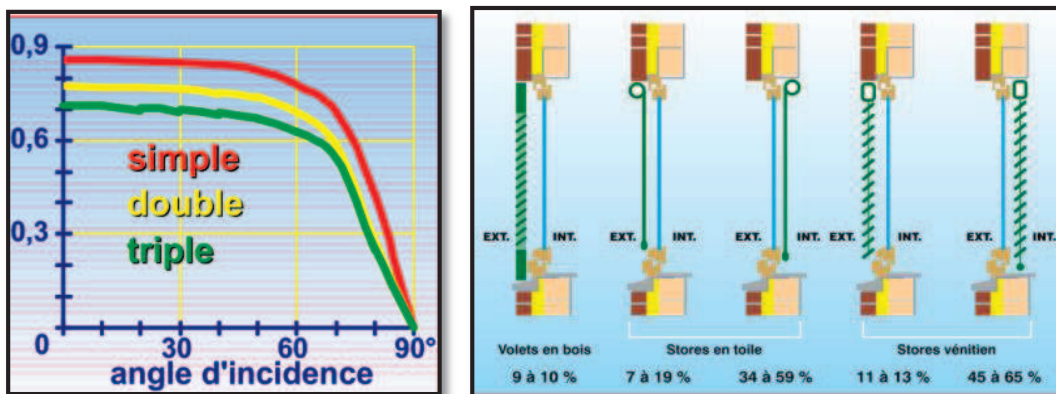


Fig. III. 47 : Variation du facteur solaire en fonction de l'angle d'incidence et du type de protection solaire.

(Source : Liebard A., De herde 2005)

Concernant les autres composants de la fenêtre qui sont responsables d'une grande partie des déperditions thermiques qui dépend du matériau utilisé et de la qualité d'étanchéité de la fenêtre. À titre d'exemple : le joint de bord a un effet significatif sur la valeur K (le coefficient de transmission surfacique) d'un vitrage, dont les joints en mousses présentent globalement un bon rendement thermique [Van Den Bergha, et al, 2013].

⁴⁴ En ligne : [<http://fr.wikipedia.org/>].

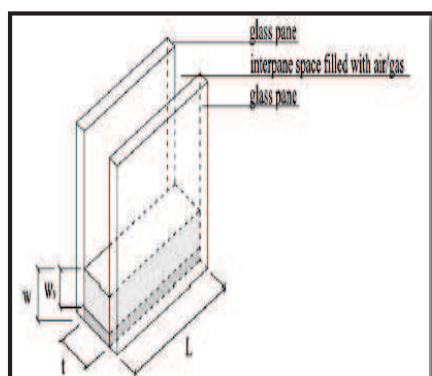


Fig. III. 48 : Les valeurs K et la conductivité effective (K_{eff}) des ossatures en aluminium avec rupture de pont thermique
(Source : Van Den Bergha, et al, 2013)

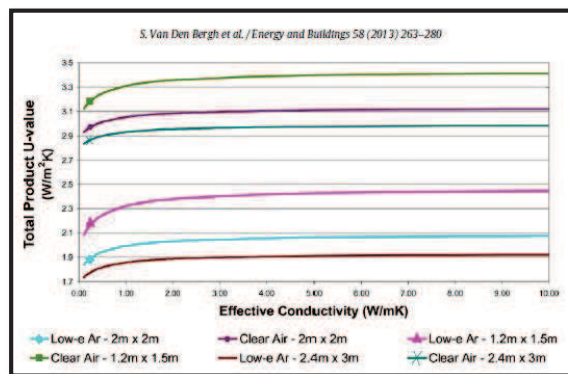


Fig.III . 49 : Géométrie de joint d'étanchéité de bord d'un double vitrage
(Source : Van Den Bergha, et al, 2013)

III.4.2.3 Optimisation du captage solaire passif et amélioration du comportement thermique via une fenêtre intelligente :

Comme le vitrage est la partie la plus importante dans l'enveloppe du bâtiment, nous allons présenter quelques stratégies d'amélioration de son comportement thermique et son potentiel solaire. Le concept de la fenêtre intelligente est très large, c'est l'ensemble des améliorations apportées à la fenêtre en vue d'améliorer ses performances thermiques et énergétiques. Nous allons exposer quelques méthodes passives d'amélioration de la fenêtre vis-à-vis du captage solaire passif.

L'amélioration du comportement de la fenêtre peut être atteinte, en agissant sur la réflexion du vitrage. Dans une étude de différents types de vitrages (Verre clair, verre teinté, verre réfléchissant, verre doté de doubles volets, et verre à faible émissivité). (Chaiyapinunt et al, 2005) affirment que, les verres réfléchissants qui ont des valeurs de coefficient d'absorption assez élevées et de faibles valeurs de transmittance, absorbent une grande partie de l'énergie reçue [Chaiyapinunt et al, 2005], ce qui augmente la température de surface du verre qui affecte la température moyenne radiante du local [Kolokotroni, 1990]. En outre, il a été mentionné que, la surface vitrée et la valeur de son coefficient de transmission thermique peuvent fortement influencer les résultats des calculs d'énergie [Albatici, Passerini 2011]. Ce qui influence la valeur du PPD (Pourcentage Prédit d'Insatisfaits)⁴⁵ (cf. Fig.III. 50).

⁴⁵ Indice du confort thermique.

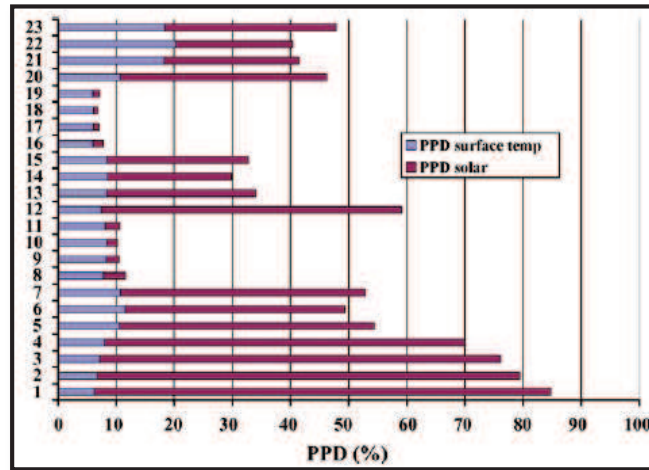


Fig.III. 50 :Valeurs de PPD pour les différents types de vitrage.
(Source : Chaiyapinunt et al, 2005)

La fenêtre d'un double flux d'air est une autre innovation énergétique de la fenêtre, en vue d'améliorer son comportement thermique et de bénéficier grandement de l'énergie solaire. Elle est composée de deux panes de verre séparées par deux cavités qui permettent la circulation d'un flux libre ou forcé par convection. Selon la structure de la circulation d'air dans la fenêtre. La figure (Fig. III. 51) montre cinq modes de fonctionnement : alimentation, échappement, le rideau d'air intérieur, le rideau d'air extérieur, et la fenêtre à double flux d'air.

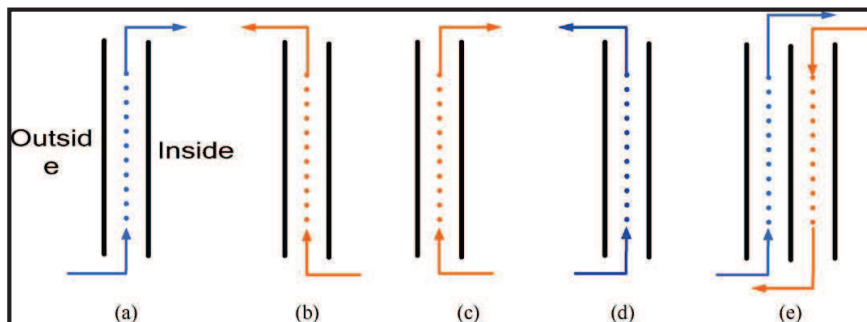


Fig. III. 51 : Schéma des différents modes de fonctionnement de la fenêtre à double flux d'air.

(Source : Wei, Zhao, Chen, 2010)

Par rapport à une fenêtre classique, toutes les fenêtres de double flux d'air peuvent exploiter la chaleur solaire piégée dans la cavité selon le mode de fonctionnement. Cette technique solaire qui récupère de l'énergie est utilisée comme un procédé de chauffage passif en hiver et de refroidissement passif en été. D'après les études de (Gosselin et Chen) la fenêtre à double flux d'air peut économiser de l'énergie et améliorer la qualité de l'air intérieur en fournissant un air frais.

Tab. III. 5 : L'économie d'énergie de l'appartement avec la fenêtre à double flux

(Source : Wei, Zhao, Chen, 2010)

| Typical city in each climate zone | Heating demand | | Cooling demand | |
|-----------------------------------|----------------|-------|----------------|-------|
| | Blinds | Low-e | Blinds | Low-e |
| Harbin | 48 | 36 | -16 | 11 |
| Beijing | 43 | 34 | -22 | 13 |
| Shanghai | 41 | 33 | -31 | 21 |
| Guangzhou | 37 | 31 | -27 | 14 |
| Kunming | 21 | 16 | -17 | 18 |

Concernant la demande énergétique, la fenêtre d'un double flux d'air devrait être installée dans les bâtiments situés dans des régions froides. Cependant, si l'amélioration de la qualité de l'air est une considération importante pour un bâtiment, la fenêtre peut être utilisée dans n'importe quel climat [Wei, Zhao, Chen, 2010], car les différents systèmes de fenêtres donnent de différents résultats en fonction de la façade et de l'emplacement du bâtiment (la ville). Les fenêtres intelligentes dans un immeuble non seulement économisent le coût d'exploitation annuel mais, elles peuvent réduire le coût initial de certains principaux éléments de construction. Il peut être clairement vu que, la performance (Valeurs de transmission des rayons visibles, transmission de la radiation solaire et le coefficient d'ombrage) de la fenêtre intelligente est meilleure que celle des autres types (fenêtre avec panne de verre flottant, la fenêtre à verre réfléchissant et la fenêtre de basse consommation énergétique) [Sekhar, Lim, Toon 1998].

Conclusion

La conception solaire passive réfère à toute mesure conceptuelle qui met en œuvre une technique passive d'exploitation de l'énergie solaire. L'architecture solaire se veut bien adaptée à son environnement physique, à macro et à micro-échelle. Dans le présent chapitre, on a exclusivement étudié les mesures de conception solaire passive qui optimisent le captage solaire passif en hiver et génèrent de l'ombre pendant l'été. Une approche bioclimatique solaire intervient particulièrement, dans les différentes étapes de conception d'un bâtiment. À macro échelle, l'implantation d'une nouvelle agglomération urbaine dans un relief dicte les possibilités de son exposition au soleil et par conséquent, le potentiel solaire des bâtiments. Au niveau de l'urbain, l'aménagement urbain solaire doit exclusivement ordonner les bâtiments de manière à préserver les droits solaires de chaque parcelle en étudiant : le tracé des parcelles et leur orientation, les gabarits, la densité urbaine, et la proportion entre le bâti et le non bâti. En effet, le dimensionnement et la

conception de ces paramètres sont fortement liés aux coordonnées solaires particulièrement, à la hauteur solaire en utilisant les formules trigonométriques.

Dans le présent chapitre, on a essayé de clarifier la relation qui existe entre le soleil et la configuration du bâti et ses dimensions. On peut dire que, le choix d’une forme architecturale ainsi que, son orientation par rapport au soleil sont les facteurs primordiaux qui déterminent la durée d’exposition au soleil en hiver et la durée d’ombrage en été. Nous avons appris aussi dans ce chapitre que, dans une architecture introvertie (avec patio) le captage solaire passif est fortement lié aux dimensions du patio : sa hauteur et sa largeur. Ce qui nous oriente à analyser ces facteurs géométriques ainsi qu’autres facteurs comme la taille et les dimensions des fenêtres, leurs emplacement et les dimensions des galeries, dans notre cas d’étude qui est la maison traditionnelle à patio de la Casbah d’Alger. Il existe d’autres éléments architecturaux dans la maison à patio qui influencent l’ensoleillement comme : les galeries et la conception et l’emplacement des fenêtres.

Dans la recherche des travaux scientifiques qui ont essayé de combiner entre les différents facteurs qui influencent l’ensoleillement, nous n’avons trouvé qu’une combinaison entre le volume constructible qui intègre les contraintes solaires urbaines et architecturales sans d’autant toucher les facteurs liés aux éléments architecturaux. Il est donc intéressant, de trouver des méthodes de conception qui intègrent les contraintes solaires à différentes échelles de la conception à partir des contraintes urbaines jusqu’au détail architectural.

La présente étude nous a permis de cerner les caractéristiques physiques et les propriétés thermiques des parois vitrées et opaques qui interviennent dans la gestion de l’énergie solaire. Dont on a constaté que, le choix de la composition de l’enveloppe dépend principalement des objectifs recherchés car chaque propriété est responsable d’un comportement spécifique qui détermine le devenir de l’énergie solaire interceptée.

Chapitre : IV

Investigation



« L'Architecture c'est formuler les problèmes avec clarté »

Le Corbusier

Introduction :

Les hypothèses avancées dans l'introduction générale doivent être vérifiées sur terrain pour les approuver ou bien les dédire. Comme notre objectif principal dans ce chapitre est d'étudier la qualité de l'ensoleillement dans la maison traditionnelle à patio de la Casbah d'Alger, il était judicieux de commencer par une analyse climatique et bioclimatique du contexte d'étude. Ce qui nous permet de connaître les contraintes climatiques auxquelles la maison étudiée est soumise, le long de l'année, et pour faire ressortir les recommandations et les lignes directrices de la conception architecturale bioclimatique propre à la région d'Alger. En effet, l'architecte doit être conscient de l'emplacement du bâtiment, de l'ensoleillement, des conditions climatiques, et de l'utilisation du bâtiment, afin qu'il puisse prendre les décisions appropriées à l'utilisation passive de l'énergie solaire¹. On a choisi par la suite, le cas d'étude selon des critères d'ordre : historique, climatique et naturel, physique et architectural, bien définis pour donner une image réelle sur la qualité du confort à l'intérieur de la maison à patio de la Casbah d'Alger.

En vue de formuler le problème avec clarté dans le présent travail, on a mené une étude de l'ensoleillement qui consiste à évaluer la durée d'insolation des espaces de vie de la maison à patio et vérifier la qualité de l'ensoleillement ainsi que, la contribution du soleil dans l'amélioration de l'ambiance thermique interne de cette maison. L'étude de l'ensoleillement avait aussi pour objectif de vérifier l'existence du problème de manque de l'ensoleillement dans cette typologie d'habitat tout en utilisant le logiciel « Ecotect ». Puis, nous avons mené une étude formelle et morphologique de la maison à patio de la Casbah d'Alger pour identifier les éléments architecturaux qui influencent l'ensoleillement et vérifié par la suite, les conditions internes du confort hygrothermique de la maison étudiée en organisant une campagne de mesures in situ. Ce travail a été accompagné d'un constat et d'un entretien pour compléter les informations recueillies.

¹ **Kanters Jouri**, 2012, 'Solar integrated architecture in Scandinavia An analysis of the design process, L'und University.

IV.1 Aperçu sur la ville d'Alger :

IV.1.1 Situation de la ville d'Alger : (zone géographique et ses caractéristiques) :

Situé dans le Nord de l'Algérie, Alger bénéficie de son emplacement stratégique sur le littoral. Cette ville dotée d'une baie considérée l'une des plus belles baies maritimes au monde représente la porte de l'Afrique du Nord. Alger est situé sur une longitude de 3.2° et une latitude de 36.7° ². Cette ville est connue par son climat méditerranéen chaud et sec pendant l'été, doux, humide et pluvieux pendant l'hiver.³

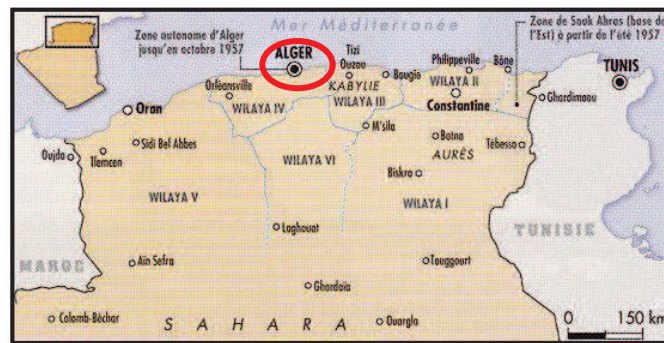


Fig. IV. 1 : La situation géographique de la wilaya d'Alger.

(Source : <http://fr.wikipedia.org/>)

IV.1.2 L'analyse climatique de la ville d'Alger :

La présente étude a pour objectifs de vérifier la prise en considération de la contrainte climatique dans le processus de la conception de la maison traditionnelle à patio de la Casbah d'Alger de ce fait, on devait donc étudier le climat de cette ville et ses caractéristiques, dont les données climatiques abordées sont :

IV.1.2.1 Températures et humidités relatives :

La lecture des données météorologiques de la température illustrées dans les graphes (cf. Fig. IV. 2) montre que, la moyenne annuelle des températures est de 18.2 C° . De l'analyse bioclimatique de la ville d'Alger (cf. Annexe C) découle que, les mois les plus froids de l'année sont : décembre ($T_{\text{moy}} = 12.4\text{ C}^{\circ}$), janvier ($T_{\text{moy}} = 10.8\text{ C}^{\circ}$) et février ($T_{\text{moy}} = 11.3\text{ C}^{\circ}$), ces mois sont caractérisés par les taux d'humidité relative les plus élevés : décembre ($H_{\text{moy}} = 80\%$), janvier ($H_{\text{moy}} = 82\%$) et février ($H_{\text{moy}} = 79\%$). Tandis que, les mois les

² Autodesk Ecotect 2010, logiciel.

³ En ligne [fr.wikipedia.org].

plus chauds de l'année sont les mois de : juillet ($T_{\text{moy}} = 25.9 \text{ C}^\circ$) et août ($T_{\text{moy}} = 26.4 \text{ C}^\circ$) avec des taux d'humidité relative aussi élevés : juillet ($H_{\text{moy}} = 71 \%$) et août ($H_{\text{moy}} = 71 \%$). Donc l'année est divisée en deux (02) saisons bien distinctes :

Saison chaude : débute en mai et s'achève en octobre.

Saison froide : s'étale de novembre jusqu'à avril.

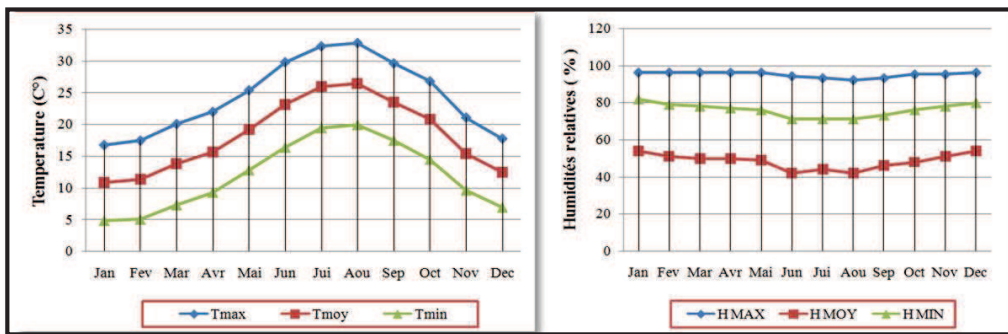


Fig. IV. 2 : La moyenne annuelle des températures et des humidités relatives de la ville d'Alger (2000-2009).

(Source : l'ONM)

Les courbes des humidités relatives descendent dans le sens inverse que celles des températures (cf. Fig. IV. 2). Les moyennes mensuelles des humidités relatives se rapprochent des 80 % pour les périodes humides ce qui laisse penser à un climat semi-humide (cf. Annexe C).

IV.1.2.2 Précipitations :

L'examen des données pluviométriques de l'histogramme (cf. Fig. IV. 3) nous a permis de tirer les remarques suivantes :

- Les pluies tombent d'une façon irrégulière et les orages sont assez fréquents en novembre, décembre et janvier.
- La quantité mensuelle des pluies varie entre 1.9 et 102.3 mm pour une moyenne annuelle de 574.4 mm. Le mois qui se caractérise par la pluviométrie la plus élevée de l'année est novembre (102.3 mm). Tandis que, les mois de : juin (1.9 mm) et juillet (1.9 mm) sont les mois les plus secs de l'année. Donc la répartition annuelle des précipitations est marquée par une longue période de sécheresse, qui couvre les trois mois de : juin, juillet et août, tandis que le reste de l'année paraît plus humide.

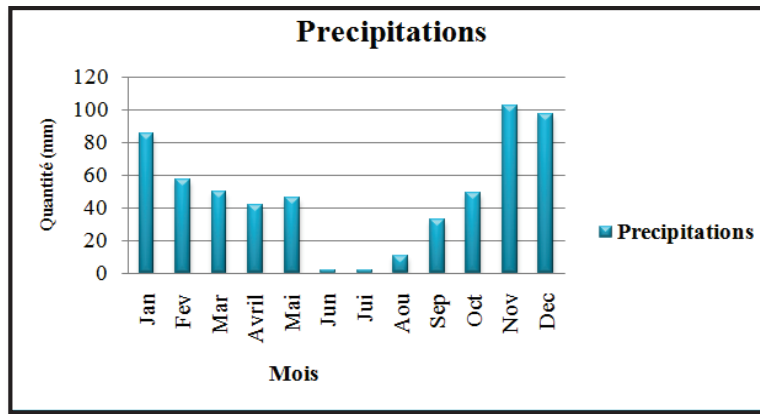


Fig. IV. 3 : Les moyennes annuelles des précipitations de la ville d’Alger (2000-2009).
(Source : l’ONM)

IV.1.2.3 Les vents :

Les vents qui prédominent à Alger sont de direction Nord /Nord-ouest en hiver avec des vitesses moyennes qui varient entre 1 et 16 m/s. Ces vents sont froids et humides pendant la période hivernale (cf. Fig. IV. 4 / A). Concernant la saison estivale les vents dominants d’été sont de direction nord-est (cf. Fig. IV. 4 / B). En effet, la Casbah d’Alger installée sur un monticule qui fait face à la mer tire profit de sa brise rafraîchissante, ce point sera largement expliqué dans l’étude morphologique du cas d’étude.

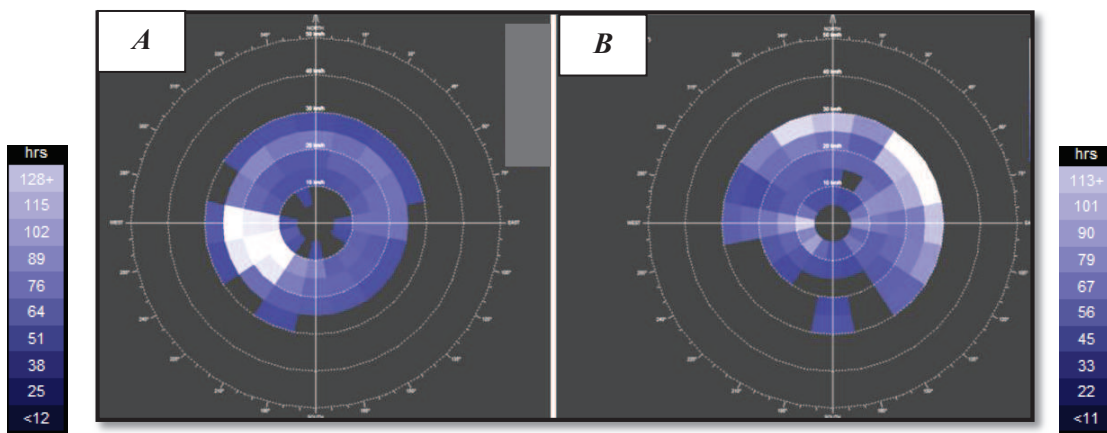


Fig. IV. 4 : Les roses des vents pour la ville d’Alger(A) hiver, (B) été.
(Source : Ecotect 2010)

IV.1.2.4 L'ensoleillement :

IV.1.2.4.1 La moyenne mensuelle d'insolation :

L'ensoleillement est considérable dans la ville d'Alger. Potentiellement, pour une latitude de 36° Nord, le nombre d'heures d'ensoleillement dépasse les 14 heures par jour en été, et 09 heures en hiver, comme le montre la figure (cf. Fig. IV. 5), ceci permet de dire que l'énergie incidente sur le sol est considérable pour qu'elle soit captée. À partir de la figure (Fig. IV. 5) on remarque que, la durée moyenne d'insolation effective de la ville d'Alger est importante pendant toute l'année ; elle est comprise entre 159.3 h pour le mois de décembre et 325.3 h pour le mois de juillet.

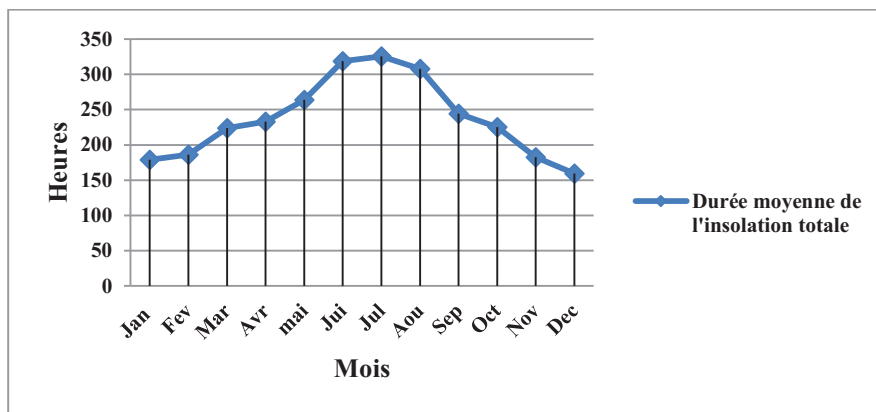


Fig. IV. 5 : La moyenne mensuelle de l'insolation en heures- Alger- (2000- 2009).

(Source : l'ONM).

IV.1.2.4.2 La meilleure orientation pour l'emplacement géographique de la ville d'Alger

L'orientation d'un bâtiment a un effet significatif sur son comportement thermique. Chaque situation géographique se caractérise par une orientation optimale par rapport au soleil. D'après la figure (Fig. IV. 6) l'intervalle des meilleures orientations par rapport au soleil pour la ville d'Alger est compris entre $[150^\circ, 210^\circ]$ Nord.

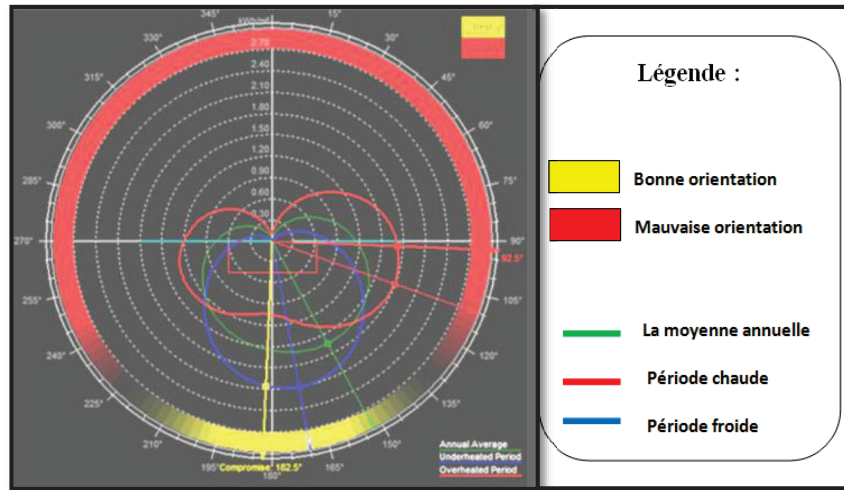


Fig. IV. 6 : La meilleure orientation pour la situation de la ville d'Alger et la moyenne
(Source : Ecotect).

Deux exemples d’orientation sont illustrés dans le tableau (Tab. IV. 1), dont on constate que, l’orientation de 180° nord permet d’optimiser le gain d’énergie solaire pendant la saison froide de l’année et d’éviter les surchauffes le long de la saison chaude, contrairement à celle de 90° nord (cf. Tab. IV. 1).

Tab. IV. 1 : La moyenne journalière des irradiances solaires en fonction de l’orientation
(KW / m²).
(Source : Ecotect)

| la moyenne journalière de l’irradiation en fonction de l’orientation | | | |
|--|------------------------|-------------------|---------------|
| L’orientation | (KW / m ²) | | |
| | La période froide | La période chaude | Toute l’année |
| Optimal (180°) | 2.06 | 1.04 | 1.54 |
| Mauvaise (90°) | 0.76 | 1.69 | 1.13 |

IV.1.2.4.3 La zone énergétique de la ville d’Alger :

Afin de donner une idée quantitative et qualitative sur l’enseillement du territoire algérien, Capderou Michel a divisé l’Algérie en plusieurs zones énergétiques (Z.E) dans son ouvrage « l’Atlas solaire ». Une zone énergétique représente l’ensemble des zones géographiques qui reçoivent la même quantité des irradiances solaires. L’Algérie est divisée en plusieurs zones énergétiques qui regroupent 14 sous-zones divisées en 20 pré-zones.

D'après la carte (cf. Fig. IV. 7), Alger fait partie de la zone énergétique **Z.E. 2** et la sous-zone **2.1** qui représente le littoral jusqu'à l'altitude de 1000 m. En outre, l'Atlas solaire fournit plusieurs données qui correspondent à la quantité d'énergie solaire captée par les différentes façades d'un bâtiment, en fonction de son emplacement dans les différentes wilayas de l'Algérie.

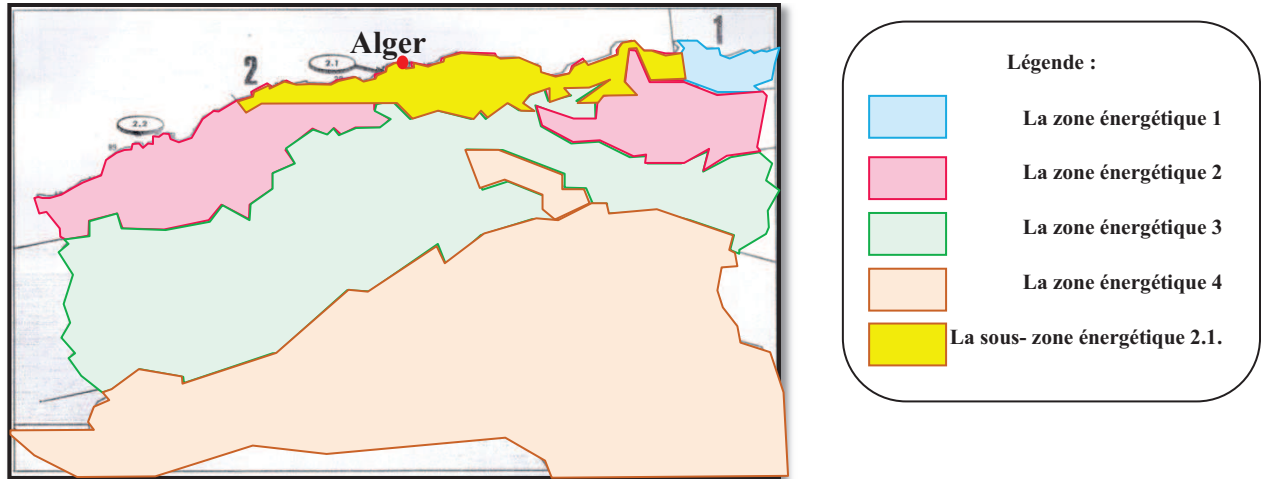


Fig. IV. 7 : Les sous-zones énergétiques du nord algérien.

(Source : Capederou, 1986).

IV.2 Présentation du site cas d'étude :

La Casbah d'Alger est située dans le côté ouest de la baie d'Alger (cf. Fig. IV. 8) et elle est orientée vers l'est. Notre étude touche uniquement une partie du secteur sauvegardé de la Casbah d'Alger, qui représente l'ensemble des maisons qui remontent à l'époque ottomane et qui ont conservé leur architecture originale. Cependant il est judicieux de connaître les limites du périmètre de sauvegarde et du secteur classé par la commission nationale en 2005 ; qui s'étend sur une superficie de 105 ha, et couvre la totalité du périmètre classé patrimoine mondial en 1992.⁴

⁴ **Le ministère algérien de la culture**, (2005) Le plan permanent de la sauvegarde et de la mise en valeur du secteur sauvegardé la casbah d'Alger (le PPSMVSS)

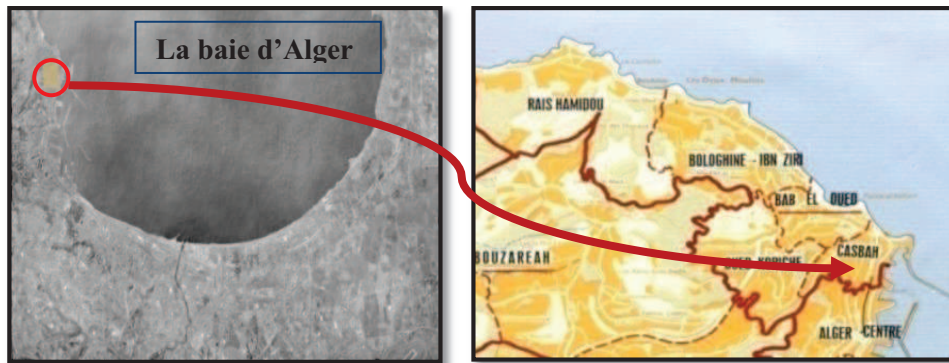


Fig. IV. 8 : La situation de la Casbah dans la baie d'Alger

(Source : Amari, Ammisaid, Hamrouni, 2005)

IV.2.1 Les limites du périmètre de sauvegarde

Selon le plan permanent de sauvegarde et de mise en valeur du secteur sauvegardé (PPSMVSS) de la Casbah d'Alger, ce dernier couvre la commune de la Casbah y compris l'amirauté et une partie du port, il déborde aussi jusqu'aux autres communes limitrophes qui sont : la commune d'Alger centre au sud et la commune de Bab-El-Oued au nord⁵. Il est défini par les limites suivantes (cf. Fig. IV. 9) :

Au Nord : la rampe Louni Arezki et la rue Oudelha Mohamed.

A l'Est : l'Amirauté et la jetée Khair-Eddine, et Le front de mer dans la base du triangle.

Au Sud : englobant le mole El Djefna (quai N°7) et parcourant dans l'axe les rues successives suivantes : Azzouz Ben Bachir, Bakel Said, de Bone, Debih Cherif ; rejoignant le bastion Sud Ouest de la caserne Ali Khodja.

A l'Ouest : longeant la rue Boualem Bengana, là où se trouve la citadelle au sommet, dans le point culminant du triangle

⁵Le ministère algérien de la culture, (2005) Le plan permanent de la sauvegarde et de la mise en valeur du secteur sauvegardé la casbah d'Alger (le PPSMVSS)

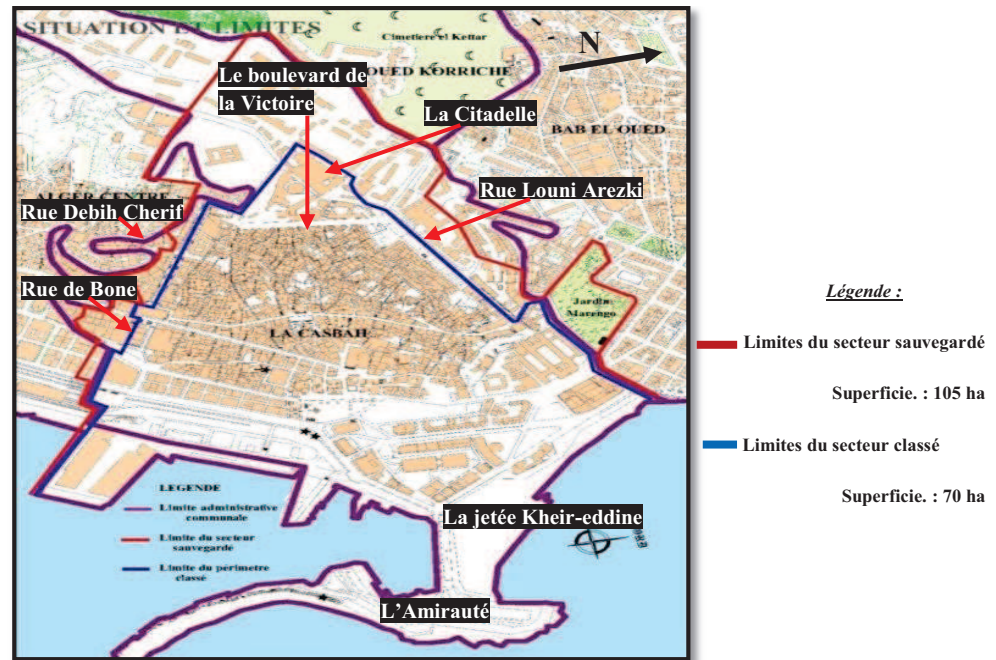


Fig. IV. 9 : Les limites du secteur sauvegardé « la Casbah d'Alger ».

(Source : PPSMVSS)

IV.3 Investigation

L'investigation doit suivre une démarche scientifique qui permet de comprendre la configuration spatiale de la maison traditionnelle à patio de la Casbah d'Alger, abordée théoriquement dans le deuxième chapitre (cf. Chap. II, section 2.3). Étant associée à la fiabilité des résultats le choix du cas d'étude était effectué selon des critères de différentes natures : historique, climatique, architecturale, urbaine et physiques.

Le travail de terrain était organisé en trois étapes : la première consiste à mener une étude de l'ensoleillement dans la maison cas d'étude pour vérifier l'existence du problème de manque d'ensoleillement. La deuxième, représente l'étude de la morphologie de la maison cas d'étude afin de déterminer les éléments architecturaux qui sont à l'origine du problème posé (s'il existe). Tandis que, la troisième étape permet la vérification des conditions du confort hygrothermique dans la maison étudiée par la prise des mesures. L'organigramme de la figure (Fig. IV. 10) résume les différentes étapes de l'investigation.

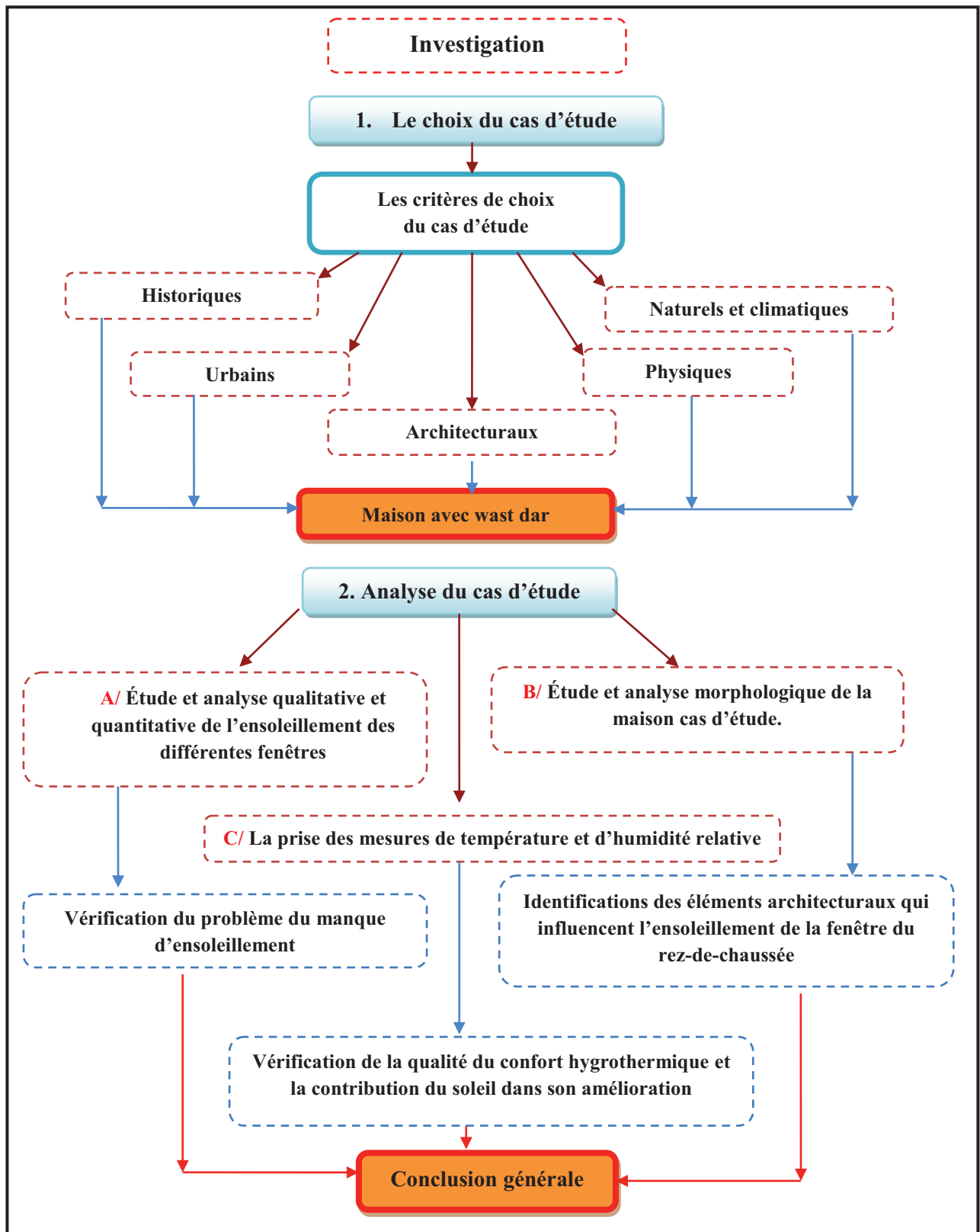


Fig. IV. 10 : Méthodologie et étapes du travail de terrain.

(Source : Auteur)

IV.3.1 Le choix du cas d'étude :

Le choix du cas d'étude était effectué selon des critères bien précis d'ordre : historique, climatique et naturel, architectural et des critères liés à l'état physique du bâti.

IV.3.1.1 Les critères historiques :

On est censé limiter la zone géographique dans laquelle nous devons sélectionner la maison cas d'étude. Sachant que, le tissu traditionnel de la Casbah d'Alger a été considérablement modifié suite à la succession de plusieurs événements sur cette région. En effet, la colonisation française en Algérie, est à l'origine des derniers grands bouleversements de la médina. Suite à l'exécution de l'opération menée sous le cadre du « Plan d'agrandissement et d'embellissement de la ville d'Alger » (1926-1930)⁶, la médina d'Alger était divisée en trois arrondissements administratifs : La partie basse, la partie haute et la zone commerciale (cf. Annexe B.3). Ce facteur historique nous a incité à réduire la zone d'étude à celle limitée par la rue Azzouzi Mohamed (Sour Bab Sidi Ramdan) au nord ; le boulevard de la Victoire à l'ouest ; les rues Benganif Mohamed (Bayn al-Sour wal-Stara) et Addade Mohamed (Houmat al-Slawi) au sud ; les rues Amar Ali, Arbadji Abderrahmane et Ben Cheneb, à l'est⁷ (cf. Fig. IV. 11).

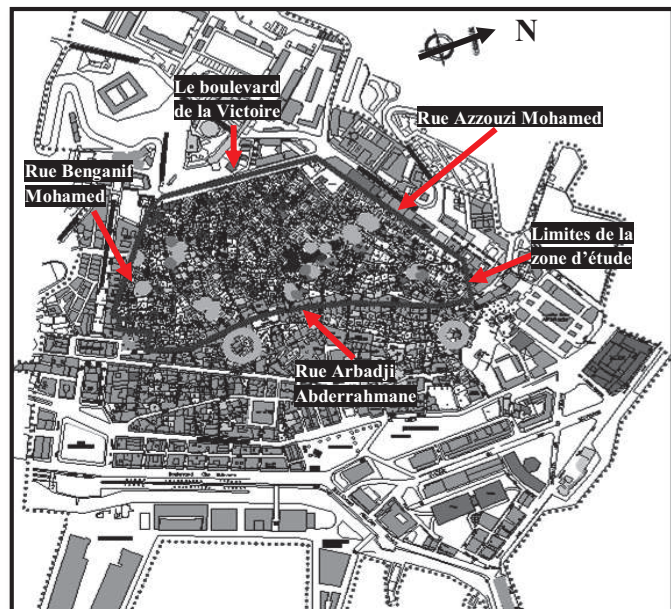


Fig. IV. 11 : Délimitation de la zone d'étude

(Source : PPSMVSS)

⁶ **MISSOUM Sakina**, 2003 'Alger à l'époque ottoman la médina et la maison traditionnelle', Edisud, Paris, France.

⁷ **Idem.**, p 196.

IV.3.1.2 Critères formels liés à la typologie de la maison traditionnelle de la Casbah d'Alger :

Selon Sakina Missoum, il existe deux types de maisons traditionnelles dans la médina d'Alger : la maison avec *wast al-dar*, dont on trouve deux sous-types : maison avec *wast dar* couvert appelée maison avec *chebek* ou bien découvert. La deuxième typologie est la maison sans *wast al-dar* appelée *Al-Alwi* (cf. Chap. II, section. 2.3.1.2). Dans une étude analytique de l'ensoleillement des différentes typologies de la maison traditionnelle de la Casbah d'Alger qui a précédé la sortie sur terrain (cf. Annexe B.4), il s'est avéré que, même les maisons caractérisées par les plus grandes dimensions du patio souffrent immédiatement d'un manque d'ensoleillement. Ce qui nous a poussés à mener l'étude seulement sur la typologie de maison avec *wast-dar* (à patio).

IV.3.1.3 Critères naturels et climatiques

La Casbah d'Alger est bâtie sur un relief montagneux ce qui laisse penser à l'existence d'une variation des températures en fonction du relief (l'altitude) (cf. Chap. III, section.1.1). Cela veut dire que, les températures de : la vallée, la pente et le sommet sont différentes⁸. À partir de cette théorie scientifique, on peut avancer l'hypothèse suivante : « Il existe une différence de température entre le haut et le bas du relief de la Casbah d'Alger mais, il existe aussi d'autres facteurs liés à la morphologie urbaine et à l'existence des arbres et d'autres éléments physiques, qui influencent l'écoulement de l'air et la distribution des températures au sein de cette médina ». Cette supposition reste une hypothèse à vérifier dans une future recherche. Mais, ce qui est évident est que l'orientation du relief influence les conditions du confort. En effet, le relief de la Casbah d'Alger comporte quatre pentes de différentes



Fig. IV. 12 : L'orientation des différentes pentes du relief de la Casbah d'Alger.

(Source : PPSMVSS de la Casbah d'Alger)

⁸ Liebard Alain, DE herde André, 2005. 'Traite d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques'. Observ'ER Paris.

orientations par rapport au soleil (cf. Fig. IV. 12). Pour notre étude, on a choisi une maison qui se trouve sur la pente la mieux exposée au soleil (cf. Fig. IV. 12 / profil D).

IV.3.1.4 Critères liés aux paramètres urbains influant sur l'ensoleillement :

Il existe des paramètres urbains qui influencent l'ensoleillement comme : l'orientation des rues et le rapport de la largeur de la rue à la hauteur du bâti qui la limite (H/W) (cf. Chap. III, section.1.2.2). Concernant ce dernier facteur la hauteur des maisons de la Casbah d'Alger, est quasiment la même elle est constante, donc on peut choisir l'échantillon selon seulement l'orientation et la largeur de la rue.

IV.3.1.5 Critères liés à l'état physique du bâti :

Notre choix devait être fixé sur une maison en bon état physique qui ressemble à son état originel de l'époque ottomane, pour obtenir des résultats de mesures fiables, car la dégradation du bâti influe sur son comportement hygrothermique.

IV.3.2 Analyse du cas d'étude :

IV.3.2.1 Présentation du cas d'étude :

Notre cas d'étude est une maison traditionnelle de la Casbah d'Alger du type maison avec wast-dar (à patio) qui répond à la totalité des critères de choix cités préalablement. Elle est classée selon le plan permanent de sauvegarde et de mise en valeur du secteur sauvegardé (PPSMVSS) « la Casbah d'Alger » comme étant une maison avec wast-dar découvert, mais en réalité elle comporte un chebek qui couvre l'ouverture de son wast-dar. Elle est située dans le quartier résidentiel de la haute Casbah sur une altitude de 67 m. Elle fait partie du côté sud de la Casbah d'Alger, construite sur la pente la mieux exposée au soleil (cf. Fig. IV. 12 / profil D). Notre maison cas d'étude est située au cœur de la Casbah, loin des bâtisses du type colonial qui constituent des masques solaires pour les maisons traditionnelles qui y sont proches (cf. Fig. IV. 13).

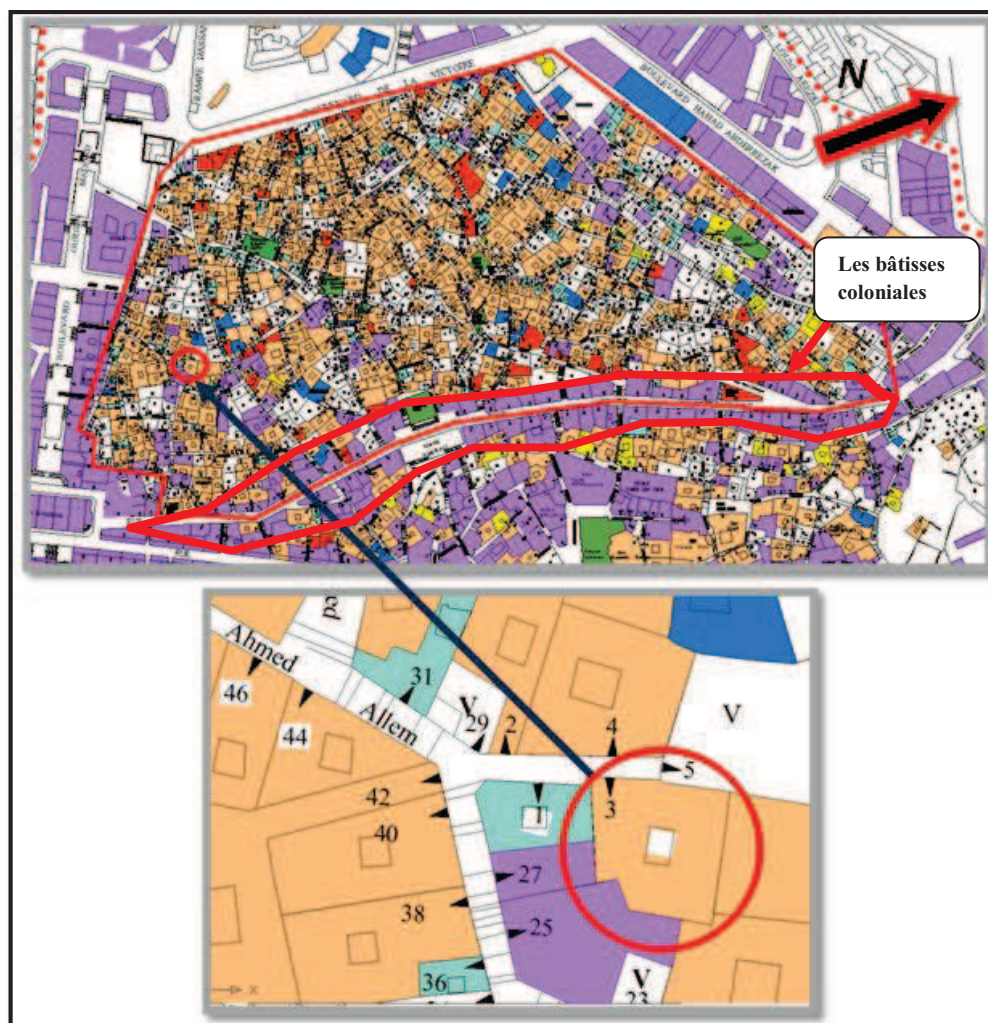


Fig. IV. 13 : La situation de la maison cas d'étude dans la Casbah d'Alger.

(Source : le (PPSMVSS) de la Casbah d'Alger)

Notre maison cas d'étude comporte quatre niveaux. D'après les propriétaires de la maison, il existe un sous-sol auquel l'accès était impossible. Le deuxième niveau est le rez-de-chaussée, appelé dans le jargon algérois niveau *wast dar* (cf. Annexe B.2.), le *wast-dar* de cette maison occupe le centre et se trouve au même niveau que la *Skifa* qui est le vestibule d'entrée. Le troisième niveau est le *Shin* ou celui des galeries. Le quatrième niveau est le niveau des *menzehs* et enfin on trouve le niveau *Stah* ou celui des terrasses (cf. Fig. IV. 14).

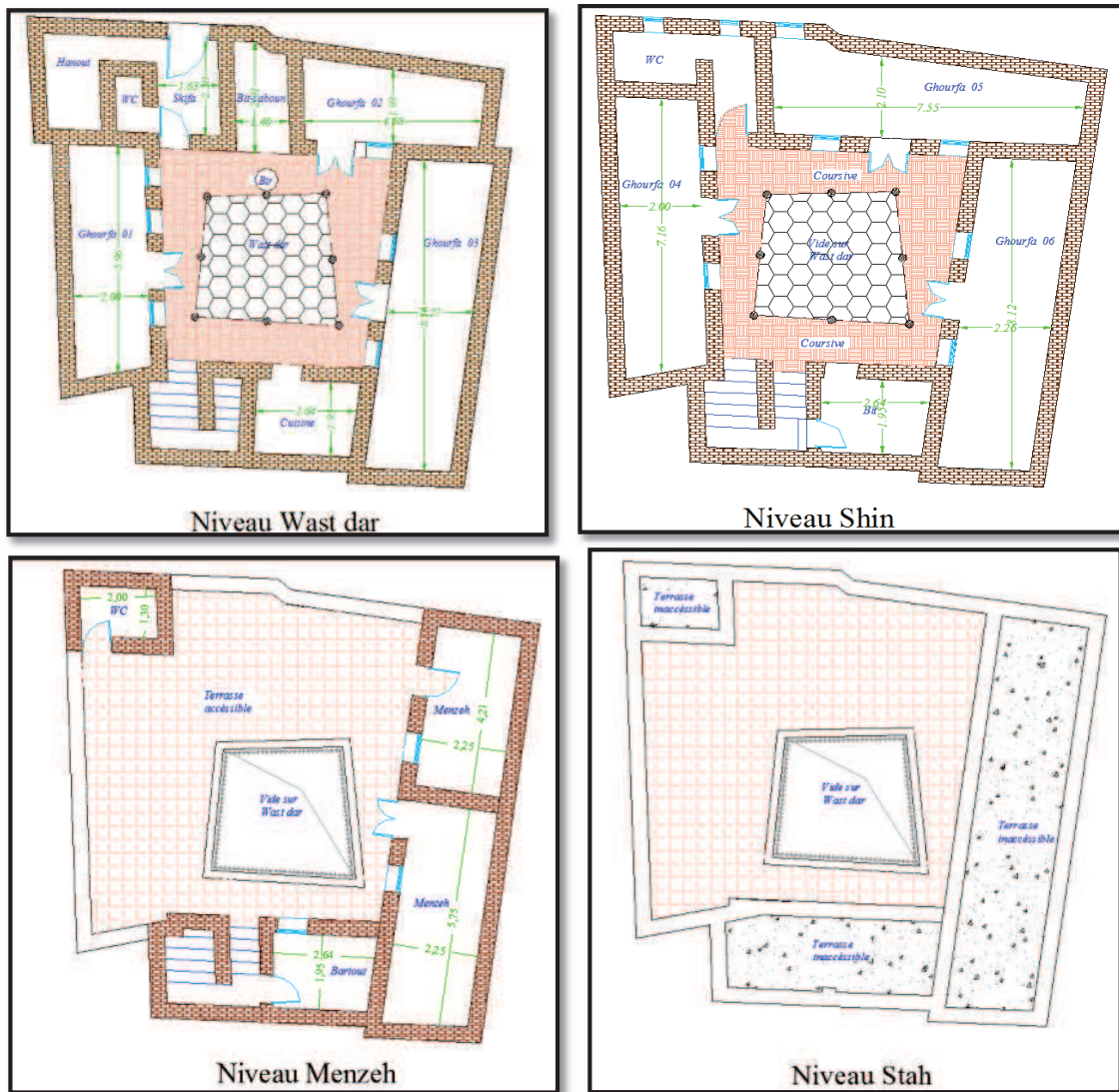


Fig. IV. 14 : Les plans des différents niveaux de la maison cas d'étude (maison n°3, rue Ahmed Allem).

(Source : Auteur)

IV.3.2.2 Étude de l'ensevelissement :

L'ensevelissement est caractérisé par un angle d'incidence qui change en fonction de la date et de l'heure ainsi que, par une durée d'insolation qui est le nombre d'heure annuel et journalier d'exposition d'une surface quelconque au soleil.

IV.3.2.2.1 L'orientation de la maison:

La maison est orientée selon un saxe qui fait un angle de 22° avec le nord géographique (cf. Fig. IV. 15). Elle n'a qu'une seule façade extérieure orientée vers le nord-

ouest qui comporte les fenêtres des chambres. En effet, la présence d'un patio central a laissé apparaître quatre façades intérieures.

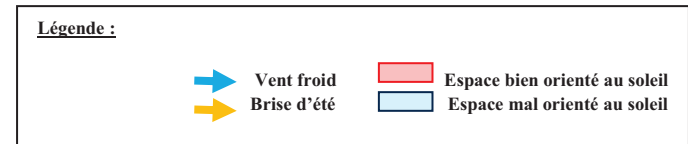
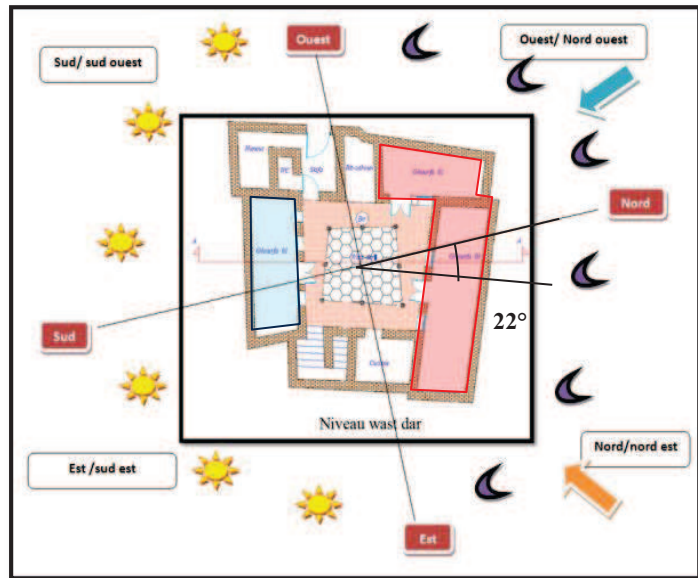


Fig. IV. 15 : L'orientation de la maison cas d'étude
(Source : Auteur)

IV.3.2.2.2 L'évaluation de la durée d'ensoleillement annuelle des fenêtres étudiées :

Dans cette étude, nous nous sommes intéressés au potentiel solaire des fenêtres qui représentent le capteur solaire le plus simple et passif. L'étude consiste à évaluer la durée d'exposition des fenêtres des différents niveaux⁹ de la façade la mieux orientée au soleil (cf. Fig. IV.16). Pour faciliter la lecture des abaques de masques obtenus à l'aide du logiciel « Ecotect », on a représenté les résultats sous forme d'histogramme (cf. Fig. IV.16).

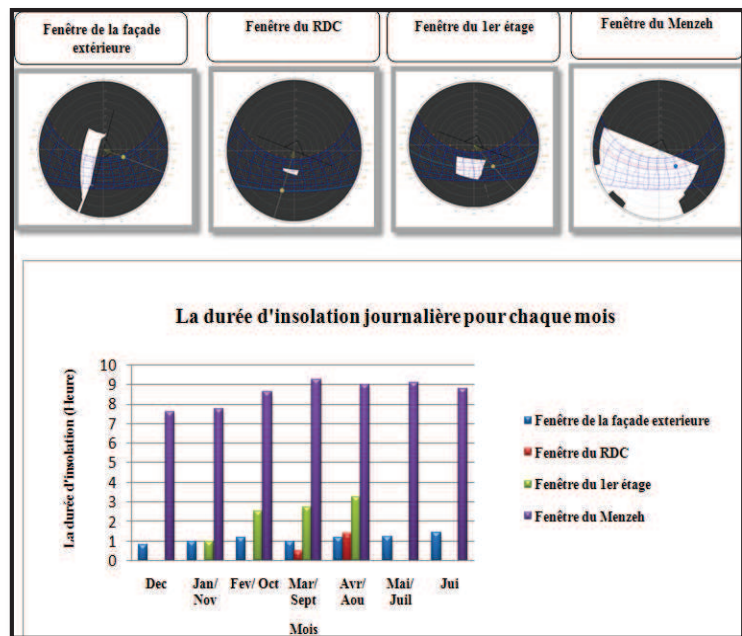


Fig. IV. 16 : Les abaques de masques et la durée d'insolation annuelle des fenêtres étudiées
(Source : Auteur).

⁹ Car l'ensoleillement change en fonction de la hauteur de l'emplacement de la fenêtre.

L'interprétation de la figure (Fig. IV. 16) nous a permis d'établir le tableau (Tab IV. 2) qui donne la durée journalière moyenne d'exposition solaire des fenêtres étudiées pour chaque mois de l'année.

Tab. IV. 2 : La durée d'insolation des fenêtres étudiées
(Source : Auteur).

| La fenêtre | Orientation | Mois | Durée d'insolation |
|-----------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| Extérieure | Ouest /nord ouest | Décembre | 50mn |
| | | Janvier/ novembre | 1 H |
| | | Février/ octobre | 1 H 10 mn |
| | | Mars / septembre | 1H |
| | | Avril /août | 1 H 10 mn |
| | | Mai / juillet | 1 H 20mn |
| | | Juin | 1 H 50 |
| Rdc | Ouest /nord ouest | Décembre | 0 H |
| | | Janvier/ novembre | 0 H |
| | | Février/ octobre | 0 H |
| | | Mars / septembre | 30 mn |
| | | Avril / août | 1 H 40 mn |
| | | Mai / juillet | 0 H |
| | | Juin | 0 H |
| 1 ^{er} étage | Ouest /nord ouest | Décembre | 0 H |
| | | Janvier/ novembre | 1 H |
| | | Février/ octobre | 2 H 30 mn |
| | | Mars / septembre | 2 H 45 mn |
| | | Avril / août | 3 H 45 mn |
| | | Mai / juillet | 0 H |
| | | Juin | 0 H |
| Menzeh | Ouest /nord ouest | Décembre | 7 H 40 mn |
| | | Janvier/ novembre | 7 H 45 mn |
| | | Février/ octobre | 8 H 40 mn |
| | | Mars / septembre | 9 H 15 mn |
| | | Avril / août | 9 H |
| | | Mai / juillet | 8 H 45 mn |
| | | Juin | 8 H 45 mn |

Sachant que, la durée d'insolation utile, au moment le plus critique de l'hiver pour la ville d'Alger est de quatre heures (10 h - 14 h) (cf. Annexe. E.1). De ce fait, une durée journalière moyenne d'ensoleillement de quatre heures sera très suffisante. Par conséquence, une période d'insolation inférieure à quatre heures sera considérée comme insuffisante.

D'après le tableau (Tab. IV. 2) on constate que, la durée d'ensoleillement de la fenêtre qui donne sur l'extérieur est insuffisante durant les mois de la période froide : elle est de 50 minutes pour le mois de décembre, d'une heure pendant les mois de : janvier, novembre, mars et septembre et de 1 h 10 minutes pendant les mois de février, octobre et avril. Pendant la période chaude, la fenêtre est exposée aux surchauffes durant 1 h 10 minutes pendant le mois d'août, et 1 h 25 minutes pendant le mois de juin et seulement durant 40 minutes pendant le mois de juillet.

Concernant la fenêtre du rez-de-chaussée, elle n'est pas exposée au soleil pendant tous les mois suivants : octobre, novembre, décembre, janvier et février. Elle bénéficie du rayonnement solaire durant la moitié des mois de mars et septembre, pendant seulement une demi-heure. Elle est ensoleillée aussi pendant la moitié du mois d'avril durant 1 h 40 minutes. Passant à la fenêtre du 1^{er} étage, qui se caractérise par une durée d'insolation acceptable pendant les mois de : février, octobre, mars, septembre et avril. Cette fenêtre ne bénéficie pas du rayonnement solaire pendant le mois de décembre, et elle se trouve totalement dans l'ombre durant les mois de juin et juillet. La fenêtre du menzeh bénéficie d'une durée d'ensoleillement importante durant toute la période froide de l'année (cf. Tab. IV. 2). Elle est aussi exposée au soleil durant toute la période chaude et pendant une bonne durée de la journée.

On a vu dans la génération de l'enveloppe solaire (cf. Annexe. E.1) que, le captage solaire passif n'est utile que pour une période limitée, qui s'étend de 10 h à 14 h, nous allons donc vérifier la durée d'exposition des fenêtres étudiées si elle est comprise dans cette période ou bien non. Sur la figure (Fig. IV. 17), on peut lire les chiffres de 1 à 12 qui renvoient aux différents mois de l'année et les segments en jaune qui représentent la durée d'exposition solaire.

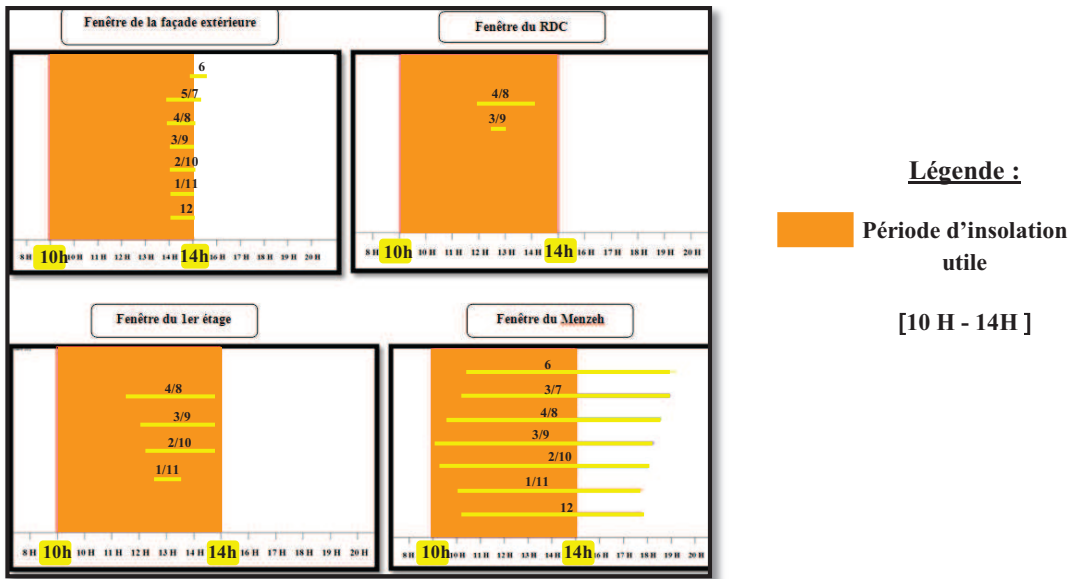


Fig. IV. 17 : L'intervalle horaire de la durée d'insolation des fenêtres étudiées par rapport à la durée d'insolation utile.
 (Source : Auteur)

D'après la figure (Fig. IV. 17) on remarque que, la durée d'exposition solaire annuelle de la fenêtre du rez-de-chaussée et celle du premier étage est comprise dans la durée d'insolation utile. Concernant la fenêtre du Menzeh, elle est exposée le long de la journée au soleil durant et hors la période d'insolation utile. La fenêtre de la façade extérieure est exposée au soleil durant la période d'insolation utile sauf pendant le mois de juin. Il faut souligner que, l'exposition de la fenêtre au soleil pendant la durée d'insolation utile en hiver, optimise le gain énergétique. Tandis qu'elle augmente la quantité des surchauffes en été.

IV.3.2.2.3 Conclusion de l'étude d'ensevelissement:

De l'étude analytique de l'ensevelissement de la maison à patio de la Casbah d'Alger, on déduit que :

Les pièces situées dans le niveau wast-dar (rez-de-chaussée) de la maison traditionnelle avec wast-dar de la Casbah d'Alger ne bénéficient pas des rayons solaires de l'hiver et elles sont partiellement exposées au soleil pendant l'été. La durée d'ensevelissement des pièces situées dans le premier étage est médiocre ainsi que, leur durée d'exposition aux surchauffes. Le Menzeh est la seule pièce qui bénéficie d'une bonne durée d'ensevelissement pendant l'hiver. Il reçoit les rayons solaires durant la période qui s'étend de 10h jusqu'à 14h. Mais il est aussi l'espace le plus exposé aux surchauffes d'été. Les résultats atteints nous permettent de dire qu'il existe un sérieux problème du manque d'ensevelissement dans la maison

traditionnelle avec wast-dar de la Casbah d'Alger notamment, au niveau des pièces situées au rez-de-chaussée. Ces espaces sont partiellement exposés au soleil, durant la période d'insolation utile en été. Donc, ils ne souffrent pas d'un problème de surchauffe.

IV.3.2.3 Étude formelle et morphologique de la maison traditionnelle avec wast-dar de la Casbah d'Alger :

L'analyse morphologique est un processus qui vise à déterminer la structure d'un bâtiment, d'un ensemble de bâtiment ou d'un tissu urbain [M. Duplay ; 1983]¹⁰. L'objectif de cette étude est de déterminer les éléments architecturaux inappropriés pour un bon ensoleillement des espaces situés au rez-de-chaussée. Nous allons étudier la morphologie de la maison à patio de la Casbah d'Alger et les dimensions de ses éléments architecturaux comme : le patio, les galeries et les pièces habitables. Ainsi que, la position des ouvertures et leurs dimensions.

IV.3.2.3.1 Forme et volume de la maison :

La maison occupe une surface de 128 m², elle est d'une largeur moyenne de 11.5 m *11.5m sa forme en planimétrie est inscrite dans un rectangle de 12,40 m/12,70 m ; la hauteur de son élévation est de 11.20 m (cf. Fig. IV. 18). Donc le volume de la maison se rapproche d'un volume cubique. La présence du patio expose plus de surfaces à l'extérieur ce qui rend la forme moins compacte et augmente les déperditions thermiques. Cela est exprimé par le coefficient de forme qui est égal à 1,5 qui est supérieur à 1 ce qui veut dire que, les surfaces exposées à l'extérieur sont très importantes par rapport au volume habitable qu'elles abritent.

¹⁰ **Zeroual Daoud**, 2006, 'Impacts des gains de chaleur sur la morphologie des bâtiments cas des climats chauds et arides', mémoire de magistère, université de Constantine, Algérie.

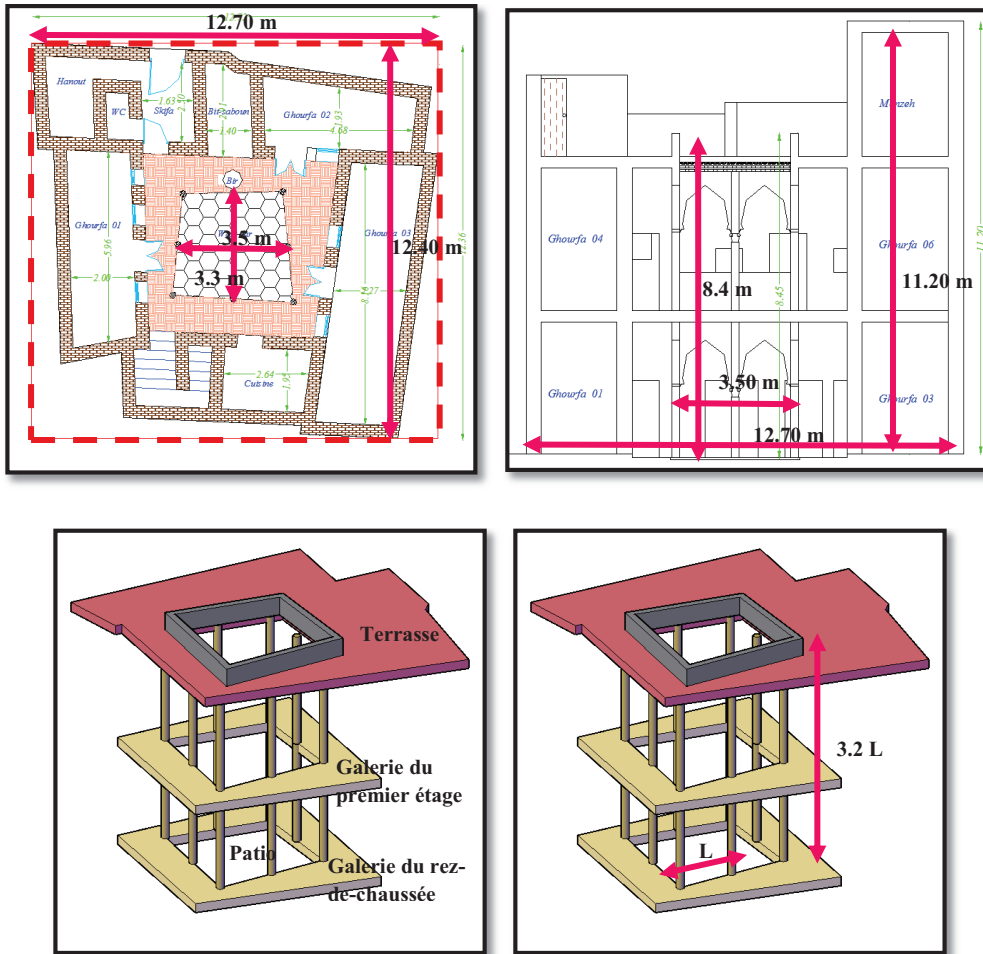


Fig. IV. 18 : La forme et le volume de la maison étudiée.

(Source : Auteur)

Concernant la toiture, sa surface est réduite à cause de la présence du patio, ce qui réduit la quantité d'énergie solaire interceptée. De plus, les murets qui l'entourent génèrent de l'ombre et minimisent la surface exposée au soleil. En se référant à la classification des toitures en fonction de leur comportement vis-à-vis du vent faite par (Alain Liebard et André De herde) dans leur ouvrage « le traité de l'architecture et de l'urbanisme bioclimatiques » on peut dire que, la forme de la toiture de la maison étudiée (une toiture-terrasse plate sans débordes) a un comportement plus ou moins bon vis-à-vis du vent, ce qui influe sur la quantité des déperditions thermiques en hiver.

- **Calcul du rapport d'aspect et de l'indice d'ombrage de la cour de la maison cas d'étude :** Nous allons appliquer les formules de calcul du rapport d'aspect et de l'indice d'ombrage qui caractérisent la forme introvertie (cf. Chap. III, section.2.2.2) :

Tab. IV. 3 : Le rapport d'aspect et l'indice d'ombrage de la cour étudiée (Source : Auteur)

| Le rapport | La formule | Résultat de calcul |
|---------------------|---|--|
| Le rapport d'aspect | La surface du sol de la cour / (La moyenne de la hauteur des murs tout autour) ² | $11.45 / (9.15)^2 = \underline{0.137}$ |
| L'indice d'ombrage | La hauteur du mur sud / La largeur nord-sud de l'étage | $8.40 / 3.5 = \underline{2.40}$ |

Les résultats du tableau (Tab. IV. 3) montrent que, le rapport d'aspect de la cour de la maison étudiée est très petit ; donc il existe un manque d'ensoleillement. Tandis que, l'indice d'ombrage est élevé ce qui signifie que, la cour de la maison étudiée est très bien ombragée sous un climat où le captage solaire passif est recherché pour l'amélioration du confort thermique hivernal (cf. Annexe C.2).

- **Rapport d'emprise au sol à la surface de la cour**

On a vu dans le troisième chapitre (cf. Chap. III, section.2.2.2) que, les valeurs recommandées pour le rapport d'emprise au sol à la surface de la cour sont comprises entre 25% et 30% de la surface totale de la parcelle (Reynold 2002, p. 177). Tandis que, dans la maison cas d'étude ce rapport est de 9% ce qui reflète la petite surface qu'occupe la cour par rapport à la surface totale de la parcelle.

IV.3.2.3.2 Les dimensions des pièces habitables :

D'après Edward Mazria dans son livre « **Le guide de la maison solaire passive** », la profondeur de la pièce doit être inférieure à deux fois et demie la hauteur de la fenêtre pour que les rayons solaires arrivent à balayer la quasi-totalité de la surface du plancher. Cette règle est générale et peut être appliquée dans les différents emplacements. Comme on a déjà mentionné dans la section (cf. Chap. II, section.2.3.2.6), les chambres des maisons traditionnelles de la Casbah d'Alger ont une forme rectangulaire, caractérisée par une petite largeur pour des raisons purement structurelles. Dans notre cas d'étude, la profondeur des pièces qui est de 2.30 m (cf. Fig. IV. 19) est nettement supérieure à deux fois et demie la hauteur de la fenêtre du rez-de-chaussée (cf. Fig. IV. 19). Donc cette pièce peu profonde et

bien orientée au soleil, n'en bénéficie pas grâce à ses dimensions inappropriées pour un bon ensoleillement.

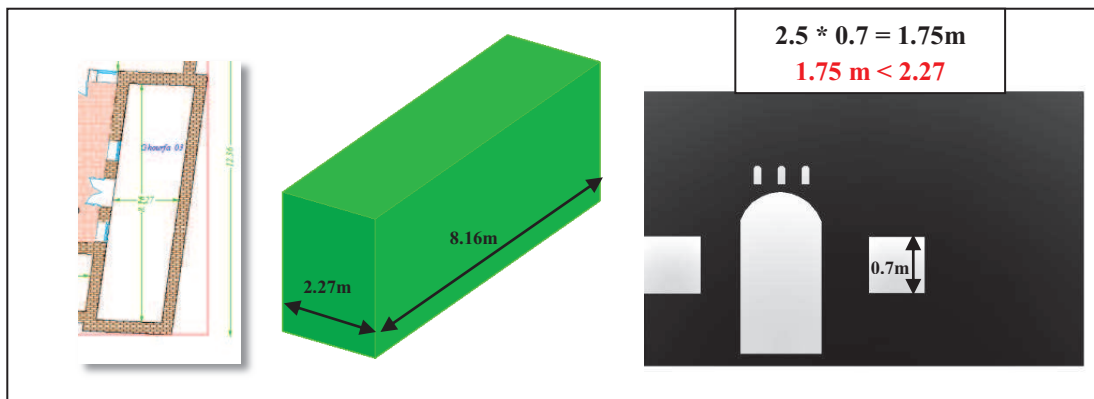


Fig. IV. 19 : les dimensions des chambres.

(Source : Auteur)

IV.3.2.3.3 Les surfaces vitrées des façades « Les fenêtres » :

La maison musulmane représente un univers fermé, qui a son propre extérieur « le patio », elle est souvent caractérisée par la présence de petites fenêtres sur les façades extérieures couvertes par un grillage en bois appelé Mousharabia (cf. Fig. IV. 20) qui permet aux femmes de voir l'extérieur, sans qu'elles soient vues. La maison étudiée a une seule façade extérieure orientée vers l'ouest /nord-ouest et quatre autres façades intérieures qui donnent sur le patio. On remarque que, les fenêtres des pièces de vie qui donnent sur le patio sont généralement de forme carrée et elles ont la même taille que les fenêtres qui donnent sur l'extérieur.



Fig. IV. 20 : Les fenêtres.

(Source : Auteur)

Les fenêtres du menzeh qui ont une surface de 0.6 m^2 ($0.7/0.85 \text{ m}$) sont plus larges que celles des chambres des deux premiers étages d'une surface de 0.35 m^2 ($0.55/0.60 \text{ m}$). Cela nous laisse deviner que, les fenêtres des chambres situées au rez-de-chaussée et au premier

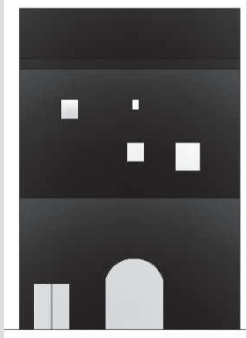
étage sont percées pour assurer seulement un bon éclairage et une bonne ventilation. Les châssis de ces fenêtres sont faits en bois. Les verres ne sont pas colorés comme dans les palais et les grandes demeures de la Casbah d'Alger. La hauteur d'allège varie entre 0,7 et 1 m d'un étage à un autre.

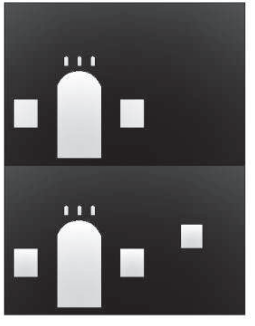


• **Le rapport de la surface vitrée à la surface totale des différentes façades :**

La typologie introvertie offre en totalité huit façades verticales exposées à l'extérieur. Ce nombre peut diminuer en fonction de la configuration spatiale du tissu urbain, de la mitoyenneté et d'autres facteurs comme la localisation du patio dans le plan, qui peut être centrale en offrant quatre façades intérieures ou bien, latérale ce qui donne seulement trois façades intérieures. La maison étudiée fait partie d'un tissu compact. Elle n'a qu'une seule façade extérieure. Le patio occupe le cœur de la maison en créant quatre façades intérieures.

Dans notre étude, on s'intéresse principalement aux façades intérieures des chambres. D'après les plans de la maison étudiée (cf. Fig. IV. 14) on remarque que, la façade intérieure nord-ouest n'abrite que des locaux de service, donc elle ne sera pas incluse dans l'étude. Le tableau (Tab. IV. 4) présente le rapport de la surface vitrée à la surface totale de la façade propre à chacune des façades de la maison étudiée.

Tab. IV. 4 : Rapport de la surface vitrée à la surface totale de la façade des fenêtres étudiées (Source : Auteur)

| Type de façade | Orientation de la façade | Le plein et le vide dans la façade | Rapport Sv/St | Pourcentage de la surface vitrée |
|----------------|--------------------------|--|---------------|----------------------------------|
| Extérieure | Nord ouest | Légende : | 0.02 | 2% |
| | | <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 10px; background-color: white; margin-right: 5px;"></div> le vide <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 10px; background-color: gray; margin-left: 20px; margin-right: 5px;"></div> le plein </div>  | | |

| | | | | |
|------------|-----------|--|------|----|
| Intérieure | Nord est |  | 0.04 | 4% |
| | Sud ouest |  | 0.03 | 3% |
| | Sud est |  | 0.05 | 5% |

D'après le tableau (Tab. IV. 4) on constate que, la façade la mieux orientée au soleil (Sud-est) est caractérisée par le rapport (S_v/S_t) le plus élevé. La surface vitrée de la façade extérieure est inférieure à celles des façades intérieures. Les rapports de la surface vitrée à la surface totale de la façade (cf. Tab. IV. 4) s'avèrent très petits devant les rapports déduits des tableaux de Mahoney de l'analyse bioclimatique de la ville d'Alger qui varient entre 20% et 40% (cf. Annexe C.2.).

D'après le tableau (Tab. IV. 4) on remarque que, les fenêtres les plus larges sont celles du Menzeh. Tandis que, cet espace n'est pas occupé pendant l'hiver mais, durant les soirées d'été. Cependant, les fenêtres des espaces occupés pendant l'hiver (le rez-de-chaussée et le premier étage) sont de petite taille. Cela montre que, le captage solaire passif n'était pas parmi les contraintes climatiques incluses dans la conception de la maison à patio de la Casbah

d'Alger mais, c'est la protection solaire qu'a influencé la configuration spatiale de cette maison.

- **Étude des masques solaires :**

L'enselement de la maison à patio dépend de : la masse de la maison qui entoure le patio qui représente les masques proches ainsi que, de la masse des maisons avoisinantes et du relief qui représentent les masques lointains. Dans notre étude, nous allons vérifier l'existence de ces deux types de masques par rapport aux fenêtres étudiées.

a. Les masques proches (Patio et galeries) : Le patio est l'élément principal de l'organisation spatiale de la maison à patio de la Casbah d'Alger. Les Ottomans commençaient la projection de leurs maisons, par le tracé du patio auquel ils donnaient une forme régulière. Puis, ils délimitent l'espace attribué aux chambres, pour laisser enfin la place intermédiaire de la galerie qui est souvent de forme irrégulière (cf. Fig. IV. 21). Un autre élément au niveau de l'étage des Menzels fait augmenter la hauteur du masque solaire pour les fenêtres étudiées qui est la bordure qui entoure l'ouverture du patio, qui fait 0.6 m de hauteur (cf. Fig. IV. 21).

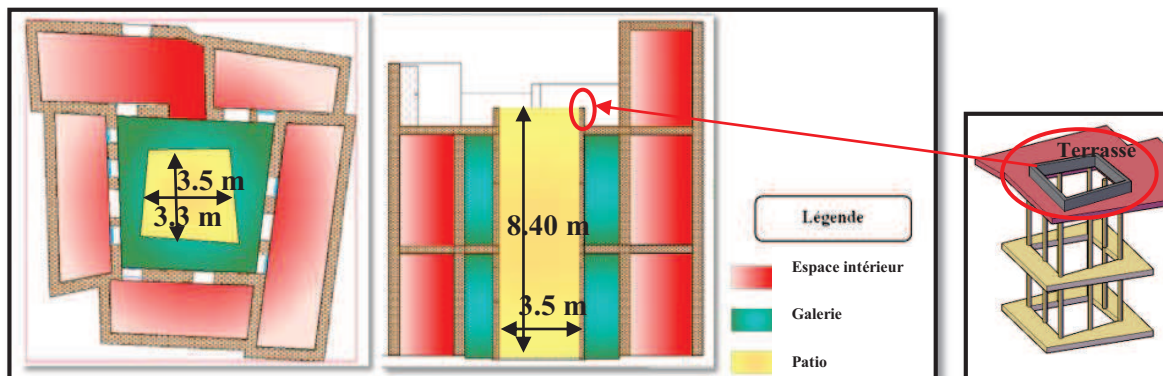


Fig. IV. 21 : La forme des différents espaces de la maison étudiée

(Source : Auteur)

Le patio qui crée quatre façades intérieures ne peut pas permettre un bon ensoleillement aux espaces habitables, seulement si ses dimensions le permettent. Dans notre cas d'étude, le patio se caractérise par une planimétrie qui se rapproche d'une forme carrée de 3.30m/3.50m, avec une hauteur de 8.40m. La figure (cf. Fig. IV .22) montre que, la largeur et la hauteur du patio ne permettent pas un bon ensoleillement pour les deux niveaux celui du rez-de-chaussée et du premier étage. Ce qui ne permet pas le captage solaire passif à travers les surfaces vitrées des façades intérieures. On peut dire que, le patio profond de la maison

traditionnelle de la Casbah d'Alger n'est conçu que pour générer de l'ombre et procurer un bon confort estival aux habitants. De plus, il est revêtu de marbre pour qu'il soit frais et agréable pendant la saison chaude.

Le problème du manque d'ensoleillement s'est aggravé grâce à la présence des galeries dans les deux premiers niveaux (rez-de-chaussée, 1er étage). La hauteur sous plafond de la galerie dépend de la hauteur des niveaux dont, elle est de 3.4 m au rez-de-chaussée et 3.7 m au premier étage.



Fig. IV. 22 : Les masques solaires proches (Architecturaux)

(Source : Auteur)

Concernant l'épaisseur du mur qui est de 40 cm, elle ne contribue pas à la réduction de la durée d'ensoleillement, car les fenêtres sont fixées sur l'extrémité extérieure de la façade, pour laisser une épaisseur à l'intérieur revêtu de zellige (cf. Fig. IV. 23).



Fig. IV. 23 : La fixation de la fenêtre
(Source : Auteur)

b. Les masques lointains : le tissu urbain dense et compact de la médina d'Alger réduit la durée d'exposition au soleil de la façade extérieure. Donc les maisons avoisinantes constituent un masque solaire pour les fenêtres qui donnent sur l'extérieur. Cela est dû à la petite largeur de l'impasse (1.85 m) qui les sépare de la maison cas d'étude (cf. Fig. IV. 24 / A), dont le rapport de la hauteur à la largeur (H/W) est de 6.86. Selon l'étude de l'ensoleillement, les maisons avoisinantes ne représentent aucun masque solaire pour les fenêtres du menzeh (cf. Fig. IV. 24 / B).

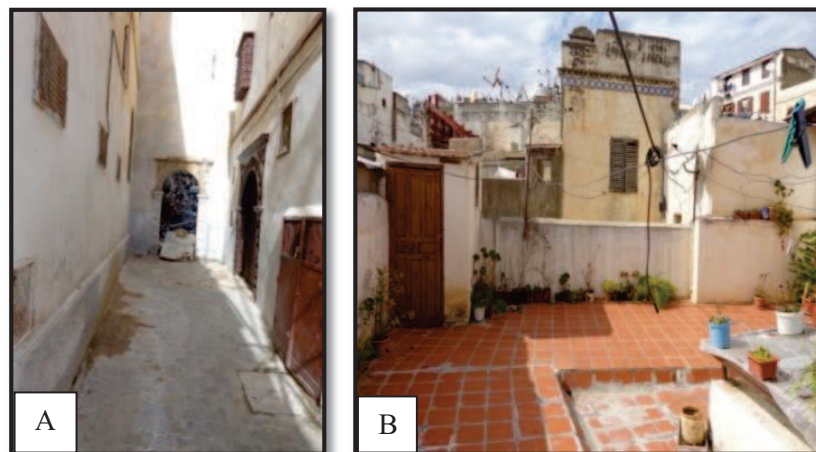


Fig. IV. 24 : Masques solaires lointains (Urbains) :

(A) vue sur l'impasse, (B) vue sur la terrasse

(Source : Auteur)

IV.3.2.3.4 Les parties opaques des façades « Les matériaux » :

Les matériaux de l'enveloppe opaque de la maison ont une forte influence sur le confort hygrothermique interne et la gestion des gains solaires passifs (cf. Chap. III, section 4.1). Les murs de la maison sont tous des murs porteurs construits avec des briques de terre peu cuites liées avec du mortier de terre mélangée à la chaux. Les murs de rez-de-chaussée sont dotés de rondins de bois horizontaux, noyés dans la maçonnerie qui ont une fonction antisismique. Le plancher de la maison est composé d'un agglomérat de pierres et de terre sur lequel un mortier est coulé pour maintenir le revêtement de finition (carrelage) (cf. Fig. IV. 25). Il est d'une épaisseur moyenne de 35 cm (cf. Fig. IV. 25). Les planchers des galeries reposent sur les murs intérieurs qui l'entourent et sur les arcs qui entourent le patio. Les poutres de la maison sont des rondins de thuya ou de cèdre d'Algérie, elles sont espacées de 15 à 20 cm pour qu'elles puissent supporter le plancher. On constate que, la maison de la Casbah d'Alger est construite avec des matériaux massifs d'une forte inertie thermique qui contribue grandement dans la régulation des températures internes. Les façades de la maison peintes en blanc qui est une couleur réfléchissantes (albédo élevé) (cf. Chap. I, section, 3.2.3.4) rejettent le soleil.

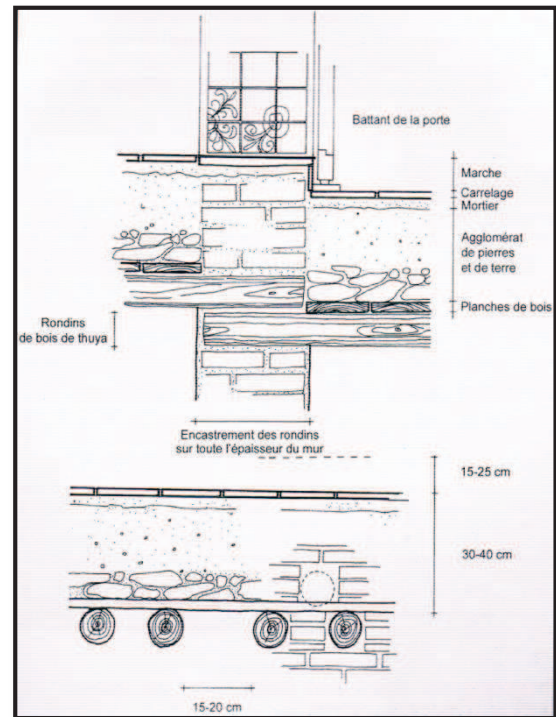


Fig. IV. 25 : La composition du plancher de la maison traditionnelle de la Casbah d'Alger.
(Missoum, 2003)

IV.3.2.3.5 Le zoning des espaces et le phénomène du nomadisme :

Le zoning des espaces en fonction de la course solaire peut être réalisé au sein d'un tissu urbain aéré, ce qui permet d'orienter les espaces intérieurs aux rayons solaires pour en tirer bénéfice. Tandis que, dans la médina d'Alger la petite largeur des ruelles et la forte profondeur des patios ont créé un tissu urbain dense, qui ne permet pas l'organisation des espaces intérieurs des maisons en fonction des rayons solaires. Ce qui est remarqué dans la maison cas d'étude (cf. Fig. IV. 26), où la distribution des espaces intérieurs n'est pas pensée en fonction de la course solaire.

Concernant, la position de l'entrée dans le plan, elle n'a pas de relation avec le soleil mais plutôt, avec la liaison de la maison avec les rues de desserte. L'entrée de la maison étudiée est séparée du reste du volume habitable par un volume appelé Skifa (cf. Chap. II, section.2.3.2.1) qui est un lieu de rencontre pour les hommes. D'un point de vue thermique la Skifa représente un espace tampon qui minimise les déperditions thermiques (cf. Fig. IV. 26).

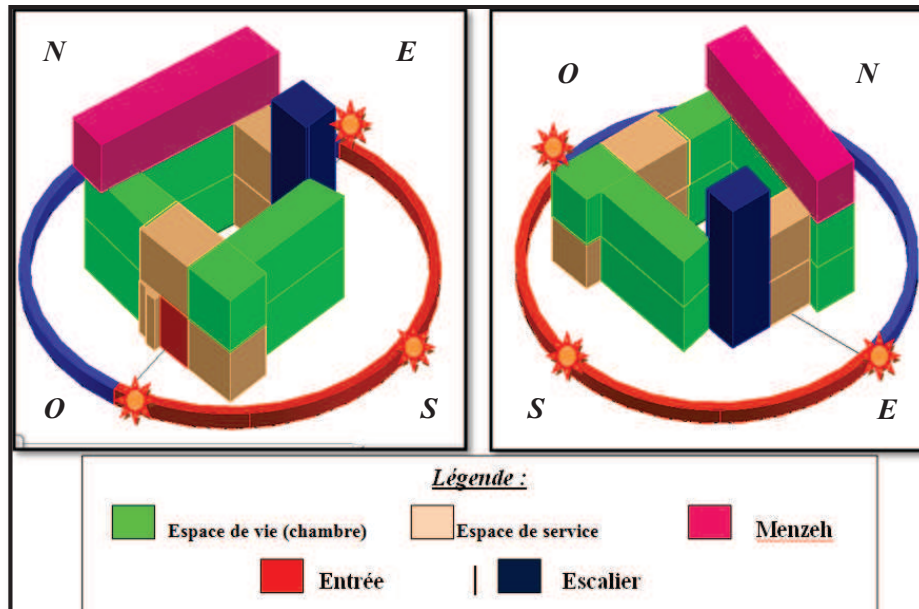


Fig. IV. 26 : Emplacement des différents espaces de la maison et course solaire
(Source : Auteur)

Les espaces de la maison sont occupés en fonction de leur exposition aux conditions climatiques extérieures, dont les espaces du rez-de-chaussée sont beaucoup plus occupés pendant les journées de la saison chaude. Tandis que, le menzeh et le stah (cf. Annexe B.2) sont occupés pendant les soirées. En hiver, les habitants restent souvent dans la partie basse de la maison sans se déplacer au menzeh (cf. Fig. IV. 27).

Ce phénomène est appelé le nomadisme, il est observé dans toutes les maisons islamiques à patio (cf. Chap. I, section.1.1.6). Le déplacement des habitants peut être, dans le sens horizontal, ou bien vertical. Dans la maison à patio de la Casbah d'Alger, il existe un nomadisme, mais seulement dans le sens vertical et durant la saison d'été, car les rayons solaires ne pénètrent pas jusqu'aux espaces du rez-de-chaussée donc l'orientation par rapport au soleil ne fait pas la différence. Bien qu'il ne soit pas occupé pendant l'hiver, le Menzeh est l'espace qui bénéficie plus des rayons solaires. De même, les espaces de rez-de-chaussée sont occupés en hiver, alors qu'ils ne bénéficient pas de l'énergie solaire. Donc l'occupation des

espaces est en fonction de l'ambiance thermique que crée le patio dans les deux premiers niveaux (rez-de-chaussée et premier étage) qui est plus douce que l'ambiance du Menzeh qui est en contact direct avec les conditions climatiques extérieures.

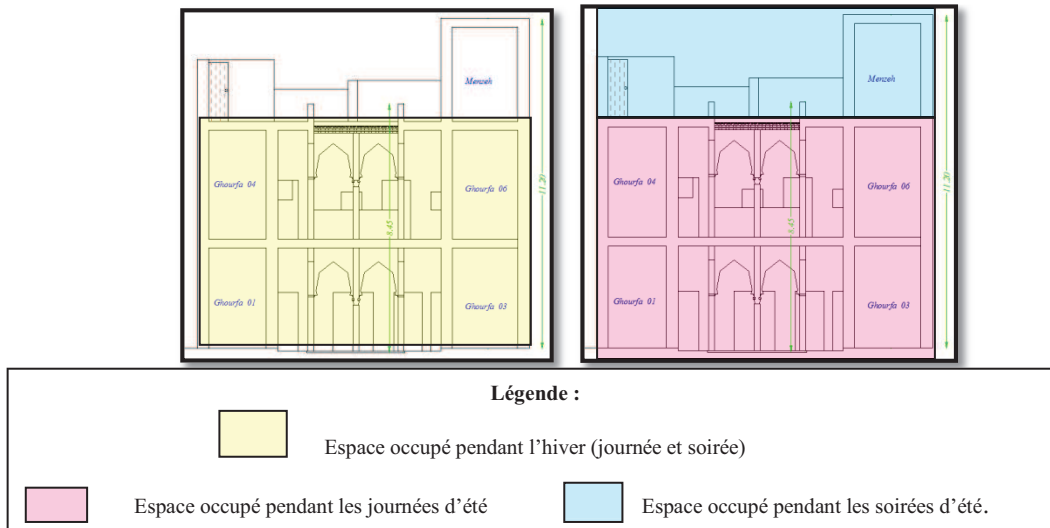


Fig. IV. 27 : Le phénomène du nomadisme dans la maison à patio de la Casbah d'Alger

(Source : Auteur)

IV.3.2.3.6 Le rafraîchissement et le conditionnement de l'air :

Il ne faut guère oublier que la Casbah d'Alger est installée sur un monticule qui fait face à la mer, ce qui l'expose à la brise rafraîchissante pendant l'été. La figure (Fig. IV. 28) montre l'emplacement de la maison cas d'étude sur la pente du profil D qui bénéficie d'une bonne orientation par rapport au soleil (sud-est). Au niveau des rues des médinas, la géométrie urbaine a une influence considérable sur l'écoulement de l'air. Tandis que, les terrasses de toutes les maisons sont dégagées au ciel et exposées à la brise rafraîchissante de la mer (cf. Fig. IV. 29).

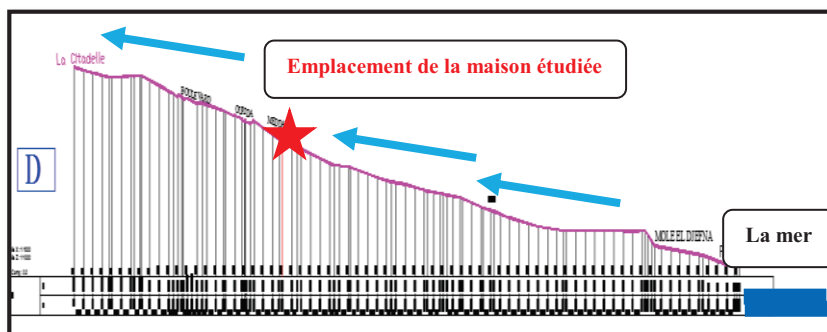


Fig. IV. 28 : L'exposition du relief de la Casbah d'Alger à la brise rafraîchissante de la mer

Source : (Auteur)



Fig. IV. 29 : Les terrasses balayées par la brise de mer (Source : Francesco Giovannetti)

De plus les faibles vitesses du vent dans le tissu urbain traditionnel sont compensées par des rapports H / W importants qui offrent des pourcentages d'ombrage élevés [Andreou, Axarli, 2012]. Il est démontré que, la température des villes dépend grandement du rapport H/W ¹¹, plus ce rapport est élevé (veut dire qu'il s'éloigne de 0) plus on remarque le phénomène d'îlot de chaleur nocturne pendant l'hiver. Cependant, pendant les mois d'été, on peut obtenir une température diurne inférieure à celle de la campagne avoisinante ce qu'on appelle l'îlot de fraîcheur urbain (cool Island)¹².

On constate que, le rapport H/W de l'impasse qui mène à la maison étudiée, est de 6 donc la hauteur des bâtiments est supérieure au double de la largeur de l'impasse ($H > 2W$). D'après la classification de Jean Luis Izard(2000), cet espace est un canyon orienté dans l'axe nord-sud ce qui minimise son échauffement pendant la saison chaude et contribue à l'amélioration de son confort thermique hivernal. En effet, les rues de la Casbah d'Alger sont supposées avoir une température inférieure à celle qui peut être enregistrée à l'extérieur de la médina ; car elles sont souvent dans l'ombre, grâce à leur étroitesse et à la hauteur importante des maisons qui les délimitent (cf. Fig. IV. 30).

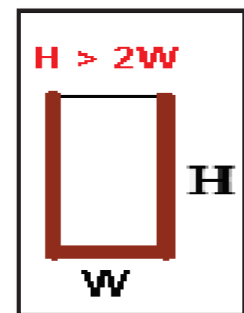


Fig. IV. 30 : le rapport H/W du canyon

(Source : Jean-Louis Izard, 2000)

Au niveau de la maison, le courant d'air provenant de la rue passe par la skifa et le wast-dar pour pénétrer aux chambres et sortir par la suite à travers le patio (cf. Fig. IV.31). La ventilation naturelle des chambres est assurée par de petites ouvertures qui se trouvent au-dessus des portes qui donnent sur le patio. Ces trous sont aussi percés dans les façades extérieures qui donnent sur la rue (cf. Fig. IV.32). Le courant d'air naturel se crée aussi par l'ouverture de la porte d'entrée et celle de la terrasse durant les journées tempérées de l'hiver et pendant l'été.

¹¹ **T.R.Oke.** 1987, 'boundary layer climates', Methuen and co, New York.

¹² **kedissa Chahrazed,** 2010, 'Impact de la géométrie des espaces extérieurs sur le microclimat urbain, magister, Université de Constantine Algérie, p 98 -99.

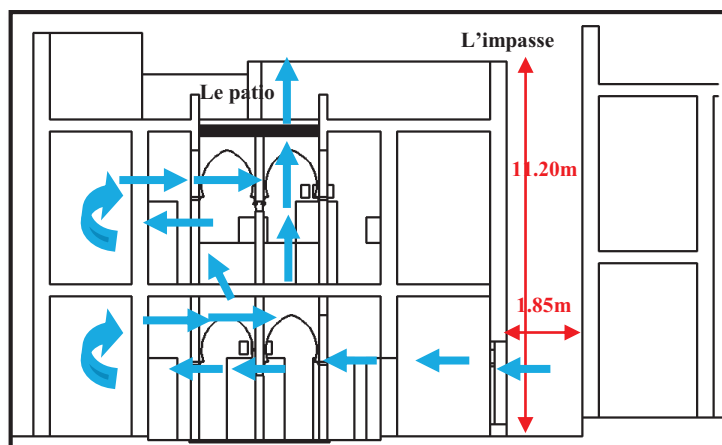


Fig. IV. 31 : Le rôle du patio dans la ventilation naturelle de la maison

(Source : Auteur)

Les balustrades fixées entre chaque deux colonnes du patio dans le premier étage, sont faites en bois et décorées par l'utilisation des formes géométriques.¹³ Ces balustrades perforées, support des plantes grimpantes pourraient avoir un rôle dans le rafraîchissement de l'air qui circule à travers les perforations (cf. Fig. IV.32). Donc les ottomans ont aussi traité le détail architectural pour rafraîchir l'air.



Fig. IV. 32 : Les ouvertures d'aération sur les différentes façades.

(Source : Auteur)

¹³ Achab Samia, 2012, Élaboration d'un guide technique de réhabilitation du patrimoine (Habitat) de la période ottomane, mémoire de magister, université de Tizi-Ouzou, Algérie. p 53.

IV.3.2.3.7 Conclusion de l'étude formelle et morphologique

L'étude de la morphologie de la maison traditionnelle avec patio de la Casbah d'Alger affirme ce qu'avancent les architectes Chahrazed et Ahmed kamous : «Ces maisons bien conçues pour les saisons chaudes ...»¹⁴. Donc la maison traditionnelle avec wast-dar de la Casbah d'Alger a été principalement pensée pour procurer à ses habitants un bon confort estival en assurant une bonne protection solaire à partir du choix de la couleur blanche qui couvre les façades extérieures de la maison, arrivant aux dimensions du patio et à sa profondeur ainsi qu'à la présence des galeries qui permettent une bonne protection contre les rayons solaires. Les dimensions des espaces habitables et la petite taille de leurs fenêtres ne permettent pas aussi un bon ensoleillement.

Ces facteurs liés à la conception architecturale, qui étaient pensés en fonction du confort thermique estival sont à l'origine du problème du manque d'ensoleillement en hiver dans les espaces de vie situés au rez-de-chaussée de la maison traditionnelle à patio de la Casbah d'Alger. Les conclusions tirées de l'étude morphologique du cas d'étude, reflètent les caractéristiques de la morphologie urbaine des médinas et de leur architecture traditionnelle connue par : l'étroitesse des ruelles, la profondeur importante des patios, la forte inertie des parois, les petite surfaces des fenêtres, auxquelles rajoute (Amado, Poggi, 2012), les toitures inadaptées et la configuration des façades inappropriée (ombrage, les dimensions fragmentées, ...) à une bonne exploitation du potentiel solaire.

IV.3.2.4 Campagne de mesures in situ :

Notre campagne de mesures est menée dans le but de quantifier les paramètres mesurables du confort hygrothermique dans la maison traditionnelle avec wast-dar de la Casbah d'Alger afin d'évaluer la qualité de l'ambiance hygrothermique dans ses différents espaces et la contribution du soleil dans l'amélioration des conditions de confort.

IV.3.2.4.1 Paramètres du confort thermique mesurés :

Pour évaluer la qualité du confort hygrothermique au sein de la maison traditionnelle à patio de la Casbah d'Alger, différents indicateurs du confort hygrothermique doivent être mesurés à l'aide des appareils. Ces indicateurs sont les paramètres physiques du confort tels que :

¹⁴ **Kamous Chahrazad, kamous Ahmed**, 1993, ' Algérie 90 architecture en attente', revue d'architecture et d'urbanisme N° 01, Arcco. p 129.

- La température ambiante de l'air
- L'hygrométrie (humidité relative)

Il était judicieux dans notre étude, de mesurer l'irradiation solaire que reçoit les différentes façades de la maison étudiée mais, le manque de matériel nécessaire nous a empêchés d'effectuer ces mesures. Concernant, la vitesse de l'air qui est un paramètre très important du confort hygrothermique, elle a été prise en compte au début de la campagne mais, les résultats ont montré qu'il n'existe aucune différence dans la vitesse de l'air des différents espaces de la maison. Cela revient peut-être à la présence d'une couverture en verre sur le *wast dar*.

IV.3.2.4.2 Périodes de prise des mesures

Pour une évaluation annuelle de la qualité du confort hygrothermique qui règne dans la maison à patio de la Casbah d'Alger, nous avons choisi deux périodes de mesure : la première pendant la saison froide et la deuxième pendant la saison chaude. Notre étude est liée à l'insolation pendant toute la journée de ce fait, on a effectué la prise de mesures chaque deux heures à partir de 8 h jusqu'à 20 h, pour discerner l'influence des conditions thermiques externes et de l'insolation sur les conditions hygrothermiques internes.

IV.3.2.4.3 Emplacements des stations de mesure

Les stations de mesure ont été réparties selon les objectifs recherchés. On les a distribuées selon un axe vertical ¹⁵(cf. Fig. IV. 33), dans chaque niveau de la maison pour vérifier les variations des températures et des humidités en fonction de la situation de la chambre dans la hauteur du patio. Dont on distingue : (Station 1) placée dans le *wast-dar*, (Station 2) placée dans la chambre du rez-de-chaussée, (Station 3) placée dans la chambre du premier étage, (Station 4) placée dans la terrasse et (Station 5) placée dans le *menzeh*. L'organisation des stations selon un autre axe horizontal était dans le but de vérifier la variation des conditions du confort hygrothermique, en fonction de l'orientation de la chambre par rapport au soleil (cf. Fig. IV. 34). Dont on distingue : le groupe de station 1 : placé dans les espaces de bonne orientation par rapport au soleil. Le groupe de station 2 : placé dans les espaces de mauvaise orientation par rapport au soleil.

¹⁵ Car l'ensoleillement varie en fonction de la hauteur du masque.

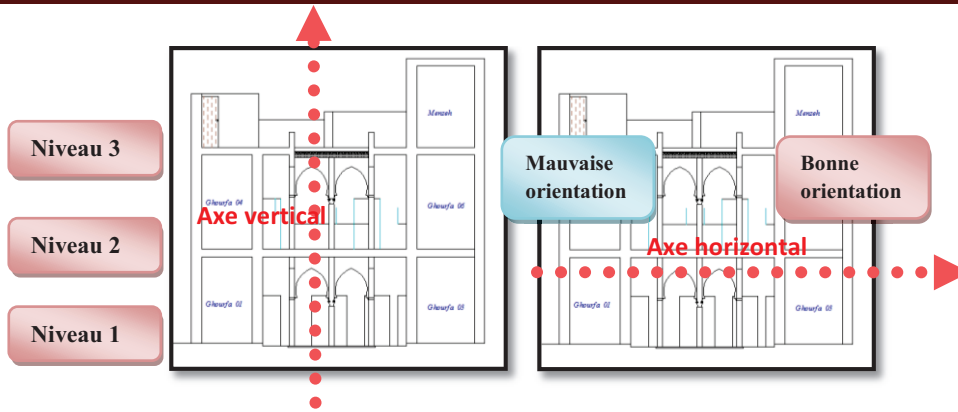


Fig. IV. 33 : Les axes d'organisation des stations de mesure. (Source : Auteur).

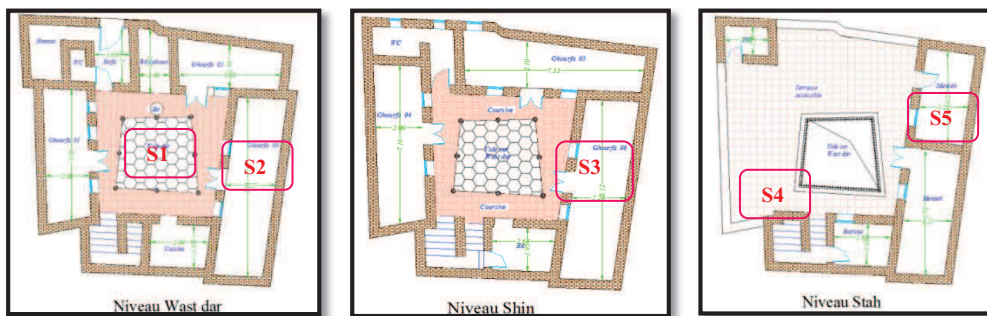


Fig. IV. 34 : L'emplacement des stations de mesure. (Source : Auteur).

IV.3.2.4.4 L'appareil de mesure:

Pour la prise des mesures de température, d'humidité relative et de la vitesse de l'air on a eu recours à un multimètre professionnel du modèle LM-8000 de type (K) qui regroupe : un thermocouple, un anémomètre, un hygromètre et un luxmètre (cf. Fig. IV. 35).



Fig. IV. 35 : L'appareil de mesure (Source : Auteur).

IV.3.2.4.5 Résultats et interprétation des mesures de la période hivernale :

Notre travail consiste à effectuer une campagne de mesures in situ, en vue de vérifier la contribution du soleil dans l'amélioration du confort thermique hivernal, dans la maison traditionnelle à patio de la Casbah d'Alger. Cela doit être vérifié dans la période la plus froide de l'année, représentée par le mois de février 2013. Comme le flux solaire est d'une intensité importante entre 10 h et 14 h, la durée de déroulement des mesures qui s'étendait de 8 h à 20 h, nous a permis de vérifier la variation des températures journalières avant, pendant et après la période d'insolation utile.

• **Température de l’air ambiant :**

Elle est l’un des facteurs primordiaux du confort thermique. Le corps humain qui maintient sa température autour de 36.7°,¹⁶ cherche toujours une ambiance confortable, caractérisée par une température qui lui assure le bien-être. Les scénarios étudiés dans cette section étaient déterminés en fonction des objectifs de l’investigation. Dont nous allons vérifier l’impact de l’orientation des espaces par rapport au soleil et de la durée d’insolation sur la qualité du confort thermique qui y règne. Nous étudions par la suite, l’effet de l’inertie importante de la maison ainsi que, la présence du patio sur les conditions internes du confort hygrothermique.

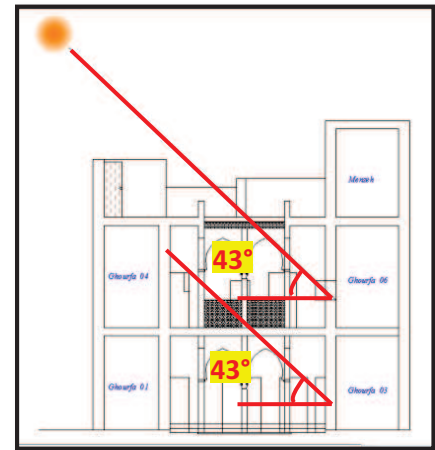


Fig. IV.36 : La hauteur solaire minimale du mois de février

(Source : Auteur).

D’après la coupe géométrique (cf. Fig. IV.36) on remarque que, la hauteur solaire du mois de février ne permet pas aux rayons solaires de pénétrer à l’intérieur de la chambre sud-ouest du rez-de-chaussée contrairement à celle du premier étage. Donc nous allons prendre seulement les chambres du premier étage en considération dans l’analyse des deux premiers scénarios :

○ **Scénario n°1 : L’effet de l’orientation sur la température intérieure :**

Pour vérifier l’impact de l’orientation sur la température intérieure de la maison traditionnelle, on a choisi deux chambres de différentes orientations : la première bénéficie d’une bonne orientation par rapport au soleil (sud-ouest). Tandis que, la deuxième est d’une mauvaise orientation par rapport au soleil (nord-ouest). La journée du 27 février 2013 était caractérisée par une forte insolation de 4.2 h pendant la matinée et 2.3 h pendant l’après-midi.

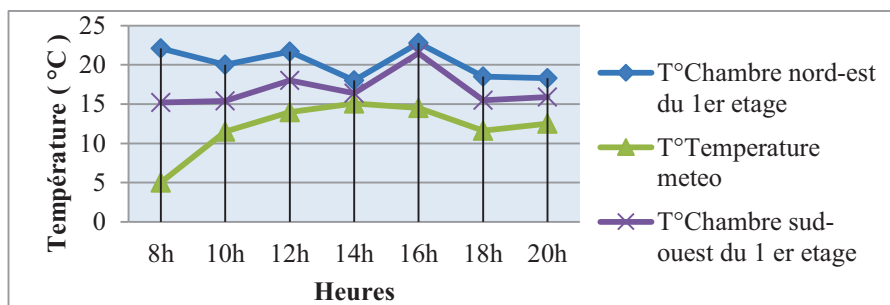


Figure. IV. 37 : Variation bi-horaire des températures journalières de deux chambres de différentes orientations. (Source : Auteur).

¹⁶ En ligne : [<http://www.energieplus-lesite.be/>].

D'après la figure (cf. Fig. IV. 37) on constate que, les courbes de température de la chambre sud-ouest et celle de la chambre nord-est prennent le même aspect. Les températures intérieures enregistrées ne suivent celle de l'extérieure que pendant les périodes qui s'étendent de 10 h à 12 h et de 16 h à 18 h. D'autre part on remarque que, la chambre de la mauvaise orientation est caractérisée par une température supérieure à celle de la bonne orientation. Donc la pièce de bonne orientation par rapport au soleil **ne bénéficie pas des gains solaires directs**.

○ **Scénario n°2 : l'effet de la durée d'insolation (insolation) sur la température intérieure**

Pour vérifier l'impact de la durée d'insolation sur la température intérieure, on a choisi deux journées : la première caractérisée par une durée d'insolation importante et la deuxième par une durée d'insolation médiocre.

- **Cas n°1 : Journée tempérée avec ciel couvert (insolation du matin =1.7 h / insolation de l'après-midi = 1.5 h) :** La journée du 20 février 2013 était caractérisée par une température journalière maximale de 16.7°C, une température journalière minimale de 12 °C et une durée d'insolation (insolation) de 1.7 h pour la matinée et 1.5 h pour l'après-midi.
- **Cas n°2 : Journée froide avec une insolation importante : (insolation du matin =4.2h/ insolation de l'après-midi =2.3h) :** La journée du 27 février 2013 était une journée froide avec une température journalière maximale de 15.1°C, d'une température journalière minimale de 5°C et d'une durée d'exposition solaire (insolation) de 4.2 h pour la matinée et seulement de 2.3 h pour l'après-midi.

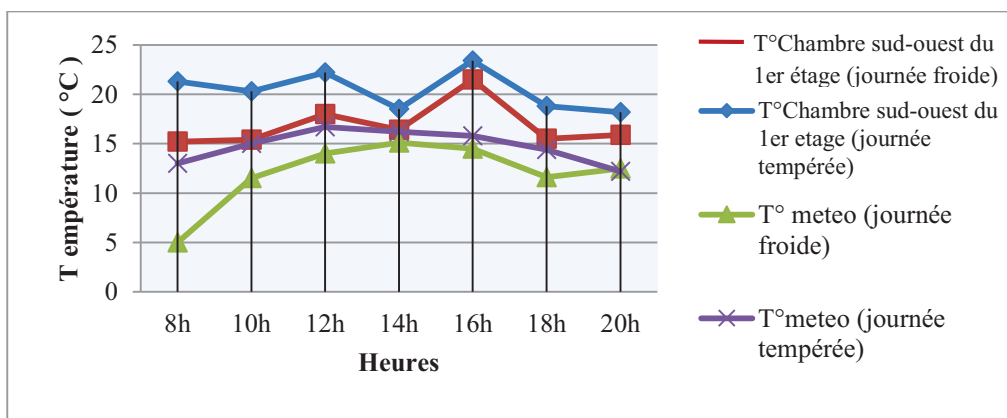


Fig. IV. 38 : Variation bi-horaire des températures internes pendant deux journées (tempérée avec une faible insolation / froide avec une forte insolation) (Source : Auteur).

On constate que, les courbes de température des deux journées étudiées (cf. Fig. IV. 38), suivent la même allure irrégulière et discontinue. La lecture des graphes des températures (cf. Fig. IV. 38) montre que, la température interne de la chambre la mieux orientée au soleil varie de la même manière pendant les deux journées. Elle monte à midi de 1.9°C durant la journée tempérée et de 2.7 °C pendant la journée froide, elle baisse par la suite à 14 h avec 3.7 °C pendant la journée tempérée et 1.8 °C pendant la journée froide ; pour atteindre son apogée en augmentant de 5°C à 16 h pendant les deux journées.

Concernant la variation de la température interne par rapport à celle de l'extérieur (météo) : on constate que pour :

Le cas n°1 (la journée tempérée avec une faible insolation) :

De 12 h à 14 h : Pendant que la température de l'extérieur augmente celle de l'intérieur chute.

De 14 h à 16 h : Pendant que la température de l'extérieur chute celle de l'intérieur augmente.

Le cas n°2 (la journée froide avec une forte insolation) :

De 8 h à 10 h / de 12 h à 14 h : Pendant que la température de l'extérieur augmente celle de l'intérieur chute.

De 14 h à 16 h / de 12 h à 14 h : Pendant que la température de l'extérieur chute celle de l'intérieur augmente.

Dans les deux cas l'allure de la courbe de la température intérieure est oscillatoire et ne suit pas la même allure que la courbe de la température extérieure. Cela nous permet de dire que l'insolation n'a pas vraiment une forte influence sur la température intérieure dans la maison traditionnelle à patio de la Casbah d'Alger, même pour les espaces les mieux orientés au soleil. On conclut que, les espaces de vie de la maison traditionnelle à patio de la Casbah d'Alger ne bénéficient pas des gains solaires directs, ce qui démontre encore la présence d'un sérieux problème du manque d'ensevelissement. En effet, le rayonnement solaire reçu sur les surfaces de la cour a un effet significatif sur le gain de chaleur produite et donc sur les charges de chauffage [Muhaisen, Gadi 2005] ; ce qui n'est pas le cas pour la maison traditionnelle à

patio de la Casbah d'Alger qui souffre d'un manque d'ensoleillement et ne réussit pas à tirer profit de l'énergie solaire gratuite.

D'autre part, la durée d'insolation durant la matinée, estimée à 4.2 h était plus élevée que celle de l'après-midi, estimée à 2.3 h mais, les températures intérieures atteignent leur apogée à 14 h (pendant l'après-midi). Cela veut dire que, le comportement de la maison n'est pas lié à la durée d'insolation, car elle ne bénéficie pas **des gains solaires directs**.

○ **Scénario n°3 : l'effet de L'inertie sur la température intérieure :**

La journée du 27 février 2013 était caractérisée par une forte insolation de 4.2 h pour la matinée et 2.3 h pendant l'après-midi.

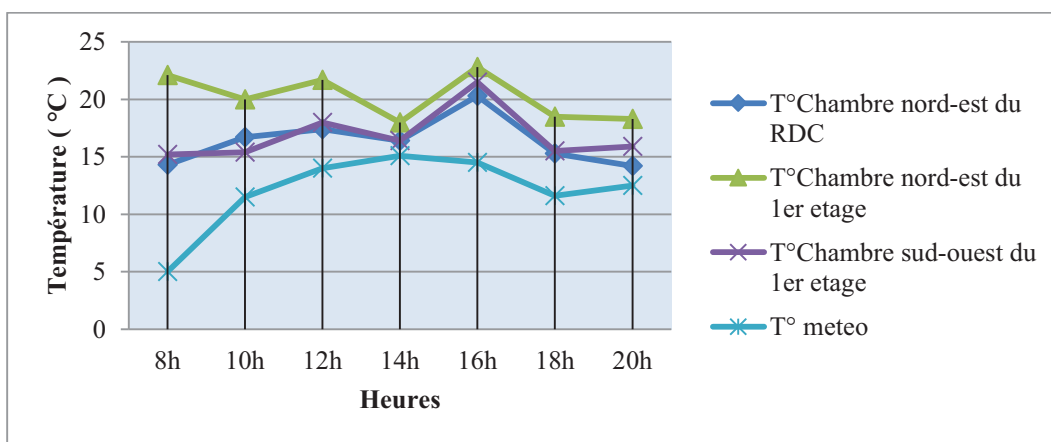


Fig. IV. 39 : Variation bi-horaire des températures journalières internes de la maison.

(Source : Auteur)

D'après la figure (Fig. IV. 39) on constate que, les courbes de température suivent la même allure irrégulière et discontinue. Bien que, la température extérieure atteigne sa valeur maximale à 14 h, les températures intérieures dans toutes les pièces de différentes orientations atteignent leurs valeurs maximales à 16 h. Cela nous laisse supposer la présence d'un déphasage thermique de l'ordre de 2 heures ... (a).

La façade intérieure de la chambre sud-ouest du premier étage surmontée des menzehs n'est exposée au soleil que partiellement à cause de la présence de la galerie, donc elle ne peut ni tirer profit des rayons solaires ni transmettre l'énergie des gains solaires indirects à l'intérieur de la chambre. Tandis que, la chambre nord-est de l'étage reçoit les gains solaires indirects à travers sa toiture qui est exposée aux rayons solaires ... (b).

De (a) et (b) on conclut que, la chambre nord-est de l'étage est caractérisée par la température la plus élevée, car elle est la mieux exposée au soleil et c'est la pièce qui profite le plus des gains solaires indirects qui s'infiltrent à travers sa toiture. Donc la morphologie urbaine de la Casbah d'Alger, caractérisée par sa forte densité ne laisse apparaître que peu de façades extérieures qui donnent sur les rues secondaires d'accès aux maisons. Grâce à cette configuration spatiale les maisons génèrent de l'ombre sur les façades verticales. Tandis que, les toits (les façades horizontales) sont exposés au soleil (cf. Fig. IV. 40).

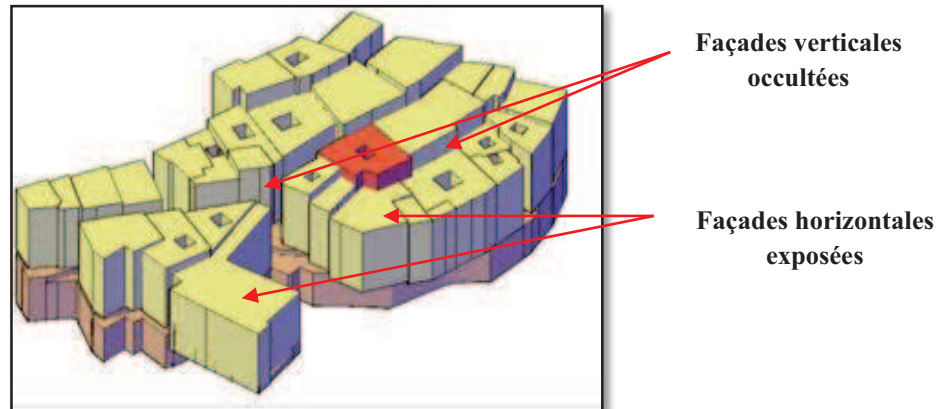


Fig. IV. 40 : La morphologie urbaine de la Casbah d'Alger et exposition solaire
(Source : Auteur)

D'après la figure (cf. Fig. IV. 40) on remarque que, la température à l'intérieur des différents espaces de la maison est régulière, cela est dû au rôle que joue la masse importante du bâti qui régularise la température sans qu'elle apporte des gains solaires indirects. Cette utilisation et application correcte de la masse thermique répond à la vigueur du climat [Hamdani et al, 2012]. Donc la masse des parois dans la maison traditionnelle de la Casbah d'Alger joue un rôle d'isolation contre les conditions climatiques extérieures et non pas un rôle de captage et de stockage de l'énergie solaire, car elle n'est pas bien exposée au soleil.

On remarque aussi qu'au début de la journée et en fin de journée, les températures varient d'une manière contradictoire par rapport à celles de l'extérieur mais, elles se stabilisent après une courte durée, ce qui est dû au refroidissement nocturne de la masse des parois ou bien à son échauffement. Donc, la forte épaisseur des parois modère les variations de température nocturnes et journalières [Al-Hinai, Probert, Batty, 1993]. Cette forte inertie ainsi que, la morphologie compacte des maisons traditionnelles isolent l'intérieur de l'extérieur en créant un microclimat spécifique au sein de la maison. La masse de la maison

contribue grandement à la génération de ce microclimat ; car les bâtiments vernaculaires sont construits en pierre, cette structure lourde agit comme un stabilisateur de température [Al-Hinai, Batty, Probert 1993]. Pour assurer un bon confort thermique pendant la mi-saison et la saison d'été, les matériaux de forte inertie (caractérisés par une chaleur surfacique interne élevée) est la meilleure solution [Di Perna et al, 2011]. En été, la forte inertie, l'albédo et la conductivité élevée des surfaces réduisent efficacement le pic de température pendant la journée, ce qui crée un phénomène d'îlot de fraîcheur à micro-échelle.

○ **Scénario n° 4 : L'effet de la présence du patio sur la répartition des températures**

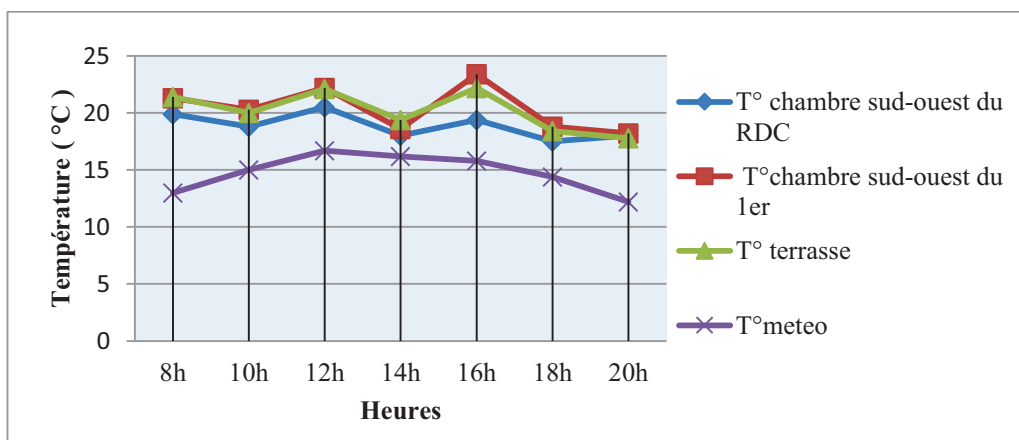


Fig. IV. 41 : Variation bi-horaire des températures journalières internes de la maison.

(Source : Auteur).

D'après la figure (Fig. IV. 41) on remarque que, durant toute la journée, les courbes de température prennent la même allure. Subséquemment, les températures dans les différents niveaux de la maison varient de la même manière. Les températures de la chambre du niveau shin (premier étage) et celle du niveau menzeh sont très proches, contrairement à celle de la chambre qui se trouve dans le niveau wast-dar (le rez-de-chaussée). Ce gradient de température entre le stah et le was-dar est le résultat de la forme de la maison caractérisée par la présence d'un patio profond qui régule les températures entre le haut et le bas. De plus, les cours profondes assurent une perte de chaleur minimale ce qui réduit les besoins en chauffe [Muhaisen, Gadi, 2005]. Donc, le paramètre qui a plus d'influence sur le confort thermique hivernal dans une maison introvertie est la hauteur du patio [Yang, Li, Yang, 2012]. En été, la cour est utilisée comme un modificateur de microclimat, dont le refroidissement radiatif vers le ciel pendant la nuit réduit la température de la cour au-dessous de celle de l'air ambiant, ce

qui réduit considérablement le besoin de refroidissement du bâtiment [Safarzadeh, Bahadori, 2005]. D'autre part, la comparaison de la température intérieure de la maison traditionnelle de la Casbah d'Alger, et celle de l'extérieur montre qu'il existe un écart de 6°C pendant la période qui s'étend entre 10 h et 18 h. Cette différence est due à la présence d'un microclimat au niveau de la Casbah d'Alger. Donc, La morphologie urbaine de la Casbah d'Alger crée un microclimat qui a un effet positif sur la qualité de l'ambiance thermique intérieure des maisons.

La configuration spatiale de la médina d'Alger particulièrement, de ses maisons à patio à contribuer à la création d'un microclimat pas seulement à l'échelle de la maison mais, également à l'échelle de la médina. Dont on remarque que, les températures internes des différentes chambres varient de la même manière : elles montent à midi et descendent à 14 h, pour qu'elles atteignent leur apogée à 16 h. Ce qui permet de dire que, les températures intérieures des maisons à patio de la Casbah d'Alger dépendent beaucoup plus des conditions microclimatiques et non pas des conditions climatiques. Le site traditionnel a des conditions microclimatiques en matière de confort thermique meilleures que le site urbain contemporain, le phénomène d'îlot de chaleur qui se crée pendant la nuit en hiver a un effet positif sur le confort thermique et la performance énergétique des bâtiments [Andreou, Axarli, 2011]. De même (Bourbia .F 1987 et 1999) a démontré que le site traditionnel d'El oued est caractérisé par un climat plus agréable que le site contemporain.¹⁷

○ **L'évaluation des températures internes journalières par rapport aux plages de confort :**

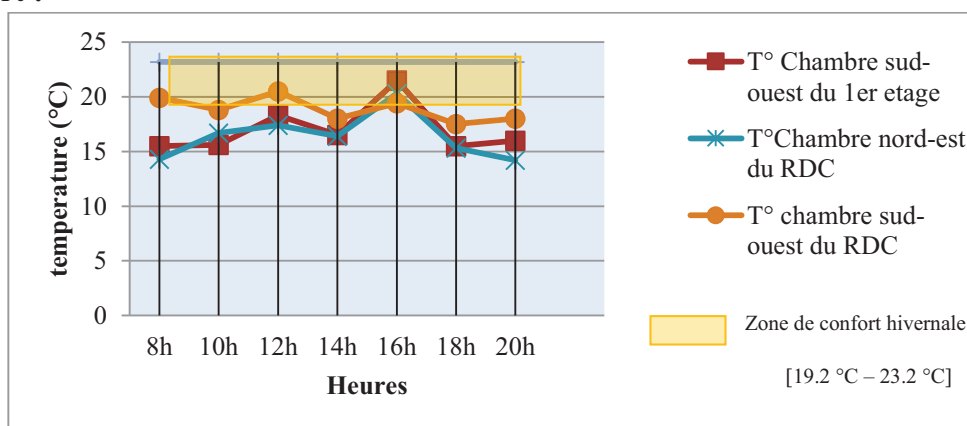


Fig. IV.42 : Les températures journalières internes de la maison et plages de confort
(Source : Auteur).

¹⁷ **kedissa Chahrazed**, 2010, ' Impact de la géométrie des espaces extérieurs sur le microclimat urbain, magister, Université de Constantine, Algérie. p, 2.

La figure (Fig. IV.42) montre que, les espaces du rez-de-chaussée sont caractérisés par des températures ambiantes inférieures à la limite du confort hivernal (19.2 °C – 23.2 °C), (cf. Annexe C.2). Les températures des espaces du premier étage atteignent la plage de confort à 16 h (cf. Fig. IV.42) mais, on peut admettre que, les températures des espaces de vie de la maison traditionnelle à patio de la Casbah d'Alger sont **généralement** inférieures à la limite inférieure du confort thermique hivernal. Bien que, Les habitants de la maison traditionnelle de la Casbah d'Alger vivent dans de mauvaises conditions de confort hygrothermique en hiver, ils n'utilisent aucun procédé de chauffage ; ils ont rarement recours aux résistances. Au cas où la température chute considérablement les habitants restent à l'intérieur de leurs chambres et ferment les portes pour éviter le contact avec le patio qui est en contact avec l'extérieur. En effet, les habitants trouvent que l'utilisation du chauffage entraîne le risque d'exposition au choc thermique dès qu'ils sortent de leurs chambres.

- **Les humidités relatives :**

L'humidité relative est le deuxième facteur qui influence le confort thermique intérieur. L'humidité relative ambiante influence la capacité de notre corps à éliminer la chaleur excédentaire.¹⁸ Il est généralement admis que, le taux d'humidité relative à Alger est très élevé. De plus, les maisons traditionnelles de la Casbah d'Alger souffrent immédiatement, d'un problème d'excès d'humidité qui fait apparaître des taches de moisissures sur les murs des chambres particulièrement, celles du rez-de-chaussée. Donc la prise des mesures d'humidité relative, nous permet de vérifier le problème posé d'une manière objective et empirique.

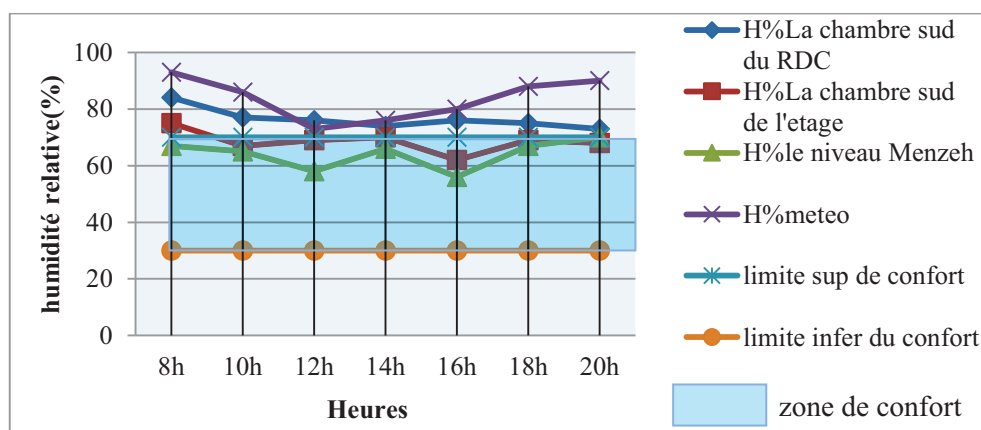


Fig. IV. 43 : Variation bi-horaire des humidités relatives journalières internes
(Source : Auteur).

¹⁸ En ligne : [<http://www.energieplus-lesite.be/>].

La lecture des graphes (cf. Fig. IV. 43) indique que, les courbes d'humidité relative de la chambre du premier étage et celle du niveau Menzeh prennent la même allure, donc le niveau shin (le premier étage) est influencé par les conditions de confort qui règnent dans le niveau Menzeh qui est à son tour influencé par les conditions climatiques extérieures. Car la courbe d'humidité du menzeh a quasiment la même allure que celle de l'extérieur.

Les courbes d'humidité relative des différents niveaux sont étagées ce qui reflète la présence d'un gradient d'humidité entre les différents niveaux, dont la courbe d'humidité relative de la chambre du rez-de-chaussée (niveau wast-dar) est éloignée des deux autres courbes représentatives des chambres situées dans les niveaux supérieurs. Le niveau du wast-dar est plus humide que les deux autres niveaux (shin et Menzeh). En effet, les courbes d'humidité du niveau Mezeh et celle de la chambre sud-ouest du premier étage sont à l'intérieur de la zone de confort. Tandis que, le taux d'humidité relative de la chambre située au rez-de-chaussée est supérieur à la limite supérieure du confort hygrothermique (70%). Donc, les espaces de rez-de-chaussée sont très humides pendant l'hiver.

IV.3.2.4.6 Résultats et interprétation de l'investigation de la période estivale :

Les mesures de la période estivale effectuées pendant le mois d'août 2013, sont complémentaires à celles de la période hivernale, pour pouvoir juger le confort hygrothermique que procure la maison traditionnelle à patio de la Casbah d'Alger à ses habitants le long de l'année. Les mesures de cette période vont nous confirmer l'existence ou l'absence des surchauffes dues au soleil d'été. Il faut noter que, les mesures ont été prises dans l'absence d'une climatisation électrique.

- **La température de l'air ambiant :**

Pour vérifier la protection solaire des différents espaces intérieurs de la maison étudiée qui se traduit par l'écart entre les températures intérieures enregistrées et celles de l'extérieur, on a pris des mesures de température selon deux axes. En se déplaçant de l'extérieur (l'impasse) vers l'intérieur (chambre du rez-de-chaussée) selon un axe horizontal et en se déplaçant de l'intérieur (chambre du rez-de-chaussée) vers l'extérieur (niveau Menzeh) selon un axe vertical.

○ Gradient horizontal des températures :

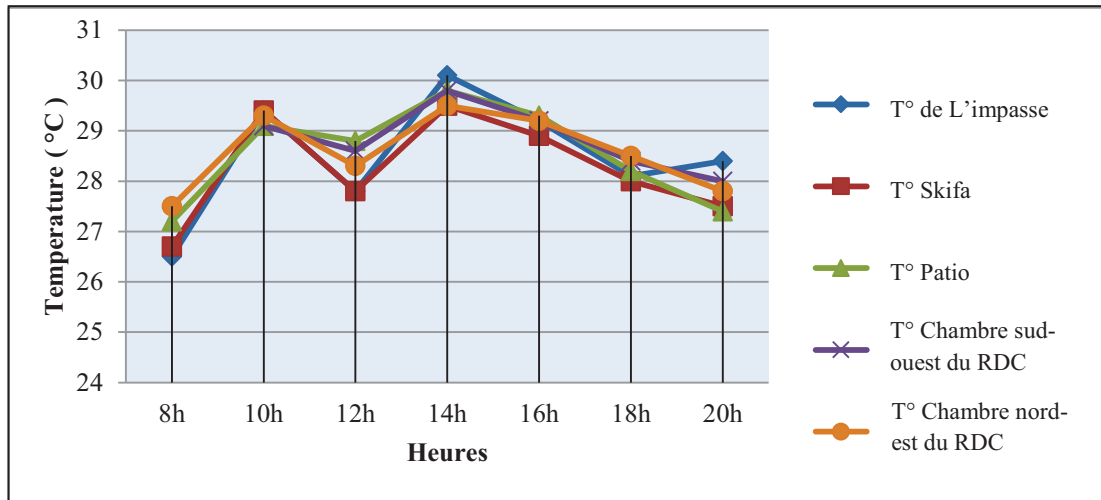


Fig. IV.44 : Variation bi-horaire des températures journalières internes.

(Source : Auteur)

D'après la figure (Fig. IV.44) on constate que, les courbes de températures des différents espaces de la maison traditionnelle de la Casbah d' Alger suivent la même allure que celle prise au niveau de l'impasse qui mène à la maison étudiée. On constate aussi que, l'évolution des températures dans les différents espaces de la maison suit le même rythme. Cependant, la skifa est caractérisée par la température la plus basse par rapport aux autres espaces de la maison. On remarque également que, la température du wast-dar est inférieure à celles des chambres pendant les deux périodes qui s'étendent de 8 h à 10 h et de 16 h à 20 h ; tandis qu'elle est supérieure à celles des chambres de 10 h à 16 h qui est la période où le soleil atteint sa hauteur angulaire maximale dans le ciel, ce qui amplifie les gains solaires directs qui augmentent la température du patio. Donc, il existe un gradient horizontal de température entre l'impasse, la skifa, le wast-dar et les chambres.

○ **Gradient vertical des températures:**

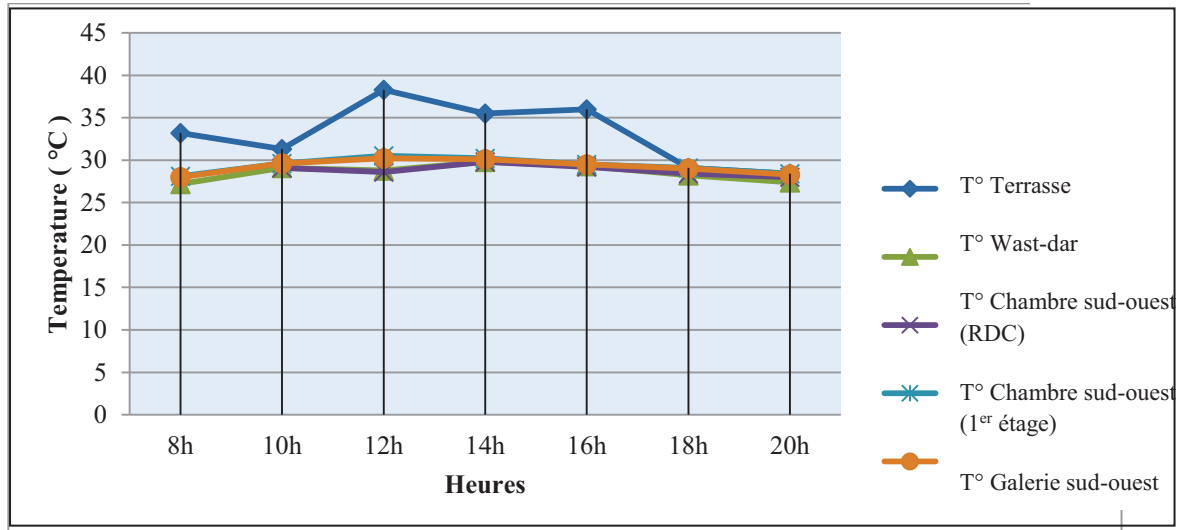


Fig. IV. 45 : Variation bi-horaire des températures journalières internes.

(Source : Auteur)

Le graphique (cf. Fig. IV. 45) montre effectivement que, la chambre sud-ouest du rez-de-chaussée a une température inférieure à celle de la chambre sud-ouest de l'étage et la chambre de la terrasse. Ce qui montre que, les espaces de rez-de-chaussée sont les espaces caractérisés par les températures les plus basses pendant l'été. La galerie et la chambre sud-ouest du premier étage ont quasiment la même température.

○ **L'évaluation des températures journalières internes par rapport aux plages de confort :**

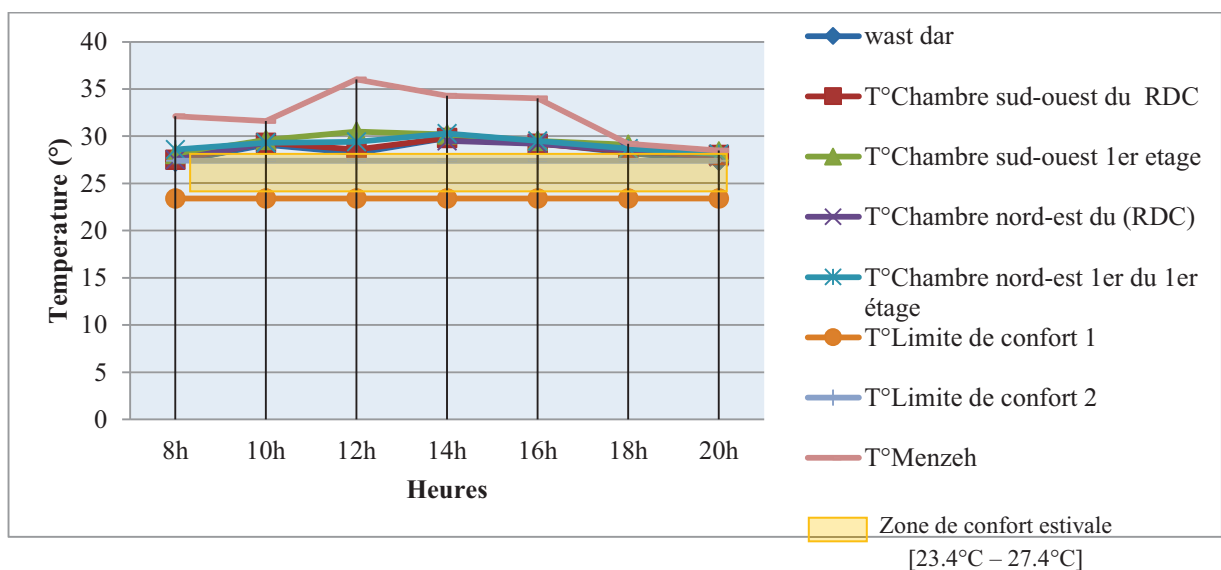


Fig. IV. 46 : Variation bi-horaire des températures des espaces intérieurs de la maison et plages de confort (Source : Auteur)

Selon la figure (Fig. IV. 46) il est clair que, les températures des espaces de vie de la maison traditionnelle à patio de la Casbah d'Alger en été, sont tout au long de la journée plus élevées que la limite supérieure de la plage de confort thermique estival.

• **Les humidités relatives:**

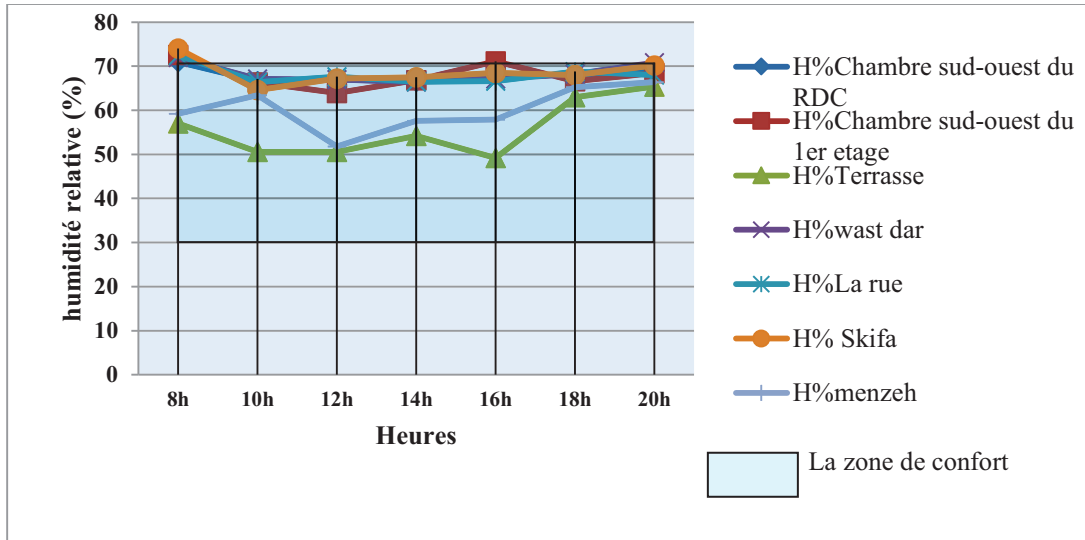


Fig. IV. 47 : Variation bi-horaire des humidités relatives des espaces intérieurs de la maison et plages de confort.

(Source : Auteur)

Selon la figure (Fig. IV. 47) les courbes représentatives des humidités relatives des chambres intérieures de la maison suivent la même allure. Bien que, celle du stah et de l'impasse soient éloignées des courbes représentatives des autres espaces de la maison, elles représentent les valeurs les plus basses de l'humidité relative tout au long de la journée. D'après la figure (Fig. IV. 47) on peut admettre que, les taux d'humidité relative enregistrés dans les différents espaces de la maison à patio de la Casbah d'Alger sont généralement à l'intérieur de la zone de confort tout au long de la journée, pendant la saison chaude de l'année.

IV.3.2.4.7 Conclusion des résultats des mesures :

L'interprétation des résultats des mesures nous a permis de conclure que, l'orientation de l'espace et la durée d'insolation pendant les journées d'hiver n'ont pas une forte influence sur les conditions internes du confort thermique, car les espaces situés au rez-de-chaussée et au premier étage ne bénéficient pas des gains solaires directs en hiver. Les résultats des mesures de température et d'humidité relative montrent que, les espaces habitables du rez-de-chaussée sont plus froids et humides que les autres espaces qui se trouvent au-dessus.

En effet, l'inertie thermique des parois joue un grand rôle dans l'amélioration du confort thermique hivernal, ce facteur est conjugué à un autre facteur qui est la présence du patio pour créer un microclimat hivernal plus doux à l'échelle de la maison. Cela compense relativement la contribution limitée des gains solaires passifs dans l'amélioration du confort thermique. La masse importante des matériaux de construction joue un grand rôle dans l'isolation des espaces habitables des conditions climatiques extérieures mais, elle n'a pas un rôle de captage et de stockage des gains solaires directs et indirects car elle n'est exposée au soleil que partiellement.

Le confort thermique estival dans la maison à patio de la Casbah d'Alger est amélioré, suite à l'utilisation des techniques de rafraîchissement passif comme : la ventilation naturelle, l'inertie thermique importante des matériaux de construction et le choix de la couleur claire pour les murs extérieurs. Les techniques utilisées atténuent les températures mais, ne parviennent pas à diminuer les températures jusqu'aux températures de la zone de confort. Les taux d'humidité pendant cette période s'avèrent confortables dans les différents espaces de la maison contrairement aux résultats des mesures de la période hivernale.

Conclusion générale :

La conception architecturale et la forme générale d'un bâtiment influencent grandement la qualité des ambiances hygrothermiques qui y règnent. Dans ce chapitre, on a clairement reconnu l'influence de la géométrie du patio ainsi que, l'existence des galeries tout autour sur la durée d'insolation des espaces de vie de la maison traditionnelle avec *wast-dar* de la Casbah d'Alger particulièrement, les espaces situés au rez-de-chaussée. On retient aussi que, la compacité du volume général de la maison est réduite par la présence du patio qui expose plus de surfaces déperditives vers l'extérieur. D'autre part, la profondeur du patio combinée à la forte inertie des éléments architecturaux fournissent un microclimat plus doux que les conditions climatiques extérieures. Il est à noter aussi que, la composition volumétrique de la maison à patio de la Casbah d'Alger nous permet de dire que, la façade intérieure que crée le patio n'a pas concilié entre la préservation de l'intimité des habitants et le captage solaire passif (entre les contraintes socioculturelles et les contraintes climatiques).

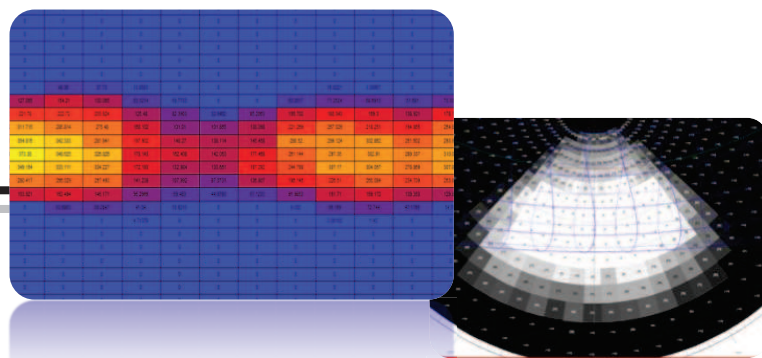
En conclusion de chapitre, il est à préciser qu'il existe des éléments architecturaux dans la maison à patio de la Casbah d'Alger tels que : le patio, la galerie, la hauteur d'allège et la hauteur de la fenêtre, qui interviennent dans la qualité et la quantité de l'ensoleillement de ses

espaces de vie, et qui doivent être repensés en fonction des mouvements solaires. Car les températures de confort prises à l'intérieur des différents espaces de la maison étudiée sont en dehors des limites du confort hygrothermique particulièrement pendant la période froide de l'année. La maison à patio doit être pensée en fonction des coordonnées solaires dans le but d'assurer un bon captage solaire passif en hiver et une bonne protection solaire passive en été.

En effet, le déficit de rendre ce qui est paradoxal en compromis entre le besoin de capter les rayons solaires pour améliorer les conditions thermiques intérieures, pendant l'hiver et la nécessité de la protection solaire passive durant la saison d'été est l'objectif principal à atteindre dans le dernier chapitre du mémoire.

Chapitre : V

Établissement de la stratégie de captage et de protection solaires dans la maison à patio et simulation



Introduction

L'architecture de la maison traditionnelle à patio de la Casbah d'Alger révèle du niveau de développement humain et de la civilité de ses occupants, qui ont essayé de faire marier leurs principes et croyances selon lesquels leur mode de vie est organisé, avec la nature du site pour produire une typologie architecturale unique par sa beauté et par sa fonctionnalité. Cette maîtrise architecturale est le fruit d'un cumul de savoir-faire ancestraux et d'une intelligence humaine qu'a réussi d'adapter son espace de vie aux contraintes environnantes.

De nos jours, la recherche scientifique nous a apportés une variété d'outils de conception et d'intégration de la contrainte climatique et particulièrement, de l'ensoleillement dans le processus de la conception architecturale, vis-à-vis de cette situation nous devons apprendre du savoir-faire de nos ancêtres, en s'inspirant de leurs chefs-d'œuvre, tout en exploitant les outils que nous fournissent les études scientifiques (comme ceux abordés dans le troisième chapitre).

D'après l'étude des travaux de recherche qui ont traité la problématique de l'ensoleillement dans l'architecture à patio on a constaté que, la méthodologie d'étude de l'ensoleillement consiste à tester un nombre de géométries proposées, en changeant les dimensions géométriques de la cour. Cela était dans le but de recommander les formes les mieux adaptées aux climats étudiés, en matière de captage solaire en hiver et d'ombrage pendant l'été. Cependant et à partir de cette étude on a déduit que, pour les mêmes buts et objectifs recherchés, il serait plus approprié de concevoir la maison à patio et de dimensionner ses éléments architecturaux, en tenant compte de la géométrie solaire particulièrement, des coordonnées solaires.

Dans le présent chapitre, nous développons une méthode de conception de la maison à patio vis-à-vis de l'ensoleillement dans laquelle l'étude de la géométrie du bâti est effectuée en fonction des mouvements solaires particulièrement, ceux de **la durée d'insolation utile en hiver**, en s'inspirant de notre cas d'étude qui est la maison traditionnelle à patio de la Casbah d'Alger. De plus, nous allons repenser le nouveau modèle de la maison à patio, en fonction du captage solaire hivernal, sans d'autant négliger la nécessité de garantir une protection solaire estivale.

Après avoir appliqué les différents outils d'étude de l'ensoleillement (L'enveloppe solaire (cf. Chap. III, section 3.1.1), la boîte des liaisons solaires (cf. Chap. III, section, 3.1.2) et la formule de calcul de la distance bioclimatique (cf. Chap. III, section 1.2.3) le choix s'est établi sur la formule de calcul de la distance bioclimatique. En effet, la conception du nouveau modèle de la maison à patio est développée en deux étapes : dans la première étape nous concevons la partie basse bien que, dans la deuxième étape nous nous concentrons sur la conception de la partie haute. Une simulation est faite par la suite à l'aide du logiciel « Ecotect » pour vérifier la fiabilité de la méthode établie et le rendement du nouveau modèle de la maison à patio en matière de captage et de protection solaires, par rapport à celui de la maison traditionnelle à patio de la Casbah d'Alger.

V.1 Problématique de l'ensoleillement dans la maison traditionnelle à patio de la Casbah d'Alger :

Notre étude formelle et morphologique de la maison traditionnelle à patio de la Casbah d'Alger (cf. Chap. IV, section.3.2.3), nous a permis d'interpréter la composition volumétrique de cette maison vis-à-vis de l'ensoleillement, et de déduire la relation qui existe entre : le mode de vie, la course du soleil et la typologie introvertie de cet habitat.

En effet, La maison à patio de la Casbah d'Alger peut être divisée en deux parties : une partie basse composée de deux niveaux : le rez-de-chaussée (niveau Wast-dar) et le premier étage (niveau Shin). Cette partie représente un volume renfermé où les rayons solaires de l'hiver ne pénètrent pas (cf. Fig. V. 1). Elle comporte les chambres ainsi que, tous les espaces de services (cuisine, salle d'eau, latrines). La deuxième partie

comprend un seul niveau qui contient généralement, une ou deux pièces appelées « Menzehs » (cf. Fig. V. 1). Le « Menzeh » est un mot arabe dérivé du mot « Mountazah », qui

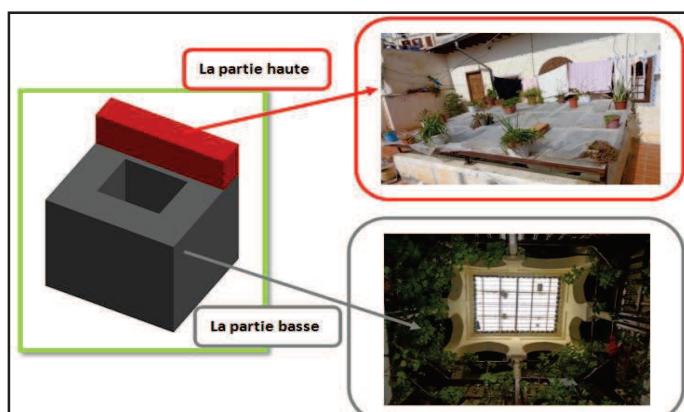


Fig. V. 1 : Interprétation de la configuration volumétrique de la maison traditionnelle à patio de la Casbah d'Alger vis-à-vis du soleil.

(Source : Auteur)

signifie « un parc ou un lieu de distraction ». L'appellation de cet espace renvoie à son utilisation, car il représente l'espace de rencontre des femmes. En réalité, les terrasses de la Casbah d'Alger communicantes entre elles, permettent aux femmes de se réunir durant les soirées pour se distraire. Cet espace est exposé aux rayons solaires tout au long de l'année (cf. Chap. IV, section.3.2.2.3).

Cette configuration spatiale et volumétrique de la maison étudiée est à l'origine d'un sérieux problème du manque d'ensoleillement au niveau des pièces intérieures, particulièrement, celles situées au rez-de-chaussée (cf. Fig. V. 2 / A). Ce problème a causé un deuxième problème qui est l'excès d'humidité (cf. Chap. IV, section, 3.2.4.7) et rendu les conditions habitables de ces espaces très insalubres. D'autre part, le climat d'Alger est caractérisé par une période froide plus longue que la période chaude (cf. Annexe C.2.), donc le captage solaire passif sera un bon moyen pour améliorer les conditions thermiques internes pendant l'hiver.

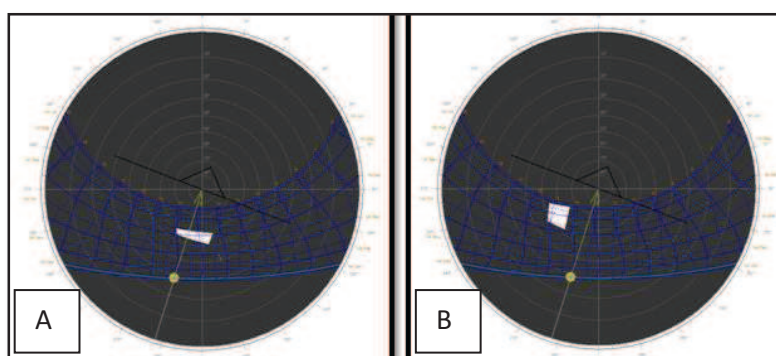


Fig. V. 2 : Les abaques de masques solaires de la façade intérieure sud-ouest : (A) la fenêtre du rez-de-chaussée.
(B) : la fenêtre du premier étage

(Source : Auteur)

Ce même problème était posé par (Al azzawi, 1996) dans son étude de la maison à patio de Bagdad. Cela indique que, le problème du manque d'ensoleillement est un problème général, qui se pose souvent dans la maison à patio. Donc il est judicieux de développer un outil ou une méthode de conception de la maison à patio vis-à-vis de l'ensoleillement, qui peut être appliquée sous différentes latitudes.

V.2 Les objectifs de l'étude

D'après le problème posé ci-dessus, qui est directement lié à la configuration spatiale de la maison à patio de la Casbah d'Alger, les objectifs d'élaboration d'un nouveau modèle de la maison à patio dans la présente étude, seront les suivants :

- Dimensionner les éléments architecturaux de la maison à patio qui influencent l'ensoleillement des espaces du rez-de-chaussée qui sont : la hauteur et la largeur du patio, la largeur de la galerie et les dimensions des fenêtres, afin d'améliorer la durée d'insolation des espaces situés au rez-de-chaussée de la maison.
- Concevoir une partie chaude bien orientée au soleil pour fournir de bonnes conditions thermiques en hiver et une partie froide qui tourne le dos au soleil pour qu'elle reste fraîche en été.
- Développer une méthode simple de conception et de dimensionnement des éléments architecturaux qui influencent le captage et la protection solaires dans la maison à patio. Notre objectif est d'établir une méthode qui pourra être utilisée sous les différentes latitudes.

V.3 Méthodologie et outils d'étude :

Les outils d'étude de l'ensoleillement sont multiples comme on les a déjà abordés dans le troisième chapitre du mémoire. Dans la présente étude, nous allons avoir recours aux outils d'étude de l'ensoleillement qui paraissent plus adaptés à nos objectifs, pour cela on a exclusivement choisi les outils qui permettent d'établir une méthode simple de conception et de dimensionnement des éléments architecturaux de la maison à patio **en fonction des mouvements solaires annuels** en s'inspirant de la maison traditionnelle à patio de la Casbah d'Alger.

L'enveloppe solaire (cf. Chap. III, section 3.1.1), la boîte des liaisons solaires (cf. Chap. III, section, 3.1.2) et la formule de calcul de la distance bioclimatique (cf. Chap. III, section 1.2.3) sont des outils qui permettent de dimensionner le bâti en fonction des coordonnées solaires. Pour appliquer la boîte des liaisons solaires on doit utiliser la réglementation solaire de la ville d'Alger. Cependant dans le premier chapitre (cf. chap.I, section, 5.1) on a constaté que, la réglementation algérienne (cf. Annexe. A) prend l'orientation par rapport au soleil en considération mais, elle n'a pas assez évolué pour traiter la problématique du droit à

l'ensoleillement et établir des lois qui gèrent les droits solaires en architecture et en urbanisme. Donc il n'existe pas une réglementation algérienne solaire bien développée qui nous permet d'appliquer la boîtes des liaisons solaires dans la présente étude.

Dans un essaie d'application de l'enveloppe solaire dans cette recherche (cf. Annexe. E) on a constaté que, la construction des enveloppes solaires d'un ensemble de parcelles, ou bien d'un îlot nous donne des volumes très aplatis ce qui modifie considérablement la morphologie de la Casbah d'Alger et lui fait perdre ses valeurs socioculturelles, architecturales et climatiques reconnues. Cette étude a montré que, l'enveloppe solaire ne permet pas d'améliorer le captage solaire passif sans dénaturer le caractère unique de la médina. Donc l'application de l'enveloppe solaire dans la présente étude ne permet pas d'aboutir aux objectifs déterminés préalablement. Cela nous a menés finalement à utiliser le troisième outil suggéré qui est la formule de calcul de la distance bioclimatique.

V.3.1 Le développement du nouveau modèle de la maison à patio en utilisant la formule de calcul de la distance bioclimatique :

La formule de calcul de la distance bioclimatique, proposée par (Theodoridou-Sotiriou, et al, 2005) (cf. Chap. III, section.1.2.3), est une formule de conception qui donne la hauteur d'un bâtiment, en fonction de **la hauteur du masque solaire** et **des coordonnées solaires** (cf. Fig. V. 3) ; pour permettre un bon captage solaire en hiver. Nous allons utiliser cette formule en vue de déterminer les dimensions du patio (la hauteur et la largeur), qui permettent un bon ensoleillement aux espaces du rez-de-chaussée. En s'inspirant de notre cas d'étude, le modelage du nouveau modèle de la maison à patio sera effectué en deux étapes : la première étape consiste à déterminer la hauteur du patio, qui représente la hauteur de la partie basse. Dans la deuxième étape, nous allons définir la configuration de la masse du bâti de la partie haute.

$$D(b) = \cos(\nu) * (Z_b - Z_{sh}) * \cos \omega / \sin(\nu)$$

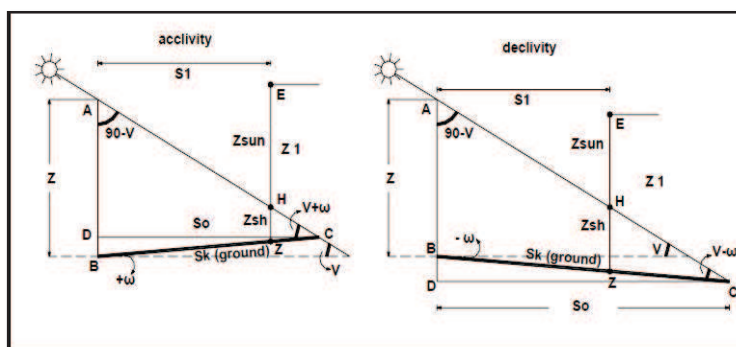


Fig. V. 3 : Schéma expliquant le principe de calcul de la distance bioclimatique.
(Source : Theodoridou-Sotiriou, et al, 2005).

Dont :

D (b) : la distance bioclimatique qui sépare le bâtiment de son masque solaire.

v : la hauteur solaire à midi de la journée la plus défavorable de l'hiver.

Z b : la hauteur du masque solaire.

Zsh : la hauteur de l'ombre.

ω : La pente du terrain

V.3.1.1 La première étape : conception et dimensionnement de la partie basse de la maison à patio :

À partir de la formule de calcul de la distance bioclimatique on constate que, les facteurs géométriques relatifs aux dimensions du bâti inclus dans le calcul, sont principalement : la hauteur du masque et la distance qui sépare le bâtiment du masque (la distance bioclimatique). Ainsi qu'un autre facteur lié à la géométrie solaire qui est la hauteur solaire. Selon notre cas d'étude, la hauteur du masque représente la hauteur du patio qui est la hauteur de la partie basse et la distance bioclimatique représente la largeur du patio (cf. Fig. V.

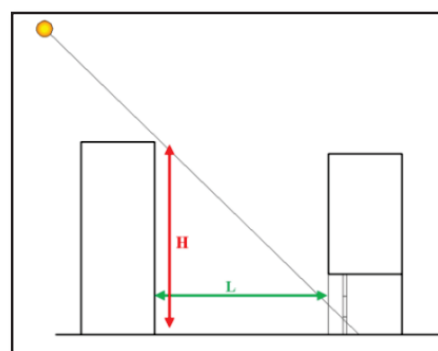


Fig. V. 4 : Adaptation des valeurs aux cas d'étude
(Source : Auteur)

4). Ces deux dimensions ainsi que, les dimensions des éléments architecturaux qui influencent l'ensoleillement dans la maison à patio qui sont : la hauteur d'allège, la hauteur de la fenêtre

et la largeur de la partie saillante de la galerie, seront déterminés dans cette première étape, en fonction de la hauteur solaire la plus basse en l'hiver.

Nous allons appliquer la formule de calcul de la distance bioclimatique, sous une latitude de 36° Nord relative à la situation géographique de la ville d'Alger pour déterminer les dimensions du patio. Cependant, il s'avère que l'adaptation de la formule utilisée au cas d'étude ne comprend pas seulement la latitude mais aussi, autres valeurs constantes dans l'étude. De ce fait, nous nous sommes référés à la typologie de la maison traditionnelle à patio de la Casbah d'Alger, prise comme référence et source d'inspiration, pour faire ressortir les valeurs constantes dans l'étude, qui sont :

- **La hauteur du niveau (étage) :** la hauteur sous plafond de la chambre située au rez-de-chaussée du cas d'étude est de 3.4 m, à laquelle on a rajouté la moyenne de la hauteur du plancher (35cm) (cf. Chap. IV, section, 3.2.3.4, Fig. IV. 25).¹ Donc la hauteur du niveau est égale à 3.75m.
- **La pente du terrain :** pour notre cas d'étude cette valeur est nulle. Dans le cas d'une parcelle en pente les Ottomans créaient un sous-sol ou bien un Djeb pour la récupération des eaux pluviales². Donc la pente du terrain ω est égale à 0°.
- **Le nomadisme :** lors de l'étude de la maison traditionnelle à patio de la Casbah d'Alger on a constaté que, cet habitat est divisé selon sa thermique en espaces occupés en fonction des saisons (cf. Chap. IV, section.3.2.3.5). On a distingué qu'une partie de la maison est occupée pendant la période chaude. Tandis qu'une autre, est occupée pendant la période froide. De même, des espaces occupés pendant les journées et autres pendant les soirées. Lors de son étude menée sur la maison du M'Zab, André Ravereau appelle ce phénomène «le nomadisme». Ce qui nous a orientés à créer une partie chaude, bien orientée au soleil dans laquelle, les habitants passent la période froide pour bénéficier de l'énergie solaire disponible. Ainsi qu'une partie froide qui tourne le dos au soleil et qui sera occupée pendant l'été.

¹ **MISSOUM Sakina**, (2003) 'Alger à l'époque ottoman la médina et la maison traditionnelle', Edisud, Paris, France, p 235.

² **Idem**.

○ **Le choix de l'angle « v » (la hauteur solaire) :**

On remarque sur la figure (Fig. V. 5) que, les hauteurs solaires des limites de la période d'insolation utile qui permettent 4 h d'insolation pour le mois de décembre, sont inférieures à la hauteur solaire à midi utilisée dans le calcul de la distance bioclimatique. Cela explique que, la hauteur du patio définie en fonction de la hauteur solaire à midi ne permet le captage solaire passif, que pour l'instant de midi pendant toute la journée du 21^{ème} jour du mois choisi. Cela nous a dirigés vers l'utilisation de la hauteur solaire des limites de la période d'insolation utile, représentées par deux traits en rouge sur la figure (Fig. V. 5) et des coordonnées solaires des limites de l'intervalle des courses solaires de la période froide de l'année, représentées par les courbes (en jaune) dans le calcul. Cela permet de capter le soleil pendant la période froide durant 4 heures (de 10 H à 14 H) et non pas seulement à l'instant du midi car c'est très insuffisant (cf. Fig. V. 5).

Donc l'angle « v » (la hauteur solaire) utilisé dans le calcul de la hauteur du patio, doit être choisie minutieusement et en fonction des limites horaires de la période d'insolation utile de la latitude étudiée.

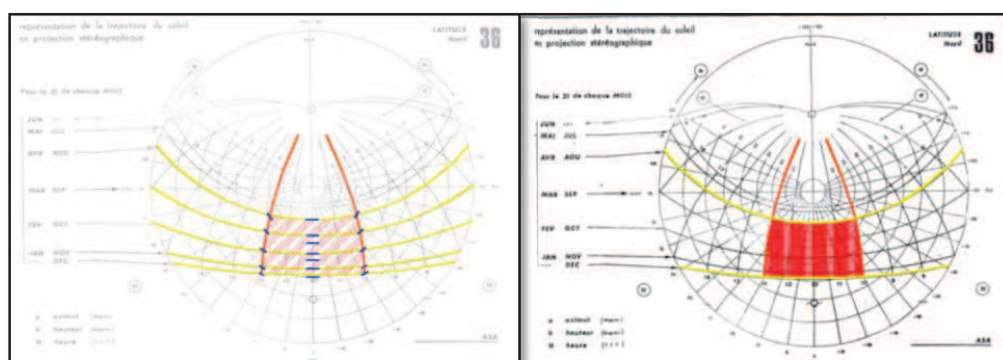


Fig. V. 5 : Les limites horaires et solaires
(Source : Auteur)

V.3.1.1.1 Détermination des dimensions du patio (établissement du rapport H/W) :

(Olgyay 1963) a indiqué que, la hauteur de la cour est le facteur géométrique le plus important dans la détermination du comportement d'un bâtiment avec cour.³ Après avoir déterminé les valeurs constantes, on passe maintenant à l'application de la formule de calcul

³ **Masoud Malekzadeh**, 2009, 'Positioning of Outdoor Space in House Design - An Energy Efficiency and Thermal Comfort Perspective', these de doctora, université de Loughborough.

de la distance bioclimatique sur la ville d'Alger, pour obtenir la hauteur du patio qui convient pour une bonne stratégie de captage solaire passif en hiver.

$$D(b) = \cos(v) * (Z_b - Z_{sh}) * \cos \omega / \sin(v + \omega)$$

$$D(b) = \cos(v) * (Z_{masque}) * \cos 0 / \sin(v + 0), \text{ avec : } \cos 0 = 1$$

$$D(b) = \cos(v) * (Z_{masque}) / \sin(v)$$

$$D(b) = \cos(v) / \sin(v) * (Z_{masque})$$

On substitue la distance bioclimatique (D(b)) par la largeur du patio(L) et la hauteur du masque solaire (Z_{masque}) par la hauteur du patio (H) pour obtenir la relation qui relie les deux dimensions du patio :

$$L = \cos(v) / \sin(v) * H$$

Le rapport [$\cos(v) / \sin(v)$] représente une valeur constante, qui change en fonction de l'angle (v), qui est la hauteur solaire aux limites de la durée d'insolation utile pendant la saison froide.

Remarques

- La valeur constante [$\cos(v) / \sin(v)$] change en fonction de l'angle « v » qui varie en fonction des mois (cf. Tab. V. 1).

Tabl. V. 1 : Le rapport L/H pour de différentes hauteurs solaires pour la latitude 36°Nord.
(Source : l'Auteur)

| Le mois | La hauteur solaire à midi latitude 36° Nord | Le rapport L/H | La hauteur solaire qui permet le captage de 10h à 14h | Le rapport L/H |
|-----------------------|---|----------------|---|----------------|
| 21 Décembre | 31.4 ° | 1.65 | 25 | 2.15 |
| 21 (Janvier/Novembre) | 35° | 1.45 | 28 | 1.85 |

| | | | | |
|--|--------|------|----|------|
| 21 (Février/ octobre) | 44° | 1.05 | 36 | 1.40 |
| 21 (Mars/Septembre) | 55° | 0.70 | 46 | 1.00 |
| 21 (Avril / Aout) | 67.50° | 0.40 | 54 | 0.70 |

- La distance entre la partie sud de la maison et celle de la maison avoisinante doit être calculée en utilisant la formule de calcul de la distance bioclimatique en prenant en considération la pente du terrain qui peut être différente de 0°.

Maintenant nous allons, déterminer la valeur du rapport L/H en fonction de la date du début de captage solaire passif (en fonction des mois) . D'après la figure (Fig. V. 6) on constate que, pour une même largeur du patio (L) (cf. fig. V.6), la hauteur du patio diffère (H1, H2, H3, H4, H5) (cf. fig. V.6) en fonction de la date du début de captage solaire passif. Le profil du patio change en fonction des différents mois, dont chaque mois a un angle d'obstruction et un angle de facteur de vue du ciel (cf. Chap. III, section.1.2.4) qui le caractérise.

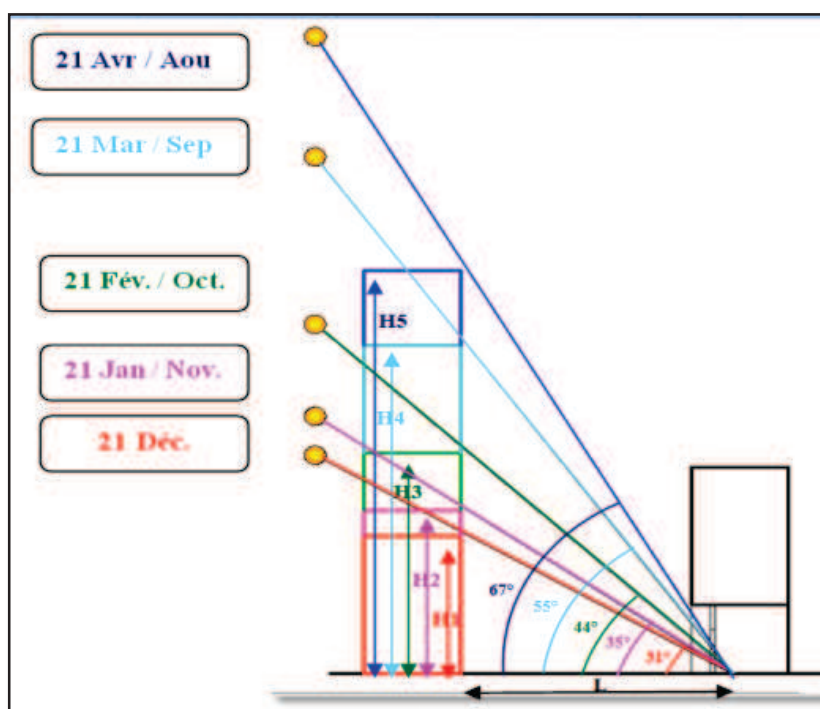


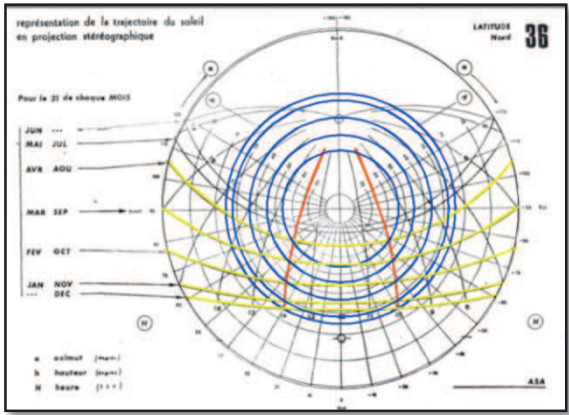
Fig. V. 6 : Les hauteurs H du patio en fonction de la date du début de captage solaire passif pour une même largeur L.

(Source : Auteur)

À partir de l'abaque de la latitude 36° Nord, nous allons faire ressortir les hauteurs solaires qui permettent une durée de captage solaire passif de 4 h (de 10 h jusqu'à 14 h) pour le 21 ème jour de chaque mois de la période froide de l'année (cf. Tab. V.2) :

Tab. V. 2 : Les coordonnées solaires relatives à la durée d'insolation utile.
(Source : l'Auteur)

| Les mois | La hauteur (°) |
|----------------------|----------------|
| 21 décembre | 25 |
| 21 janvier/ novembre | 28 |
| 21 février / octobre | 36 |
| 21 mars/ septembre | 46 |
| 21 avril | 54 |



V.3.1.1.2 Dimensionnement des éléments architecturaux qui influencent le captage et la protection solaire :

Plusieurs travaux de recherche ont été développés sur l'élaboration des stratégies de conception solaires passives... [Stevanović, 2013]. De même, nous allons essayer d'établir des formules simples qui permettent le dimensionnement des éléments architecturaux qui influencent la durée d'ensoleillement de la partie chaude de la maison à patio, en utilisant les relations trigonométriques. Dans l'architecture solaire passive, les paramètres de conception les plus importants qui modifient la contribution de l'énergie solaire au refroidissement et au chauffage d'un bâtiment sont : l'aspect des parois, l'orientation du bâtiment, les fenêtres (taille et emplacement) et la protection solaire [Rahul, Ralegaonkar, Gupta, 2010]. Selon notre cas d'étude, on constate que, la hauteur et la largeur du patio ne sont pas les seuls facteurs géométriques qui influencent la durée d'insolation mais, il existe effectivement d'autres facteurs comme : la hauteur d'allège (cf. Chap. III, section.4.2.1.3), la taille de la fenêtre

particulièrement, sa hauteur (cf. Chap. III section.4.2.1.1), et la largeur de la partie saillante de la galerie (cf. Chap. III section.1.2.2).

- **Détermination de la hauteur d'allège :**

La hauteur d'allège est calculée en fonction de : la hauteur solaire, de l'heure du début de captage solaire passif (10 h pour le cas d'Alger), et de la profondeur maximale des rayons solaires de la même heure (10 h pour le cas d'Alger) dans la pièce (cf. Chap. III, section.1.2.3). Le choix de cette dernière revient au concepteur. D'après la figure (Fig. V. 7) et en appliquant les relations trigonométriques sur le triangle rectangle (a, b, c), on obtient :

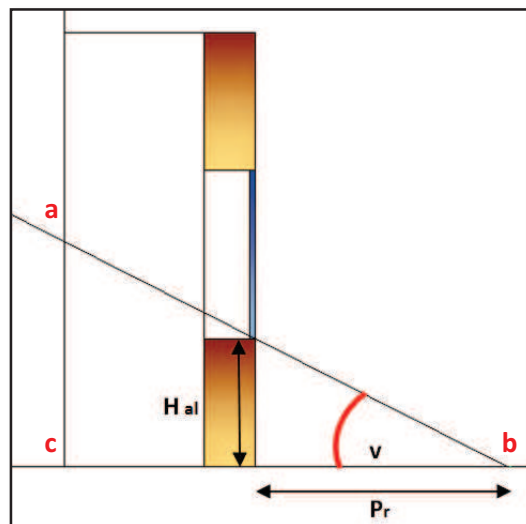


Fig. V. 7 : Schéma expliquant la relation entre la hauteur d'allège et la hauteur solaire.

(Source : Auteur)

$$\text{Tg}(\nu) = \text{Hal} / \text{Pr}$$

$$\text{Hal} = \text{Tg}(\nu) * \text{Pr}$$

Dont :

ν : La hauteur du soleil à la limite de la durée d'insolation utile du 21^e jour du mois de début de captage solaire passif.

Hal : La hauteur d'allège.

Pr : La profondeur maximale des rayons solaires dans la pièce.

La valeur de l'angle « ν » est constante, ce qui nous permet d'établir un rapport entre la hauteur d'allège et la profondeur des rayons solaires en fonction de l'heure du début de captage à (10 h pour le cas d'Alger), du 21^e jour du mois choisi. Donc on doit choisir en premier **la profondeur maximale des rayons solaires dans la pièce étudiée pour définir la valeur de la hauteur d'allège.**

• **Détermination de la hauteur de la fenêtre :**

La figure (Fig. V. 8) illustre la relation géométrique qui existe entre la hauteur solaire (v) et la hauteur de la fenêtre (H_{al}). D'après la figure (Fig. V. 8) et en appliquant les relations trigonométriques sur le triangle rectangle (a, b, c), on obtient :

$$\text{Tg}(v) = (H_f + H_{al}) / (P_r + E_m)$$

$$\text{Tg}(v) * (P_r + E_m) = (H_f + H_{al})$$

$$H_f = \text{Tg}(v) * (P_r + E_m) - H_{al}$$

Dont :

H_f : La hauteur de la fenêtre.

v : La hauteur du soleil à la limite de la durée d'insolation utile du 21^e jour du mois de début de captage solaire passif.

H_{al} : La hauteur d'allège.

P_r : La profondeur maximale des rayons solaires dans la pièce.

E_m : L'épaisseur du mur qui donne sur le patio.

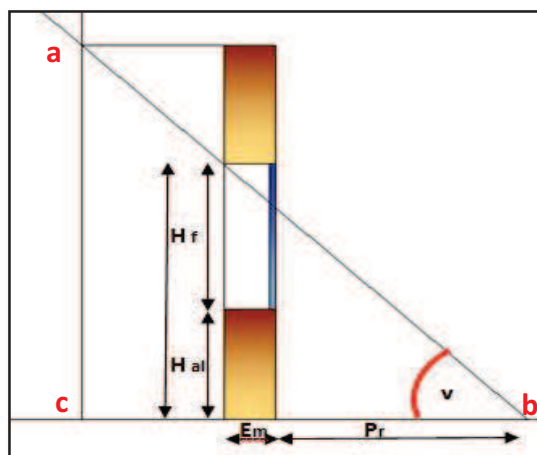


Fig. V. 8 : La relation géométrique entre la hauteur de la fenêtre et la hauteur solaire

(Source : Auteur).

• **Détermination de la largeur de la partie saillante de la galerie :**

La largeur de la partie saillante de la galerie est calculée en fonction de l'angle « v », pour lequel on a calculé la hauteur du patio (H). Si on veut commencer le captage solaire passif dans une date précise, la hauteur du patio doit le permettre, la hauteur d'allège de même ainsi que, la largeur de la partie saillante de la galerie. Cette dernière est obtenue en fonction de la profondeur souhaitable atteinte par les rayons solaires et de l'épaisseur du mur. D'après la figure (Fig. V. 9) et les relations



Fig. V. 9 : La relation géométrique de la largeur de la galerie et de la hauteur solaire.

(Source : Auteur)

trigonométriques appliquées au triangle rectangle (a, b, c), on obtient :

$$\text{Tg } v = H_{\text{sp}} - (H_f + H_{\text{al}}) / L_g$$

$$L_g = [H_{\text{sp}} - (H_f + H_{\text{al}})] / \text{Tg } v$$

Dont :

L_g : La largeur de la partie saillante de la galerie.

H_{sp} : La hauteur sous plafond.

H_f : La hauteur de la fenêtre.

v : La hauteur du soleil à la limite de la durée d'insolation utile du 21^e jour du mois de début de captage solaire passif.

H_{al} : La hauteur d'allège.

V.3.1.2 La deuxième étape : Conception et dimensionnement de la partie haute de la maison à patio

V.3.1.2.1 Détermination de la répartition de la masse bâtie de la partie haute :

L'insolation n'est utile à la ville d'Alger que pour la période qui s'étend de 10 h jusqu'à 14 h. Donc on doit protéger la fenêtre hors cette période en agissant sur la géométrie de la maison et non pas par l'utilisation des dispositifs de protection solaire. Cela aide à assurer une bonne ouverture de la maison à patio pour un bon captage solaire passif, tout en gardant son volume le plus compact possible.

Cela nous a poussés à trouver une relation qui relie la géométrie de la maison à patio particulièrement, celle de sa partie haute, car la géométrie de la partie basse est déjà déterminée en fonction des coordonnées solaires et horaires relatives au captage solaire passif. Tandis que, la géométrie de la partie haute doit être déterminée en fonction des coordonnées horaires et solaires relatives à la protection solaire en hiver hors de la période d'insolation utile et en été durant la plus longue période possible de la journée. Ces idées nous ont rappelé la méthode de détermination des dimensions des flancs qui protègent les fenêtres et l'utilisation des angles d'ombre dans le calcul (cf. Chap. I, section, 2.3.1.2) (cf. Fig. V. 10. A).

Donc la géométrie de la partie haute peut être déterminée en fonction de l'angle HSA (l'angle d'ombre horizontal).

D'autre part, on a remarqué que, les limites d'insolation utile peuvent être déterminées par **des points d'intersection des azimuts avec les différentes heures** (cf. Fig. V. 10. B). Ce qui nous a menés à attribuer à chaque intervalle d'azimuts compris entre deux valeurs absolues égales d'angles d'azimuts, dont une positive et l'autre négative par rapport à 0° une durée d'insolation ; et de tracer les courbes qui donnent la variation de la durée d'insolation en fonction des différents intervalles d'azimuts pour les différents mois de l'année (cf. Fig. V. 11).

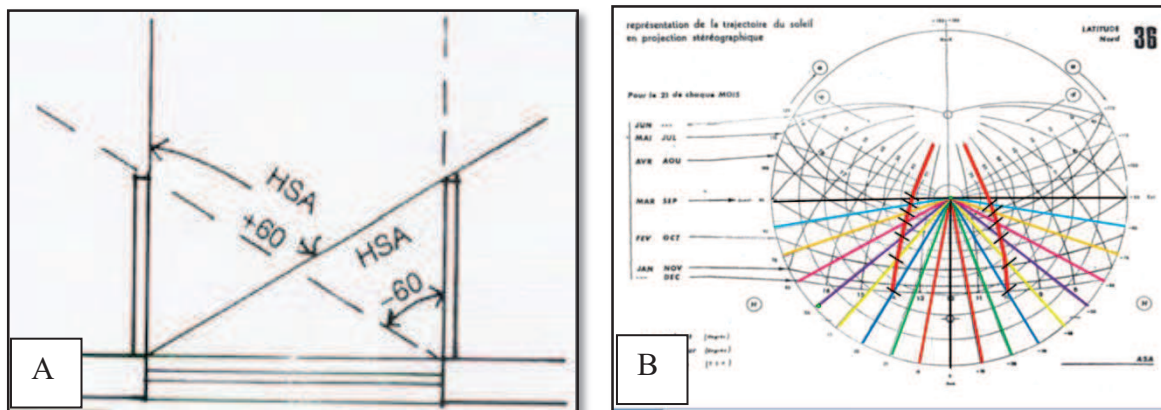


Fig. V. 10 : La détermination de la relation entre les azimuts et la durée d'insolation.
 (A) : l'angle d'ombre horizontal HSA. (B) : les points d'intersection des limites horaires de la durée d'insolation utile avec les azimuts.

(Source : Auteur)

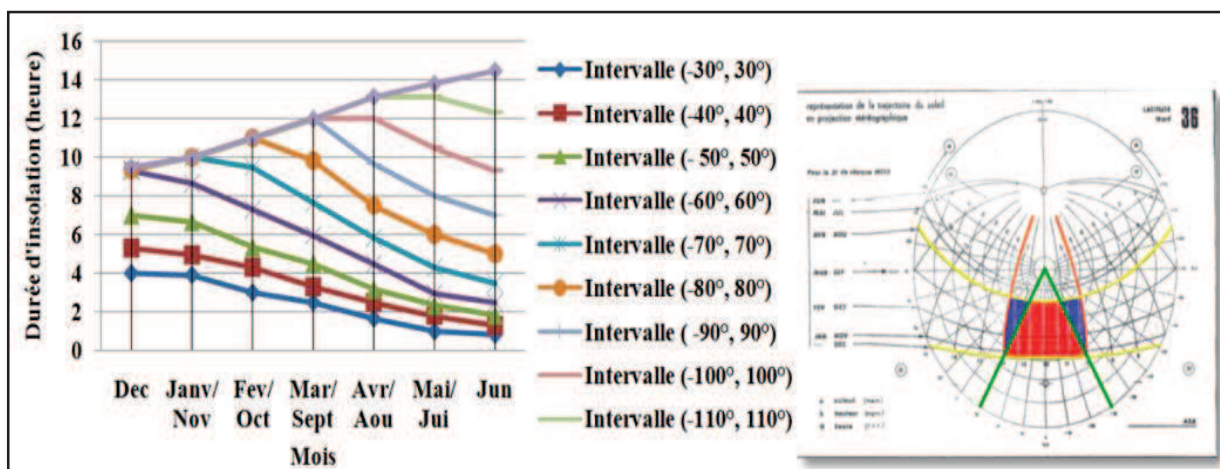


Fig. V. 11 : La durée d'insolation en fonction de l'ouverture du bâti selon Les différents intervalles d'azimuts.

(Source : Auteur)

Pour en finir par l'établissement d'une relation géométrique entre l'ouverture de la partie haute de la maison à patio et les différents intervalles d'azimuts. Dans la figure (Fig. V. 12), on a essayé de concrétiser la relation de « l'ouverture du bâti selon un intervalle d'azimuts » en traçant quelques géométries qui peuvent être attribuées à la partie haute de la maison à patio.

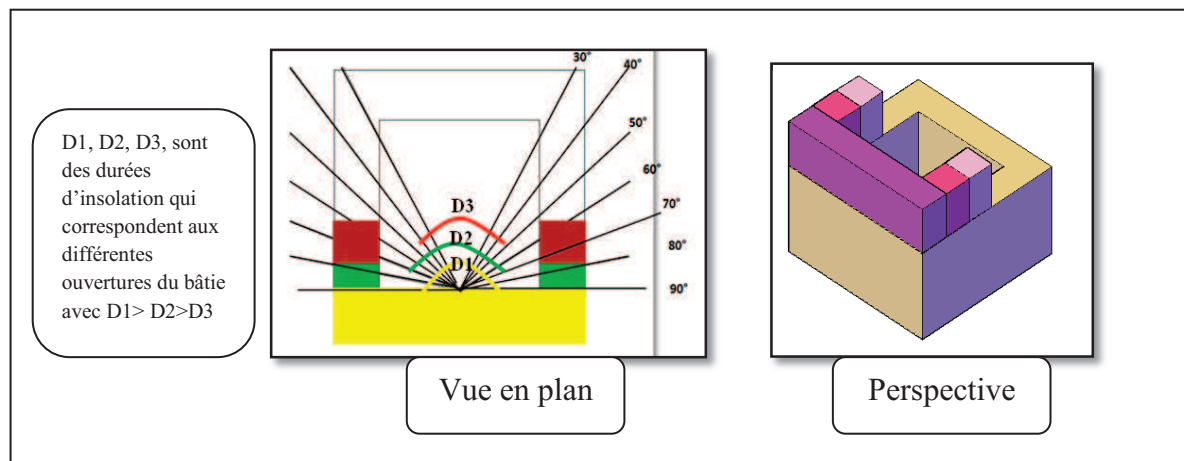


Fig. V. 12 : La durée d'insolation en fonction des intervalles d'azimuts.

(Source : Auteur)

En outre, la durée d'insolation utile pour la ville d'Alger qui est de 4 h, ne peut pas être une valeur constante pour tous les mois de l'année (cf. Fig. V. 11). Elle change en fonction des intervalles d'azimuts de l'ouverture du bâti. Donc chaque intervalle d'azimuts permet le captage solaire pour une durée précise de la journée.

Comme le montre la figure (Fig. V. 11), chaque intervalle d'azimuts offre un nombre précis d'heures d'ensoleillement. Ce nombre augmente avec l'augmentation de l'angle d'azimut. En se rapprochant de l'intervalle d'azimut (-120° , 120°), la durée d'insolation devient importante en juin à cause de l'augmentation de la durée du jour. D'autre part, L'augmentation de la durée d'insolation est acceptable si la période de captage est comprise dans la durée d'insolation hivernale utile de 10 h à 14 h, car une durée hors de la durée d'insolation hivernale utile, causera des déperditions thermiques au lieu de fournir des gains énergétiques. On doit aussi vérifier l'exposition au soleil pendant la période estivale et trouver l'intervalle d'azimuts qui offre une petite durée d'insolation en été. Une lecture de la figure (Fig. V. 11) nous a permis d'obtenir les données du tableau (Tab. V. 3).

Tab. V. 3 : Les intervalles horaires d'insolation qui correspondent aux différents intervalles d'azimuts.

(Source : Auteur)

| Intervalle d'azimuts (°) | Intervalle horaire de l'insolation |
|---------------------------------|---|
| [-10, 10] | 11h 25 - 12h 35 |
| [-20, 20] | 10h 40 - 13h 20 |
| [-30, 30] | 10h - 14h |
| [-40, 40] | 9h 20 - 14h 40 |
| [-50, 50] | 8h 25 - 15h 35 |
| [-60, 60] | 7h 20 - 16h 40 |
| [-70, 70] | 6h 45 - 17h 15 |
| [-80, 80] | 6h 20 - 17h 40 |
| [-90, 90] | 6h - 18h |
| [-100, 100] | 5h 40 - 18h 20 |
| [-110, 110] | 5h 15 - 18h 45 |
| [-120, 120] | 4h 45 - 19h 15 |

D'après le tableau (Tab. V. 3) on remarque que, la durée d'insolation qu'offre l'intervalle d'azimut $[-30^\circ, 30^\circ]$ coïncide avec la durée d'insolation utile et selon la figure (Fig. V. 11) la durée d'exposition au soleil en été pour ce même intervalle d'azimuts, est estimée à une heure (1h), donc une ouverture du bâti selon cet intervalle d'azimuts, offre une bonne exposition solaire tout au long de l'année.

Remarques :

- On a ignoré les intervalles d'azimuts de $[-10^\circ, 10^\circ]$ et $[-20^\circ, 20^\circ]$, car la durée d'insolation que permet une ouverture selon ces intervalles est inférieure à 4 h pendant la journée du 21 décembre. De plus, le rayonnement solaire n'est utile que pour une hauteur solaire supérieure à $>10^\circ$.

- L'intervalle d'azimuts $[- 40^\circ, 40^\circ]$ peut aussi offrir une bonne stratégie solaire passive, mais, on a choisi celui de $[- 30^\circ, 30^\circ]$ car il coïncide avec les limites de la durée d'insolation utile de la ville d'Alger pendant l'hiver. Dans le cas d'une autre ville on doit déterminer sa durée d'insolation utile puis, l'intervalle d'azimuts caractérisé par la durée d'insolation la plus proche de la durée d'insolation utile de la ville étudiée.
- De ce fait, le calcul de la hauteur du patio par rapport à sa largeur doit être fait selon l'axe d'azimut 30° (cf. Fig. V. 13. A) en fonction de l'angle « v », qui permet le captage solaire pendant la durée d'insolation utile pendant le 21 ème jour de chaque mois de la période froide. La largeur du patio selon l'azimut 30° qui est choisie en fonction des dimensions de la parcelle ou du terrain, représente le facteur qui dicte la largeur du patio selon l'azimut 0° (L) et sa longueur (l) (cf. Fig. V. 13. .B). Donc contrairement à la formule de calcul de la distance bioclimatique, qui donne la hauteur du bâti et la largeur de l'espace intercalaire en fonction seulement de **la hauteur solaire**, la méthode qu'on propose permet de déterminer la hauteur et la largeur du patio en fonction de **la hauteur solaire** et de **l'azimut solaire**.

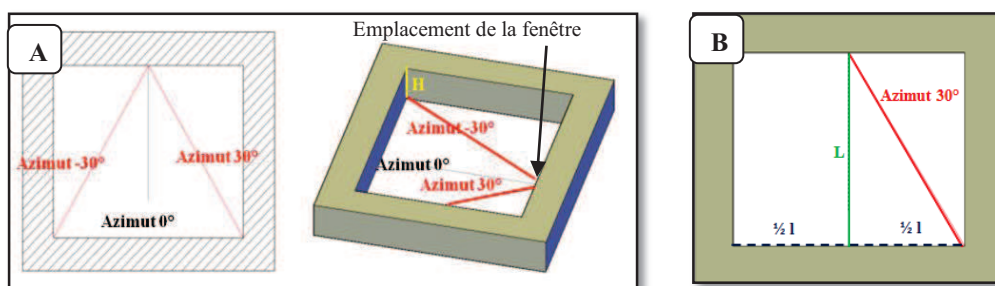


Fig. V. 13. La relation entre l'axe d'azimut 30° et les dimensions du patio : (A) vue en perspective, (B) vue en plan (Source : Auteur)

V.3.1.2.2 L'effet de l'orientation sur la géométrie de la partie haute :

L'étude de (Muhaisen, 2006) (cf. Chap. III, section.2.2.1) a montré l'influence de l'orientation sur le rendement de la forme architecturale à patio, en matière de captage et de protection solaires. Dans notre étude, nous allons examiner l'effet de l'orientation sur la configuration de la maison à patio et sur son potentiel solaire. Pour une première étape, nous avons pris un cercle et l'avons divisé en

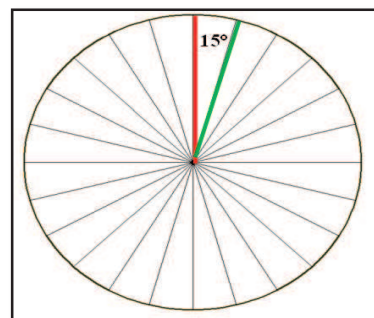


Fig. V. 14 : L'unité de partage du cercle pour définir les différentes orientations à étudier.

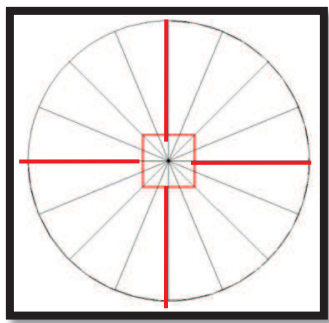
(Source : Auteur)

portions en traçant un segment chaque les 15 ° (cf. Fig. V. 14).

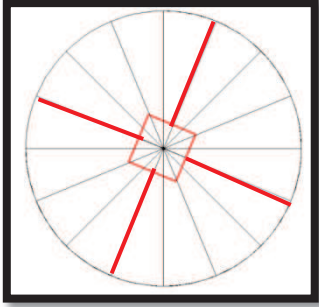
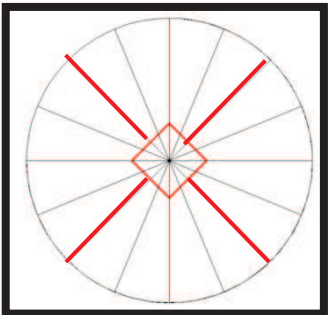
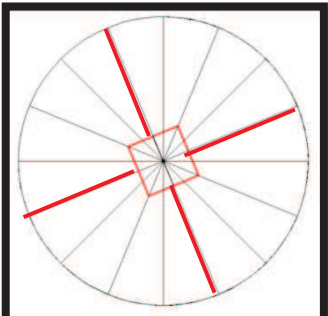
L'étude des orientations d'une maison à patio est un peu spécifique, parce qu'une forme à patio offre quatre orientations à la fois et c'est à nous de choisir où doit-on positionner la partie chaude de l'hiver. Chaque position regroupe quatre orientations (cf. Tab. V. 4) dont, une est la meilleure. Donc, on a classé les différentes orientations, en fonction de leur rendement en matière de captage solaire passif. La détermination des différentes orientations est par rapport à (0° Nord).

Tab. V. 4 : Le classement des différentes orientations en fonction de leur potentiel solaire.

(Source : Auteur)

| Positon | Les orientations | La quantité moyenne des irradiations solaires à l'orientation choisie (kWh/m ²) | | | Classement selon la bonne orientation |
|--|------------------|---|----------------|----------------|---------------------------------------|
| | | Annuelle | période froide | période chaude | |
| <p align="center">N° :01</p>  | 180° | 1.54 | 2.06 | 1.43 | 1 |
| | 0° | 0.03 | 0.00 | 0.06 | 4 |
| | 90° | 1.13 | 0.76 | 1.59 | 2 |
| | -90° | 0.76 | 0.44 | 1.09 | 3 |
| <p align="center">N° :02</p> | 22.50° | 0.17 | 0.00 | 0.32 | 4 |
| | 112.50° | 1.41 | 1.25 | 1.78 | 2 |
| | -157.50° | 1.44 | 1.83 | 1.39 | 1 |

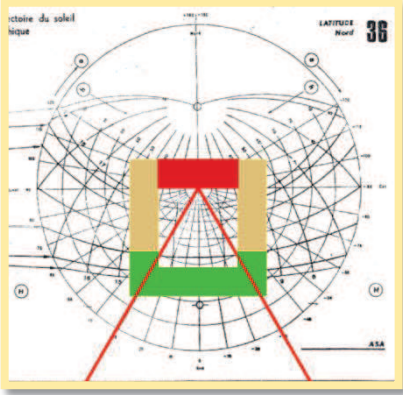
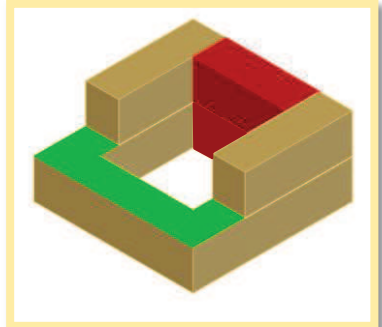
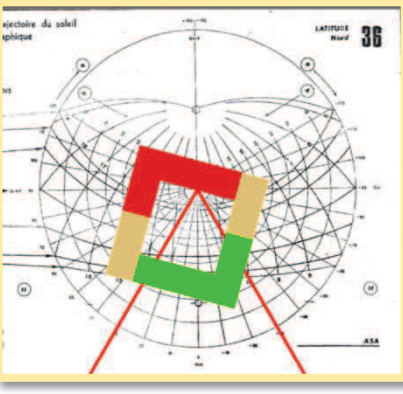
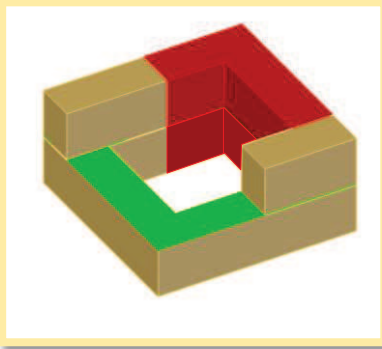
Chapitre V : Établissement de la stratégie de captage et de protection solaires dans la maison à patio et simulation

| | | | | | |
|--|---------|------|------|------|---|
|  | -67.50° | 0.52 | 0.18 | 0.83 | 3 |
| <p align="center">N° :03</p>  | 45° | 0.43 | 0.08 | 0.78 | 4 |
| | 135° | 1.58 | 1.70 | 1.76 | 1 |
| | -135° | 1.24 | 1.31 | 1.39 | 2 |
| | -45° | 0.25 | 0.02 | 0.45 | 3 |
| <p align="center">N° :04</p>  | 67.50° | 0.79 | 0.35 | 1.24 | 3 |
| | 157.50° | 1.62 | 2.03 | 1.60 | 1 |
| | -112.50 | 1.04 | 0.89 | 1.32 | 2 |
| | -22.50° | 0.10 | 0.00 | 0.18 | 4 |

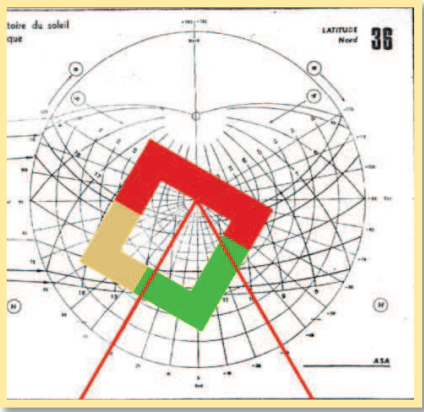
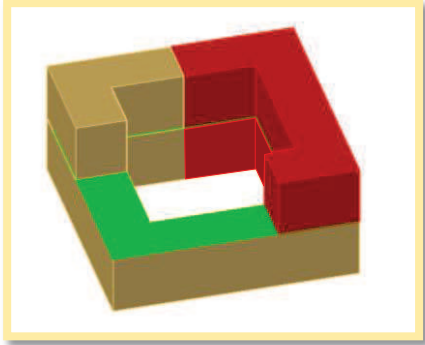
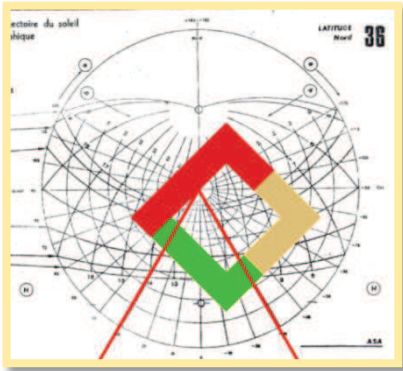
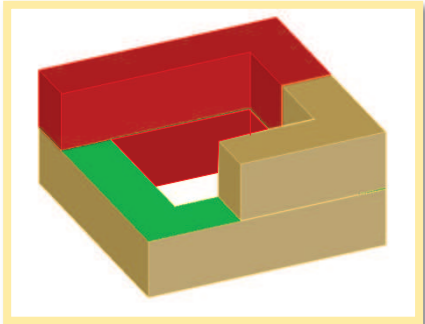
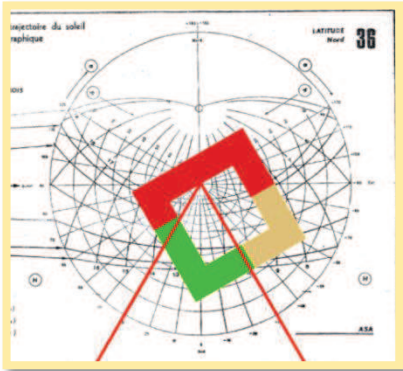
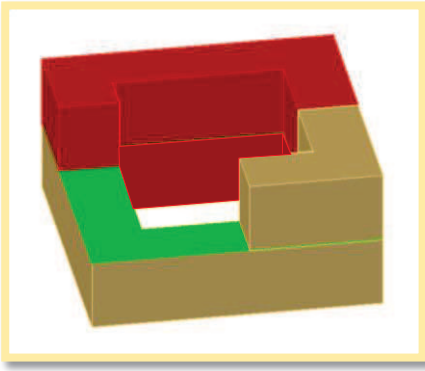
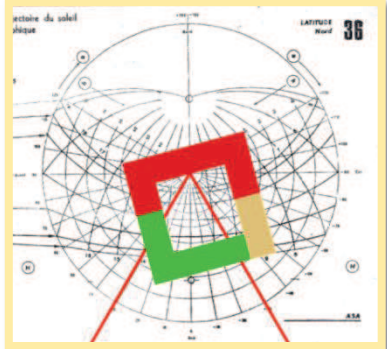
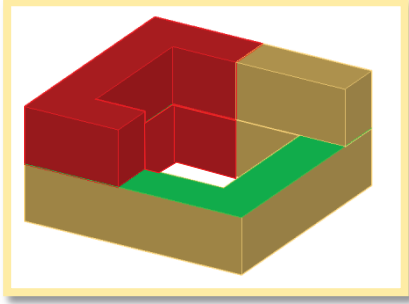
Après avoir comparé le rendement annuel de chaque orientation (cf. Tab. V. 4), on passe à la détermination de la géométrie (répartition de la masse de la partie haute de la maison autour du patio) attribuée à chacune des positions étudiées dans le tableau (Tab. V. 4). Le tableau (Tab. V. 5) illustre la répartition de la masse de la partie haute pour chaque position ainsi que, l'emplacement de la partie chaude et celui de la terrasse.

Tab. V. 5 : La configuration spatiale de la maison à patio en fonction des orientations.

(Source : l'Auteur)

| La position | La répartition des masses | La configuration tridimensionnelle 3D |
|--|---|--|
| <p>Légende :</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: red; margin-right: 5px;"></div> Partie chaude </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 10px; background-color: green; margin-right: 5px;"></div> Terrasse </div> </div> | | |
| <p><u>N°01</u></p> |  <p>A sun path diagram showing the sun's trajectory over a year. A red rectangle is positioned on the upper part of the diagram, and a green rectangle is on the lower part. The diagram includes labels for 'L'ATITUDE Nord 36' and 'ASA'.</p> |  <p>A 3D perspective view of a house configuration. The house has a red 'Partie chaude' (warm part) on the upper side and a green 'Terrasse' (terrace) on the lower side, both within a larger tan-colored structure.</p> |
| <p><u>N°02</u></p> |  <p>A sun path diagram similar to N°01, but with the red and green rectangles rotated and repositioned to represent a different orientation strategy.</p> |  <p>A 3D perspective view of a house configuration, similar to N°01 but with the red and green parts rotated to match the orientation shown in the sun path diagram.</p> |
| | | |

Chapitre V : Établissement de la stratégie de captage et de protection solaires dans la maison à patio et simulation

| | | |
|-------------|---|---|
| <p>N°03</p> |  <p>Diagramme de trajectoire solaire (titre : trajectoire du soleil) pour une latitude Nord de 36°. Le diagramme illustre la trajectoire du soleil à différentes heures de la journée. Une forme en U est tracée sur le diagramme, avec des sections colorées : rouge pour les parties orientées vers le sud-est et sud-ouest, et verte pour la partie orientée vers le sud. Des lignes rouges indiquent des angles ou des directions spécifiques.</p> |  <p>Modèle 3D d'une maison à patio correspondant au diagramme N°03. La maison est représentée par des blocs rectangulaires. Les murs extérieurs sont de couleur beige, les murs intérieurs sont de couleur rouge, et le patio est de couleur verte.</p> |
| <p>N°04</p> |  <p>Diagramme de trajectoire solaire (titre : trajectoire du soleil) pour une latitude Nord de 36°. Le diagramme illustre la trajectoire du soleil à différentes heures de la journée. Une forme en U est tracée sur le diagramme, avec des sections colorées : rouge pour les parties orientées vers le sud-est et sud-ouest, et verte pour la partie orientée vers le sud. Des lignes rouges indiquent des angles ou des directions spécifiques.</p> |  <p>Modèle 3D d'une maison à patio correspondant au diagramme N°04. La maison est représentée par des blocs rectangulaires. Les murs extérieurs sont de couleur beige, les murs intérieurs sont de couleur rouge, et le patio est de couleur verte.</p> |
| <p>N°05</p> |  <p>Diagramme de trajectoire solaire (titre : trajectoire du soleil) pour une latitude Nord de 36°. Le diagramme illustre la trajectoire du soleil à différentes heures de la journée. Une forme en U est tracée sur le diagramme, avec des sections colorées : rouge pour les parties orientées vers le sud-est et sud-ouest, et verte pour la partie orientée vers le sud. Des lignes rouges indiquent des angles ou des directions spécifiques.</p> |  <p>Modèle 3D d'une maison à patio correspondant au diagramme N°05. La maison est représentée par des blocs rectangulaires. Les murs extérieurs sont de couleur beige, les murs intérieurs sont de couleur rouge, et le patio est de couleur verte.</p> |
| <p>N°06</p> |  <p>Diagramme de trajectoire solaire (titre : trajectoire du soleil) pour une latitude Nord de 36°. Le diagramme illustre la trajectoire du soleil à différentes heures de la journée. Une forme en U est tracée sur le diagramme, avec des sections colorées : rouge pour les parties orientées vers le sud-est et sud-ouest, et verte pour la partie orientée vers le sud. Des lignes rouges indiquent des angles ou des directions spécifiques.</p> |  <p>Modèle 3D d'une maison à patio correspondant au diagramme N°06. La maison est représentée par des blocs rectangulaires. Les murs extérieurs sont de couleur beige, les murs intérieurs sont de couleur rouge, et le patio est de couleur verte.</p> |

V.3.1.2.3 Proposition de la méthode inverse pour la répartition de la masse de la partie haute du patio :

Deux questions nous ont interpellés concernant la relation qui existe entre le captage solaire passif et la géométrie de la partie haute, la première était :

- Quelle est la géométrie qui correspond à une durée d'insolation de 4h ?

La réponse de cette question peut être obtenue en suivant la méthode établie ci-dessus. Tandis que la deuxième question était :

- Quelle est la période annuelle d'ensoleillement que nous offre une géométrie donnée ?

Dans le but de donner une réponse à la deuxième question, on a proposé la méthode inverse, qui permet de vérifier la durée d'insolation de la fenêtre la mieux orientée au soleil du rez-de-chaussée qu'offre une géométrie souhaitée pendant les différents mois. La conception de la forme géométrique de la partie haute suit le même principe de dimensionnement des flancs qui protègent la fenêtre des surchauffes (cf. Fig. V. 15, A). Les deux parties saillantes génèrent de l'ombre et protègent du soleil. Tandis que, la partie qui les relie s'ouvre sur le soleil et offre une bonne exposition solaire en hiver, cette partie doit être orientée de telle manière qu'elle fasse face au sud (cf. Fig. V. 15, B).

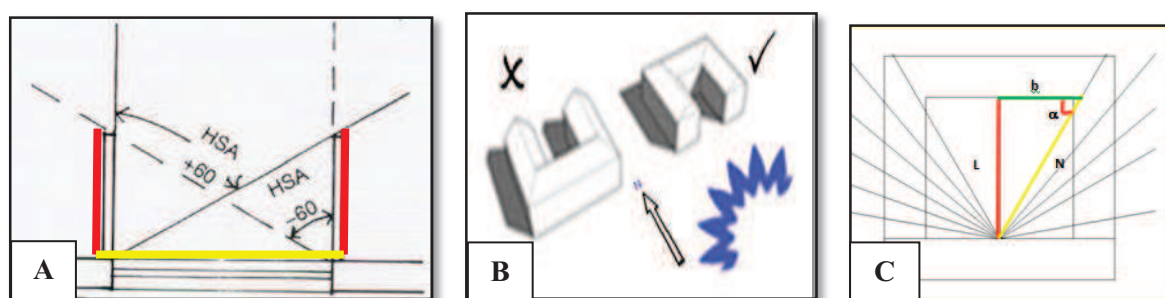


Fig. V. 15: (A) : Le calcul de la largeur des avancées verticales (Source : S. ZOKOLAY. STEVEN V., 1996). (B) : la bonne orientation de la forme en U par rapport au soleil (Source : Kanters, 2012). (C) : la distance « b » en fonction de l'azimut- vue en plan- (Source : Auteur)

En appliquant le théorème de Pythagore et à partir du schéma illustré dans la figure (Fig.V. 15 / C) nous obtenons :

$$L^2 + b^2 = N^2 \dots (1) \quad \text{et aussi : } \text{Tg } \alpha = L/N$$

donc : $N = L / \operatorname{tg} \alpha \dots (2)$

On remplace 2 dans 1 pour obtenir :

$$L^2 + b^2 = (L / \operatorname{tg} \alpha)^2$$

$$b^2 = (L / \operatorname{tg} \alpha)^2 - L^2$$

$$b^2 = L^2 / \operatorname{tg}^2 \alpha - L^2 = L^2 (\operatorname{tg}^2(\alpha) - 1) \quad \boxed{b^2 = L^2 (\operatorname{tg}(\alpha) - 1)} \quad \text{avec: } \alpha = 90 - \text{azimut}$$

La détermination de la valeur de la distance (b) nous permet de trouver l'azimut d'ouverture de bâti puis, la durée d'exposition solaire **maximale (dans le cas d'absence de masques solaires)** de la fenêtre du rez-de-chaussée la mieux orientée au soleil d'une maison à patio (à partir de l'abaque de la latitude étudiée). En effet, la partie haute de la maison à patio peut avoir plusieurs configurations spatiales (cf. Fig. V. 16).

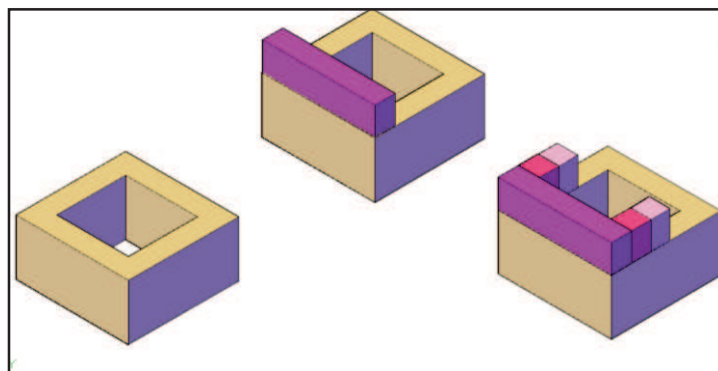


Fig. V. 16: Quelques géométries possibles pour la partie haute.

(Source : Auteur)

V.3.1.2.4 Détermination de la hauteur de la partie haute pour une bonne protection

solaire :

D'après Knowles (2003), l'enveloppe de l'hiver est la référence principale pour la détermination de la masse d'un bâtiment et de l'espace interstitiel (cf. Annexe F. 1). Cependant, l'objectif de la présente étude est de repenser la géométrie de la maison à patio vis-à-vis du captage solaire hivernal et de la protection solaire estivale. Donc la partie haute de la maison doit concilier deux rôles : le premier est d'éviter le captage solaire passif en hiver hors de la durée d'insolation utile et le deuxième est de protéger la fenêtre des surchauffes estivales. De ce fait, la hauteur de la partie haute doit protéger la fenêtre du rez-

de-chaussée pour la hauteur solaire maximale en été (77°)(le cas le plus défavorable) pour la latitude 36° Nord, qui correspond au 21 juin.

Le rapport (L /H) qui correspond au mois de juin est de (4.33) mais, on constate que la valeur de ce rapport est importante. Donc nous allons calculer cette valeur pour la hauteur solaire de chaque intervalle d'azimuts pour le 21 juin (cf. Tab. V. 6), pour donner le choix aux concepteurs dans la détermination de la hauteur qui convient à la nature du bâtiment à cour.

Tab. V. 6: le rapport de la hauteur de la partie haute à la largeur du patio.
(Source : l'Auteur)

| Intervalle d'azimuts | La hauteur solaire en juin | Le rapport |
|----------------------|----------------------------|------------|
| -30°, 30° | 76° | 4 |
| -40°, 40° | 75° | 3.73 |
| -50°,50° | 72° | 3.10 |
| -60°, 60° | 68° | 2.5 |
| -70°, 70° | 65° | 2.15 |
| -80°, 80° | 56° | 1.5 |
| -90°, 90° | 45° | 1 |
| -100°, 100° | 28° | 0.5 |

V.4 Application sur le cas d'étude et Conception du nouveau modèle de la maison à patio :

Nous allons concevoir et dimensionner une maison à patio virtuelle sur la même parcelle du cas d'étude selon la méthode établie et décrite ci-dessus. On compare par la suite, le rendement de ce modèle ou bien de son potentiel solaire le long de l'année avec celui de la maison à patio de la Casbah d'Alger, en matière de : l'exposition solaire, le pourcentage d'ombre et la quantité d'énergie interceptée par les façades (partie opaque et partie vitrée) du rez-de-chaussée de la partie la mieux orientée au soleil (la partie chaude dans le nouveau modèle).

La parcelle de l'échantillon d'étude est orientée selon l'axe (Ouest, Nord-ouest/ Est, Sud-est) (cf. Fig. V.17. A). D'après l'étude de l'ensoleillement de la ville d'Alger (cf. Chap. IV section.1.2.4) il s'est avéré que, l'intervalle des meilleures orientations par rapport au soleil est celui de [150° Nord, 210° Nord] ; dont l'orientation 182.5° par rapport au nord, est

l'optimale. Ces informations nous ont permis de choisir l'axe qui détermine l'organisation des différentes parties de la maison : la partie chaude qui fait face au soleil et la partie froide qui tourne le dos au soleil (cf. Fig. V.17. B).

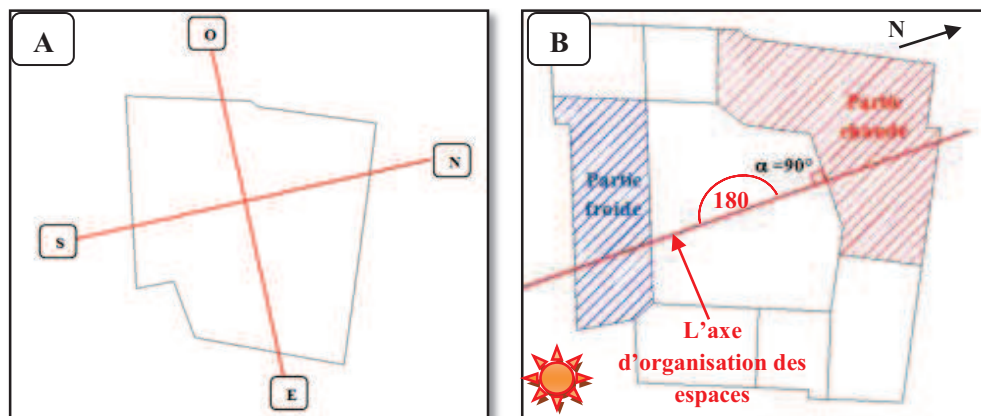


Fig. V.17 : Orientation de la parcelle du cas d'étude et zonage de la partie chaude.
(Source : L'Auteur).

Le nomadisme dans la maison de la Casbah d'Alger se fait dans le sens vertical (**nomadisme vertical**) (cf. Chap. IV, section.3.2.3.5). Tandis que, dans le nouveau modèle le déplacement se fait au même niveau dans le sens horizontal (**nomadisme horizontal**) (cf. Fig. V. 18).

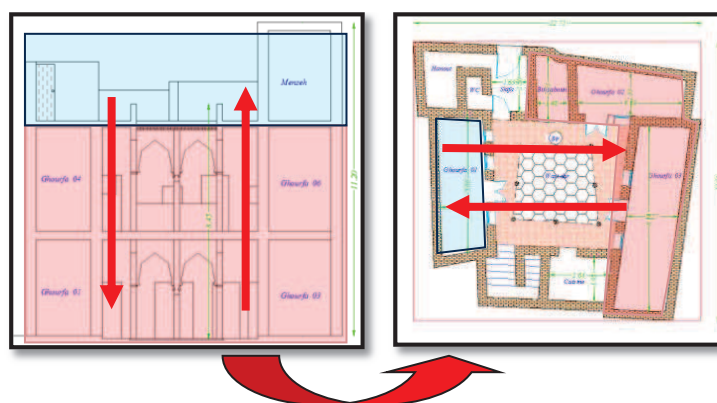


Fig. V. 18 : Le changement du sens du nomadisme dans la maison à patio
(Source : Auteur)

V.4.1 Conception et dimensionnement de la partie basse

Il est utile qu'une bonne stratégie de captage solaire passif couvre toute la période froide de l'année, qui s'étale du mois de novembre jusqu'au mois d'avril. Mais d'après l'abaque de la latitude 36° nord (cf. Fig. V. 19) on constate que, le mois d'avril est caractérisé par la même course solaire que le mois d'août. Cela veut dire que : laisser pénétrer le soleil pendant le mois d'avril est le même que laisser pénétrer pendant le mois d'août. Ce qui entraîne une exposition aux surchauffes pendant 2 heures durant le mois d'août qui est le mois le plus chaud de l'année (cf. Chap IV. section, 1.2.1) .Pour éviter de causer plus de surchauffes en été on a rétréci la période du captage solaire passif pour qu'elle couvre la période qui s'étend seulement du mois d'octobre jusqu'au mois de mars.

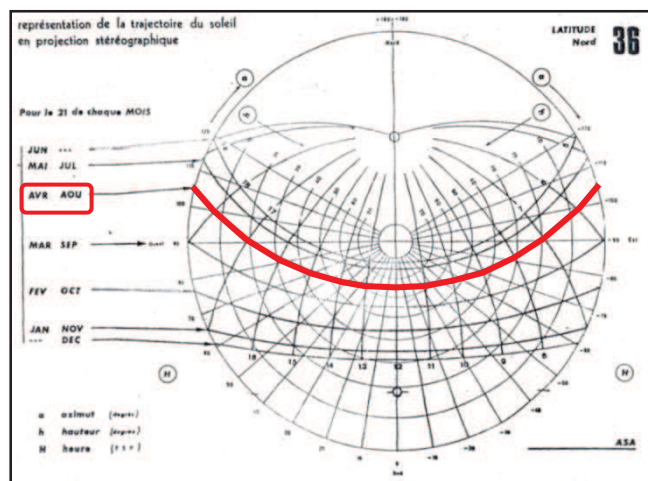


Fig. V. 19 : La course du soleil des mois : d'août et d'avril (latitude de 36° Nord).
(Source : L'Auteur)

Donc la hauteur de la partie basse du nouveau modèle de la maison à patio sera déterminée en fonction de l'angle solaire minimal des limites de la durée d'insolation utile de la période qui s'étend du 21 octobre jusqu'au 21 mars, qui est celle du 21 décembre au quelle correspond un rapport (H/L) de 2.15 (cf. Tab. V. 1).

$$L / H = 2.15 \quad \Leftrightarrow \quad L = H * 2.15$$

Avant de calculer la largeur du patio dans l'axe d'azimut 30°, il faut en premier choisir la hauteur du patio. On remarque que, la maison cas d'étude se compose de deux étages ce qui nous a menés à calculer la largeur du patio en admettant que, sa hauteur est égale à deux étages :

$$H=7.5 \Rightarrow L = (3.75 * \mathbf{2}) * 2.1 = \mathbf{15.75m}$$

On remarque que, la hauteur choisie donne une largeur qui déborde des limites de la parcelle, ce résultat nous a obligés de réduire la hauteur de la partie basse à un seul étage.

$$H=3.75 \Rightarrow L = (3.75 * \mathbf{1}) * 2.1 = \mathbf{7.5m}.$$

Cette deuxième valeur obtenue est acceptable par rapport aux dimensions de la parcelle.

À propos du dimensionnement des éléments architecturaux qui influencent l'ensoleillement telles que : la hauteur d'allège, la hauteur de la fenêtre, la largeur de la partie saillante de la galerie, nous allons appliquer les formules établies ci-dessus (cf. chap. V, section 3.1.1.2) Le tableau (Tab. V. 7) donne les dimensions des éléments architecturaux du nouveau modèle de la maison à patio.

Tab. V. 7 : Les dimensions des éléments architecturaux du nouveau modèle de la maison à patio. (Source : Auteur)

| La valeur à calculer | La formule | Dimensions du cas d'étude |
|---|-------------------------------------|----------------------------------|
| La hauteur d'allège | $Hal = Tg(v) * Pr$ | 0.7 m |
| La hauteur de la fenêtre | $Hf = Tg(v) * (Pr + Em) - Hal$ | 1.85 m |
| La largeur de la partie saillante de la galerie | $Lg = [H_{sp} - (Hf + Hal) / Tg v]$ | 0.6 m |

Le choix de la profondeur de la partie chaude était fait, en se référant au cas d'étude, où elle est de 2.3m (cf Chap. IV, section, 3.2.3.2) Concernant l'emplacement de la fenêtre, cette dernière sera positionnée au milieu de la façade la mieux orientée au soleil.

V.4.2 Conception et dimensionnement de la partie haute du nouveau modèle :

La hauteur de la partie haute du nouveau modèle sera déterminée, en fonction de la hauteur maximale du soleil atteinte pendant la saison chaude de l'année de la latitude 36° Nord qui est égale à 77° (pour le 21 juin). Mais on constate que, cette hauteur solaire donne un rapport important (R= 4) donc, nous allons donner la valeur du rapport pour la hauteur solaire de chaque intervalle d'azimuts pour le 21 juin (cf. Tab. V. 8) et choisir le rapport qui donne au nouveau modèle la même hauteur que le cas d'étude.

$$R = H/L \iff H = R * L$$

Tab. V. 8 : Le rapport de la hauteur de la partie haute à la largeur du patio.

(Source : Auteur)

| Intervalle d'azimut | La hauteur solaire | Le rapport | La largeur du patio « L » | La hauteur de la partie haute (H). | Le nombre d'étage de la partie haute |
|----------------------------|---------------------------|-------------------|----------------------------------|---|---|
| -30°, 30° | 76° | 4 | 5.35 | 21.4 | 5 |
| -40°, 40° | 75° | 3.73 | 5.35 | 19.95 | 5 |
| -50°, 50° | 72° | 3.10 | 5.35 | 16.58 | 4 |
| -60°, 60° | 68° | 2.5 | 5.35 | 13.37 | 3 |
| -70°, 70° | 65° | 2.15 | 5.35 | 11.50 | 3 |
| -80°, 80° | 56° | 1.5 | 5.35 | 8.02 | 2 |
| -90°, 90° | 45° | 1 | 5.35 | 5.35 | 1 |
| -100°, 100° | 28° | 0.5 | 5.35 | 2.67 | 0 |

Selon le tableau (Tab. V. 8) on remarque qu'un rapport de 1.5 qui donne une hauteur de 8 m est le plus adapté à notre cas ; car il correspond à une hauteur de 2 étages ce qui est similaire à notre maison à patio de référence. Cela coïncide avec les résultats de l'étude menée par Muheisen (2006), qui admet qu'une hauteur de cour de trois étages s'adapte efficacement à Rome ainsi qu'une cour de deux étages est optimale pour de bonnes performances thermiques en été et en hiver. On remarque que, le climat de Rome est méditerranéen comme celui d'Alger, donc les résultats peuvent être projetés sur la ville d'Alger.

Dans le cas d'une parcelle plus large, la hauteur du patio augmente de telle manière qu'elle garde toujours un rapport de 2.15 avec sa largeur. Concernant la répartition de la masse bâtie de la partie haute, elle sera ouverte selon l'intervalle d'azimuts [-30°, 30°] (cf. Fig. V. 20).



Fig. V. 20 : La répartition de la masse de la partie haute selon une ouverture d'azimut de $(-30^\circ, 30^\circ)$ (Source : Auteur)

V.5 Étude comparative entre les deux modèles de la maison à patio :

Nous allons comparer la géométrie et la répartition des masses ainsi que, la quantité des apports solaires directs et indirects, que permettent de capter les façades intérieures les mieux orientées au soleil des deux modèles étudiés.

V.5.1 Comparaison des géométries des deux modèles étudiés de la maison à patio :

D'après la figure (Fig. V. 21) on constate que, la partie nord du deuxième étage est la masse principale qui constitue le masque solaire pour la fenêtre du rez-de-chaussée de la partie sud-ouest dans la maison cas d'étude. En effet, les dimensions planimétriques du patio et la hauteur d'allège dans le nouveau modèle sont plus importantes que celles qui caractérisent la maison à patio de la Casbah d'Alger. Tandis que, la largeur de la partie saillante de la galerie a diminué.

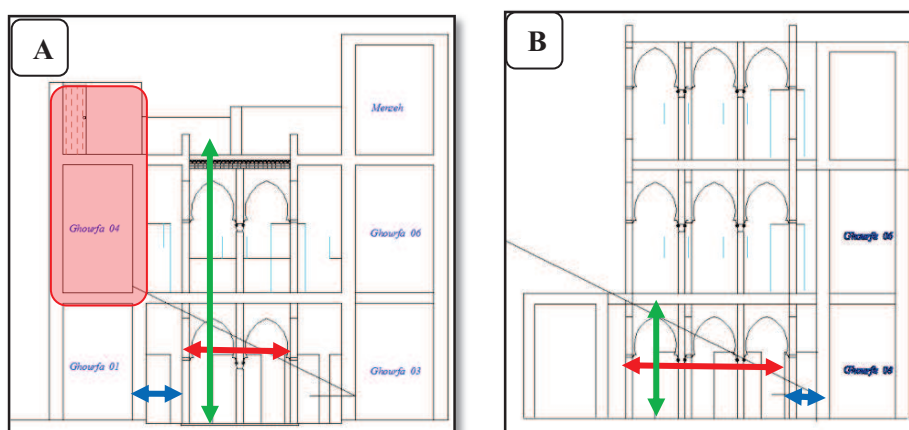


Fig. V. 21 : La différence entre les deux géométries étudiées de la maison à patio. A : la maison de la Casbah d'Alger, B : le nouveau modèle (Source : l'Auteur)

Nous allons aussi comparer les rapports qui caractérisent la forme architecturale introvertie en matière du potentiel solaire (cf. Chap. III, section 2.2.2) qui sont : le rapport d'aspect, l'indice d'ombrage et le rapport de l'emprise au sol de la cour à la surface totale de la parcelle, des deux modèles étudiés (cf. Tab. V. 9).

Tab. V. 9 : La valeur des rapports de dimensions des deux modèles étudiés
(Source : Auteur)

| Le rapport | La formule | La maison à patio de la Casbah d'Alger | Le Nouveau modèle de la maison à patio |
|---|--|---|---|
| Le rapport d'aspect | La surface du sol de la cour / (La moyenne de la hauteur des murs tout autour) ² | $11.45 / (9.15)^2 =$ <u>0.137</u> | $21.50 / (5.60)^2 =$ <u>0.68</u> |
| L'indice d'ombrage | La hauteur du mur sud / La largeur nord-sud de l'étage | $3.75 / 3.5 =$ <u>2.40</u> | $3.75 / 4.60 =$ <u>0.80</u> |
| l'emprise au sol à la surface de la cour | / | 9% | 17% |

Les résultats du tableau (Tab. V. 9) montrent que, le rapport d'aspect du nouveau modèle est supérieur à celui de la maison à patio de la Casbah d'Alger. Tandis que, l'indice d'ombrage du nouveau modèle est inférieur à celui de la maison à patio de la Casbah d'Alger. Cela indique que, l'exposition solaire de la cour et de ses façades intérieures est optimisée dans le nouveau modèle. Le rapport de l'emprise au sol à la surface de la cour du nouveau modèle est plus important que celui de la maison à patio de la Casbah d'Alger, ce qui améliore la proportion du bâti par rapport au non bâti pour une bonne exposition solaire des espaces situés au rez-de-chaussée.

V.5.2 Simulation et comparaison des résultats obtenus :

V.5.2.1 Choix du logiciel de simulation « Ecotect »

Le logiciel d'analyse de conception de haute qualité environnementale (HQE) Autodesk® Ecotect™ Analysis 2010, est un outil complet de conception depuis la phase d'avant-projet jusqu'à celle du détail⁴. Il permet d'analyser la conception d'un bâtiment ou de tester une nouvelle conception, en vue d'améliorer ses performances thermiques. En effet, Autodesk® Ecotect™ est le premier programme d'analyse de la construction utilisé dans l'industrie⁵.

V.5.2.2 Performances et fonctionnalités du logiciel :

Ecotect offre un grand nombre de fonctionnalités de simulation et d'analyse d'énergie dont on cite :

- **L'analyse énergétique du bâtiment** : il calcule la consommation d'énergie et les émissions de carbone du modèle architectural sur une base annuelle, mensuelle, quotidienne et horaire, en utilisant une base de données d'informations météorologiques.
- **La performance thermique** : il calcule les besoins en chauffage et en climatisation des modèles. Il effectue aussi l'analyse des effets de l'occupation, des gains internes, de l'infiltration et des équipements.
- **La consommation d'eau et l'évaluation des coûts** : il estime la consommation d'eau à l'intérieur et à l'extérieur du bâtiment.
- **Le rayonnement solaire** : il visualise le rayonnement solaire sur les fenêtres et les autres surfaces, à n'importe quelle période de l'année.
- **L'éclairage naturel** : il calcule les facteurs d'éclairage naturels et les niveaux d'éclairement à n'importe quel point du modèle.
- **L'ombre et la réflexion** : il affiche la position et le parcours du soleil, en fonction des dates, de l'heure et de l'emplacement choisi.⁶

Grace à toutes ses performances, « Ecotect » est considéré comme l'un des rares outils de simulation, dont l'analyse des comportements thermiques est simple, assez précise et surtout,

⁴ **En ligne** [<file:///G:/ecotect/Autodesk%20-%20Autodesk%20Ecotect%20Analysis.htm>].

⁵ Le fichier help du logiciel Autodesk Ecotect 2010.

⁶ **En ligne** [<file:///G:/ecotect/Autodesk%20-%20Autodesk%20Ecotect%20Analysis.htm>].

visuellement sensible [Sadafi et al, 2010], il est aussi le logiciel le plus approprié à la nature de notre étude et à ses objectifs.

V.5.2.3 Fonctionnement du logiciel :

Comme tout logiciel de simulation, Ecotect exige des entrées pour qu'il génère les sorties qui sont les résultats de simulation. Chaque type de sortie demande un nombre de données à introduire dans le logiciel pour qu'il fasse les calculs. Les calculs de la durée d'insolation, d'ombrage et de la quantité des apports solaires nécessitent l'introduction du modèle tridimensionnel du bâtiment, des matériaux de composition de ses parois, de ses coordonnées géographiques (altitude), ainsi que, le fichier météo de l'emplacement du bâtiment étudié.

V.5.2.4 Les entrées

Nous allons introduire les données nécessaires pour effectuer les analyses du rayonnement solaire et de l'ombrage, en commençant par le modèle géométrique des bâtiments étudiés. Le modèle géométrique peut être dessiné dans « Ecotect » dans l'interface de 3D EDITOR ou bien importé depuis un autre logiciel, comme Autocad ou sketch up. Dans notre cas on a utilisé sketch up. Le modèle tridimensionnel doit être importé sous forme de zones qui représentent les volumes intérieurs des différents espaces sans dessiner les épaisseurs des parois (cf. Fig. V. 22).

On a généré les configurations tridimensionnelles de chacun des modèles étudiés dans Sketchup et les a importés par la suite dans Ecotect. La figure (Fig. V. 22) nous montre les différentes zones avec différentes couleurs. On distingue la partie chaude du rez-de-chaussée et celle du premier étage ainsi que, la partie froide dans le nouveau modèle et les différentes chambres dans la maison cas d'étude. On a par la suite, créé les fenêtres et les portes des différentes zones thermiques. Dans « Ecotect » le dessin s'effectue dans le 3D EDITOR, mais la visualisation de la volumétrie du modèle dessiné est plus claire dans l'interface de VISUALISE (cf. Fig. V. 22).

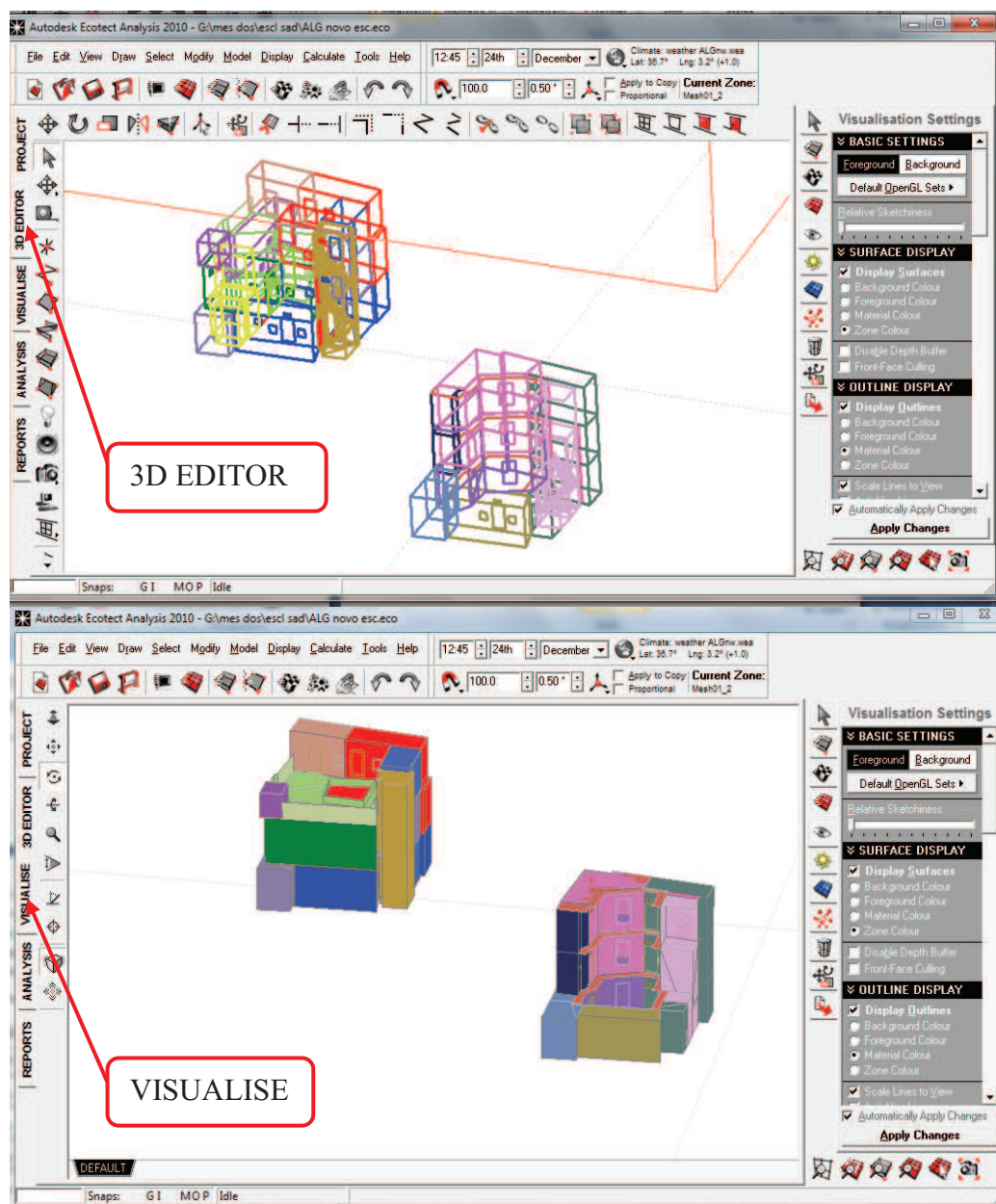


Fig. V. 22 : Les modèles étudiés dans les interfaces (3d editor et visualise).
(Source : Auteur)

V.5.2.4.1 Introduction des données relatives aux matériaux des différentes parois :

La composition de la paroi peut être choisie depuis la bibliothèque du logiciel où on trouve des parois de différentes constitutions ou bien, des matériaux de différentes natures avec les quel on compose les parois. Dans cette étape, on a déterminé les différentes couches et épaisseurs constituantes des différentes parois des deux modèles, en se référant à notre cas d'étude qui est la maison à patio de la Casbah d'Alger (cf. Chap. IV, section, 3.2.3.4). On a choisi les différents matériaux à partir de la bibliothèque du logiciel (cf. Fig. V. 23).

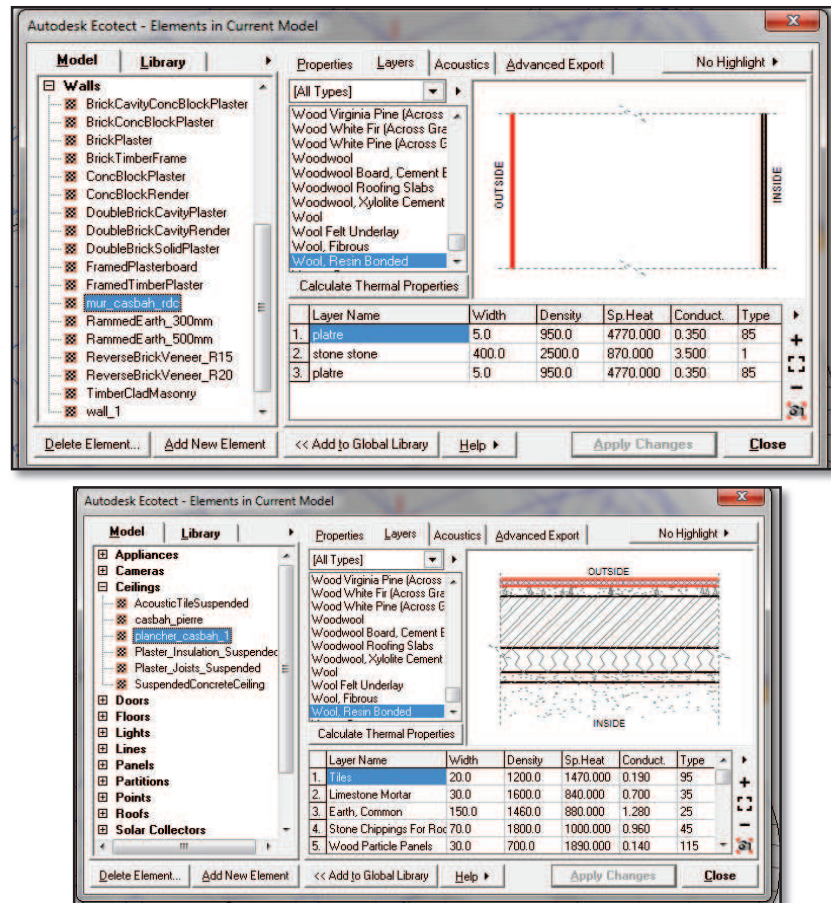


Fig. V. 23 : La bibliothèque des matériaux d'Ecotect.
(Source : Auteur)

V.5.2.4.2 Le fichier des données météorologiques

Cette étape consiste à introduire le fichier des données météorologiques de la ville d'Alger dans le fichier de simulation. Le fichier météo peut être téléchargé depuis le site (<http://apps1.eere.energy.gov>), ou bien généré à l'aide d'autres logiciels comme météo-norme.

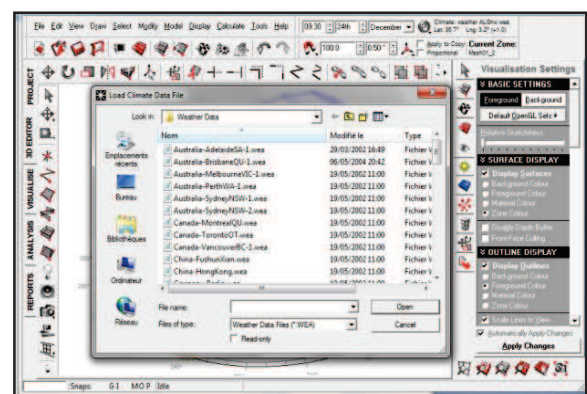


Fig. V. 24 : L'introduction du fichier météo dans le fichier de simulation
(Source : Auteur)

V.5.2.5 Résultats (Les sorties) :

Les sorties de ce logiciel dépendent du besoin de son utilisateur ; elles peuvent être sous format de graphe, d'un fichier Excel, ou bien d'une image. Ainsi que, d'autres formats et même en animation. Au cours des opérations de simulation « Ecotect » peut signaler les erreurs qui influencent la fiabilité des résultats élaborés, ce qui permet aux utilisateurs de perfectionner plus leurs modèles tridimensionnels pour obtenir des résultats plus fiables. Dans notre cas, les sorties sont : la durée d'exposition solaire (insolation) et le pourcentage d'ombre ainsi que, la quantité d'énergie contenue dans les différents types de rayonnements solaires.

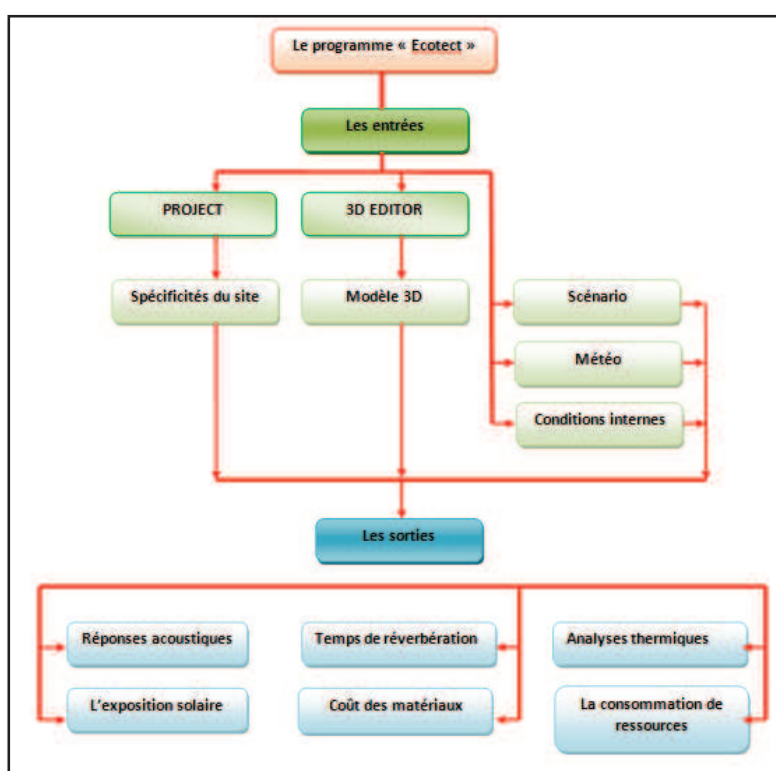


Fig. V. 25 : Schéma de fonctionnement d'Ecotect.

(Source : l'Auteur)

V.5.2.5.1 L'exposition solaire (La durée d'insolation) :

Nous allons étudier la durée d'exposition solaire annuelle des fenêtres du rez-de-chaussée, de la partie la mieux orientée au soleil de chaque modèle de la maison à patio. Cela est dans le but d'examiner le potentiel solaire de la fenêtre de la partie la mieux orientée au soleil du nouveau modèle qui a été dimensionnée en fonction des coordonnées solaires (de l'heure du début de captage du 21 décembre), par rapport à celle de la maison à patio de la

Casbah d'Alger. Les abaques des masques solaires (cf. Fig. V. 26) montrent que, la durée d'insolation des espaces du rez-de-chaussée dans le nouveau modèle (cf. Fig. V. 26. B) est nettement améliorée que dans la maison à patio de la Casbah d'Alger (cf. Fig. V. 26. A), avec une bonne période de captage solaire pendant la saison froide, et un ombrage partiel pendant la saison chaude.

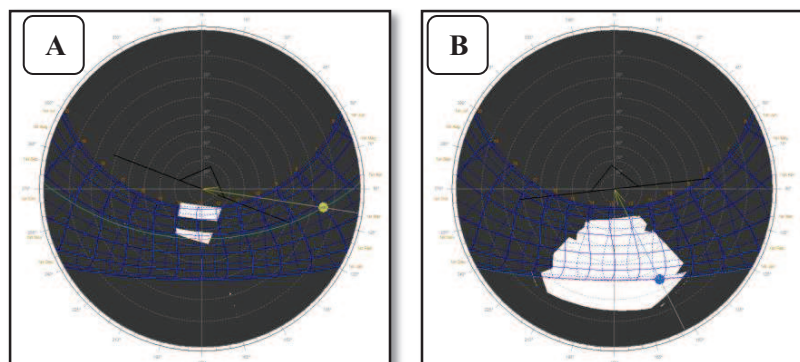


Fig. V. 26 : L'exposition solaire de la fenêtre du rez-de-chaussée de la façade la mieux orientée au soleil des deux modèles. A : le modèle de la Casbah d'Alger, B : le nouveau modèle.

(Source : Auteur)

V.5.2.5.2 Etude de l'ombrage:

Après avoir examiné la durée d'insolation des espaces du rez-de-chaussée de chaque modèle, nous allons étudier le pourcentage d'ombrage pour déterminer les périodes d'ombrage et les périodes d'exposition solaire. D'après la figure (cf. Fig. V. 27) on constate que, le pourcentage d'ombre de la fenêtre de la maison à patio de la Casbah d'Alger est de l'ordre de 100 %, durant les mois de la période froide (décembre, janvier, février, mars, novembre). Tandis qu'il est de 0 %, pour certaines

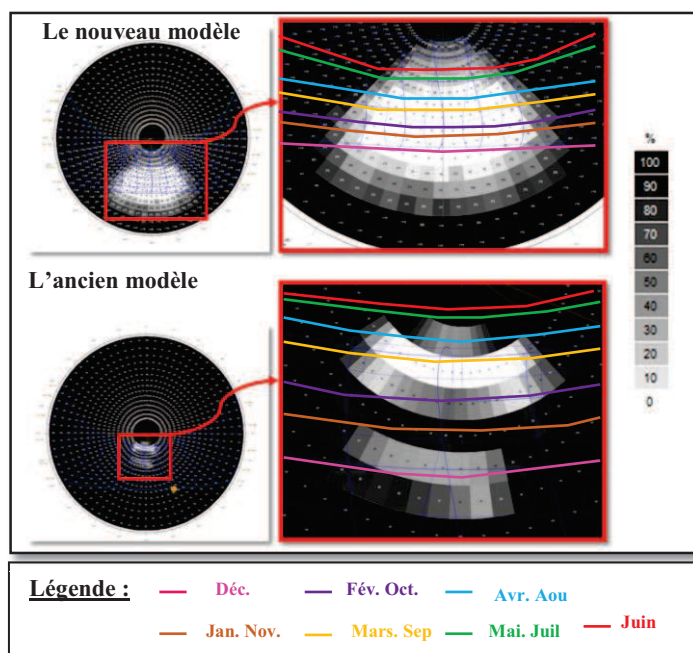


Fig. V. 27 : Le pourcentage annuel d'ombre des fenêtres du rez-de-chaussée des modèles étudiés

(Source : Auteur)

périodes des mois de : juin et juillet. Pour le mois d'août le pourcentage d'ombre varie entre 12 % et 58 %. Concernant la fenêtre du nouveau modèle, le pourcentage d'ombrage est nul pendant les mois de : décembre, janvier et novembre pendant la durée d'insolation utile. Cela explique qu'elle est bien exposée au soleil pendant cette période. Pendant le mois de juin le pourcentage d'ombrage est supérieur à 56%.

- **Analyse visuelle de l'ombre**

Le 21 décembre : Nous allons présenter dans le tableau (Tab. V. 10) les gammes d'ombre qui sont les projections d'ombre durant la durée d'insolation utile qui s'étend de 10 h jusqu'à 14 h pendant la journée du 21 décembre qui est la journée-type de la période froide.

Tab. V. 10 : Les gammes d'ombre (le 21 décembre).
(Source : Auteur)

| Le 21 décembre | | | |
|---------------------------|---------------------------|---|--------------------------|
| | Entre 10h- 14h | | |
| | | L'ancien modèle (Casbah d'Alger) | Le nouveau modèle |
| Les gammes d'ombre | Vue en perspective | | |
| | Vue en plan | | |

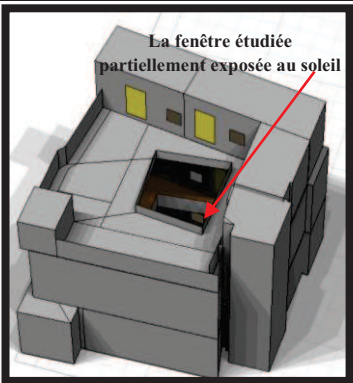
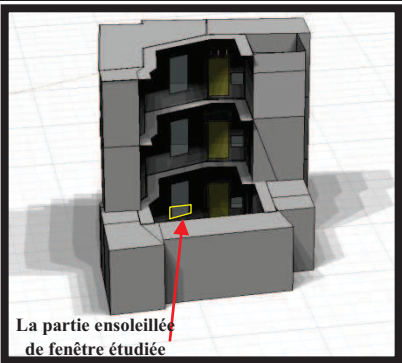
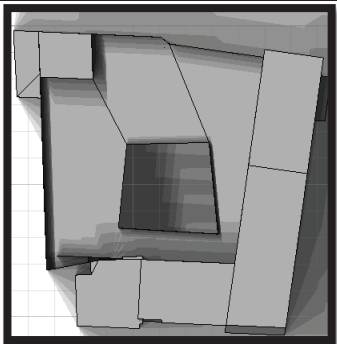
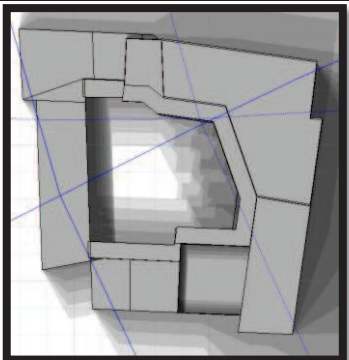
D'après le tableau (Tab. V. 10) on constate que, la fenêtre du rez-de-chaussée de la maison à patio de la Casbah d'Alger se trouve totalement dans l'ombre, pendant la durée

d'insolation utile du 21 décembre, car les dimensions du patio ne permettent pas aux rayons solaires d'atteindre les espaces du rez-de-chaussée. Tandis que, la fenêtre du rez-de-chaussée du nouveau modèle de la maison à patio est bien exposée au soleil durant la durée d'insolation utile du 21 décembre car les nouvelles dimensions du patio permettent la pénétration des rayons solaires jusqu'aux espaces du rez-de-chaussée.

Le 21 juin :

Tab. V. 11 : Les gammes d'ombre (21 juin).

(Source : Auteur)

| Le 21 juin | | | |
|--------------------|--------------------|---|---|
| Entre 10h- 14h | | | |
| | | L'ancien modèle | Le nouveau modèle |
| Les gammes d'ombre | Vue en perspective |  |  |
| | Vue en plan |  |  |

Le tableau (Tab. V. 11) montre que, pendant la plus longue journée de l'année qui est le 21 juin, la plus grande surface de la fenêtre du rez-de-chaussée de la maison de la Casbah d'Alger se trouve dans l'ombre. Cependant, la fenêtre du rez-de-chaussée du nouveau modèle est partiellement ensoleillée dans sa partie basse.

Le pourcentage d'ombre pour le 21 décembre de la fenêtre du nouveau modèle est inférieur à celui de la fenêtre de la maison de la Casbah d'Alger (cf. Fig. V. 28), ce qui permet à la fenêtre du nouveau modèle de capter plus du rayonnement solaire, en hiver. Ce même pourcentage est supérieur à celui de la fenêtre de la maison de la Casbah d'Alger durant la journée du 21 juin (cf. Fig. V. 28). Donc on retient que, la fenêtre de la partie chaude du nouveau modèle est la mieux exposée au soleil pendant l'hiver, tandis qu'elle reçoit une petite quantité de surchauffes pendant l'été.

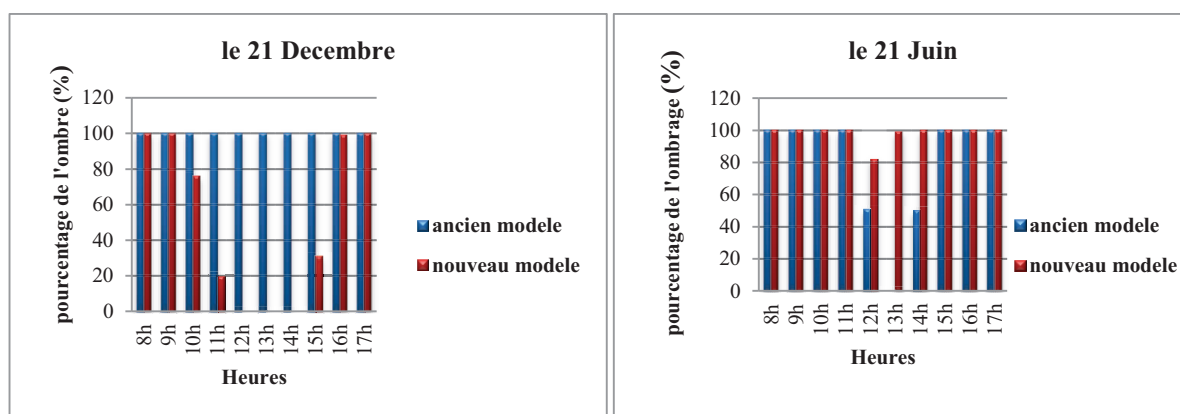


Fig. V. 28 : Le pourcentage d'ombrage des fenêtres du rez-de-chaussée des modèles étudiés pour le 21 décembre et le 21 juin.

(Source : Auteur)

V.5.2.5.3 Estimations des apports solaires passifs :

Comme on a déjà vu dans le premier chapitre (cf. Chap. I, section.3.1), le rayonnement solaire intercepté par une paroi se partage en trois parties : réfléchi, absorbé, transmis. Dans notre étude, nous allons quantifier et comparer la quantité des différents types de rayonnement solaire sur les deux parties : opaque et transparente de la façade intérieure la mieux orientée au soleil du rez-de-chaussée de chaque modèle. Donc les quantités d'énergie des différents types d'apports solaires : les apports solaires directs et les apports solaires indirects seront estimées pendant les deux journées-type le 21 décembre (journée représentative de la saison hivernale) et le 21 juin (journée représentative de la saison d'été).

a. Estimation des apports solaires directs (à travers les vitres) :

Le 21 décembre : (les gains solaires passifs)

Nous allons comparer les quantités d'énergie incidente sur chacune des fenêtres étudiées durant la journée-type d'hiver (21 décembre). La figure (Fig. V. 29) nous montre que, la fenêtre du nouveau modèle reçoit une quantité importante du rayonnement solaire. Tandis que, la fenêtre de la maison à patio de la Casbah d'Alger ne bénéficie pas de l'énergie solaire, car elle est totalement occultée avec un pourcentage d'ombrage de 100% (cf. Fig. V. 28) pendant toutes les heures de la journée (cf. Fig. V. 29).

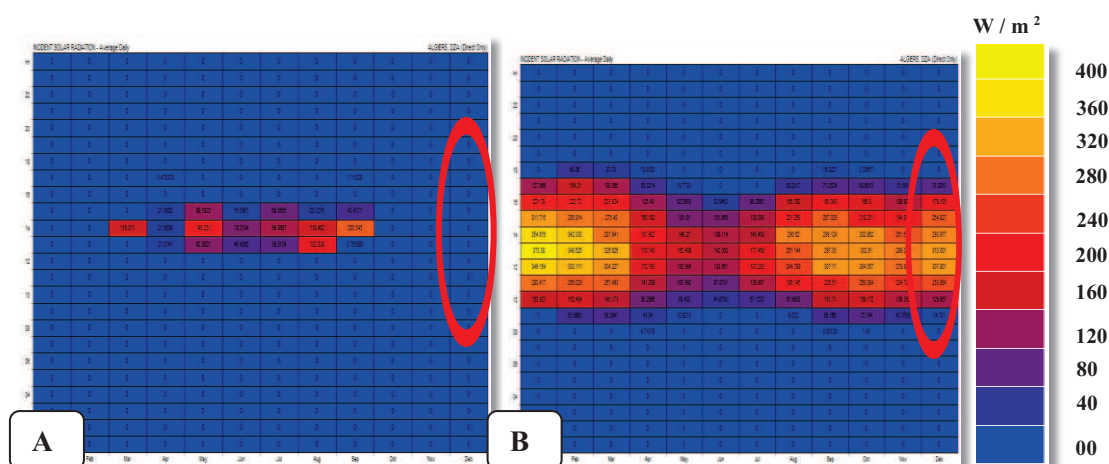


Fig. V. 29 : La moyenne journalière d'énergie incidente pendant le mois de décembre sur les fenêtres du rez-de-chaussée.

(A) la fenêtre de l'ancien modèle (B) la fenêtre du nouveau modèles

(Source : l'Auteur)

Grâce à ces périodes d'exposition solaire de chacune des fenêtres étudiées, la moyenne journalière du rayonnement solaire incident pendant la journée du 21 décembre durant la durée d'insolation utile sur la fenêtre du nouveau modèle est nettement supérieure à celle de la fenêtre de la maison à patio de la Casbah d'Alger, comme le montre la figure (Fig. V. 30).

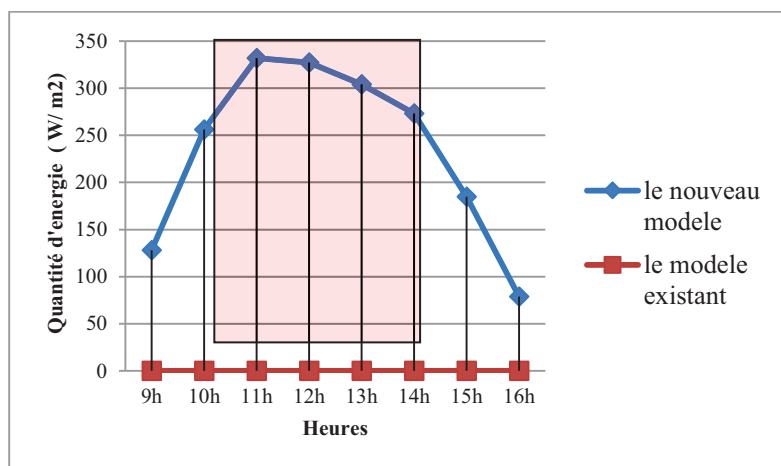


Fig. V. 30 : Le rayonnement incident sur les fenêtres du rez-de-chaussée des modèles étudiés pendant le 21 décembre.
(Source : l'Auteur)

La quantité du rayonnement solaire incident sur la fenêtre du nouveau modèle pendant la journée du 21 décembre est estimée à 1883 W/m² dont le rayonnement absorbé est de 429 W/m² (cf. Fig. V. 31). Cette partie absorbée fait augmenter la température de la surface de la vitre ainsi que, la température moyenne radiante de l'espace. En effet, le rayonnement solaire transmis est estimé à 1304 W/m². Ces valeurs sont toutes nulles (0 W/m²) pour la fenêtre de la maison de la Casbah d'Alger (cf. Fig. V. 31).

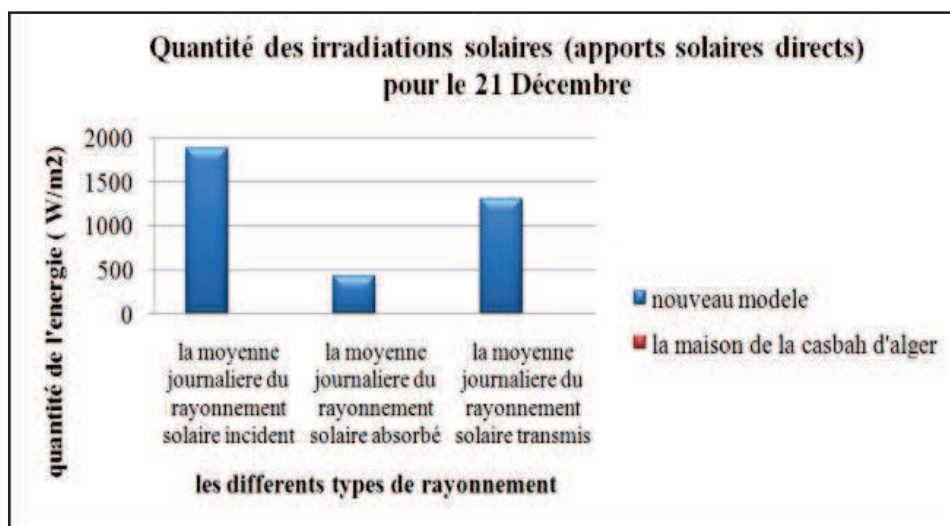


Fig. V. 31 : La moyenne journalière des apports solaires directs (21 décembre).
(Source : Auteur)

Le 21 juin (Les surchauffes) :

Pour les deux modèles étudiés de la maison à patio on constate que, les fenêtres du rez-de-chaussée souffrent des surchauffes pendant le 21 juin. La quantité des surchauffes est plus importante dans le nouveau modèle que dans celui de la Casbah d'Alger (cf. Fig. V. 32). La durée d'exposition aux surchauffes pour les deux modèles est comprise dans la période d'insolation utile (10 h – 14 h) ce qui aggrave plus la situation (cf. Fig. V. 33).

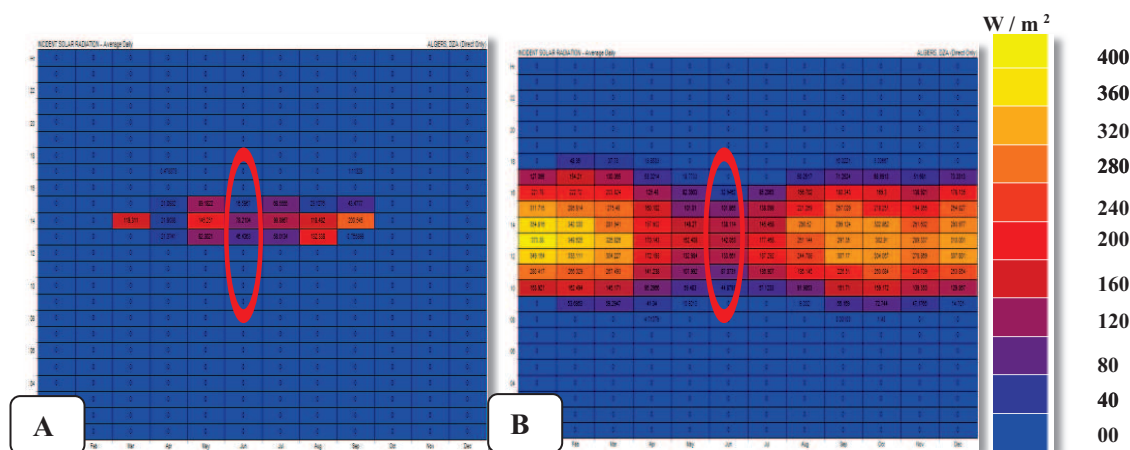


Fig. V. 32 : La moyenne journalière d'énergie incidente pendant le mois de Juin sur les fenêtres du rez-de-chaussée.

(A) la fenêtre de l'ancien modèle (B) la fenêtre du nouveau modèles

(Source : l' Auteur)

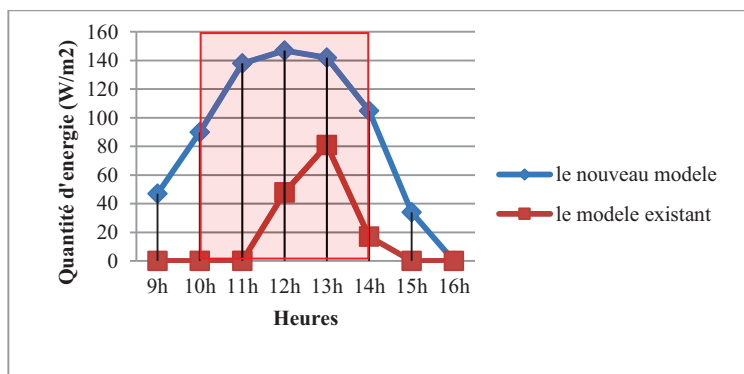


Fig. V. 33 : La moyenne journalière du rayonnement solaire direct incident sur les fenêtres étudiées (21 juin).

(Source : Auteur)

À propos de la fenêtre du nouveau modèle, elle reçoit une quantité peu importante de surchauffes pendant la journée du 21 juin, qui est estimée à 719 W/m², dont 498W/m² sont transmis (cf. Fig. V. 34). Tandis que, la fenêtre de la maison de la Casbah d'Alger reçoit une quantité plus petite qui est de l'ordre de 146 W/m² dont 101W/m² sont transmis à l'intérieur.

On constate que, l'augmentation des surchauffes dans le nouveau modèle est de l'ordre de **5 fois** par rapport à celui de la Casbah d'Alger (cf. Fig. V. 34).

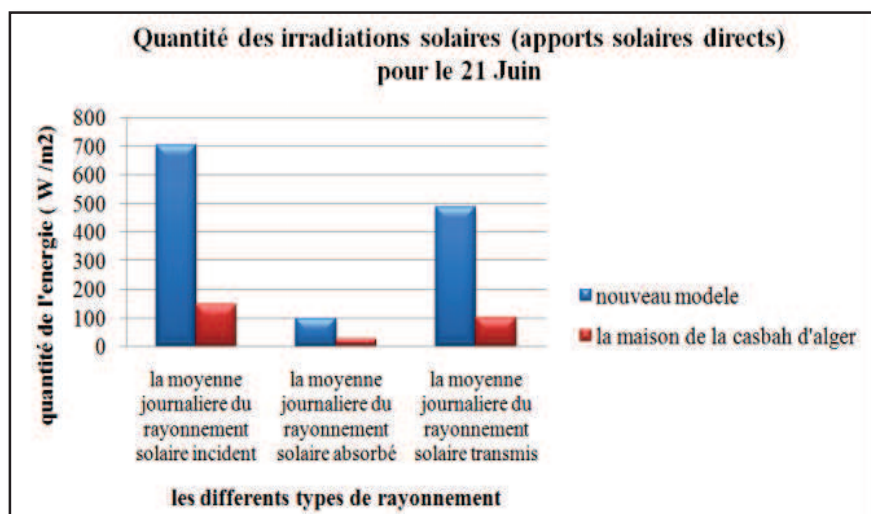


Fig. V. 34 : Comparaison des moyennes journalières des apports directs captés par chacune des fenêtres étudiées (21 juin).

(Source : Auteur)

b. Estimation des apports solaires indirects (à travers les parois opaques) :

Le 21 décembre : (les gains solaires passifs) : On constate que, la durée d'exposition solaire de la partie opaque de la façade du nouveau modèle pendant le mois de décembre est très limitée (cf. Fig. V. 35).

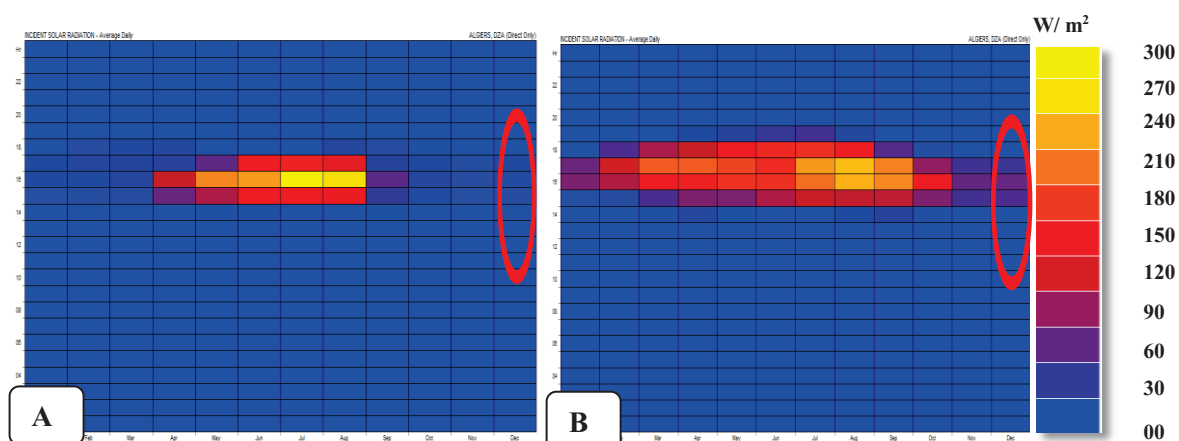


Fig. V. 35 : La moyenne journalière d'énergie incidente pendant le mois de décembre sur la partie opaque de la façade du rez-de-chaussée.

(A) l'ancien modèle (B) le nouveau modèle

(Source : l' Auteur)

Pendant la journée du 21 décembre, la période d'exposition solaire de la partie opaque dans le nouveau modèle est plus importante que celle de la maison de la Casbah d'Alger. On remarque aussi que, cette période d'exposition fait partie de la durée d'insolation utile ; dont la plus grande quantité d'énergie est reçue à 11h et estimée à 340 W/m² (cf. Fig. V. 36).

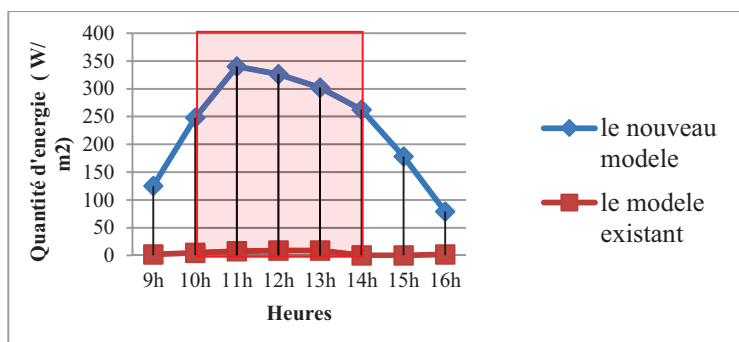


Fig. V. 36 : La moyenne journalière du rayonnement solaire direct incident sur la partie opaque de la façade du rez-de-chaussée des deux modèles étudiés (21 décembre).

(Source : Auteur)

La partie opaque de la façade étudiée du nouveau modèle bénéficie d'un rayonnement incident de l'ordre de 1861 W/m² dont 1040 W/m² sont absorbés (cf. Fig. V. 37). Alors que, le rayonnement transmis est nul, ce qui est expliqué par la forte inertie de la paroi qui absorbe la chaleur et fait augmenter la température radiante de l'espace intérieur. Concernant la partie opaque de la façade du rez-de-chaussée de la maison à patio de la Casbah d'Alger on constate que, le rayonnement incident est de l'ordre de 33 W/m² dont 18W/m² sont absorbés, donc cette quantité ne pourra pas contribuer à l'amélioration du confort thermique intérieur en hiver (cf. Fig. V. 37).

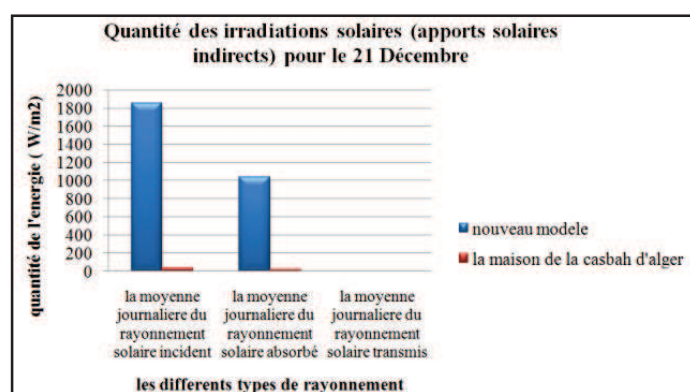


Fig. V. 37 : Comparaison des moyennes journalières des apports indirects captés dans les deux modèles étudiés (21 décembre).

(Source : Auteur)

Le 21 Juin (Les surchauffes) : La moyenne journalière du rayonnement incident sur la partie opaque de la façade du nouveau modèle pendant la journée du 21 juin, s'avère importante par rapport à la moyenne journalière du rayonnement incident sur la partie opaque de la maison à patio de la Casbah d'Alger (cf. Fig. V. 38). La durée d'exposition de la fenêtre du nouveau modèle est incluse dans la durée d'insolation utile. Tandis que, la moitié de la durée d'exposition de la partie opaque de la façade de la maison de la Casbah d'Alger s'étend hors la période d'insolation utile (cf. Fig. V. 39).

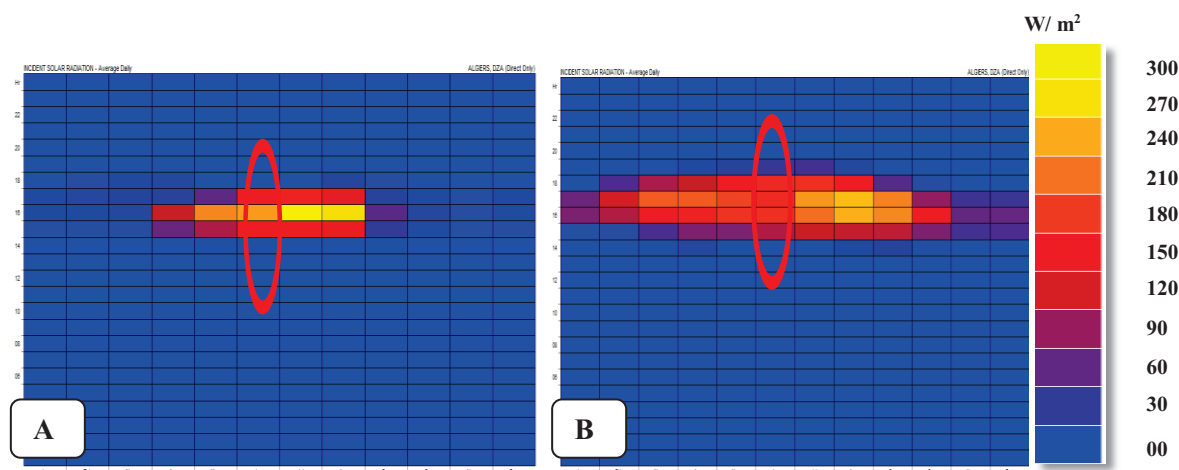


Fig. V. 38 : La moyenne journalière d'énergie incidente pendant le mois de Juin sur la partie opaque de la façade du rez-de-chaussée.

(A) la fenêtre de l'ancien modèle (B) la fenêtre du nouveaux modèles

(Source : l'Auteur)

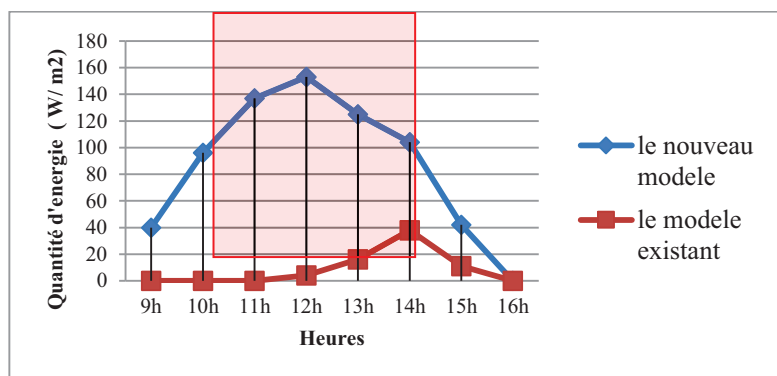


Fig. V. 39 : La moyenne journalière du rayonnement solaire direct incident sur la partie opaque de la façade des modèles étudiés (21 juin).

(Source : Auteur)

La moyenne journalière du rayonnement incident dans le nouveau modèle est estimée à 690W/m^2 dont 390 sont absorbés par la forte inertie des parois ce qui empêche la transmission des surchauffes à l'espace intérieur. Concernant, la partie opaque de la façade de

la maison de la Casbah d'Alger, on estime le rayonnement incident à 70 W/m^2 dont 40 W/m^2 sont absorbés (cf. Fig. V. 40).

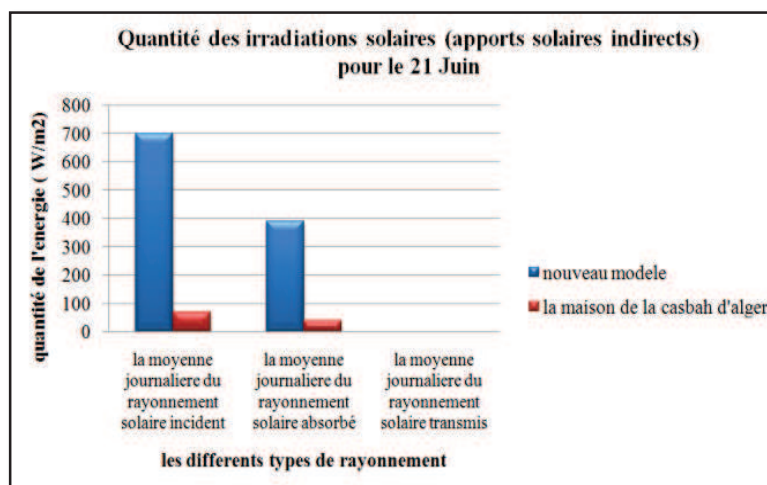


Fig. V. 40 : Comparaison des moyennes journalières des apports indirects captés par chacune des fenêtres étudiées (21 juin).

(Source : Auteur)

Conclusion :

Le nouveau modèle conçu selon la méthode d'établissement de la stratégie de captage solaire et de protection solaire dans la maison à patio qui a pour **but principal de faire pénétrer les rayons solaires aux espaces du rez-de-chaussée de la partie chaude**, permet une bonne stratégie solaire dont :

- La fenêtre du rez-de-chaussée reçoit les rayons solaires pendant **4 h d'insolation utile**, durant la période froide de l'année. Cependant, elle rejette les rayons solaires pour la plus longue durée de la journée pendant l'été.

Dans ce nouveau modèle de la maison à patio, on propose le dimensionnement et la conception des éléments architecturaux telles que : la largeur et la hauteur du patio, la hauteur d'allège, la hauteur de la fenêtre et la largeur de la partie saillante de la galerie en fonction des coordonnées solaires. La conciliation entre deux objectifs paradoxaux dans la conception du nouveau modèle de la maison à patio, a été achevée en concevant la maison en deux étapes : la première étape consiste à concevoir et dimensionner la partie basse en fonction de la géométrie solaire de l'hiver. Tandis que, la deuxième étape consiste à concevoir et dimensionner la partie haute en fonction de la géométrie solaire de l'été. Donc les méthodes

de conception de ces deux parties sont complémentaires pour assurer un bon confort dans la maison tout au long de l'année. On remarque aussi que, la forme finale du nouveau modèle est une superposition de deux formes, celle de la partie basse qui est la forme introvertie et la forme de la partie haute qui est la forme extravertie (forme en U) comme elle a été étudiée par (Hachem et al, 2011) (cf. Chap., III, section. 2.1.2). Donc pour améliorer les performances des formes architecturales vis-à-vis du captage solaire passif on peut combiner plusieurs formes entre elles, on les organisant de telle manière qu'elles répondent aux buts recherchés.

Certes, avec la différence entre la composition géométrique du nouveau modèle de la maison à patio (cf. Chap. V, section, 5.1) et l'augmentation des dimensions planimétriques du patio, les surchauffes pendant l'été ont augmenté, par rapport à la maison cas d'étude de **5 fois** (cf. Fig. V. 41). Cette augmentation s'avère très minime par rapport à l'augmentation des gains solaires durant la période froide de l'année qui est passée de **0 W/m² à 1883 w/m²** dans le nouveau modèle (cf. Fig. V. 41). De plus, le nouveau modèle est construit aussi en pierre, il a donc une masse importante avec laquelle il confronte les surchauffes minimales pendant l'été. Bien qu'en hiver, il n'y ait pas de moyen architectural qui permet d'optimiser le gain solaire passif si la géométrie de la maison ne le permet pas. De plus, ces résultats sont obtenus en utilisant un simple vitrage qui peut être amélioré par les dispositifs de protection et en agissant sur ses propriétés thermiques (cf. Chap. III, section, 4.2.3) et sur les composants de la fenêtre et en rajoutant aussi des dispositifs de protection solaire (cf. Chap. III, section, 4.2.1.4).

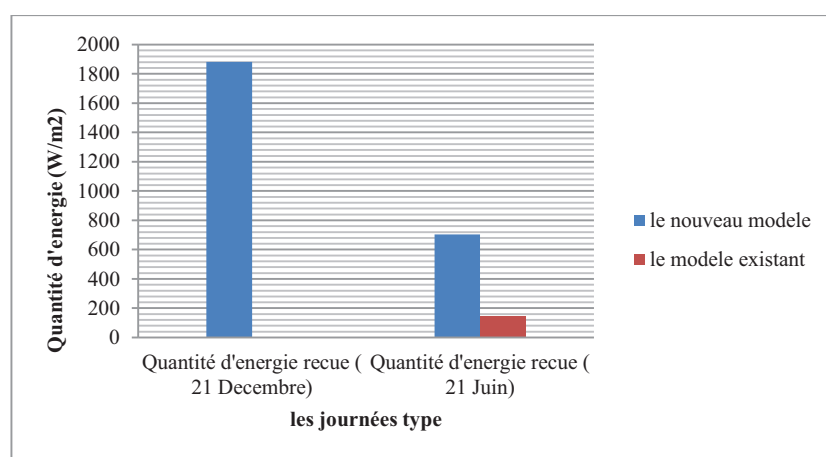


Figure. V. 41 : La comparaison entre l'énergie reçue pour les deux modèles étudiés Pendant les journées types.

(Source : Auteur)

Donc la méthode de « l'établissement d'une stratégie de captage et de protection solaires dans la maison à patio » développée dans la présente étude améliore le captage solaire passif en hiver et n'entraîne que peu de surchauffes en été qui peuvent être atténuées par l'utilisation d'une protection solaire adaptée. Ces résultats sont propres à la partie chaude tandis que, la partie froide qui tourne le dos au soleil est bien protégée des surchauffes pendant la saison chaude.

Recommandations propres au cas d'étude :

La méthode d'établissement d'une stratégie de captage et de protection solaire dans la maison à patio, peut être utilisée dans n'importe quel emplacement ou latitude. Dans cette section, nous allons définir les meilleurs emplacements de terrasse selon les orientations des différents profils du relief du site cas d'étude qui est la Casbah d'Alger en suivant la méthode établie (cf. Fig. V. 42).

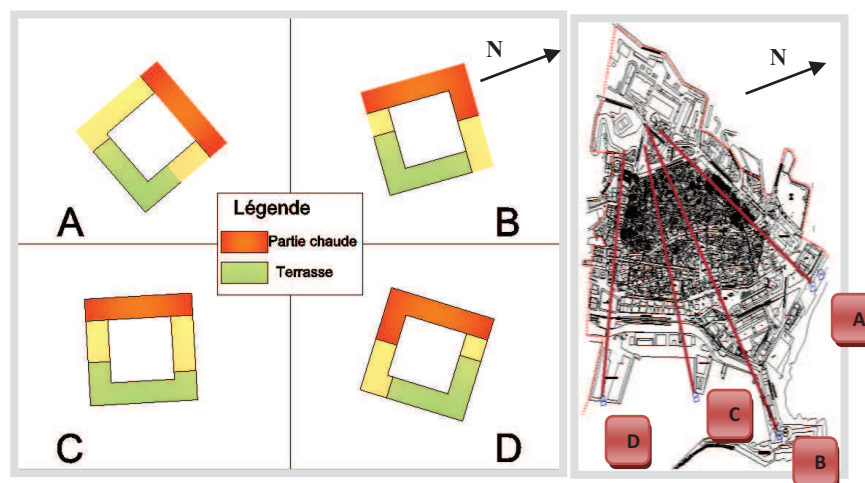


Fig. V. 42 : Le meilleur emplacement de la terrasse et de la partie chaude en fonction de la situation de la maison dans les différents profils.

(Source : Auteur)

De plus, l'emplacement de la terrasse dans le coin Sud-est (cf. Fig. V. 42) permet de tirer profit des conditions de confort offertes par les éléments naturels du site car il concilie entre le captage solaire passif et les points suivants :

- La nature accidentée du terrain : dont la partie ouest est plus haute que la partie est, donc il n'existe pas des masques solaires dus au relief ce qui expose les terrasses orientées au sud-est directement au soleil.

- La direction des vents dominants : les vents dominants de l'hiver qui soufflent de l'ouest et du nord-ouest et causent plus de déperditions thermiques ne peuvent pas pénétrer depuis cette terrasse cependant qu'elle est ouverte vers la brise de mer rafraîchissante de l'été qui vient du côté est.
- La vue panoramique : la terrasse offre une vue panoramique sur le reste de la médina ainsi que ses environs.
- Le contrôle de l'ensoleillement : les pièces orientées au sud bénéficient d'une lumière plus facile à contrôler et d'un ensoleillement maximal en hiver et minimal en été⁷
- Les résultats d'autres travaux scientifiques comme ceux de [Lau, Ng, He, 2011] qui admit que, plus de la moitié des répondants sur un questionnaire préféraient la pénétration de la lumière dans leurs foyers dans la matinée... [Lau, Ng, He, 2011](cf. Fig. V. 43).

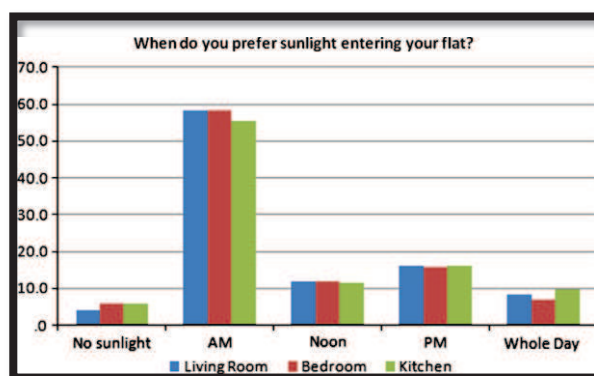


Fig. V. 43 : La période préférée pour la pénétration des rayons solaires.
(Source : Lau, Ng, He, 2011)

Cette méthode d'établissement d'une stratégie de captage et de protection solaire dans une maison à patio, peut être utilisée dans la réhabilitation ou bien dans la construction des maisons traditionnelles sur les parcelles vides des anciennes maisons qui sont tombées en ruine au sein des médinas, et particulièrement dans le cadre de la réhabilitation de la Casbah d'Alger.

⁷ **En ligne** [<http://www-energie2.arch.ucl.ac.be/transfert%20de%20chaleur/3.7.2.htm>].

Conclusion générale



Conclusion générale

Le problème du réchauffement climatique posé à une échelle planétaire, incite toute la population mondiale à contribuer dans la recherche des solutions qui peuvent améliorer l'état actuel du déséquilibre environnemental. La phrase célèbre « Penser Global, Agir Local », explique l'esprit et la philosophie du développement durable qui consiste à intégrer les différents volets : économique, social, culturel, et naturel de la vie humaine, dans tous les domaines de production, pour sortir de la situation actuelle, qui s'aggrave d'un jour à l'autre. En outre, cette phrase lance une invitation à la société mondiale d'assimiler les objectifs du développement durable et d'acquiescer une vision globale sur le problème, mais elle assigne chaque individu d'intervenir à son échelle.

Pour parvenir à un développement durable, l'architecture solaire (qui intègre le soleil dans la conception architecturale) doit faire partie intégrante du processus de développement. Cette architecture qui tient compte du mode de vie des personnes et de la dimension climatique, particulièrement, du soleil représente en elle-même une solution durable pour la diminution de la consommation des énergies fossiles dans le bâtiment. En effet, l'intégration des éléments climatiques dans la conception architecturale se fait par la compréhension des phénomènes naturels qui les conditionnent. À titre d'exemple, pour tirer profit de l'énergie solaire et de son rôle hygiénique dans l'habitat, il faut comprendre les deux aspects : géométrique et énergétique du soleil. L'architecture solaire consiste à concevoir des bâtiments de manière à bénéficier des apports solaires pendant l'hiver et à générer de l'ombre pendant l'été.

D'après l'étude de l'ensoleillement, il s'est avéré que, la relation entre le soleil et l'architecture est purement géométrique. Une bonne adaptation de la forme architecturale d'un bâtiment à la géométrie solaire (mouvements solaires annuels) permet d'établir une bonne stratégie de captage solaire passif en hiver et de protection solaire passive en été. D'autre part, la réglementation qui gère les droits solaires, découle de la nécessité de fournir un bon ensoleillement pour tous les bâtiments situés dans un même site. Cependant, la réglementation urbaine et architecturale algérienne en matière d'ensoleillement, se limite à la prescription des orientations favorables par rapport au soleil, mais elle n'a pas suivi le rythme du développement des exigences et de la recherche scientifique en matière de l'ensoleillement et des droits solaires. En effet, les travaux de recherche scientifique mettent à disposition une

multitude de procédés et de techniques ainsi que, des outils d'étude d'ensoleillement à intégrer dans le processus de la conception architecturale à différentes échelles.

L'intégration de la contrainte solaire dans le processus de la conception doit être pensée dès les premières étapes d'implantation d'un bâtiment, par le choix de l'environnement adéquat qui favorise le captage solaire passif. À l'échelle urbaine, il existe plusieurs paramètres physiques du bâti qui interviennent dans la qualité d'ensoleillement des espaces intérieurs d'un bâtiment comme : l'orientation des rues et le plan de parcellaire, le rapport de la hauteur à la largeur de l'espace urbain, les gabarits, le facteur de vue du ciel ainsi que, la forme et le rangement des blocs urbains. Cependant, à une échelle architecturale, les dimensions d'un bâtiment ainsi que, son orientation par rapport au soleil sont les facteurs déterminants des taux de surfaces ombrées et ensoleillées qui influencent également l'efficacité énergétique du bâtiment.

Dans leur conception de la médina d'Alger, les Ottomans ont donné une préoccupation à la mise en œuvre des stratégies conceptuelles urbaines et architecturales qui servent à protéger les espaces publics ainsi que, les espaces intérieurs des maisons du rayonnement solaire, tout au long de l'année. Donc il est logique qu'une telle configuration spatiale du bâti rejette le soleil à différentes échelles. À l'échelle de la médina, les ruelles étroites et la forte compacité des maisons protègent la quasi-totalité des façades verticales du rayonnement solaire. Au niveau de la maison, la profondeur importante du patio conjuguée à la forte inertie des parois créent un microclimat favorable pendant l'hiver au détriment d'une bonne insolation des différents espaces. D'autre part, les galeries qui entourent le patio jouent un rôle complémentaire, dont elles assurent une double protection solaire. Cette analyse de la morphologie de la maison traditionnelle de la Casbah d'Alger vis-à-vis des facteurs climatiques particulièrement, du soleil a été étalée dans l'investigation et le travail de terrain.

L'investigation a montré que, la maison traditionnelle à patio de la Casbah d'Alger souffre effectivement, d'un sérieux problème du manque d'ensoleillement précisément, au niveau des espaces situés au rez-de-chaussée. Ce qui a induit un problème d'excès d'humidité, car le rez-de-chaussée est le niveau le plus froid en hiver. Bien que, les espaces du dernier étage « les menzehs » bénéficient largement du soleil en hiver mais, ils sont aussi exposés aux surchauffes pendant la saison chaude de l'année. Le facteur principal du problème du manque de l'ensoleillement était soulevé après une étude de la morphologie du cas d'étude qui réside principalement, dans la profondeur importante du patio ainsi que, dans la présence des

galeries tout autour. Donc le captage solaire passif dans une forme architecturale quelconque dépend principalement de sa géométrie et de ses dimensions ainsi que, de son orientation par rapport au soleil, particulièrement dans une architecture introvertie, la durée d'insolation dépend principalement des dimensions du patio, de la largeur de la partie saillante de la galerie, de la position et des dimensions des fenêtres.

Dans le but de résoudre le problème du manque d'ensoleillement dans la maison à patio notamment, dans les espaces du rez-de-chaussée la formule de calcul de la distance bioclimatique (Theodoridou-Sotiriou, et al, 2005), représentait l'outil théorique d'étude d'ensoleillement le plus adapté à nos objectifs. Dont elle a permis après son adaptation à notre cas d'étude d'établir une méthode de conception et de dimensionnement de la maison à patio et de ses éléments architecturaux vis-à-vis d'un bon ensoleillement dans les espaces du rez-de-chaussée. Donc les rapports de dimensionnement du patio vis-à-vis d'ensoleillement ainsi que, les formules qui déterminent les dimensions de la partie basse de la maison à patio et ses différents éléments architecturaux établis dans cette étude (en fonction de la date du début du captage solaire passif), permettent une bonne exposition au soleil pendant l'hiver. D'autre part, la forme de la partie haute de la maison garantit une protection estivale relativement bonne.

Le paradoxe de concilier entre un captage solaire passif et une protection solaire passive était achevé en concevant la maison à patio sur deux étapes. Dans la première étape, les dimensions de la partie basse étaient choisies de telle manière qu'elles permettent une bonne exposition solaire aux espaces du rez-de-chaussée pendant l'hiver. Tandis que, la deuxième étape consiste à concevoir la partie haute qui complète le rôle de la partie basse, en assurant une protection solaire durant la plus longue période possible en été. Donc la conception d'une forme architecturale peut être effectuée en plusieurs étapes, dont chacune détermine la forme et les dimensions d'une partie d'un tout. En effet, dans une conception architecturale solaire, il faut capter et se protéger du soleil en manipulant la forme du bâtiment et ses dimensions. Cependant, le rajout des dispositifs passifs ou actifs aura pour but principal, de compléter le rôle de la forme architecturale.

De ce fait, la présente étude a démontré, qu'il est possible de concilier entre un bon captage solaire passif et une protection solaire passive acceptable, contrairement à ce qu'admettent les chercheurs qui ont abordé la question de l'ensoleillement, en pensant leurs géométries seulement en fonction du captage solaire passif en hiver. Il faut aussi attirer

l'attention sur la question de la nécessité de la protection des parois vitrées hors de la période d'insolation utile, et même durant l'hiver.

Donc l'objectif de ce travail ayant été de concevoir une maison à patio, en établissant un compromis entre un bon captage solaire passif et une bonne protection, était accompli en s'inspirant, de l'architecture traditionnelle et en appliquant les outils fournis par les études menées sur l'ensoleillement. Les résultats atteints nous montrent qu'une bonne compréhension de la géométrie solaire permet de trouver et d'établir des méthodes de conception solaire passive simples et innovantes sans avoir recours au logiciel de conception. Cela peut être étalé à la conception urbaine souvent gérée par de telles méthodes.

D'autre part, l'architecture traditionnelle a prouvé dans le présent travail, qu'elle révèle d'une cohérence et d'un ordre architectural qui lui donne sa valeur. En effet, cette architecture peut nous servir d'exemple pour le développement de nouveaux modèles architecturaux. Il faut juste avoir la curiosité suffisante et la bonne volonté de la découverte, pour acquérir un œil critique qui voit les choses et extrait les vérités, car l'observation et le travail du terrain ainsi que, l'étude des travaux scientifiques dévoilent les connaissances, et permettent au chercheur de réorganiser ses idées, afin d'apporter de nouvelles méthodes et outils à la science.

Recommandations :

L'ensemble des résultats obtenus nous a permis de fournir les recommandations suivantes :

- Dans le cadre de réhabilitation de la Casbah d'Alger ainsi que, les autres Casbahs de l'Algérie, la méthode d'établissement d'une stratégie de captage et de protection solaires dans une maison à patio développée dans la présente étude, peut être utilisée dans la réhabilitation ou bien dans la construction de nouvelles maisons inspirées de la maison traditionnelle sur les parcelles vides des anciennes maisons qui sont tombées en ruine.
- La conception de la maison à patio doit se faire en deux étapes pour concilier entre un captage et une protection solaires. La première étape consiste à concevoir la partie basse en déterminant les dimensions du patio, de la hauteur d'allège, de la hauteur de la fenêtre et de la largeur de la partie saillante de la galerie. On admit qu'un rapport de la largeur à la hauteur (L/H) de la partie

basse de la maison de 2.15 convient mieux pour assurer un bon captage solaire à partir du mois de décembre. Tandis que, dans la deuxième étape le dimensionnement de la hauteur de la partie haute en utilisant un rapport de la hauteur à la largeur de 1.5 (selon l'azimut 30°) convient mieux pour une protection solaire maximale durant l'été.

- L'intervalle d'azimuts [-30° , 30°] représente l'intervalle d'azimuts qui donne une ouverture de la partie haute qui permet la meilleure stratégie de captage et de protection solaires.
- Il est recommandé que le choix de l'angle d'orientation d'un bâtiment par rapport au soleil sous une latitude de 36° Nord relative à l'emplacement de la ville d'Alger, soit compris dans l'intervalle de [150° , 210°] Nord, dont l'orientation de 180° N est la meilleure.
- Dans une étude d'ensevelissement en architecture ou en urbanisme, il faut déterminer la durée d'insolation utile en fonction de la latitude. Pour le cas de la ville d'Alger la durée d'insolation utile s'étend de 10 h à 14 h.
- Ces valeurs calculées pour la latitude 36° N, de la ville d'Alger peuvent être déterminées pour les différentes villes de l'Algérie pour en finir avec des prescriptions qui peuvent enrichir la réglementation algérienne, en matière d'intégration de la contrainte climatique de l'ensevelissement dans la conception architecturale, car on remarque qu'il n'existe pas une concordance entre les objectifs visés par quelques lois et les outils mis à disposition par ces lois même. À titre d'exemple : la loi n°08-05 du 16 Safar 1429 correspondant au 23 février (cf. Annexe. A), stimule les chercheurs universitaires d'entretenir des recherches et des études sur les énergies renouvelables tandis que, la réglementation qui contient cette loi ne permet pas l'application de certains outils comme la boîte des liaisons solaires (cf. Chap. V, section, 3).
- Il est souhaitable d'utiliser la formule de calcul de la distance bioclimatique dans l'aménagement urbain et la méthode développée dans le présent travail dans la conception architecturale simultanément. Ce qui nous permet d'obtenir une méthode de conception qui combine entre les contraintes solaires urbaines et architecturales. Sachant que, la méthode développée dans cette étude permet de dimensionner certains détails architecturaux tels que : la hauteur d'allège, la hauteur de la fenêtre et la largeur de la partie saillante de la galerie, cette

approche de combinaison entre les deux outils peut être considérée comme une approche multi-agent par excellence. Cette idée de combinaison des contraintes solaires est similaire à celle proposée par (Raboudi, Belkaid, Ben saci, 2012) (cf. Chap. III, section 3.1.2).

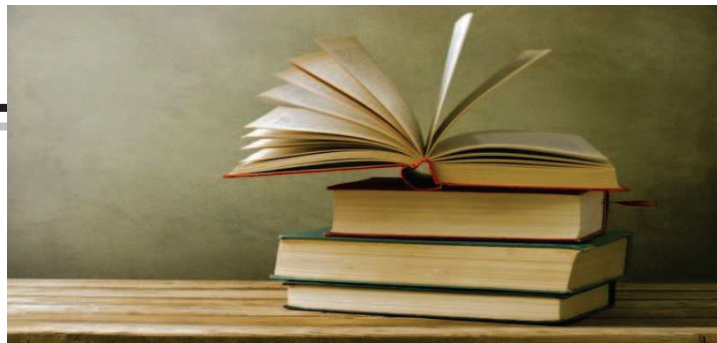
Axes d'orientations pour futures recherches :

L'architecture introvertie qui représente le résultat d'interaction entre les différents facteurs socioculturels et religieux de son contexte, peut être enrichie et mise à jour par l'introduction des outils d'étude développés par la science moderne particulièrement, dans les différentes branches de l'architecture bioclimatique. De ce fait, plusieurs éléments de cette architecture peuvent être introduits dans le processus de conception d'une maison à patio et non pas seulement le soleil. Pour réaliser cela, on propose aux chercheurs qui s'intéressent à la problématique de l'environnement en architecture d'aborder les thèmes suivants :

- La qualité de l'éclairage naturel et de la ventilation naturelle qu'assure le patio. Dont on propose de vérifier les dimensions du patio ou de proposer des méthodes de conception, qui assurent une bonne ventilation naturelle ou un bon éclairage naturel aux espaces du rez-de-chaussée de la maison.
- L'effet de différentes géométries de la partie haute du nouveau modèle de la maison à patio proposé dans la présente recherche sur le comportement aérodynamique de la forme générale de la maison à patio.
- Concernant la ventilation naturelle, elle peut être étudiée dans les maisons traditionnelles à patio de la Casbah d'Alger, où la majorité des habitants ont couvert le patio de leurs maisons avec des couvertures transparentes de différentes natures. Donc l'effet de cette couverture de sa forme ainsi que, de sa nature sur le comportement hygrothermique de la maison à patio doit être vérifié notamment, sous un climat semi-humide comme celui d'Alger.
- Le rendement des différents types de protections solaires ou des procédés de rafraîchissement passif peut être vérifié dans le modèle proposé de la maison à patio, pour recommander les protections les plus adaptées à cette forme architecturale.

- La transformation de la terrasse en un jardin-terrasse peut être aussi étudiée dans la mesure d'évaluer l'efficacité de cette solution dans le rafraîchissement passif et la protection de l'intérieur de la chaleur excessive d'été au niveau de la maison. Ainsi que, son effet sur le microclimat urbain et dans la lutte contre l'îlot de chaleur urbain.
- L'effet de la transformation de la terrasse en une serre bioclimatique (Sun-space) sur le comportement hygrothermique et sur l'ensoleillement dans le nouveau modèle proposé dans la présente étude peut être vérifié.

Bibliographie



Les références bibliographiques :

Articles publiés :

1. **Abdelsalam Aldawoud, Ray Clark Aldawoud**, 2008, 'Comparative analysis of energy performance between courtyard and atrium in buildings', *Energy and Buildings*, Volume 40, Issue 3, Pages 209-214.
2. **Aktacir M.A, Büyükalaca O, Yilmaz T.A.** 2010, 'A Case Study for Influence of Building Thermal Insulation on Cooling Load and Air-Conditioning System in the Hot and Humid Regions', *Applied Energy*, Vol. 87, N°2, pp. 599 – 607.
3. **Al-Azzawi Subhi**, 1996, 'Dally impact of climat on the patern of urban family life, Indigenous Courtyard Houses of Baghdad', WREC.
1. **Al-Hinai. H , W.J. Batty, Probert .S.D** , 1993 'Vernacular architecture of Oman: Features that enhance thermal comfort achieved within buildings', *Applied Energy*, Volume 44, Issue 3, Pages 233-244.
2. **Albatici. R, Passerini. F**, 2011, 'Bioclimatic design of buildings considering heating requirements in Italian climatic conditions'. A simplified approach. *Building and Environment*, Volume 46, Issue 8, Pages 1624-1631.
3. **Ali-Toudert Fazia, Helmut Mayer**, 2005, 'Effects of street design on outdoor thermal comfort'. PLEA: Conference on Passive and Low Energy Architecture.
4. **Amado Miguel, Francesca Poggi**, 2012, 'Towards solar urban planning: A new step for better energy performance' *Energy Procedia*.
5. **Andreou. E, Axarli. K, 2011**, 'Investigation of urban canyon microclimate in traditional and contemporary environment. Experimental investigation and parametric analysis' *Renewable Energy*, Volume 43, Pages 354-363.
6. **Bansal. NK, Garg. SN, Kothari. S**, 1992, 'Effect of exterior surface color on the thermal performance of buildings'. *Building and Environment* 27(1), p 31–37.
7. **Benouazb. M. R, Yaichec. M. K, Cheriera, Hamdani. M, Chellali. F**, 2011, 'Introduction to control of solar gain and internal temperatures by thermal Insulation, proper orientation and eaves' *Energy and Buildings* 43.
8. **Bekkouche. S, Benouaz. T, Cherier. M. K, Hamdani. M, Benamrane. N, Yaiche. M. R**, 2014, 'Thermal resistances of local building materials and their effect upon the interior temperatures case of a building located in Ghardaïa region', *Construction and Building Materials*, Volume 52, Pages 59-70.

9. **Besim S Hakim.** 2001, 'Reviving the Rule System An approach for revitalizing traditional towns in Maghrib'.
10. **Bakhlah. M.S, Hassan. A.S,** 2012, 'L'effet de la couleur du le toit de la Chambre sur la température intérieure cas d'étude de Hadramaout, au Yémen.'
11. **Chaiyapinunt. S, Phueakphongsuriya. B, Mongkornsaksit. K, Khomporn. N,** 2005, 'Performance rating of glass windows and glass windows with films in aspect of thermal comfort and heat transmission'. *Energy and Buildings* (37) p 725–738.
12. **Charron. R, Athienitis. A.K,** 2006, 'Optimization of the performance of double-facades with integrated photovoltaic panels and motorized blinds'. *Solar Energy* (80) p 482–491.
13. **Cheng. V, Steemers. K, Montavon. M, Compagnon. R,** 2006, 'Urban Form, Density and Solar Potential'. *PLEA*. 68.
14. **Curreli, Roura, Sanchez,** 2012, 'Solar Potential on Roofs: An Index for Different Urban Layouts'. *International Conference on Passive and Low Energy Architecture. "PLEA2012 - 28th Conference, Opportunities, Limits & Needs Towards an environmentally responsible architecture"*. Lima.
15. **De souza. L. C. L, Rodrigues. D. S, Leme. F. T, Pedrotti,** 2003, 'Implementing a geometry- related environmental indicators in 3D- GIS'. *The 5th international conference on urban climate*, Lodz, Poland.
16. **Di Perna. C, Stazi. F, Casalena A. U, D'Orazio. M,** 2011, 'Influence of the internal inertia of the building envelope on summertime comfort in buildings with high internal heat loads', *Energy and buildings*, Volume 43, n° 1, p 200-206.
17. **Hachem Caroline, Andreas Athienitis, Paul Fazio,** 2011 'Parametric investigation of geometric form effects on solar potential of housing units' *Solar Energy* (85) p 1864–1877.
18. **Hamdani, Bekkouche, Benouaz, Cherier,** 2012, 'Study and Effect of Orientation two Room of Buildings located in Ghardaïa, Algeria'. *Energy Procedia* (18) p 632 – 639.
19. **Hisarligil Hakan,** 2011, 'Exploring the Courtyard Microclimate through an Example of Anatolian Seljuk Architecture: The Thirteenth-Century Sahabiye Madrassa in Kayseri'. *Sustainability in Energy and Buildings, Smart Innovation, Systems and Technologies Volume 22* p 59-69.

20. **Isaac. G, Capeluto, Shaviv. E**, modeling the design of urban fabric with solar rights considerations. En ligne:[www.academia.edu].
21. **James, Garrett. V, Koontz, T. M**, 2008. 'Breaking the cycle: Producer and consumer perspectives on the non-adoption of passive solar housing in the US'. *Energy Policy*, 36(4), 1551-1566.
22. **Kanters Jouri , Miljana Horvat**, 2012, Solar energy as a design parameter in urban planning. Elsevier Science, *Energy Procedia* , tome 30, 1143-1152.
23. **Keskas imène, Derradji Mohamed**, 2014, 'Repenser l'architecture de la maison à patio en s'inspirant de l'architecture traditionnelle' cas d'étude la Casbah d'Alger, Conférence internationale de l'architecture et des arts islamiques. Constantine.
24. **Knowles Ralph L**, 2003, 'The solar envelope: its meaning for energy and buildings', *Energy and Buildings*, 35, p15.
25. **Kolokotroni. M, Young. A. N**, 1990, 'Guidelines for Bioclimatic Housing Design in Greece', *Building and Environment*, Vol. 25, N°. 4, p. 297-307.
26. **Lau K.L, Ng. E, He. Z.J**, 2011, 'Residents preference of solar access in high-density sub-tropical cities ' *Solar Energy*, Volume 85, Issue 9, September 2011, p 1878-1890.
27. **Lehmann. S**, 2008, 'Sustainability on the urban scale: Green urbanism – new models for urban growth and neighbourhoods'. In D. Peter (Ed.), *urban energy transition* (p. 409-430). Amsterdam: Elsevier.
28. **Ling Chia Sok , Mohd. Hamdan Ahmad, Dilshan Remaz Ossen**, 2007, 'The Effect of Geometric Shape and Building Orientation on Minimising Solar insolation on High-Rise Buildings in Hot Humid Climate', *Journal of Construction in Developing Countries*, Vol. 12, No. 1.
29. **Meir Isaac. A, Pearlmutter David, Etzion Yair**, 1995, 'On the microclimatic behavior of two semi-enclosed attached courtyards in a hot dry region', *Building and Environment*, Volume 30, Issue 4, p 563-572.
30. **Monedero. J**, 1997. 'Parametric design' a review and some experiences'. *Proceedings from eCAADe*. Vienna, Austria.
31. **Morello Eugenio, Ratti Carlo**, 2009, 'Solar envelopes' and the analysis of urban DEMs Computers', *Environment and Urban Systems* 33, p 26–34.

32. **Muhaisen Ahmed. S, Mohamed B Gadi**, 2006, 'Effect of courtyard proportions on solar heat gain and energy requirement in the temperate climate of Rome', *Building and Environment* 41, p 245–253
33. **Muhaisen Ahmed. S, Mohamed B Gadi**, 2006, 'Shading performance of polygonal courtyard forms'.
34. **Muhaisen Ahmed. S**, 2006, 'Shading simulation of the courtyard form in different climatic regions'.
35. **Muhaisen Ahmed. S, Mohamed B. Gadi**, 2005, 'Mathematical model for calculating the shaded and sunlit areas in a circular courtyard geometry'.
36. **Okeil Ahmad**, 2010, 'A holistic approach to energy efficient building forms' *Energy and Buildings* 42, p 1437–1444.
37. **Oleskowicz-popiel C, Sobczak. M**, 2014, 'Effect of the roller blinds on heat losses through a double-glazing window during heating season in Central Europe'. *Energy and Buildings*, Volume 73, p 48-58.
38. **Ouertani Kais, Krarti Moncef**, 2006, 'Impact of Shape on Building Energy Use in Tunisia'. ASME International Solar Energy Conference.
39. **Paramita. B, Koerniawan. D**, 2013, 'Solar Envelope Assessment in Tropical Region Building Case Study: Vertical Settlement in Bandung, Indonesia', *Procedia Environmental Sciences*, Volume 17, p 757-766.
40. **Paramita. B, Koerniawan. M. D, Larasati. D**, 'Daylight consideration for urban renewal Building form and massing'. En ligne: [<http://www.researchgate.net/>].
41. **Prévos, Rodríguez, Molines, Beckers**, 2001, *La modélisation 3D : une nouvelle voie pour les documents d'urbanisme. Application à l'optimisation énergétique des bâtiments*. En ligne [<http://sigma.ensat.fr/>].
42. **Pessenlehner. W, Mahdavi. A**, 2003, 'Building morphology, transparency and energy performance, eight international IBSPA conference, Eindhoven, Netherland, p 11-14.
43. **Rahul Ralegaonkar, Rajiv Gupta**, 2010. *Review of intelligent building construction: A passive solar architecture approach Renewable and Sustainable Energy Reviews*
44. **Raboudi Kh, Belkaid. A, Ben saci. A**, 2012 *Satisfaction of the Solar Bounding Box constraints PLEA - 28th Conference, Opportunities, Limits & Needs Towards an environmentally responsible architecture Lima, Perú.*

45. **Richa M.** 1998. « Les formes actuelles de protection du patrimoine historique et culturel bâti ». Les cahiers de l'EPAU.N° 7/8. 62
46. **Robertson. K, Athienitis. A,** 2007, 'Solar Energy for Buildings'. En ligne : [<http://www.cmhc-schl.gc.ca/>].
47. **Sadafi Nasibeh, Elias Salleh, Lim Chin Haw, Zaky Jaafar,** 2010 'Evaluating thermal effects of internal courtyard in a tropical terrace house by computational simulation', *Energy Building*. 43(4), p 887-893.
48. **Safarzadeh. H, Bahadori. M.N,** 2005, 'Passive cooling effects of courtyards', *Building and Environment*, Volume 40, Issue 1, p 89-104.
49. **Santamouris M.,** 'Solar heating and passive cooling', sustainable built environment, Vol. I. en ligne [<http://www.eolss.net/>]
50. **Sekhar S.C, Lim K, Toon Ch,** 1998, 'On the study of energy performance and life cycle cost of smart window', *Energy and Buildings*, Volume 28, Issue3, p 307-316.
51. **Siret Daniel, Amina Harzallah,** 2006, ' Architecture et contrôle de l'ensoleillement' CERMA - UMR CNRS 1563.
52. **Stevanović Sanja,** 2013, 'Optimization of passive solar design strategies'. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 25, p 177-196
53. **Theodoridou-Sotiriou, Lila Glykeria Kariotou, Eleftherios Panagiotopoulos and George Kariotis,** 2005, 'Better urban microclimate via a preposed city planning tool, case study in Greece'. *PSP Volume 16 – No 10*.
54. **Tsianaka. E,** 2006, 'The role of courtyards in relation to air temperature of urban dwellings in Athens', *Passive and Low Energy Architecture (PLEA)*.
55. **Tzikopoulos A.F, M.C. Karatza, J.A. Paravantis,** 2005, 'Modeling energy efficiency of bioclimatic buildings' *Energy and Buildings*, Volume 37, Issue 5, p 529-544.
56. **Van Den Bergha Sofie, Robert Hartd, Bjørn Petter Jelle b,c, Arild GustavsenaS.** 2013, 'Window spacers and edge seals in insulating glass units: A state-of-the-art review and future perspectives', *Energy and Buildings* 58, p 263–28.
57. **Wan Rahmah, Mohd Zaki, Abdul Hadi Nawawi, Sabarinah Sh.Ahmad,** 2012, 'Environmental Prospective of Passive Architecture Design Strategies in Terrace Houses *Social and Behavioral Sciences* 42, p 300 – 310.
58. **Wei. J, Zhao. J, Chen. Q,** 2010, 'Energy performance of a dual airflow window under different climates', *Energy and Buildings* 42, p111–122

59. **Yang. X, Li .Y, Yang. L**, 2012, 'Predicting and understanding temporal 3D exterior surface temperature distribution in an ideal courtyard', Building and Environment, Volume 57, p 38-48
60. **Yeziro et al**, 2006 'Design guidelines for appropriate insolation of urban squares'.
61. **Yuan Huang, Marjorie Musy, Gérard Hégron, Hong Chen, Baofeng Li**, 2008, (PLEA 2008) – 25th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Dublin.

Ouvrages :

1. **André Ravereau**, 1989, ' La Casbah d'Alger, et le site créa la ville'. Sindibad.
2. **Assari Nadir**, 2007, 'Alger des origines à la régence turque'. Alpha, Alger, Algérie.
3. L'Algérie à travers les époques.
4. **Arkady Warszawa**, 1967, 'soleil et architecture', Dunod , Paris.
5. **APC Alger centre**, 2004, 'la ville d'Alger « la protégée de dieu »'
6. **Brown G.Z. and Dekay Marck**, 2001, 'Sun , Wind and light', John wiley and sons,
7. **Ben hamouche Mustapha, Belkaid Badredine**, 2003, 'architecture et urbanisme de la Casbah d'Alger d'après les écritures d'Albert Devoulx'. ENAG. Alger.
8. **Bélorgey Xavier**, 2005, 'Une chronologie de l'architecture solaire aux USA', Architecture et soleil.
9. **Courgey S., Oliva J. P.**, 2007, 'La conception bioclimatique des maisons confortables et économes', terre vivante, Mens, France.
10. **CAPDEROU Michel.**, 1986, ' Atlas Solaire De L'Algérie', tome 3, Edition O.P.U, Alger.
11. **Chiras, D**, 2002 'The solar house: passive heating and cooling' White River Junction, VT.
12. **Deluz J.J.**, 1988, 'L'urbanisme et l'architecture d'Alger', OPU, Alger, Algérie.
13. **Fernandez Pierre. Lavigne Pierre**, 2009, 'Concevoir des bâtiments climatiques fondements et méthodes', le Moniteur, Paris, France.
14. **Gonzalo Roberto. Habermann Karl J.**, 2008, ' Architecture et efficacité énergétique', Birkhauser.
15. **Givoni B.**, 1978, 'l'homme l'architecture et le climat', le Moniteur, Paris, France
16. **Ichebouden Larbi**, 1997. 'Alger histoire et capitale de destin national'. Alger : Casbah éditions.

17. **Gordon. (2001).** Solar energy; the state-of-the-art. London. en ligne [<http://books.google.dz/>]
18. **Keddache Mhfoud**, 2002, 'L'Algérie durant la période ottomane'. l'office des publications universitaires, Alger, Algérie.
19. **Knowles Ralph.**, 2006, 'Rituel house', Island press, Washington, USA.
20. **Konya, A.** 1980, 'Design Primer for Hot Climates', The Architectural Press Ltd., London.
21. **Liebard A., De herde A**, 2005, 'Traité d'urbanisme et d'architecture bioclimatiques', Observ'ER.
22. **Mazria E.**, 2006, ' le guide de la maison solaire', parenthèses.
23. **Mechta Karim**, 1991, 'Maghreb architecture et urbanisme patrimoine, tradition et modernité'. Publisud.
24. **MISSOUM Sakina**, 2003, 'Alger à l'époque ottoman la médina et la maison traditionnelle', Edisud, Paris, France.
25. **Oke T.R.** 1987, 'Boundary layer climates', Methuen and co, New York. En ligne [<http://books.google.dz/>].

Mémoires et Thèses :

1. **Achab Samia**, 2012, 'Élaboration d'un guide technique de réhabilitation du patrimoine (Habitat) de la période ottomane', mémoire de magister, université de Tizi-Ouzou, Algérie.
2. **Al Awadhi Maryam Hasan**, 2011, 'Comfort Assessment of a Fully/Semi-enclosed Courtyard: Case Study of Bahrain Low Rise Villa Housing Model', l'université britannique à Dubai.
3. **Atek Amina**, 2012. 'Pour une réinterprétation du vernaculaire dans l'architecture durable cas de la Casbah d'Alger'. Tizi-Ouzou.
4. **Bellara Samira**, 2005 'Impact de l'orientation sur le confort thermique intérieur Dans l'habitation collective', magistère, université de Mentouri, Constantine.
1. **Bouffard Émilie**, 2013, 'Conception de bâtiments solaires : méthodes et outils des architectes dans les phases initiales de conception', Québec, Canada.

2. **BOULFEKHAR Sarah**, 2011, 'L'architecture vernaculaire comme modèle pour assister la conception environnementale des bâtiments', Master, École Nationale Supérieure d'Architecture de Nancy.
3. **Hassas Naima**, 2012, 'étude du patrimoine architectural de la période ottomane', Magistère, université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, Algérie.
4. **kedissa Chahrazed**, 2010, 'Impact de la géométrie des espaces extérieurs sur le microclimat urbain', magister, Université de Constantine Algérie.
5. **Malekzadeh Masoud**, 2009, 'Positioning of Outdoor Space in House Design - An Energy Efficiency and Thermal Comfort Perspective', these de doctora, université de Loughborough.
6. **Miguet Francis**, 2000, 'Paramètres physiques des ambiances architecturales : Un modèle numérique pour la simulation de la lumière naturelle dans le projet urbain', Thèse de doctorat, École d'Architecture de Nantes.
7. **MOLNAR William**, 1987, 'Factors affecting solar access in the Portland- Vancouver metropolitan area', Master.
8. **Nait Nadia**, 2011, 'La réhabilitation énergétique dans les logements collectifs existants cas du climat semi aride de Constantine', mémoire de magistère, université de Constantine, Algérie.
9. **Siret D.**, 1997, 'Propositions pour une approche déclarative des ambiances dans le projet architectural. Application à l'ensoleillement', thèse de Doctorat, École d'architecture de Nantes, France.
10. **TOPALOĞLU Birol**, 2003 'l'enveloppe solaire et la génération de la forme en architecture', master en architecture, université du moyen orient.
11. **TOURNAIRE Laurène**, 2010, 'Quels sont les fondements de l'architecture pueblo ?', mémoire fin d'étude M2.
12. **VINET J.** 2000, 'Contribution à la modélisation thermo-aéraulique du microclimat urbain, caractérisation de l'impact de l'eau et de la végétation sur les conditions de confort en espace extérieurs ' Thèse de doctorat, Université de Nantes.
13. **ZEROUAL DAOUD**, 2006, 'Impacts des gains de chaleur sur la morphologie des bâtiments cas des climats chauds et arides', mémoire de magistère, université de Constantine, Algérie.
14. **Zinnedine Hanane**, 2011, 'L'enveloppe solaire un outil de contrôle de l'ensoleillement', magistère, université de Constantine.

Revue, guides et Documents techniques :

1. **Abdulac Samir**, 2011, 'les maisons à patio, Continuités historiques, adaptations bioclimatiques et morphologies urbaines', Icomos, Paris, France.
2. **Amari Tarik. Ammisaid Bachir, Hamrouni Amine**, 2005, ' La Casbah d'Alger'.
3. **Austin Stack, John Goulding, J. Owen Lewis**, 'Shading Systems', ENERGIE, Ireland.
4. **Belkhamza Sarah**, 2013, 'Eco-conception et architecture bioclimatique', Cours Master n°1, école des beaux Arts, Tunis.
5. **Bernard P. Francis M.**, 2012 'Soleil et architecture - Potentiel climatique', dossier Techniques de l'Ingénieur, Paris, France.
6. **Besim S Hakim.**, 1994, 'le rôle du Urf dans la diversification de l'architecture des cités islamiques', université du roi Faisal Damman, Saudia Arabia.
7. **Boussad A. Cherbi F. Oubouzar L.** 'Patrimoine architectural et urbain des XIX^e et XX^e siècles en Algérie'
8. **Chauvot Myriam**, 2008, Journée d'étude « solaire, architecture et patrimoine ».
9. **Faist A P. Gay J. B.**, 1993, 'le sommet mondial du soleil, l'énergie solaire en architecture'.
10. **GARCÍA-PULIDO L J.**, 2012, 'dispositifs bioclimatiques des bâtiments domestiques Nasride'.
11. **IZARD Jean-Louis.**, 'Outils de représentation de la course apparente du soleil', école nationale supérieure de d'Architecture, Marseille.
12. **Jacques Teller**, 'Géométrie solaire' cours 2, Université de Liège, En ligne [www.lema.ulg.].
13. **Jaime Lopez de Asiain**, 2010, 'La formation des architectes à l'environnement et sa pertinence à l'heure actuelle', le carré bleu, n° 3-4. Napoli, Italie
14. **Jouri Kanters**, 2012, 'Solar integrated architecture in Scandinavia An analysis of the design process', L'und University.
15. **Kamous Chahrazad, kamous Ahmed**, 1993, 'Algérie 90 architecture en attente', revue d'architecture et d'urbanisme N° 01, Arcco.
16. **L'Algérie à travers les époques**,
17. **Le ministère algérien de la culture**, (2005) Le plan permanent de sauvegarde et de mise en valeur du secteur sauvegardé la Casbah d'Alger (le PPSMVSS)

18. **MAUGARD Alain**, 2012, 3ème solar meetings, Rencontres professionnelles du solaire.
19. **Plenderleith H. J., Voûte C., de Beaufort T.**, 1965, 'MOHENJO DARO un patrimoine millénaire menacé de destruction', Le courrier, p 22-23
20. **Tsouria Kassab**. 2010, ' Réécriture des espaces, entre discours idéologiques et pratiques La Casbah d'Alger'. Québec.in colloque international organisé dans le cadre des états généraux du Vieux-Québec, organisé par du nouveau monde.
21. **Radanne Pierre**, 2006, Compte rendu conférence international de Derbi.
22. **Stephano Bianca**, ,1980 ' Nécessité de sauvegarde des centres historique urbain et des monuments exceptionnel en pays islamiques'.
23. **Siret. D.**, 2012 'Soleil, lumière et chaleur dans l'architecture moderne excursions dans l'œuvre de le Corbusier', L'émoi de l'histoire n° 34
24. **Szokolay. Steven V.** 2007, Solar geometry, passive and low energy architecture international (plea notes).
25. **Xavier Bélorgey**, 2005, 'Une chronologie de l'architecture solaire aux USA', Architecture et soleil
26. **Yann Arthus-Bertrand**, 2007, Compte rendu conférence international de Derbi 'développement des énergies renouvelables dans le bâtiment et l'industrie'.
27. Journal officiel de la république algérienne n° 06. Correspondant au 27 janvier 2013 / 15 Rabie El Aouel 1434.
28. Journal officiel de la république algérienne n° 51. Correspondant au 14 septembre 2011 / 16 Chaoual 1432.
29. Journal officiel de la république algérienne°13 correspondant au 16 février 2005/ 7 Moharram 1426. P 21-22. [En ligne] www.JORADP.dz consulté en 2014
30. Journal officiel de la république algérienne n° 06. Correspondant au 27 janvier 2013 / 15 Rabie El Aouel 1434. p9p3. [En ligne] www.JORADP.dz consulté en 2014
31. Journal officiel de la république algérienne n° 51. Correspondant au 14 septembre 2011 / 16 Chaoual 1432. [En ligne] www.JORADP.dz. p 17 consulté en 2014
32. Journal officiel de la république algérienne n° 06. Correspondant au 27 janvier 2013 / 15 Rabie El Aouel 1434. [En ligne] www.JORADP.dz p33. Consulté en 2014
33. Code de travail 2001- 2002. p 188.

Sites WEB :

1. Une architecture intelligente un immeuble en escalier, En ligne [<http://www.les-passerelles.frss>]
2. L'architecture solaire passive, En ligne [<http://fr.solarpedia.net>]
3. Vézina A., 2005, L'astronomie chez les Mayas. En ligne [<http://www.caabm.org>]
4. De l'architecture bioclimatique de la Grèce antique au vitrage romain', En ligne [<http://www.technomc.info>]
5. Boland P., les espaces publics comme outils du développement durable Architecture et Climat
6. Richard Buckminster Fuller, En ligne [<http://www.ecologik-business.com/>].
7. En ligne [<http://www.mapminecraft.fr>]
8. En ligne [<http://www.herodote.net>]
9. En ligne [<http://www.wikipedia.org>]
10. En ligne [<http://www.jesuiscultive.com>]
11. En ligne [www.technomc.info]
12. En ligne [<http://fr.wikipedia.org/>]
13. En ligne [http \[://www.energieplus-lesite.be/\]](http://www.energieplus-lesite.be/)
14. En ligne [<http://tpesolaire.chez.com/>]
15. En ligne [www.memoria.dz]
16. En ligne [<http://evene.lefigaro.fr/>].
17. En ligne [www.jardingourmand.com].
18. En ligne [<http://www.futura-sciences.com>].
19. En ligne [www.Wikipedia.fr].
20. En ligne [<http://www.citation-celebre.com/>].
21. En ligne [<http://urbanisme.irisnet.be/>].
22. En ligne [<http://www.aroots.org/>].
23. En ligne [www.centriere.uqam.ca].
24. En ligne [<http://whc.unesco.org>].
25. En ligne [<http://www2.sci.u-szeged.hu/>].
26. En ligne [www.academia.edu].
27. En ligne [<http://sigma.ensat.fr/>]
28. En ligne [<http://books.google.dz/>]
29. En ligne [<http://www.researchgate.net/>].
30. En ligne [<http://www.cmhc-schl.gc.ca/>].
31. En ligne [<http://www.eolss.net/>].

Annexes



Annexe A : La prise en compte de l'ensoleillement dans la réglementation algérienne

Arrêté du 3 Ramadhan 1425 correspondant au

17 octobre 2004 portant approbation du cahier

Des charges fixant les normes de surface et de

Confort applicables aux logements destinés à la

Location-vente.

Dans l'annexe de cette loi et concernant les remarques relatives aux orientations on trouve les points suivants :

— L'orientation des logements devra permettre le respect des expositions préférentielles des séjours et Cuisines.

— Les présentes recommandations étant uniquement basées sur l'ensoleillement souhaitable, il est bien évident que on devra tenir compte d'autres facteurs tels que le microclimat, la configuration du terrain, les vues, les vents dominants, pour obtenir la meilleure orientation, et afin de bénéficier du confort à partir des éléments naturels, tel que détaillé dans le tableau ci-après :¹

Tab. A. 1 : l'orientation préférentielle des logements.

| ORIENTATION PREFERENTIELLE DES LOGEMENTS | | | | |
|--|--------------------|-------------------|----------------|----------------------------|
| PRINCIPES D'ORIENTATION DES LOGEMENTS | TYPE D'ORIENTATION | ZONES CLIMATIQUES | | |
| | | LITTORAL | HAUTS PLATEAUX | SAHARIENNES PRESAHARIENNES |
| Logements à double orientations opposées (par rapport aux points cardinaux) | Nord - Sud | Favorable | Favorable | Très favorable |
| | Est - Ouest | Favorable | Très favorable | Mauvaise |
| | S.E-N.O | Favorable | Favorable | Acceptable |
| | S.E-NE | Très favorable | Très favorable | Favorable |
| | | | | |
| Logements à double orientations perpendiculaires (par rapport aux point cardinaux) | Nord et Est | Médiocre | Mauvaise | Acceptable |
| | Sud et Est | Favorable | Favorable | Favorable |
| | Sud et Ouest | Acceptable | Médiocre | Médiocre |
| | N.E - S.E | Très favorable | Très favorable | Très favorable |
| | S.E - S.O | Très favorable | Très favorable | Très favorable |
| | S.O - N.O | Mauvaise | Mauvaise | Mauvaise |
| | N.O - N.E | Médiocre | Médiocre | Médiocre |
| Logements simple orientation | Nord | Mauvaise | Mauvaise | Acceptable |
| | Est | Médiocre | Médiocre | Favorable |
| | Sud | Très favorable | Favorable | Favorable |
| | Ouest | Mauvaise | Mauvaise | Mauvaise |
| | N.E | Mauvaise | Médiocre | Favorable |
| | S.E | Favorable | Très favorable | Favorable |
| | S.O | Acceptable | Favorable | Mauvaise |
| | N.O | Mauvaise | Mauvaise | Mauvaise |

¹ Journal officiel de la république algérienne^o13 correspondant au 16 février 2005/ 7 Moharram 1426. P 21-22. [En ligne] www.JORADP.dz consulté en 2014

Loi n°08-05 du 16 Safar 1429 correspondant au 23 février

2008 modifiant et complétant la loi n°98-11 du

29 Rabie Ethani 1419 correspondant au 22 août

1998 portant loi d'orientation et de programme à

Projection quinquennale sur la recherche

Scientifique et le développement technologique

1998-2002.

Cette loi décrit les objectifs scientifiques des grands domaines socio-économiques de recherche, en mettant l'accent sur les énergies renouvelables :

Pour saisir la portée des énergies renouvelables en Algérie et les enjeux considérables qu'elles sous-entendent, il convient tout d'abord de rappeler les ressources considérables et inépuisables existantes de ces énergies non encore exploitées à savoir le gisement solaire exceptionnel qui couvre une superficie de 2.381.745 Km², avec plus de 3000 heures d'ensoleillement par an et l'existence d'un potentiel énergétique appréciable éolien et géothermique facilement mobilisable.

Concernant l'habitat, la construction et l'urbanisme la loi précise le suivant :

Les objectifs scientifiques et de recherche, consistent en la prise en charge des aspects de maîtrise des techniques et technologies liées à l'habitat. En termes de confort thermique, confort acoustique, économie d'énergie, habitat bioclimatique, architecture, restauration ; à l'urbanisme, en termes de restauration, de réhabilitation et d'aménagement urbain ; à la construction par rapport au génie parasismique, à la valorisation et la promotion des matériaux, des produits et des composants de construction ; à l'élaboration de la réglementation technique, aux aléas et à la vulnérabilité.²

² Journal officiel de la république algérienne n° 06. Correspondant au 27 janvier 2013 / 15 Rabie El Aouel 1434. p9p3. [En ligne] www.JORADP.dz consulté en 2014.

Arrêté interministériel du 11 Joumada Ethania 1432**Correspondant au 14 mai 2011 définissant les****Spécifications techniques et les conditions****Financières applicables à la réalisation du****Logement promotionnel aidé.**

L'annexe n°1 de cet arrêté décrit le cahier des charges-type, définissant les prescriptions techniques et les conditions financières générales applicables à la réalisation du logement promotionnel aidé. Précisément dans le premier chapitre les descriptions techniques générales comportent les articles suivants :

Art. 4. Les prescriptions techniques ont pour vocation la production d'un habitat de qualité et la réalisation de logements répondant aux exigences locales et dotés d'éléments de confort.

L'introduction de la notion d'efficacité énergétique en intégrant le principe de la conception bioclimatique pour assurer une économie d'énergie ;

Section 1 de la composition urbaine contient la sous-section 2 des orientations particulières contient plusieurs article qui versent dans le même sujet des exigences de confort et de l'ensoleillement :

Art. 8. visé à rechercher des solutions permettant de répondre à une logique de réduction des besoins énergétiques ;

Art. 22. Les façades des immeubles doivent tenir compte, dans tous les cas, des orientations par rapport à l'ensoleillement et aux vents dominants.

Art. 24. La dimension et le traitement des ouvertures doivent tenir compte du niveau d'ensoleillement, selon l'orientation des façades et des autres facteurs climatiques.

Art. 25. Le compartiment bas ou le rez-de-chaussée de l'immeuble constitue un espace social intégré. Il doit être favorisé, à ce titre, par une grande flexibilité, la communication, l'ouverture, la transparence et la richesse évitant l'anonymat par un traitement adéquat différencié de façon prononcée par rapport à celui de la partie haute. Le compartiment haut ou le corps de l'immeuble, composant les logements, doit offrir des espaces accueillants, ensoleillés, intimes et sécurisé

Art. 29. L'orientation des logements doit assurer l'ensoleillement du séjour, de la cuisine et en partie des chambres

Ainsi que la section 4 de l'organisation et de la répartition des espaces comporte l'article suivant :

Art. 48. Les dimensions des ouvertures et notamment celles des fenêtres sont à adapter aux conditions climatiques propres à chaque région du pays.³

Le ministre de l'habitat et de l'urbanisme, arrête dans l'annexe du premier chapitre de l'arrêté.

Arrêté du 17 Safar 1434 correspondant au 31

Décembre 2012 portant approbation du cahier

Des charges fixant les normes de surface et de

Confort applicables aux logements destinés à la

Location-vente.

Cet arrêté décrit le cahier des charges fixant les normes de surface et de confort applicables aux logements destinés à la location-vente dans le volet des prescriptions techniques générales les articles suivants :

Art. 4. Les prescriptions techniques ont pour vocation la production d'un habitat de qualité et la réalisation de logements répondant aux exigences locales et dotés d'éléments de confort.

L'introduction de la notion d'efficacité énergétique en intégrant le principe de la conception bioclimatique pour assurer une économie d'énergie.

viser à rechercher des solutions permettant de répondre à une logique de réduction des besoins énergétiques.

Art. 22. Les façades des immeubles doivent tenir compte, dans tous les cas, des orientations par rapport à l'ensoleillement et aux vents dominants.

Art. 24. La dimension et le traitement des ouvertures doivent tenir compte du niveau d'ensoleillement, selon l'orientation des façades et les autres facteurs climatiques.

³ Journal officiel de la république algérienne n° 51. Correspondant au 14 septembre 2011 / 16 Chaoual 1432. [En ligne] www.JORADP.dz. p 17 consulté en 2014.

Art. 29. L'orientation des logements doit assurer l'ensoleillement du séjour, de la cuisine et, en partie, des chambres.⁴

Dans le même décret le ministère de l'habitat et de l'urbanisme arrête dans l'annexe qui prescrit le cahier des charges fixant les normes de surface et de confort applicables aux logements destinés à la location-vente dans la section 7 qui correspond aux normes de confort l'article suivant :

Art. 68. Les logements doivent être conformes aux dispositions réglementaires contenues dans le DTR C.3.2 portant « règles de calcul des déperditions calorifiques » et le DTR.C.3.4 portant « règles de calcul des apports calorifiques ».

Les logements doivent satisfaire aux vérifications des valeurs limites des déperditions calorifiques en hiver et aux valeurs limites d'apport solaire en été

Loi n° 88-07 du 26 Janvier 1988 relative à l'hygiène, la sécurité et la

Médecine du travail

Chapitre II

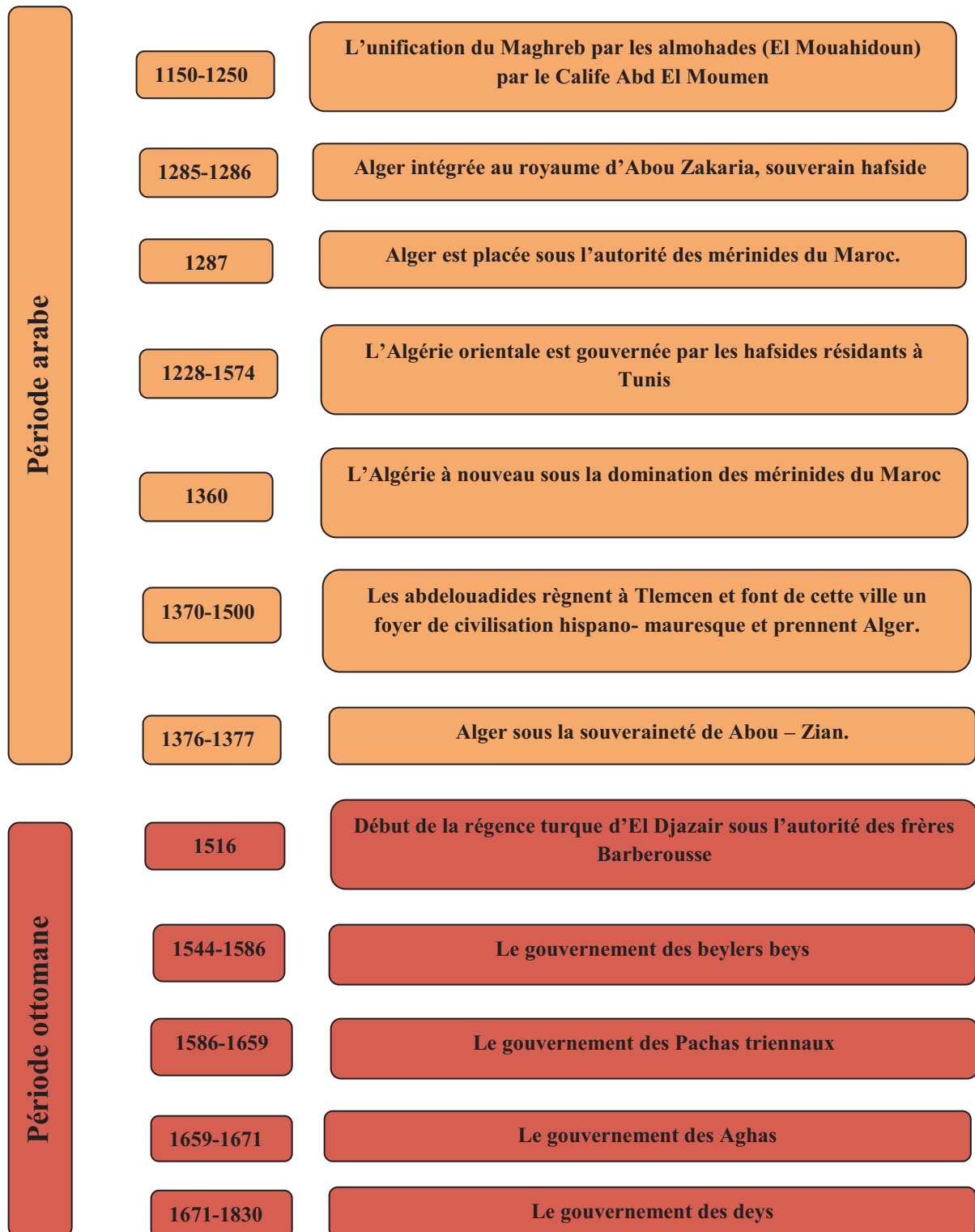
Règles générales en matière d'hygiène et De sécurité en milieu de travail

Art. 4. Les locaux affectés au travail, les emplacements de travail et leurs environnements, leurs dépendances et leurs annexes, y compris les installations de toute nature mises à la disposition des travailleurs, doivent être tenus dans un état constant de propreté et présenter les conditions d'hygiène et de salubrité nécessaires à la santé des travailleurs.

L'ambiance de travail devra répondre aux conditions de confort et d'hygiène, notamment de cubage, d'aération, de ventilation, d'éclairage, d'ensoleillement, de chauffage, de protection contre les poussières et autres nuisances et d'évacuation des eaux usées et déchets. Les travailleurs doivent pouvoir pratiquer la gymnastique de pause et bénéficier des moyens d'assurer leur hygiène individuelle et, notamment, par la mise à leur disposition des vestiaires, lavabos, douches, toilettes, eau potable, et par l'hygiène dans les cantines. Les modalités d'application du présent article sont définies par voie réglementaire.⁵

⁴ Journal officiel de la république algérienne n° 06. Correspondant au 27 janvier 2013 / 15 Rabie El Aouel 1434. [En ligne] www.JORADP.dz p33. Consulté en 2014

⁵ Code de travail 2001- 2002. p 188.

Annexe B : la médina d'Alger**B.1. Cornique de la médina d'Alger****Fig. B. 1 : Cornique de la médina d'Alger**

(Source : Assari Nadir, 2007)

B.2. L'appellation des espaces de la maison traditionnelle de la Casbah d'Alger dans le jargon algérois

Tab. B. 1 : Les différents espaces de la maison traditionnelle de la Casbah d' Alger
(Source : Sakina Missoum, 2003)

| Appellation de l'espace en français | Appellation de l'espace dans le jargon algérois |
|---------------------------------------|---|
| L'entée | Skifa |
| Centre de la maison (patio) | Wast dar |
| Chambre | Ghourfa |
| Chambre | Bit |
| Chambre situé dans la terrasse | Menzeh |
| Débarras | bartouz |
| Galerie | Shin |
| Terrasse | Stah |
| Espace de rangement | Seddas |
| Débarra | Bartoz |
| Cuisine | Cousina |
| La salle d'eau /Buanderie | Bit saboun |
| Latrines | Bit al-ma' |

B.3. « Plan d'agrandissement et d'embellissement de la ville d'Alger » (1926-1930).

Ce plan a divisé la médina d'Alger en trois arrondissements administratifs : La partie basse (al-wata'), la partie qui subsistait de la partie commerciale et la partie haute (al-jabal).

- La partie basse (al-wata') fut rasée (17,4 ha), depuis le bord de mer jusqu'à la rue Lalahoum, au bénéfice d'un urbanisme « novateur » qui se résume à l'édification des deux barres de l'avenue du 1^{er}-Novembre. A cette destruction a échappé l'ensemble de maisons appelé « Bastion 23 », situé à l'extrémité est.
- La partie qui subsistait de la zone commerciale (9,6 ha), déjà assez mutilée, a été conservée pour son cachet oriental » et a bénéficié du règlement spécial de la zone dite Casbah.
- la partie haute (al-jabal), le projet, qui prévoyait des travaux d'aération par le percement de voies plus larges et la restructuration des îlots d'immeubles ou agrégats

de maisons (18 ha), n'a (heureusement) jamais été commencé. Sur les 6 800 maisons recensées dans les premières années de la colonisation, 1 200 existent encore dans les années quatre-vingt ; identifiées comme étant de l'époque ottomane sur un total de 1 700, seulement 12 % était considérées en bon état. ⁶

B.4. Synthèse de l'étude analytique de l'ensoleillement effectuée avant la sortie sur terrain :

Tab. B.2 : les caractéristiques des différentes typologies de maison traditionnelle de la Casbah d'Alger (Source : Auteur)

| Type de maison | Emprise au sol | C F | Durée d'ensoleillement | S _t /S _F |
|----------------------|-----------------------|------|------------------------|--------------------------------|
| Alwi | 20 m ² | 1 | nulle | 0.020 |
| A Chebek | 50 -120m ² | 0.75 | Très insuffisante | 0.020 |
| A wast dar découvert | 170m ² | 0.45 | Insuffisant - bon | 0.035 |

- On constate que, la maison avec patio découvert est la plus compacte comme elle a le plus haut taux de percement.
- La durée d'ensoleillement est nulle dans la maison traditionnelle de type alwi. cela est dû à l'absence du wast dar (patio) et à la petite surface d'ouverture du puits de lumière. ce problème est lié à la géométrie de la maison elle même car elle se développe en hauteur.
- La durée de l'ensoleillement des façades extérieures dans les deux types de maisons traditionnelles avec wast dar couvert et avec wast dar découvert est très insuffisante. cela peut s'expliquer par la densité du tissu de la médina dont les rues sont très étroites.
- la durée d'insolation des façades intérieures est en fonction de :
 - l'orientation de la façade.
 - la forme du patio et ses dimensions.
 - la présence de la galerie ou non.
 - La hauteur de la maison.
- On constate que le taux de percement dans les façades intérieures est nettement supérieur à celui des façades extérieures.

⁶ **MISSOUM Sakina**, 2003 'Alger à l'époque ottoman la médina et la maison traditionnelle', Edisud, Paris, France, p 195.

Annexe C : L'étude bioclimatique de la ville d'Alger :**C.1. Données météorologiques :**

Station : ALGER DAR-EL-BEIDA Période : 2000 - 2009

Altitude : 25 m Latitude : 36°41 N Longitude : 03°13 E

1- Moyenne mensuelle des températures moyennes (en °C)

| Année | Jan | Fév. | Mar | Avr | Mai | Jui | Juil. | Aou | Sep | Oct. | Nov. | Déc. | Annuel |
|---------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|--------|
| Moyenne | 10.8 | 11.3 | 13.7 | 15.6 | 19.1 | 23.1 | 25.9 | 26.4 | 23.5 | 20.7 | 15.4 | 12.4 | 18.2 |

2- Moyenne mensuelle des températures minimales (en °C)

| Année | Jan | Fév. | Mar | Avr | Mai | Jui | Juil. | Aou | Sep | Oct. | Nov. | Déc. | Annuel |
|---------|-----|------|-----|-----|------|------|-------|------|------|------|------|------|--------|
| Moyenne | 4.8 | 5.0 | 7.3 | 9.3 | 12.8 | 16.4 | 19.5 | 20.0 | 17.5 | 14.5 | 9.6 | 6.9 | 12.0 |

3- Moyenne mensuelle des températures maximales (en °C)

| Année | Jan | Fév. | Mar | Avr | Mai | Jui | Juil. | Aou | Sep | Oct. | Nov. | Déc. | Annuel |
|---------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|--------|
| Moyenne | 16.8 | 17.5 | 20.1 | 22.0 | 25.4 | 29.8 | 32.3 | 32.8 | 29.6 | 26.8 | 21.1 | 17.8 | 24.4 |

Les humidités :

1- Humidité relative moyenne (en %)

| Année | Jan | Fév. | Mar | Avr | Mai | Jui | Juil. | Aou | Sep | Oct. | Nov. | Déc. | Annuel |
|---------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-------|-----|-----|------|------|------|--------|
| Moyenne | 82 | 79 | 78 | 77 | 76 | 71 | 71 | 71 | 73 | 76 | 78 | 80 | 76 |

2- Humidités relative minimale (en %)

| Année | Jan | Fév. | Mar | Avr | Mai | Jui | Juil. | Aou | Sep | Oct. | Nov. | Déc. | Annuel |
|---------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-------|-----|-----|------|------|------|--------|
| Moyenne | 54 | 51 | 50 | 50 | 49 | 42 | 44 | 42 | 46 | 48 | 51 | 54 | 48 |

3- Humidité relative maximale (en %)

| Année | Jan | Fév. | Mar | Avr | Mai | Jui | Juil. | Aou | Sep | Oct. | Nov. | Déc. | Annuel |
|---------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-------|-----|-----|------|------|------|--------|
| Moyenne | 96 | 96 | 96 | 96 | 96 | 94 | 93 | 92 | 93 | 95 | 95 | 96 | 95 |

Cumuls mensuel des précipitations : (en mm)

| Année | Jan | Fév. | Mar | Avr | Mai | Jui | Juil. | Aou | Sep | Oct. | Nov. | Déc. | Annuel |
|---------|------|------|------|------|------|-----|-------|------|------|------|-------|------|--------|
| Moyenne | 85.2 | 57.5 | 49.7 | 41.3 | 45.8 | 1.9 | 1.9 | 10.3 | 32.4 | 48.7 | 102.3 | 97.5 | 574.4 |

Évaporation mensuel : (en mm)

(Mesurée sous abri avec l'évaporomètre Piche)

| Année | Jan | Fév. | Mar | Avr | Mai | Jui | Juil. | Aou | Sep | Oct. | Nov. | Déc. | Annuel |
|---------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|------|--------|
| Moyenne | 42.0 | 44.5 | 60.2 | 69.0 | 74.8 | 101.9 | 105.3 | 114.0 | 86.6 | 70.9 | 56.6 | 49.2 | 875.0 |

C.2. Analyse bioclimatique :

Le but du concepteur est de proposer une architecture dans laquelle l'évolution des paramètres physiques permettra en fonction de l'environnement climatique de maintenir les conditions de confort humain dans la zone de confort définie comme étant la plage des conditions climatiques dans laquelle la majorité des personnes ne sentent pas l'inconfort dû à l'excès de chaleur ou de fraîcheur⁷. Plusieurs méthodes de calcul permettent la définition de la zone de confort, le présent travail utilise la méthode de **S- Zockolay** qui permet de définir immédiatement les zones de contrôle potentiel.

a. Méthode de SZOCOLAY. Steve :**1- Détermination de La Zone De Confort :**a - Température moyenne annuelle :

$$T_m = \sum t_m / 12 = \underline{\underline{18.2^\circ\text{C}}}$$

Température neutre :

$$T_n = 17,6 + (0.31 \times T_m) = 17,6 + (0.31 * 18.2) = 23.24$$

$$T_n = \underline{\underline{23.24^\circ\text{C}}}$$

b - Température moyenne hivernale :

$$T_m = \sum t_m / 3 = \underline{\underline{11.5^\circ\text{C}}}$$

Température neutre :

$$T_n = 17,6 + (0.31 \times T_m) = 17,6 + (0.31 * 11.5) = \underline{\underline{21.2^\circ\text{C}}}$$

$$\mathbf{T_n - 2 \leq \text{zone de confort} \leq T_n + 2} \quad \mathbf{19.2 \leq \text{zone de confort} \leq 23.2}$$

⁷ GIVONI.B, 1991, cité dans Bellara Samira, 2005. Op. cit. p 33.

c - Température moyenne estivale :

$$T_m = \Sigma t_m/3 = \underline{25.3^\circ\text{C}}$$

Température neutre :

$$T_n = 17,6 + (0.31 \times T_m) = 17.6 + (0.31 * 25.3) = \underline{25.4^\circ\text{C}}$$

$$T_n - 2 \leq \text{zone de confort} \leq T_n + 2 \quad \mathbf{23.4 \leq \text{zone de confort} \leq 27.4}$$

d - Limite de la zone de confort :

$$T_1 = 23.24 + ((9.4 - 12) \times 0.025 \times (23.24 - 14)) - 2$$

$$T_1 = \underline{20.63^\circ\text{C}}$$

$$T_2 = T_1 + 4 = 20.29 + 4$$

$$T_2 = \underline{24.63^\circ\text{C}}$$

(Le point 1 & 2 correspondant à la ligne d'humidité absolue 12 g/Kg)

$$T_3 = T_1 + 0.2 (T_1 - 14) = 20.29 + 0.2 (20.29 - 14) =$$

$$T_3 = \underline{21.95^\circ\text{C}}$$

$$T_4 = T_2 + 0.2 (T_2 - 14) = 24.29 + 0.2 (24.29 - 14) =$$

$$T_4 = \underline{26.75^\circ\text{C}}$$

2. Détermination de La zone de contrôle potentiel pour les périodes froides :

C'est la zone de chauffage passif, délimitée par un seul point de la température humide

Portée à la courbe de saturation HB = 100 % où :

$$T_5 = T_n + 0.36 - 0.0025 \times H_v$$

$$T_5 = 23.24 + 0.36 - 0.0025 * 3602$$

$$T_5 = \underline{14.59^\circ\text{C}}$$

(H_v représente la moyenne journalière totale d'irradiations solaires en Wh/m² d'une surface Verticale sud pour le mois le plus froid).

$$\underline{H_v = 3602 \text{ Wh/m}^2}$$

3. Détermination de la zone de contrôle potentiel pour les périodes chaudes :**3.1. Zone d'effet de masse :**

La détermination de la variation moyenne de la température pour le mois le plus chaud (dT_m) permet d'obtenir le premier point de cette zone.

$$dT_m = T_{\text{moy .max}} - T_{\text{moy .min}}$$

$$dT_m = 32.8 - 20.0 = \underline{12.8^\circ\text{C}}$$

Les autres points qui délimitent cette zone sont :

$T6 = T2 + 0.5 (dTm)$ situé à la ligne d'humidité absolue qui correspond à 12g/ Kg

$$T6 = \underline{30.69^{\circ}\text{C}}$$

$T7 = T6 - 0.05$ ($T6 - 14$) correspond à la ligne 14g/ Kg d'humidité absolue.

$$T7 = \underline{29.85^{\circ}\text{C}}$$

$T8 = T6 - 0.2$ ($T6 - 14$) correspond à la ligne 4g/ Kg d'humidité absolue.

$$T8 = \underline{27.35^{\circ}\text{C}}$$

La limite d'humidité la plus élevée correspond à la courbe d'HR du premier point de la zone de confort.

3.2. Zone d'effet de masse avec ventilation nocturne :

$T9 = T2 + 0.8 (dTm)$ le point correspond à la ligne 12g/ Kg d'humidité absolue.

$$T9 = \underline{34.53^{\circ}\text{C}}$$

$T10 = T9 - 0.05$ ($T9 - 14$) le point correspond à la ligne 14g/ Kg d'humidité absolue.

$$T10 = \underline{33.50^{\circ}\text{C}}$$

$T11 = T9 - 0.05$ ($T9 - 14$) le point correspond à la ligne 4g/ Kg d'humidité absolue.

$$T11 = \underline{33.50^{\circ}\text{C}}$$

3.3. Zone de ventilation naturelle – mouvement d'air sur la surface de peau :

Pour 1m/s : $T12 = T2 + 5$ le point correspond à la ligne d'humidité absolue 12g/ Kg.

$$T12 = \underline{29.29^{\circ}\text{C}}$$

(Le point 3 & 4 correspondant à la ligne d'humidité absolue 4 g/Kg)

Pour 1.5m/s : $T12 = T2 + 6.5$ le point correspond à la ligne 12g/ Kg d'humidité absolue

Pour 1m/s : $T13 = T12 + 0.1$ ($T12 - 14$) le point correspond à la ligne 4g/ Kg d'humidité absolue.

$$T13 = \underline{30.81^{\circ}\text{C}}$$

Pour 1.5 m/s : $T13 = T12 + 0.1$ ($T12 - 14$) le point correspond à la ligne 4g/ Kg d'humidité Absolue.

$T14 = T1 = \underline{20.63^{\circ}\text{C}}$, mais le point sera localisé sur la courbe 90 % d'humidité relative.

$T15 = T12 - 0.18$ ($T12 - 14$) le point sera localisé sur la courbe 90 % d'humidité relative

$$T14 = \underline{26.53^{\circ}\text{C}}$$

3.4. Zone de refroidissement évaporatif direct :

Délimitée par un seul point où la température limite la plus élevée qui délimite cette zone

Est :

$$T16 = T_n + 12$$

$$T16 = \underline{35.24^\circ\text{C}}$$

Les limites supérieures et inférieures de cette zone sont tracées à partir des lignes de températures

3.5. Zone de refroidissement évaporatif indirect :

Délimitée par un seul point où la limite supérieure de cette zone correspond à la ligne

14g/ Kg d'humidité absolue où :

$$T17 = T_n + 15 = 38.24$$

$$T17 = \underline{38.24^\circ\text{C}}$$

La limite supérieure de cette zone correspond à la ligne de 14 g / Kg de (HA)

Les limites des zones définies vont être figurées selon la méthode de SZOCOLAY, ainsi que tous les mois, représentés par des segments limités par deux points représentant :

- La température moyenne maximale mensuelle avec l'humidité relative minimum.
- La température moyenne mensuelle avec l'humidité relative maximum

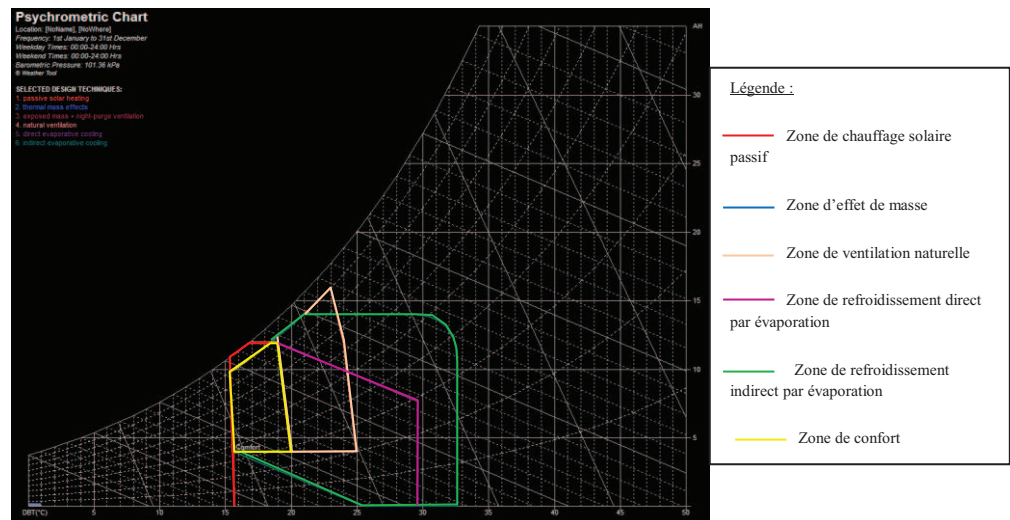


Fig. C.1 : Diagramme psychrométrique de S Zockolay de la ville
(Source : Ecotect)

L'interprétation du diagramme psychrométrique de S Zockolay appliquée de la ville d'Alger sur la figure ci-dessous laisse apparaître deux périodes distinctes, une période fraîche qui sollicite un chauffage passif, elle concerne les mois suivants : octobre, novembre,

décembre, janvier et février, mars et avril pour atteindre cet objectif il suffirait d'une bonne maîtrise des tailles et de l'orientation des ouvertures pour ramener l'ambiance le plus près de la zone de confort.

Une période chaude, durant laquelle les mois de juin, juillet, août, nécessitent un effet de masse avec une ventilation nocturne afin de se rapprocher de la zone de confort

b. Méthode de Mahoney

Localisation de la ville d'Alger :

| | |
|--------------|-----------------|
| Localisation | Alger, Algérie. |
| Longitude | 3.2° |
| Latitude | 36.7° |
| Altitude | |

Température de l'air en °C :

Données météorologiques d'Alger dar el Beida 200-2009 Source : l'ONM

| | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | High | AMT |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Monthly mean max | 16.8 | 17.5 | 20.1 | 22.0 | 25.4 | 29.8 | 32.3 | 32.8 | 29.6 | 26.8 | 21.1 | 17.8 | 32.8 | 18.80 |
| Monthly mean min | 4.8 | 5.0 | 7.3 | 9.3 | 12.8 | 16.4 | 19.5 | 20.0 | 17.5 | 14.5 | 9.6 | 6.9 | 4.8 | 28 |
| Monthly mean range | 12 | 12.5 | 12.8 | 12.7 | 12.6 | 13.4 | 12.8 | 12.8 | 12.1 | 12.3 | 11.5 | 10.9 | Low | AMR |

$$AMT = (H + L) / 2$$

$$AMR = H - L$$

Humidités relatives en %:

| | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|----|------|----|----|------|----|------|----|------|------|----|----|----|
| Humidité moyenne mensuelle maximale | 96 | 96 | 96 | 96 | 96 | 96 | 94 | 93 | 92 | 93 | 95 | 95 | 96 |
| Humidité moyenne mensuelle minimale | 54 | 51 | 50 | 50 | 49 | 42 | 44 | 44 | 42 | 46 | 48 | 51 | 54 |
| Humidité moyenne mensuelle moyenne | 75 | 73.5 | 73 | 73 | 72.5 | 68 | 68.5 | 67 | 69.5 | 71.5 | 73 | 75 | |
| Humidity group | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | |

| | | |
|-----------------|---|--------------------------|
| Humidity group: | 1 | if average RH: below 30% |
| | 2 | 30-50% |
| | 3 | 50-70% |
| | 4 | above 70% |

Précipitations et vents :

| | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|------|------|------|------|------|-----|-----|------|------|------|-------|------|--------------|-------|
| Rainfall mm | 85.2 | 57.5 | 49.7 | 41.3 | 45.8 | 1.9 | 1.9 | 10.3 | 32.4 | 48.7 | 102.3 | 97.5 | 574.4 | Total |
|----------------|------|------|------|------|------|-----|-----|------|------|------|-------|------|--------------|-------|

Limites de confort :

| | | AMT over 20°C | | AMT 15-20°C | | AMT below 15°C | |
|-----------------|---|---------------|-------|-------------|-------|----------------|-------|
| | | Day | Night | Day | Night | Day | Night |
| Humidity group: | 1 | 26-34 | 17-25 | 23-32 | 14-23 | 21-30 | 12-21 |
| | 2 | 25-31 | 17-24 | 22-30 | 14-22 | 20-27 | 12-20 |
| | 3 | 23-29 | 17-23 | 21-28 | 14-21 | 19-26 | 12-19 |
| | 4 | 22-27 | 17-21 | 20-25 | 14-20 | 18-24 | 12-18 |

1. Diagnostique de température : °C

| | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------------|
| Monthly mean max | 16.8 | 17.5 | 20.1 | 22.0 | 25.4 | 29.8 | 32.3 | 32.8 | 29.6 | 26.8 | 21.1 | 17.8 | 18.80 |
| Day comfort: upper | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 28 | 28 | 28 | 28 | 25 | 25 | 25 | AMT |
| lower | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 21 | 21 | 21 | 21 | 20 | 20 | 20 | |
| Monthly mean min | 4.8 | 5.0 | 7.3 | 9.3 | 12.8 | 16.4 | 19.5 | 20.0 | 17.5 | 14.5 | 9.6 | 6.9 | |

| | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Night comfort: upper | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 21 | 21 | 21 | 21 | 20 | 20 | 20 |
| lower | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 |
| Thermal stress: day | C | C | O | O | H | H | H | H | H | H | O | C |
| night | C | C | C | C | O | O | O | O | O | C | C | C |

2. Indicateurs :

| | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | |
|------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| Humid: H1 totals | | | | | x | | | | | x | | | 2 |
| H2 | | | x | x | | | | | | | x | | 3 |
| H3 | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | 12 |
| Arid: A1 | | | | | | x | x | x | x | | | | 4 |
| A2 | | | | | | | | | | | | | 0 |
| A3 | x | x | | | | | | | | | | x | 3 |

| | indicateurs | Confort thermique | | pluviométrie | Groupe d'humidité | différence moyenne |
|----------------------------------|-------------|-------------------|------|---------------|-------------------|--------------------|
| | | jour | nuit | | | |
| Mouvement essentiel de l'air | H1 | H | | | 4 | |
| Mouvement indésirable de l'air | H2 | O | | | 4 | |
| Quantité de pluie nécessaire | H3 | | | Plus de 200mm | | |
| Capacité thermique nécessaire | A1 | | | | 1-2-3 | Plus de 10° |
| Température extérieure désirable | A2 | | H | | 1-2 | |
| Protection contre le froid | A3 | C | | | | |

3. Application :

Total des indicateurs :

| | | | | | |
|-------------------------------|----------|-----------|----------|----------|----------|
| Indicator totals from table 2 | | | | | |
| H1 | H2 | H3 | A1 | A2 | A3 |
| 2 | 3 | 12 | 4 | 0 | 3 |

Spécifications recommandées :

Disposition/ plan de masse

| | | | | | | | | | |
|--|--|--|-------|--|------|---|---|--|--|
| | | | 0-10 | | | | | | Orientation north and south (long axis east-west) |
| | | | 11,12 | | 5-12 | √ | 1 | | |
| | | | | | 0-4 | | 2 | | Compact courtyard planning |

Espacement :

| | | | | | | | | |
|-------|--|--|--|--|--|---|---|---|
| 11,12 | | | | | | | 3 | Open spacing for breeze penetration |
| 2-10 | | | | | | √ | 4 | As 3.but protection from hot and cold wind |
| 0,1 | | | | | | | 5 | Compact lay-out of estates |

Mouvement de l'air :

| | | | | | | | | |
|------|------|----|------|----|----|---|---|--|
| 2 | 3 | 12 | 4 | 0 | 3 | | | |
| H1 | H2 | H3 | A1 | A2 | A3 | | | |
| 3-12 | | | | | | | 6 | Rooms single banked, permanent provision air movement |
| 1,2 | | | 0-5 | | | | 7 | Double banked rooms, temporary provision for air movement |
| | | | 6-12 | | | √ | | |
| 0 | 2-12 | | | | | | 8 | No air movement requirement |
| | 0,1 | | | | | | | |

Ouvertures :

| | | | | | | | | |
|--|--|--|-------|--|-----|--|----|----------------------------|
| | | | 0,1 | | 0 | | 9 | Large openings 40-80% |
| | | | 11,12 | | 0,1 | | 10 | Very small openings 10-20% |

| | | | | | | |
|----------------------|--|--|--|---|----|------------------------|
| Any other conditions | | | | √ | 11 | Medium openings 20-40% |
|----------------------|--|--|--|---|----|------------------------|

Murs :

| | | | | | | | |
|--|--|--|------|--|---|----|-----------------------------------|
| | | | 0-2 | | | 12 | Light walls, short time-lag |
| | | | 3-12 | | √ | 13 | Heavy external and internal walls |

Toits :

| | | | | | | | |
|--|--|--|------|--|---|----|-------------------------------|
| | | | 0-5 | | √ | 14 | Light, insulated roofs |
| | | | 6-12 | | | 15 | Heavy roofs, over 8h time-lag |

Terrasse :

| | | | | | | | |
|--|--|--|--|------|--|----|--------------------------------------|
| | | | | 2-12 | | 16 | Space for out-door sleeping required |
|--|--|--|--|------|--|----|--------------------------------------|

Protection contre la pluie :

| | | | | | | | |
|--|--|------|--|--|---|----|--------------------------------------|
| | | 3-12 | | | √ | 17 | Protection from heavy rain necessary |
|--|--|------|--|--|---|----|--------------------------------------|

Recommandations détaillées :

| | | | | | |
|-------------------------------|----|----|----|----|----|
| Indicator totals from table 2 | | | | | |
| H1 | H2 | H3 | A1 | A2 | A3 |
| 2 | 3 | 12 | 4 | 0 | 3 |

Dimensions des ouvertures

| | | | | | | | |
|--|--|--|-----|------|---|---|----------------|
| | | | | 0 | | 1 | Large: 40-80% |
| | | | 0,1 | | | | |
| | | | | 1-12 | | | |
| | | | 2-5 | | √ | 2 | Medium: 25-40% |

| | | | | | | | | |
|--|--|--|-------|--|------|--|---|--------------------|
| | | | 6-10 | | | | 3 | Small: 15-25% |
| | | | 11,12 | | 0-3 | | 4 | Very small: 10-20% |
| | | | | | 4-12 | | 5 | Medium: 25-40% |

Position des ouvertures

| | | | | | | | | |
|------|------|--|------|--|--|---|----------|---|
| 3-12 | | | | | | | | In north and south walls at body height on windward side |
| 1-2 | | | 0-5 | | | √ | 6 | |
| | | | 6-12 | | | | | As above, openings also in internal walls |
| 0 | 2-12 | | | | | | 7 | |

Protection des ouvertures

| | | | | | | | | |
|--|--|------|--|--|-----|---|----------|-------------------------------------|
| | | | | | 0-2 | | 8 | Exclude direct sunlight |
| | | 2-12 | | | | √ | 9 | Provide protection from rain |

Murs et planchers :

| | | | | | | | | |
|--|--|--|------|--|--|---|-----------|---------------------------------|
| | | | 0-2 | | | | 10 | Light, low thermal capacity |
| | | | 3-12 | | | √ | 11 | Heavy, over 8 h time-lag |

Toits

| | | | | | | | | |
|-------|--|--|------|--|--|---|-----------|-----------------------------------|
| | | | 0-2 | | | | 12 | Light, reflective surface, cavity |
| 10-12 | | | 3-12 | | | | 13 | Light, well insulated |
| | | | | | | √ | | |
| 0,9 | | | 0-5 | | | √ | 14 | Heavy, over 8h time-lag |
| | | | 6-12 | | | | | |

Facades exterieures:

| | | | | | | | | |
|--|--|------|--|------|--|---|-----------|------------------------------------|
| | | | | 1-12 | | | 15 | Space for out-door sleeping |
| | | 1-12 | | | | √ | 16 | Adequate rainwater drainage |

Les recommandations des tableaux de **Mahoney**, viennent confirmer celles de **S Zockolay** et se résument comme suit :

1. Ouvertures de taille moyenne compris entre 25-40%
2. Position des ouvertures : Au Nord et au sud, murs s'élevant face au vent
3. Protection contre la pluie
4. Épaisseur, des murs et des planchers qui donnent un déphasage de plus de 8h
5. La présence de lumière quand c'est l'ensoleillement.
6. Drainage adéquat des pluies

Conclusion :

Il ressort de l'analyse que la radiation solaire constitue un facteur important à exploiter soit par un captage direct par les vitres ou bien par l'utilisation des capteurs solaires pour produire de l'eau chaude sanitaire. L'utilisation des protections solaires dûment dimensionnées, la protection de la surface horizontale du toit ainsi que son isolation, l'utilisation de la couleur un peut sombre, l'usage de la végétation caduques sont autant de solutions passives qui permettent de favoriser les gains en énergie pour la consommation.

Le facteur vent constitue un élément positif pour la ventilation nocturne en été car il permet le rafraichissement de la structure.

c. Détermination de la zone climatique de la ville de Constantine selon la formule de De Martonne :

Calcul d'Indice d'aridité d'après E.D. Martonne :

$$Im = P / (T + 10)$$

Im = indice d'aridité

$$Im = 574.4 / (18.2+10)$$

P = précipitations de l'année

$$Im = 20.36$$

T = température moyenne annuelle

On obtient un $Im=20.36$, veut dire que la valeur du Im est comprise entre $20 < Im < 30$ donc Alger se caractérise par un climat semi-humide.

A. Matrice des isothermes par mois et en heure de la ville d'Alger :

La température neutre : $T_n = 17.6 + (0.31 \times T_m)$

$$= 17.6 + (0.31 \times 14.9) = \underline{23.24^\circ\text{C}}$$

$T_n - 2 \leq \text{zone de confort} \leq T_n + 2$

$23.24^\circ\text{C} - 2 \leq \text{zone de confort} \leq 23.24^\circ\text{C} + 2$

$21.24^\circ\text{C} \leq \text{zone de confort} \leq 25.24^\circ\text{C}$

d. Matrice des isothermes de la région d Alger :

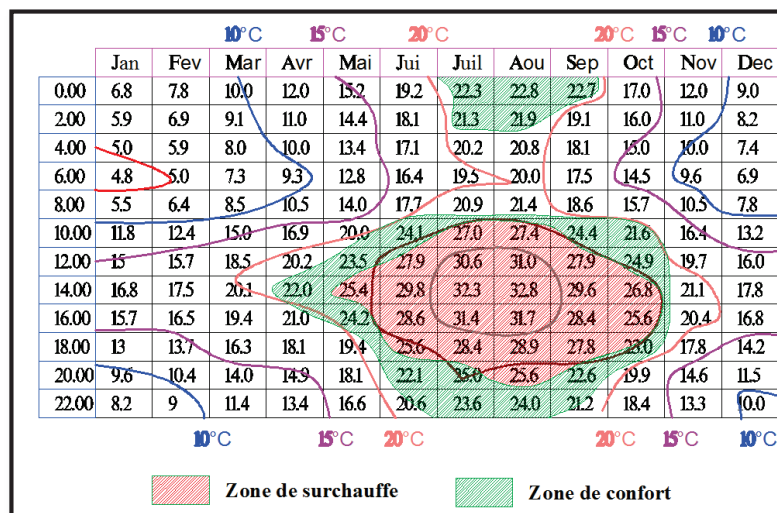


Fig. C. 2 : Matrice des isothermes de la région d Alger.
(Source : l'Auteur)

D'après le diagramme des isothermes de la région d'Alger (cf. Fig. C. 2) on distingue les cinq zones suivantes :

- Zone de sous chauffe très froide : dans laquelle les températures sont inférieures à 10°C , elle comprend les mois de janvier et février.
- Zone de sous chauffe froide : délimitée par les courbes 10° et 15°C , elle comprend principalement les mois d'hiver : novembre, décembre, janvier, février, mars et avril où le chauffage passif pendant l'après midi est nécessaire.

- Zone de confort : comprise entre les courbes 15°C et 20°C, comprend les mois : avril, mai, juin, juillet, août, septembre et octobre mais la tranche horaire diffère d'un mois à l'autre.
- Zone chaude : délimitée par les courbes 20°C et 25°C comprend le mois d'avril, mai, juin, septembre et octobre.
- Zone de surchauffe : englobe principalement les mois de : juillet et août, à ce moment, on doit procurer le maximum d'ombre et de protection.

e. Représentation de zone d'occultation sur le digramme solaire :

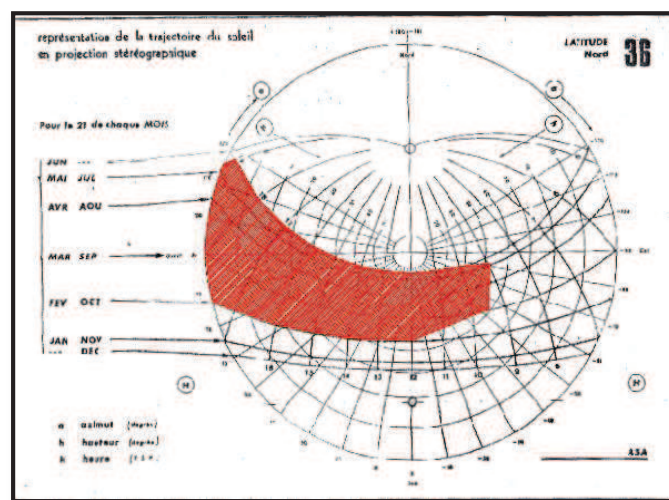


Fig. C.3 : la zone de surchauffe ou d'occultation.
(Source : Auteur)

Annexe D : Résultats des mesures

1. La température de l'air ambiant en °C :

Scenario n°1 : l'effet de la durée de l'ensoleillement (insolation) sur la température intérieure

Cas n°1 : Journée tempérée avec ciel couvert (insolation du matin = 1.7 h / insolation de l'après midi = 1.5 h)

| les heures | Chambre sud ouest du 1er étage | Température extérieure (météo) |
|------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 8h | 21,3 | 13 |
| 10h | 20,3 | 15 |
| 12h | 22,2 | 16,7 |

| | | |
|-----|------|------|
| 14h | 18,5 | 16,2 |
| 16h | 23,4 | 15,8 |
| 18h | 18,8 | 14,4 |
| 20h | 18,2 | 12,2 |

Cas n°2 : Journée froide avec une insolation importante : (insolation m=4.2h/s=2.3h

| les heures | Chambre sud ouest du 1er étage | Température extérieure (météo) |
|------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 8h | 15,5 | 5 |
| 10h | 15,6 | 11,5 |
| 12h | 18,3 | 14 |
| 14h | 16,5 | 15,1 |
| 16h | 21,5 | 14,5 |
| 18h | 15,5 | 11,6 |
| 20h | 16 | 12,5 |

Scenario n°2 l'effet de L'inertie sur la température intérieure :

| les heures | Chambre nord 2 | Chambre sud 2 | Chambre nord 1 |
|------------|----------------|---------------|----------------|
| 8h | 22,1 | 15,2 | 14,3 |
| 10h | 20 | 15,4 | 16,7 |
| 12h | 21,7 | 18 | 17,4 |
| 14h | 18 | 16,4 | 16,4 |
| 16h | 22,8 | 21,5 | 20,3 |
| 18h | 18,5 | 15,5 | 15,3 |
| 20h | 18,3 | 15,9 | 14,2 |

Scenario n°3 : L'effet de l'orientation sur la température intérieure :

| Les heures | Chambre nord 2 | Colonne1 | Température extérieure | Chambre sud 2 | Chambre nord 1 |
|------------|-------------------|----------|---------------------------|------------------|-------------------|
| 8h | 22,1 | | 5 | 15,2 | 14,3 |
| 10h | 20 | | 11,5 | 15,4 | 16,7 |
| 12h | 21,7 | | 14 | 18 | 17,4 |
| 14h | 18 | | 15,1 | 16,4 | 16,4 |

| | | | | | |
|-----|------|--|------|------|------|
| 16h | 22,8 | | 14,5 | 21,5 | 20,3 |
| 18h | 18,5 | | 11,6 | 15,5 | 15,3 |
| 20h | 18,3 | | 12,5 | 15,9 | 14,2 |

Scenario n° 4 : l'effet de la présence du patio sur la répartition des températures

| les heures | température chambre sud1 | température chambre sud2 | stah |
|------------|--------------------------|--------------------------|------|
| 8h | 19,9 | 21,3 | 21,4 |
| 10h | 18,8 | 20,3 | 20 |
| 12h | 20,5 | 22,2 | 22,1 |
| 14h | 18 | 18,6 | 19,4 |
| 16h | 19,4 | 23,4 | 22,2 |
| 18h | 17,5 | 18,8 | 18,4 |
| 20h | 18 | 18,2 | 17,8 |

2. Les humidités en % :

| les heures | humidité chambre sud1 | humidité chambre sud2 | humidité stah |
|------------|-----------------------|-----------------------|---------------|
| 8h | 84 | 75 | 67 |
| 10h | 77 | 67 | 65 |
| 12h | 76 | 69 | 58 |
| 14h | 74 | 70 | 66 |
| 16h | 76 | 62 | 56 |
| 18h | 75 | 69 | 67 |
| 20h | 73 | 68 | 70 |

La période estivale : Résultats et interprétation de l'investigation de la période estivale :

Gradient horizontal des températures :

| les heures | Rue | skifa | Ch sud 1 | Wast dar |
|------------|------|-------|----------|----------|
| 8h | 26.5 | 26.7 | 27.5 | 27.3 |
| 10h | 29.4 | 29.4 | 29.1 | 29.1 |
| 12h | 27.8 | 27.8 | 28.6 | 28.2 |
| 14h | 30.1 | 29.5 | 29.8 | 29.8 |

| | | | | |
|-----|------|------|------|------|
| 16h | 29.2 | 28.9 | 29.2 | 29.3 |
| 18h | 28.1 | 28 | 28.5 | 28.2 |
| 20h | 28.4 | 27.5 | 27.8 | 27.4 |

Gradient vertical des températures :

| les heures | Rue | skifa | Ch sud 1 | Ch sud2 | galerie | Wast dar |
|------------|------|-------|----------|---------|---------|----------|
| 8h | 26.5 | 26.7 | 27.5 | 28.1 | 28 | 27.3 |
| 10h | 29.4 | 29.4 | 29.1 | 29.6 | 29.6 | 29.1 |
| 12h | 27.8 | 27.8 | 28.6 | 30.5 | 30.2 | 28.2 |
| 14h | 30.1 | 29.5 | 29.8 | 30.2 | 30.1 | 29.8 |
| 16h | 29.2 | 28.9 | 29.2 | 29.5 | 29.5 | 29.3 |
| 18h | 28.1 | 28 | 28.5 | 29.1 | 29 | 28.2 |
| 20h | 28.4 | 27.5 | 27.8 | 28.4 | 28.3 | 27.4 |

Annexe E : Établissement de la stratégie de captage et de protection solaires :

E.1 Outils d'étude : L'utilisation de l'enveloppe solaire dans l'étude de la masse de la maison à patio :

Beaucoup de chercheurs ont utilisé l'enveloppe solaire pour définir la configuration du bâti, ainsi que, les différentes distances à laisser entre les différentes masses bâties pour permettre une bonne stratégie de captage et de protection solaire passive. On a choisi cet outil de travail, car il permet de déterminer le volume constructible en fonction des coordonnées solaires. Dans notre étude l'enveloppe solaire nous permet de juger la hauteur des volumes bâtis les uns par rapport aux autres et repenser la masse du bâti de la maison qui entoure le patio, pour permettre aux rayons solaires hivernaux de pénétrer jusqu'aux espaces de vie situés au rez-de-chaussée.

1. Application de l'enveloppe solaire à une échelle urbaine :

L'enveloppe solaire est généralement construite pour limiter la hauteur du bâti des sites avoisinants. Elle a été proposée par Knowles comme un dispositif de zonage, pour permettre l'accès solaire par la détermination des limites du bâti en fonction des mouvements solaires. Les bâtiments qui se trouvent à l'intérieur de ses frontières ne seront pas occultés par les propriétés environnantes, pendant les périodes journalières et annuelles de réception de

l'énergie solaire. Elle garantit l'accès solaire et offre une source d'énergie renouvelable [knowles, 2003]. Donc elle permet aux différents bâtiments du site un droit au soleil égal.

Nous allons commencer par la construction de l'enveloppe solaire de la parcelle de la maison étudiée et des parcelles avoisinantes selon les étapes suivantes :

1.1. La désignation des limites relatives au temps de l'enveloppe solaire :

Pour limiter la période de l'année pour laquelle nous allons construire l'enveloppe solaire, on a eu recours à l'analyse bioclimatique de la ville d'Alger précisément au diagramme psychrométrique (cf. annexe C.2.) pour vérifier les segments des mois qui passent par la zone du chauffage solaire passif qui sont les suivants : octobre, novembre, décembre, janvier, février, mars, avril et mai (cf. Fig. V. 3).

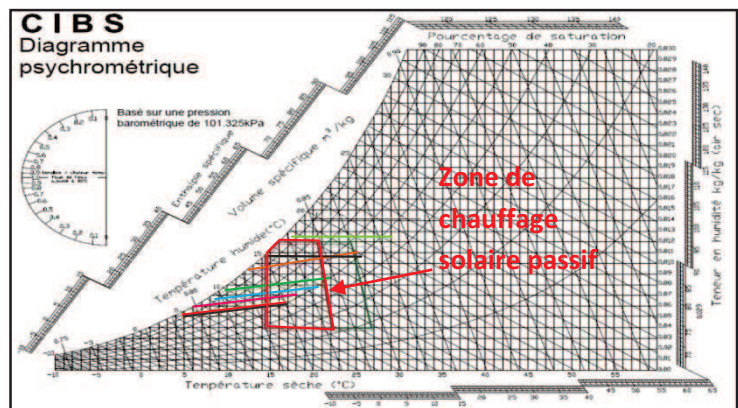


Fig. E. 1 : La zone du chauffage solaire passif sur le diagramme psychrométrique de la ville d'Alger.

(Source : Auteur)

- **Les limites annuelles :** Pour définir les cut-off time (cf. Chap III, section, 3.1.1.1), il faut définir la bonne période de capter les rayons solaires et cela a une forte relation avec la quantité d'énergie qu'apportent ces rayons et qui peut être vérifiée dans l'atlas solaire. D'après le tableau (cf. Tab. E. 1), on constate que la quantité d'énergie que reçoit une surface verticale orientée vers le sud pendant les mois d'octobre et mai est relativement minime pour qu'elle soit captée. Cela nous a poussés à limiter l'intervalle annuel de captage à la période qui s'étend entre les mois de novembre et avril (cf. Tab. E. 1 cellules rouges).

Tab. E. 1 : La quantité de l'énergie sur un plan vertical orienté au sud (W/m^2)
(Source : Capderou Michel. 1986)

| Tranche horaire Mois | 6-7 | 7-8 | 8-9 | 9-10 | 10-11 | 11-12 | 12-13 | 13-14 | 14-15 | 15-16 | 16-17 | 17-18 |
|----------------------------|---------|-----|-----|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Janvier | 0 | 235 | 522 | 714 | 842 | 906 | 906 | 842 | 714 | 522 | 235 |
| Février | 51 | 293 | 513 | 685 | 805 | 867 | 867 | 805 | 685 | 513 | 293 | 51 |
| Mars | 69 | 250 | 432 | 588 | 701 | 760 | 760 | 701 | 588 | 432 | 250 | 69 |
| Avril | 39 | 146 | 302 | 441 | 545 | 600 | 600 | 545 | 441 | 302 | 146 | 39 |
| Mai | 52 | 84 | 184 | 308 | 402 | 453 | 453 | 402 | 308 | 184 | 84 | 52 |
| Juin | 58 | 85 | 133 | 243 | 332 | 379 | 379 | 332 | 243 | 133 | 85 | 58 |
| Juillet | 55 | 83 | 150 | 265 | 354 | 402 | 402 | 354 | 265 | 150 | 83 | 55 |
| Aout | 44 | 103 | 236 | 363 | 459 | 511 | 511 | 459 | 363 | 236 | 103 | 44 |
| Septembre | 44 | 189 | 349 | 492 | 597 | 653 | 653 | 597 | 492 | 349 | 189 | 44 |
| Octobre | 48 | 248 | 443 | 604 | 719 | 779 | 779 | 719 | 604 | 443 | 248 | 48 |
| Novembre | 15 | 237 | 484 | 667 | 791 | 855 | 855 | 791 | 667 | 484 | 237 | 15 |
| Décembre | 0 | 200 | 492 | 690 | 821 | 886 | 886 | 821 | 690 | 492 | 200 | 0 |

- **Les limites journalières :**

Dans une deuxième étape, on a vérifié la quantité d'énergie horaire captée, pendant l'intervalle annuel de captage. On a constaté que la quantité d'énergie n'est importante que pendant la durée qui s'étend entre 10h et 14h, cette période se rapproche de la période établie par Edward Mazria (de 9H à 15H) dans son livre « le guide de la maison solaire». Donc nous finissons par établir les cut-off time présentés dans le tableau (cf. **Tab. E. 2**)

Tab. E. 2 : Les cut-off time. (Source : Auteur)

| La saison | Cut off time | La hauteur solaire | L'azimut solaire |
|-----------|--------------|--------------------|------------------|
| L'hiver | 10h | 25 | -30 |
| | 14h | 25 | 30 |
| L'été | 10h | 62 | -74 |
| | 14h | 62 | 74 |

1.2. La génération de l'enveloppe solaire :

Nous allons commencer par la construction des volumes qui représentent les fuseaux des rayons solaires matinaux et ceux de l'après-midi du 21 décembre (hiver), que reçoit la parcelle de la maison étudiée (cf. Fig. E. 2).

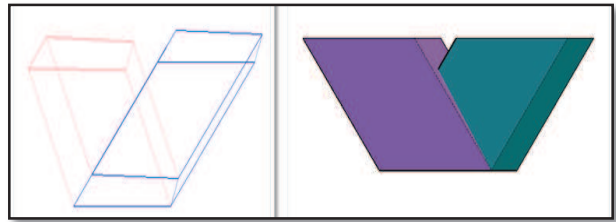


Fig. E. 2 : Intersection des rayons solaires de 10 h et 14 h (21 décembre).

(Source : Auteur)

Dans la deuxième étape et selon la même méthode on a construit les volumes qui représentent les rayons solaires matinaux et ceux de l'après-midi du 21 juin (été), que reçoit la parcelle de la maison étudiée (cf. Fig. E. 3).

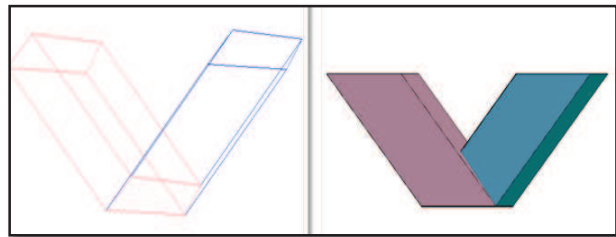


Fig. E. 3 : Intersection des rayons solaires de 10 h et 14 h (21 juin).

(Source : Auteur)

Pour obtenir à la fin deux enveloppes solaires la première correspond au 21 décembre et la deuxième au 21 juin, pour les cut-off time de 10 h à 14 h, on les croise par la suite pour obtenir l'enveloppe solaire finale de la parcelle (cf. Fig. E. 4).

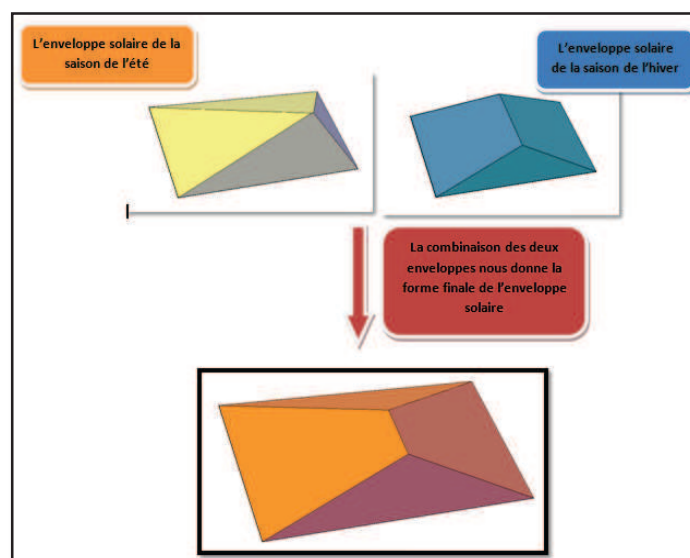


Fig. E. 4 : L'obtention de la forme finale de l'enveloppe solaire.

(Source : Auteur)

Suivant cette même méthode, on a construit les enveloppes solaires des parcelles environnantes (cf. Fig. E. 5). Mais on a remarqué que la construction des enveloppes solaires pour un ensemble de parcelles, nous donne des volumes très aplatis ce qui modifie considérablement la morphologie de la Casbah d'Alger et lui fait perdre ses valeurs socioculturelles, architecturales et climatiques reconnues. Cela nous a orientés à chercher une autre méthode d'utilisation de l'enveloppe solaire, sans dénaturer le tissu traditionnel de la médina.

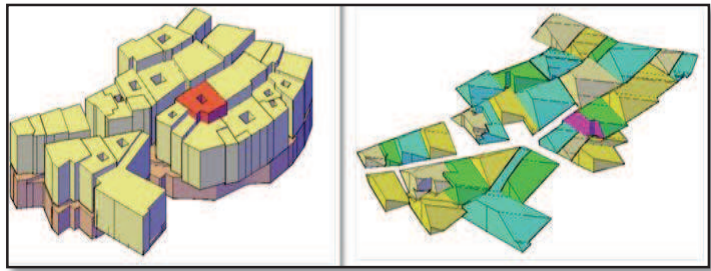


Fig. E. 5 : La construction de l'enveloppe solaire pour la maison étudiée et son entourage.

(Source : Auteur)

On a construit l'enveloppe solaire de l'agrégat (l'îlot) qui contient la maison cas d'étude mais comme le montre la figure (cf. Fig. E. 6) l'îlot est très grand, sachant que les limites de l'enveloppe solaire sont les mêmes que celles de l'îlot, nous aboutissant au même résultat de l'application de l'enveloppe solaire à une échelle architecturale donc les maisons situées aux limites de l'îlot auront des volumes très aplatis. Les résultats aboutis, nous ont mené à changer la méthode d'utiliser de l'enveloppe solaire.



Fig. E. 6 : Étendue et enveloppe solaire de l'agrégat (îlot) de la maison cas d'étude.
(Source : PPSMVSS)

2. L'application de l'enveloppe solaire à une échelle architecturale :

La présence d'un patio a réduit l'étendue de l'étude à une échelle spatiale restreinte (architecturale non pas urbaine), qui touche la maison elle-même et les maisons avoisinantes, car la façade intérieure sera étudiée par rapport à la masse du bâti qui l'entoure.

Le chercheur Ralph Knowles a étudié dans son livre « the Ritual house », le concept de l'espace interstitiel entre deux masses de bâti (qui peut être la cour d'une maison). Il a appliqué son étude sur un site réel de Los Angeles dans un quartier à usage mixte. Pour déterminer la géométrie de l'espace interstitiel (qui est la cour) il a utilisé l'enveloppe solaire avec des cut-off-time qui fournissent 6 heures d'insolation directe, de 9 h à 15 h, pendant toutes les saisons. Ces mêmes cut-off-time produisent une enveloppe beaucoup plus élevée en été qu'en hiver, définissant ainsi le tissu interstitiel.

Comme le montre la figure (cf. Fig. E. 7), Knowles a défini la masse du bâtiment en fonction de l'enveloppe solaire de l'hiver, qui était la principale référence pour la masse du bâtiment et de la géométrie de l'espace interstitiel, ce qui a donné un bâtiment avec cour élevée dans les côtés ouest et nord et d'une petite hauteur à l'est et au sud. L'espace interstitiel, est délimité par un plan imaginaire unique en pente à la suite de la géométrie solaire de l'été. Suivant cette pente, Knowles a dessiné la couverture de protection contre le soleil de l'été (cf. Fig. E. 7).

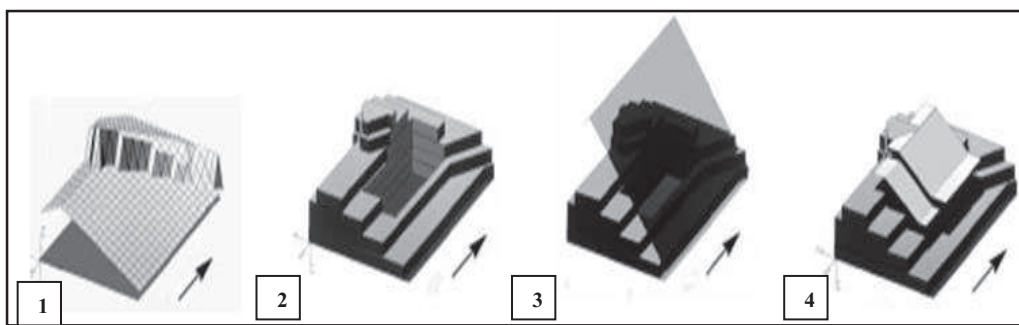


Fig. E. 7 : 1 L'enveloppe solaire ; 2 La masse du bâtiment pour maximiser l'espace de l'enveloppe d'hiver ; 3 L'enveloppe d'été définissant la limite supérieure de l'espace interstitiel ; 4 La couverture réglable de la cour (Source : Knowles 2006)

L'enveloppe solaire peut être utilisée pour garantir l'accès solaire pour la construction, la rue et l'espace ouvert entre les bâtiments [Paramita, Koerniawan, 2013]. En effet, elle permet de limiter le volume maximal constructible. Donc nous allons repenser la masse de la maison traditionnelle à patio de la Casbah d'Alger, en utilisant l'enveloppe solaire. Pour atteindre cet objectif, notre choix s'est porté sur le logiciel « Ecotect » parmi tous les logiciels de simulation qui existent, car il facilite la tâche grâce à sa capacité de construire les enveloppes solaires des fenêtres, en traçant un plan qui ressemble à un plan d'exposition au ciel (sky exposure plan) (cf. Fig. E. 8). L'enveloppe solaire de chaque fenêtre va nous aider à désigner le point restrictif de la hauteur de la masse du bâti au sud du patio.

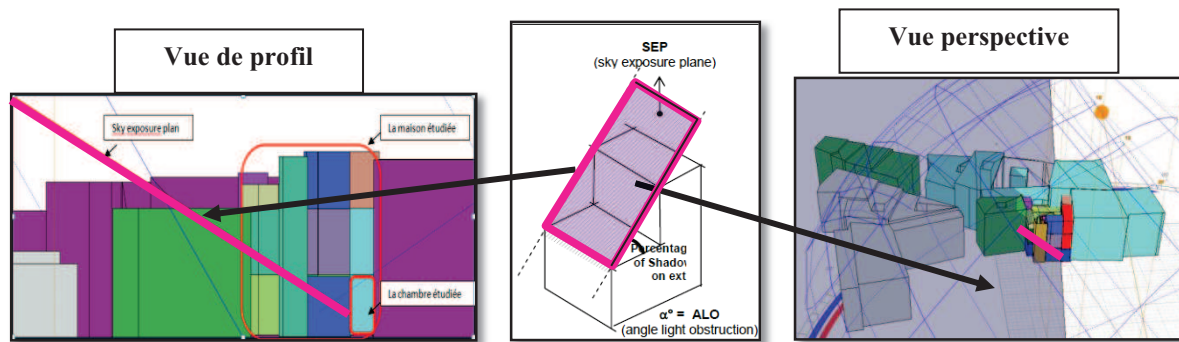


Fig. E. 8 : L'enveloppe solaire de la fenêtre sud du rez-de-chaussée
(Source : Auteur).

Cette enveloppe que dessine « Ecotect », détermine la masse du bâti qui occulte la fenêtre mais sans spécifier les cut-off-time. De plus, notre but est de fonder une méthode simple qui permet d'établir une bonne stratégie solaire pour la maison à patio et qui peut être appliquée par tous les architectes et même ceux qui ne maîtrisent pas les outils de simulation, ce qui nous a orientés vers l'utilisation de la formule de la distance bioclimatique.

Donc l'application de l'enveloppe solaire dans la présente étude ne permet pas d'aboutir aux objectifs déjà déterminés préalablement. Cela nous mène à utiliser le deuxième outil suggéré qui est la formule de calcul de la distance bioclimatique.

E.2. Les résultats de simulation :

Tab. E.1 : Le pourcentage d'ombrage des fenêtres du rez-de-chaussée des modèles étudiés
(%)

| L'heure | le 21 décembre | | le 21 juin | |
|---------|----------------|----------------|---------------|----------------|
| | Ancien modèle | Nouveau modèle | Ancien modèle | Nouveau modèle |
| 8h | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 9h | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 10h | 100 | 76 | 100 | 100 |
| 11h | 100 | 20 | 100 | 100 |
| 12h | 100 | 0 | 51 | 82 |
| 13h | 100 | 0 | 0 | 99 |
| 14h | 100 | 0 | 50 | 100 |
| 15h | 100 | 31 | 100 | 100 |
| 16h | 100 | 99 | 100 | 100 |
| 17h | 100 | 100 | 100 | 100 |

Tab. E.2 : Le rayonnement incident sur les fenêtres du rez-de-chaussée des modèles étudiés
(W /m²)

| L'heure | le 21 décembre | | le 21 juin | |
|---------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| | le nouveau modèle | le modèle existant | le nouveau modèle | le modèle existant |
| 9h | 128 | 0 | 47 | 0 |
| 10h | 256 | 0 | 90 | 0 |
| 11h | 332 | 0 | 138 | 0 |
| 12h | 327 | 0 | 147 | 48 |
| 13h | 304 | 0 | 142 | 81 |
| 14h | 273 | 0 | 105 | 17 |
| 15h | 185 | 0 | 34 | 0 |
| 16h | 79 | 0 | 0 | 0 |

Tab. E.3 : Le rayonnement incident sur la partie opaque de la façade du rez-de-chaussée des modèles étudiés (W /m²)

| L'heure | le 21 décembre | | le 21 juin | |
|---------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| | le nouveau modèle | le modèle existant | le nouveau modèle | le modèle existant |
| 9h | 125 | 2 | 40 | 0 |
| 10h | 248 | 5 | 96 | 0 |
| 11h | 340 | 8 | 137 | 0 |
| 12h | 326 | 9 | 153 | 4 |
| 13h | 302 | 9 | 125 | 16 |
| 14h | 262 | 0 | 104 | 38 |
| 15h | 178 | 0 | 42 | 11 |
| 16h | 79 | 2 | 0 | 0 |

Abstract:

Bioclimatic architecture seeks to provide good comfort for occupants while combining respect for its natural and climatic environment. Within this framework of adaptation of the building to its environment the exploitation of solar energy in housing represents one of the durable solutions in architecture. The effect of the solar radiation on health, comfort and well-being was taken into account in traditional architecture by judicious passive methods and techniques used for collection and protection from solar radiation. These techniques and design strategies related to the climate and the environment are the result of accumulated know-how of our ancestors. The Ottoman medina of Algiers is one of spectacular examples of traditional architecture which was a source of inspiration for artists and painters for centuries. It also represents our source of inspiration in this study.

The fact that the medina of Algiers is based on a submerged mound of Sun, whose houses do not take advantage from it, the morphology of its traditional houses should be reviewed. This prompted us to study the courtyard house of the medina of Algiers, by rethinking its unsuitable elements for appropriate sunshine of its spaces especially those on the ground floor. Therefore, the main aim of this study is to make it possible to solar rays to penetrate the ground floor spaces in winter and to ensure a good solar protection in summer.

With the aim of identifying the origin of the problem of the lack of sunshine especially in spaces of the ground floor, a study was conducted in situ on the morphology of the patio of the Algiers medina house. The results of this study showed that the size of the patio as well as, the width of the gallery play a major role in determining the duration of sunshine of the spaces on the ground floor. being inspired thereafter by the architecture of the traditional courtyard house of the medina of Algiers, we developed a design method of the house with patio based on the adaptation of its geometrical dimensions (such as the height and the width of the patio, the height of barge, the height of the window and the width of the projecting member of the gallery) with the solar geometry. This method is based mainly on the formula of computation of the bioclimatic distance and the trigonometric relations.

After determining the dimensional parameters of a virtual model of the patio house built on the same plot of the case study, and following the established methodology, an analysis of the energy performance was developed using the "Ecotect" software on both existing and virtual models. A comparative study between the results of simulation of the two models for duration of sunshine, rate of shade and amount of intercepted solar gain rates was made. The design and the dimensioning of the simulated model made it possible to obtain 4 hours of useful sunshine for spaces of the ground floor during the winter. The increase of the insignificant solar gain recorded during the summer, compared to the winter period can be mitigated by the use of a removable solar protection or exploitation of passive cooling devices. Consequently, the established method can be used for the improvement of passive solar capture in houses with patio during winter and therefore allows mitigating the environmental and health problems due to high levels of humidity found especially in the ground floor of the houses. Within the framework of the rehabilitation of the medina of Algiers the strategy of passive solar collection and protection of the courtyard houses worked out in this work can be exploited in the construction of new buildings in empty plots or even recovered after degradation of some houses that fall in ruin each day.

Keywords: Traditional architecture, House with patio, the medina of Algiers, Passive solar Capture, Passive solar protection, solar strategy, bioclimatic distance, Ecotect software.

ملخص:

تسعى العمارة المستدامة لتوفير سبل الراحة لسكانها و ذلك باحترام بيئتها الطبيعية والمناخية. في سياق تكيف العمارة لبيئتها، يعتبر استغلال الطاقة الشمسية من بين أنجع الحلول المستدامة للهندسة المعمارية. من جهة أخرى يعتبر تأثير الأشعة الشمسية على الصحة، الراحة والرفاهية من بين العوامل المدرجة في التصميمات الهندسية الخاصة بالعمارة التقليدية، من خلال الاستخدام الحكيم لبعض أساليب وتقنيات تجميع الطاقة الشمسية و كذلك الحماية منها . تعتبر هذه التقنيات والاستراتيجيات التصميمية المتعلقة بالمناخ والبيئة حصيدا تراكم معارف الأسلاف وامتزاجها. تعد مدينة الجزائر القديمة المشيدة خلال الحقبة العثمانية واحدة من الأمثلة الرائعة للهندسة المعمارية التقليدية و التي كانت لقرون مصدر إلهام للفنانين والرسامين. كما أنها تمثل مصدر إلهام لنا في هذه الدراسة.

حقيقة أن المنازل التقليدية لقصبة الجزائر تعاني من قلة تعرضها لأشعة الشمس في فصل الشتاء، رغم أن المدينة مشيدة على تلة مواجهة لأشعة الشمس، دفعتنا إلى إعادة النظر في التصميم المعماري الخاص بهاته المنازل. حيث قمنا بدراسة المنزل التقليدي ذو الفناء الخاص بقصبة الجزائر، من خلال إعادة تصميم أبعاده الهندسية التي تحول دون إمكانية ولوج أشعة الشمس إلى الفضاءات الداخلية للمنزل وخاصة المتواجدة بالطابق الأرضي. و من ثم فإن الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو تمكين أشعة الشمس من الولوج إلى الطابق الأرضي في الشتاء وضمان الحماية المناسبة في فصل الصيف.

من أجل تحديد السبب الرئيسي للإشكالية المطروحة ، أجرينا دراسة مورفولوجية لأحد المنازل التقليدية ذات الأفنية المتواجدة بقصبة الجزائر العاصمة و الذي اتخذ كعينة دراسة. أظهرت نتائج هذه الدراسة أن الأبعاد الهندسية للفناء تلعب دورا رئيسيا في تحديد مدة التعرض لأشعة الشمس في الطابق الأرضي. قمنا بعد ذلك بتطوير طريقة لتصميم منزل ذو فناء بناء على تصميم واختيار أبعاده الهندسية (مثل ارتفاع وعرض الفناء، بعد النافذة عن الأرض ، ارتفاع النافذة وعرض الجزء الناتئ من الرواق) بحسب حركة الشمس، وذلك بالاستحاء من البنية المورفولوجية للمنزل التقليدي ذو الفناء لمدينة الجزائر العاصمة. ويستند هذا الأسلوب أساسا على صيغة حساب المسافة البيومناخية والعلاقات المثالية.

بعد تصميم و تحديد الأبعاد الخاصة بنموذج افتراضي لمنزل ذو فناء مشيد على نفس قطعة بناء عينة الدراسة وفقا للأسلوب المطور في هاته الدراسة. قمنا بإجراء سلسلة من المحاكاة، التي شملت عينة الدراسة والنموذج الافتراضي ، باستخدام البرنامج "ايكوتاكت" بينت نتائج المحاكاة أن أبعاد النموذج الافتراضي تعتبر الأمثل بالمقارنة مع عينة الدراسة حيث أنها تسمح بتعرض الطابق الأرضي للشمس لمدة 4 ساعات خلال فصل الشتاء مع تسجيل زيادة ضئيلة في مدة التعرض لأشعة الشمس في فصل الصيف و التي يمكن التخفيف من وطئتها باستخدام وسائل الحماية من أشعة الشمس. لذا فإن الأسلوب المطور في هذه الدراسة قابل لاستخدام في تصميم المنازل ذات الأفنية لغرض تحسين أدائها الشمسي و التخفيف من المشاكل البيئية والصحية الناجمة عن مستويات الرطوبة العالية بالأخص في الطابق الأرضي للمنازل خلال فصل الشتاء. من جهة أخرى يمكن اللجوء لهذا الأسلوب في ايطار إعادة تأهيل مدينة الجزائر القديمة و ذلك لوضع إستراتيجية لتحسين الأداء الشمسي والاستخدام الرشيد للطاقة الشمسية في المنازل ذات الأفنية.

الكلمات المفتاحية : العمارة التقليدية، دار الفناء، مدينة الجزائر القديمة، تجميع الطاقة الشمسية، الوقاية من الشمس،

إستراتيجية شمسية، المسافة البيومناخية، البرنامج "ايكوتاكت"