

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique.

Université Saad Dahleb, Blida-01.
Institut d'Architecture et d'urbanisme



جامعة سعد دحلب البلدية -01-
معهد الهندسة المعمارية والتعمير

Thèse de doctorat.

Spécialité : Architecture, Patrimoine bâti et Environnement.

Laboratoire : Environnement et Technologie de l'Architecture et Patrimoine bâti, ETAP.

LE PATRIMOINE ARCHITECTURAL SAHARIEN VERNACULAIRE, ADAPTABILITE AU CONTEXTE LOCAL ET PERFORMANCE THERMIQUE. Le cas de la région du Souf.

Par :
AMRI KHAOULA

Devant le jury composé de :

Mr. Mustapha Cheikh-Zouaoui	Professeur	Univ, Saad Dahleb Blida-01.	Président.
Mr. ALKAMA Djamel	Professeur	Univ, 08 Mai 1945 Guelma.	Rapporteur.
Mr. AOUISSI Khalil Bachir	MCA	Univ, Saad Dahleb Blida-01.	Examineur.
Mme. KAOULA Dalel	MCA	Univ, Saad Dahleb Blida-01.	Examinatrice.
Mr. GHARZOULI Lazher	MCA	Univ, Cheikh Laarbi Tebessi, Tébessa.	Examineur.

Année Universitaire : 2022 /2023.

"بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ"

** وَمَا تَوْفِيقِي إِلَّا بِاللَّهِ

عَلَيْهِ تَوَكَّلْتُ

وَإِلَيْهِ أُنِيبُ **

«..... Et ma réussite ne dépend que d'Allah, En Lui je place ma confiance, et c'est vers Lui que je reviens repentant. » SAINT CORAN, Surat HOUD, verset 88.

Dédicace :

Je dédie ce modeste travail :

A la mémoire de ma chère maman,

Mon exemple de courage et d'assiduité ; son souvenir a été ma première motivation pour assumer et achever ce travail.

Paix à son âme, j'espère que ce travail lui rendra heureuse.

A mon cher père.

A mes adorés, mon frère et ma frangine. Qui on m'apportait le soutien et la puissance, vos encouragements m'ont donné la force et le courage pour continuer. Que Dieu le tout-puissant vous garde et vous procure de la santé et du bonheur.

A toute ma famille.

Sans oublier ma chère copine BENHAMLAOUI Rofia.

Remerciement :

Avec l'aide de Dieu tout puissant, j'ai pu accomplir ce modeste travail.

الحمد والشكر لله حمدا كثيرا طيبا

« *N'est pas reconnaissant envers Dieu, celui qui n'est pas reconnaissant envers les gens* » dit Prophétique.

Je tiens à remercier le directeur de thèse le Professeur : Djamel ALKAMA, à qui je présente toute ma gratitude pour les orientations et les conseils fournis, ainsi que pour sa disponibilité tout au long de la recherche et pour la confiance qu'il m'a accordée. Je lui en suis très reconnaissante.

Mes remerciements vont également aux membres du jury pour m'avoir fait l'honneur d'examiner, évaluer, et discuter ce modeste travail.

Je remercie très fort les professeurs : *Younes DOUADJI* de l'université de Blida, et *laabidi LAHRISSI* de l'université de Tébessa, pour leurs disponibilité et orientations durant le travail de simulation.

J'adresse par ailleurs mes remerciements aux membres de laboratoire de géologie et de la bibliothèque centrale de l'université de Tébessa. Ainsi que la direction de culture et la zaouïa de la wilaya d'El Oued pour leur aide et les livres fournis.

Je remercie également la famille Tayeb TRIKI et sa femme paix à son âme, qui ma accueillit pendant toute la durée d'expérimentation dans la ville d'El Oued Souf pour leur compagnie et leur gentillesse.

Mes remerciements vont également à Monsieur Adnane Bensmaine, responsable dans le complexe touristique de la Gazelle d'Or wilaya d'el Oued Souf.

Enfin, J'aimerais témoigner ma gratitude à tous mes collègues et proches qui m'ont soutenu et encouragé tout le long de période de recherche.

A tous qui m'ont apporté leur aide et contribué à l'élaboration de ce travail de proche et loin. Je dis :

Merci

Résumé détaillé :

L'intérêt d'assurer un environnement adéquat devient l'un des enjeux majeurs dans le secteur résidentiel, non seulement pour la qualité des ambiances intérieures, mais aussi pour réduire le taux d'énergie consommée pour les besoins de chauffage et de refroidissement. De nos jours, ce défi est d'autant plus délicat à relever particulièrement avec les conditions climatiques et économiques actuelles ; qui ont fait de la performance thermique et énergétique une exigence mondiale dans tous les domaines et notamment celui du bâtiment.

Cependant, il est bien connu que les techniques passives appliquées dans les constructions vernaculaires s'adaptent de manière adéquate aux contraintes climatiques locales et réussissent à fournir une ambiance thermique intérieure acceptable sans recours aux systèmes mécaniques ; notamment dans les contextes chauds et arides où les conditions climatiques sont torrides en période de surchauffe. Cette architecture reflète une parfaite adaptabilité tant aux contextes : climatique, matériel ainsi que les facteurs socio-culturels.

Localement, sur la base des statistiques, le résidentiel est considéré comme un secteur énergivore par excellence, puisqu'il consomme à lui seul un taux considérable d'énergie en comparant avec les autres secteurs. Ceci est lié principalement à l'augmentation de la demande du parc de logements, ou le souci de satisfaire la quantité sans la prise en considération des caractéristiques locales climatiques de chaque région ; a engendré des logements typiques, donnant l'allure d'une greffe standard des constructions dans différents contextes.

Au regard de cette critique situation, la présente recherche s'est visée comme objectif, d'évaluer puis d'optimiser la performance thermique des dispositifs passifs déployés dans l'architecture vernaculaire locale dans les zones chaudes et arides ; en prenant comme cas d'étude la région d'El Oued Souf. Le choix a été porté pour cette région pour deux principaux facteurs attirants ; le premier est lié à la typologie de l'architecture vernaculaire particulière différente des autres régions sahariennes ; construite en matériaux locaux (la rose de sable *louss* et le gypse de *tafza*) et couverte en voutes et coupes, tandis que le deuxième concerne l'hostilité du climat chaud et sec ; avec des variations importantes des températures extérieures journalières.

Le travail d'investigation est focalisé principalement à l'enveloppe architecturale selon le niveau climatique-matériel. Pour ce faire, La méthode de recherche suivie a été fondée sur une approche empirique mixte : qualitative à travers une analyse bioclimatique des liens interactifs entre les contraintes climatiques et le choix conceptuel de l'unité vernaculaire.

L'autre quantitative à travers des mesures in situ combinées à des questionnaires d'appoints et en ligne sur des échantillons d'habitation de typologie vernaculaire et contemporaine. la phase expérimentale a été réalisée à l'aide d'un instrument de mesure de type Amprobe-TMA5 mesurant les trois grandeurs physiques internes et externes: température ambiante, humidité relative et vitesse de l'air.

L'étude sur terrain a été effectuée sur un corpus de cinq échantillons d'habitation représentant les typologies architecturales vernaculaires et contemporaines, à travers ces spécimens on a pu quantifier et estimer l'impact réel de chaque typologie sur le comportement thermique. Les sondages : en ligne et d'appoint, ont permis de savoir la sensation thermique des usagers vis-à-vis les températures ambiantes mesurées ; ainsi de connaître l'impact de l'ensemble des gestes adaptatives sur l'amélioration du confort thermique intérieur. Ces enquêtes ont été accompagnées par des tests de caractérisation thermo-physiques sur le matériau de construction utilisé pour les murs et la toiture : la pierre de la rose de sable ; afin d'obtenir les indices nécessaires dans le travail de simulation numérique.

L'évaluation des résultats obtenus a été effectuée en référence à la température ambiante de la zone hygrométrique de confort et l'approche adaptative selon la norme ASHRAE -55 standard (The American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers). Ainsi que par rapport à une simulation numérique avec l'interface Energie-plus. La comparaison des différents graphes des échantillons d'habitation testés ; relève des écarts importants des amplitudes thermiques ; et prouve la performance des techniques passives notamment pour la ventilation nocturne et l'inertie thermique de l'enveloppe, capables de fournir une ambiance thermique confortable sans faire recours au système de refroidissement, avec un taux de satisfaction de 80 %. Ceci prouve positivement d'un côté, le rôle important des dispositifs passifs de garantir un confort thermique acceptable et par conséquence la réduction de consommation énergétique notamment en période de surchauffe, et d'un autre coté la participation des gestes adaptatifs à cette amélioration.

Mots clés : architecture vernaculaire, le Souf, contexte aride, investigation thermique, matériaux locaux, architecture contemporaine.

Résumé : L'intérêt d'assurer un environnement confortable devient l'un des enjeux majeurs dans le secteur résidentiel, non seulement pour la qualité des ambiances intérieures, mais aussi pour réduire le taux d'énergie consommée pour les besoins de chauffage et de refroidissement. Cependant, il est bien connu que les techniques passives appliquées dans les constructions vernaculaires s'adaptent de manière adéquate aux contraintes climatiques locales et réussissent à fournir une ambiance thermique intérieure acceptable sans recours aux systèmes mécaniques de refroidissement. A l'échelle nationale, le résidentiel est classé un secteur énergivore ; puisqu'il consomme à lui seul un taux considérable d'énergie primaire totale. Ceci est lié principalement à l'augmentation de la demande du parc de logement, ou le souci de satisfaire la quantité sans la prise en considération des caractéristiques locales climatiques de chaque région ; a engendré des logements typiques, donnant l'allure d'une greffe standard des constructions dans différents contextes.

Au regard de cette critique situation, la présente recherche s'est visée comme objectif d'évaluer puis optimiser la performance thermique des dispositifs passifs déployés dans l'architecture vernaculaire locale, dans les zone chaudes et arides en prenant comme cas d'étude la région d'El Oued Souf vue sa typologie d'architecture vernaculaire particulière différente des autres régions sahariennes ; construite en matériaux originaux (la rose de sable et le gypse de Tafza) et couverte en voutes et coupoles. La méthode suivie est structurée essentiellement sur une approche d'investigation mixte, une analyse qualitative bioclimatique, et autre quantitative à travers des mesures in situ et des sondages d'appoint et en ligne ; sur des échantillons d'habitations de typologie vernaculaire et contemporaine. L'instrument utilisé pour mesure est un anémomètre de type Amprobe -TMA5 ; mesurant les trois indices : température ambiante, l'humidité relative et la vitesse d'aire. Parallèlement, un travail de caractérisation thermique a été effectué sur la pierre de rose de sable pour des besoins de simulation.

L'évaluation des résultats obtenus a été effectuée en référence à l'approche adaptative du confort thermique ainsi que une simulation numérique sur l'interface Energy-plus. La comparaison des divers graphes et résultats des sondages montrent des amplitudes thermiques différentes entres les diverses typologies testées et prouve l'efficience des diverses stratégies passives, notamment celles de la ventilation nocturne. Avec un taux de satisfaction d'environ 80% sans recours au système mécanique pour le refroidissement.

Mot clés : architecture vernaculaire, le Souf, contexte aride, matériaux locaux investigation thermique, architecture contemporaine.

Abstract: The interest to ensure comfortable thermal ambience is becoming one of the major challenges in the residential sector, not only for the quality of indoor environments, but also to reduce the amount of energy consumed for heating and cooling. However, it is well known that passive strategies applied in vernacular constructions respond adequately to climatic requirements and succeed in providing an acceptable indoor thermal environment, with a reduction in energy consumption; especially in hot and arid contexts with torrid conditions in periods of overheating. This architecture reflects a perfect adaptability to the climatic and material context as well as the socio-cultural factors.

Nationally, the residential sector is classified as an energy-intensive sector, since it alone consumes a considerable proportion of total primary energy. This is mainly due to the growing demand for housing stock, where the desire to satisfy quantity without taking into account the local climatic characteristics of each region; has resulted in typical housing, giving the appearance of a standard graft of constructions in different contexts.

In view of this criticism situation, the objective of the present research is to prove the thermal performance and the advantages of the passive techniques used in the vernacular architecture; to be integrated in the current contemporary dwellings. As a case study, the choice of Oued Souf region is done for two reasons; the first related to its hot and dry climate with significant variations in daily temperatures, the second is related to the typical vernacular architecture; built with local materials and covered with vaults and domes. So, the research methodology is based on a mixed qualitative and quantitative comparative approach: through in situ measurements on samples of vernacular and contemporary typology, using an Amprobe-TMA5 model anemometer measuring the following three factors: ambient temperature, relative humidity and air speed. In parallel, subjective survey is carried; these investigations were accompanied by thermal characterization tests on the local materials: sand rose stone.

The evaluation of the obtained results are elaborated with reference to a numerical simulation by the Energy-plus interface as well as the adaptive thermal comfort standard of the ASHRAE -55 standard (American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers). The comparison of the different graphs of the housing samples shows important differences in thermal amplitudes and proves the efficiency of the passive techniques, especially for night ventilation and thermal inertia, capable of providing a comfortable thermal environment without reference to the air conditioning system, with a satisfaction rate of 80%.

Key words: vernacular architecture, the Souf region, arid context, thermal investigation, Local materials, Contemporary architecture

المخلص

أصبح الاهتمام بضمنان مستوى حراري مريح أحد التحديات الرئيسية في القطاع السكني، ليس فقط لجودة بيئة المحيط الداخلي، ولكن أيضًا لتقليل كمية الطاقة المستهلكة للتدفئة والتبريد. من المعروف أن الاستراتيجيات الطبيعية المطبقة في الهندسة التقليدية تستجيب بشكل مناسب للمتطلبات المناخية وتمكن من توفير بيئة حرارية داخلية مقبولة مع تقليل استهلاك الطاقة؛ خاصة في البيئات الحارة والقاحلة ذات الظروف القاسية أثناء فترات ارتفاع درجة الحرارة. تعكس هذه العمارة قدرة مثالية على التكيف مع كل من السياق المناخي والمادي وكذلك مع العوامل الاجتماعية والثقافية.

حاليا مع زيادة احتياجات المساكن والحرص على تلبية الجانب الكمي بإهمال الجانب النوعي، نتج عنه سكنات معمة لا تتوافق مع خصوصيات كل منطقة. في ضوء هذا السياق، فإن الهدف من هذا البحث هو إثبات الأداء الحراري ومزايا التقنيات الطبيعية المستخدمة في العمارة العامة أو التقليدية؛ ليتم دمجها واستخدامها في العمارة المعاصرة الحالية.

كحالة دراسة تم اختيار منطقة الوادي سوف لسببين؛ الأول مرتبط بمناخها الحار والجاف مع اختلافات كبيرة في درجات الحرارة اليومية، والثاني لهندستها المعمارية النموذجية المبنية من مواد محلية ومغطاة بأقبية وقباب. حيث اعتمدت منهجية البحث على منهج مقارن نوعي وكمي من خلال قياسات حرارية في الموقع على عينات من السكنات المحلية والمعاصرة، باستخدام جهاز لقياس العوامل الثلاثة التالية: درجة الحرارة المحيطة والرطوبة النسبية وسرعة الهواء. ، بالإضافة الى استبيانات وقتية وعبر الانترنت. وقد صاحب هذه الخطوات اختبارات التوصيف الحراري على المواد المحلية لحجر الورد الرملي.

تم مقارنة وتقييم النتائج التي تم الحصول عليها بالرجوع إلى محاكاة بواسطة واجهة ENERGY- PLUS

بالإضافة إلى معيار الراحة الحرارية التكيفي لمعيار Ashrae-55 Standard

تكشف المقارنة بين الرسوم البيانية المختلفة لعينات المساكن عن اختلافات كبيرة في الساعات الحرارية وتثبت كفاءة التقنيات الطبيعية، خاصة للتهوية الليلية والقصور الذاتي الحراري، القدرة على توفير بيئة حرارية مريحة دون الرجوع إلى نظام تكييف الهواء. ومعدل رضا حوالي 80٪.

الكلمات المفتاحية: العمارة التقليدية، البيئة الجافة. وادي سوف ، الدراسة الحرارية، المواد المحلية، العمارة المعاصرة

Listes des figures :

Chapitre introductif :

Figure. 01: Consommation mondiale d'énergie primaire

Figure.02 : Bilan énergétique national de l'année 2019.

Figure.03 : Méthodologie de la recherche.

Première partie :

Chapitre.01 :

Figure.01 : Exemple d'un dispositif extrait de livre architecture sans architecte.

Figure.02 : facteurs d'influence du site.

Figure.03 : habitation souterraine autour d'une cour Tunisie.

Figure.04 : Maison troglodytique à Matmata.

Figure.05 : Villages souterrains près de Loyang au Nord de la Chine.

Figure.06 : L'habitat Pueblos au sud- ouest des Etats-Unis d'Amérique.

Figure.07 : Tissu serré, rues en tunnel dans oasis de Dakhla en Egypte.

Figure.08 : Ruelles couvertes.

Figure.09 : La chaleur est emmagasinée dans les murs pendant le jour, l'intérieur est plus frais que l'extérieur.

Figure.10 : Schéma de fonctionnement climatique d'un patio.

Figure.11 : ksar au Maroc.

Figure.12 : Toitures plates à Taos en Etats Uni, à Tombouctou à Mali et Ghadamès en Lybie

Figure.13 : Maison en Thaïlande.

Figure.14 : Utilisation du vent pour ventiler l'habitation en Asie du sud-Est.

Figure.15 : Maisons sur pilotis Chiloé, Chili et habitat Batak en Indonésie.

Figure.16 : Okayama, Japon.

Figure.17 : L'Igloo conception intérieure et sa réaction vis à vis des vents

Figure.18 : La terre, un matériau recyclable.

Figure.19 : Ferme Mofou au Cameroun

Figure.20 : Hiérarchisation des espaces

Figure.21 : Plan d'une maison traditionnelle, avec accès en chicane, Iran

Figure.22 : Acrotères et dispositions d'intimité.

Figure.23 : Différentes mécanismes pour assurer l'intimité en matière d'habitat.

Figure.24 : Plan d'une maison traditionnelle en Arabie saoudite.

Chapitre.02 :

Figure.01 : Carte des climats du monde.

Figure.02 : Pays sous la classification Koppen du climat désertique chaud BWh.

Figure.03 : L'Afrique septentrionale vue par la NASA.

Figure.04 : Répartition des précipitations du Sahara algérien.

Figure.05 : Réseau des oasis au Sahara (Algérie).

Figure.06 : Ressource hydraulique.

Figure.07 : Culture en étage

Figure.08 : Habitat en milieu oasien.

Figure.09 : Des techniques d'irrigation multiples par un bassin de distribution à l'oasis de Chetma.

Figure.10 : Oasis à foggara, le cas de Timimoune. Adaptés de J. Bisson, 1957.

Figure.11 : Seguia à l'air libre irrigant les palmeraies et traçant le parcours de la rue au vieux Biskra.

Figure.12 : Un secteur d'aménagement agraire ancien.

Figure.13 : Les ksour de l'Oued Righi au milieu des palmeraies.

Figure.14 : Position centrale, ksar de Béni-Abbes dans sa palmeraie, ksar au Maroc.

Figure.15 : Position périphérique, Ksar d'Ouargla. Ksar de Taghit.

Figure.16 : Séparation totale entre habitat et palmeraie.

Figure.17 : Rue dans l'oasis el kantara.

Figure.18 : Habitation oasienne à Chetma (Biskra), structure en palmier

Figure.19 : L'horizontalité et la compacité des constructions à Taghit .

Figure.20 : Plan typique d'une maison ksourienne, Maison à quatre piliers au ksar de Knadsa.

Figure.21 : Tissu compact à Ouled Rached (Timimoun).

Figure.22 : Effet venturi

Figure.23 : La médina de Tunisie ; Figure 02 : L'urbanisme du Mزاب.

Figure.24 : Phénomène de flux d'air, alep, Syrie

Figure.25 : La régulation thermique dans la cour durant la journée.

Figure.26 : Maison à patio M'Zab.

Figure.27 : Une jarre d'eau permet d'humidifier l'air

Figure.28 : Les écrans végétaux jouent le rôle de filtrage des rayonnements solaires, lumières, vent et poussières, avec un effet plus limité sur réduction du bruit et ainsi offrent une zone confortable à l'abri de nuisances externes

Figure.29 : Différentes formes des espaces intermédiaires.

Figure.30 : Nomadisme vertical et horizontal, le cas de la maison mozabite.

Figure.31 : Nomadisme horizontale, le cas de maison soufie.

Figure.32 : Nomadisme vertical quotidien d'été.

Figure.33 : Maison à plusieurs rouna .

Figure.34 : Les tours de vent.

Figure.35 : Fonctionnement des cheminées à vent en fonction des conditions extérieur.

Figure.36 : Malquaf à galerie souterraine.

Figure.37 : Maison typique à l'oued souf.

Figure.38 : Type d'occultation des fenêtres aux niveaux supérieur à Jiddah :

Figure.39 : Techniques et traitement des façades en termes de matériaux pour diminuer la nuisance de l'éblouissement.

Chapitre.03:

Figure.01: Falling water house de Frank Lloyd Wright.

Figure.02. Les formes « optimales » proposées par Olgyay pour les 4 types de climats : froid, tempéré, chaud aride et chaud humide.

Figure.03 : Mode de fonctionnement hivernal et estival de la fenêtre réversible.

Figure.04 : Modes de fonctionnement en hiver et en été de la « liquid window » .

Figure.05 : Mur capteur à eau de Steve Baer en Mexique, 1971.

Figure.06 : Stratégies possibles de réduction de la consommation énergétique avec des PMC.

Figure.07 : Charte psychométrique et plage de confort proposé par Givoni pour classification du climat d'un site.

Figure.08 : Charte bioclimatique d'Olgyay.

Figure.09 : Propagation de la chaleur pour différents matériaux en fonction du temps de diffusion.

Figure.10 : l'apport solaire passif pourra être capté au maximum. Vent dominant - Masque solaire du relief - Ombres portées.

Figure.11 : Effet de l'îlot de chaleur, Les températures annuelles moyennes peuvent varier de 1,5°C entre le centre-ville et les campagnes environnantes

Figure.12 : Trajectoire solaire et orientation optimale.

Figure.13 : Effet d'orientation de bâtiment

Figure.14 : Diverses dispositions des bâtiments.

Figure.15 : Stratégie hivernal et estival.

Figure.16 : Ventilation naturelle influencée par le positionnement des ouvertures /en plan.

Figure. 17 : Position des ouvertures par rapport au chemin de ventilation.

Figure.18 : Facteur de transmission solaire d'une toiture suivant son coefficient d'absorption

Figure.19 : Toiture avec combles ventilés - Ecole primaire à Gangouroubouro, Mali.

Figure.20 : village de nouveau Gourn.

Figure.21 : coupe de la maison sidi Abbaz d'André Ravereau avec le rapport à la rue, des espaces extérieurs en toiture et les murs exposés au soleil avec une lame d'air ventilée

Figure.22 : Coupe sur la ventilation double peau des murs extérieurs exposés au soleil avec calepinage de briques standard.

Figure.23 : Maquette illustrant le décalage des niveaux.

Figure.25 : Centre de l'Architecture de Terre, Mali.

Figure.26 : Chantier voûte nubienne.

Figure.27 : Ventilation inspirée des tours de vent iraniennes.

Figure.28 : Illustre le schéma de principe de capteurs à vent.

Figure.29 : Comportement thermique d'un logement.

Figure.30 : Comparaison entre les indices de performance énergétique en kwh/m².ans.

Figure.31 : Maintien du climat intérieur acceptable d'un habitat.

Figure. 32 : Paramètres et facteurs de l'équilibre thermique. D'après Ruano .

Figure.33 : Les échanges thermiques du corps humain avec l'environnement.

Figure.34 : Production métabolique par activité.

Figure.35 : Répartition des échanges de chaleur d'une personne en fonction de la température ambiante, supposée homogène.

Figure.36 : Valeurs exprimées en Clo des tenues vestimentaires

Figure.37 : Isolation typique des vêtements selon la température extérieure à 6 h Tirée de l'ASHRAE-55.

Figure.38 : Zone optimale du taux d'humidité relative.

Figure.39 : Zone de confort en fonction de la température opératoire et de l'humidité.

Figure.40 : L'interaction thermique entre le corps humain et son environnement.

Figure.41 : Transfert de chaleur par convection.

Figure.42 : La figure ci-dessus considère le sentiment de confort thermique exprimé par les sujets eux-mêmes. Il s'agit de pourcentages prévisibles d'insatisfaits (PPD), exprimés sur l'axe vertical, pour des personnes au repos en position assise.

Figure.43 : Températures opératives correspondantes aux différentes plages de confort définies par la norme NBN-EN-15251. Energy-plus.

Figure.44. Graphique des limites d'acceptabilité (80% et 90%) définies par la norme ASHRAE 55-2004.

Deuxième partie :

Chapitre. 01 :

Figure.01 : Situation et délimitation de la région d'étude.

Figure.02 : Zonage climatique.

Figure.03 : Carte mondiale de l'irradiation solaire globale.

Figure.04 : Variation des températures maximale et minimale.

Figure.05 : Historique des variations des températures maximales et minimales (1980-2022).

Figure.06 : Taux de précipitation.

Figure.07 : Mouvement des vents.

Figure.08 : Position de refuge.

Figure.09 : Système agraire.

Figure.10 : Différentes positions de l'habitat par rapport aux secteurs agricoles, Ghout et jardins.

Figure.11 : La topographie particulière du terrain impose une autre dialectique au rapport bâti-palmeraie – eau.

Figure.12 : Position d'habitation par rapport aux ghout.

Figure.13 : L'habitat rural posé à plat en bordure de ghout.

Figure.14 : Monthly durnal averages

Figure.15 : Diagramme psychométrique de la région de Souf. (de Janvier à Décembre).

Figure.16 : Comparaison des deux approches.

Figure .17 : Tache solaire en juillet 2019 et graphes sécometrique de la région.

Figure.18 : Configuration urbaine du vieux quartier Laacheche.

Figure.19 : Ruelle voutée Ruelle couverte et semi couverte du vieux quartier, Auteur, 2019.

Figure.20 : Ombre projetée sur les ruelles, auteur Guemar vieux village.2019.

Figure.21 : Progression de l'unité d'habitation.

Figure.21 : Forme de parcelle et plan approprié.

Figure.22 : Intégration végétale au centre de la maison. Village Zgoum.

Figure.22 : Traitement de sol avec du sable.

Figure.23 : toiture en voute.

Figure.24 : coupoles des habitations auteur2019.

Figure.25 : renouvellement d'air dans la coupole.

Figure.26 : fonctionnement de la coupole.

Figure.27 : Maisons saisonnière et permanente.

Figure.28 : détail des façades. Source : Auteur.2019

Figure.29 : taille des ouvertures intérieures.

Figure31. Poudre de gypse et Four à plâtre. Koucha

Figure.32 : mur extérieur en matériaux locaux

Figure.33 : mur massif en pierre de louss,

Figure.34 : habitation auto construit

Figure.35 : habitat planifié

Chapitre.02 :

Figure. 01 : Processus méthodologique.

Figure.02 : Graphes des jours les plus chauds.

Figure.03 : Graphes les jours les plus froids.

Figure.04 : localisation des échantillons d'habitation vernaculaires et contemporaine.

Figure.05 : vue générale sur l'échantillon vernaculaire (model01)

Figure.06 : vue générale sur le deuxième échantillon vernaculaire : model 02.

Figure.07 : matériaux locaux.

Figure.08 : vue générale sur le troisième échantillon, model 03habitation individuelle

Figure.09 : vue générale sur le l'échantillon contemporain, model 04 : logement semi collectif.

Figure.10 : instrument de mesure.

Figure.11 : fiche de mesure.

Figure.12 : échelle de sensation thermique.

Figure.13 : matériaux locaux préparés pour essais.

Figure.14 : essais de caractérisation thermique.

Figure 15 : montage expérimental et évaluation de température dans les extrémités de la pierre.

Chapitre.03 :

Figure.01 : pourcentage et nombre des participants selon type d'habitation.

Figure.02 : pourcentage de genre (sexe) des participants.

Figure.03 : les tranches d'Age des participants.

Figure.04 : nombre d'occupants par logement.

Figure.05 : nombre de personne par famille et tranches d'âge

Figure. 06 : numéro d'étage par logement.

Figure.07 : orientation des logements.

Figure.08 : Type d'eau chaude

Figure.09 : temps d'occupation des habitations par jour.

Figure.10 : Avis du confort/inconfort en fonction des saisons.

Figure.11 : la pièce la plus chaude.

Figure.12 : Pièce la plus froide

Figure.13 : orientation principale de la chambre de séjour.

Figure.14 : sensation thermique dans la chambre de séjour.

Figure.15 : pourcentage d'utilisation des ouvertures pour ventilation

Figure.16 : temps d'ouverture des fenêtres.

Figure.17 : débit d'air lors d'ouverture des fenêtres.

Figure.18 : utilisation des protections solaires.

Figure.19 : type de ventilation mécanique utilisé.

Figure.20 : éteignement des climatiseurs lorsque les résidents partent.

Figure.21 : emplacement des climatiseurs au niveau des habitations.

Figure.22 : nombre totale des systèmes de refroidissement par type d'habitat.

Figure.23 : facture d'électricité en été.

Figure.24 : la pièce confortable.

Figure.25 : la pièce la plus froide.

Figure.26 : sensation thermique dans le séjour.

Figure.27 : type de chauffage utilisé

Figure.28 : nombre de chauffage utilisé

Figure.29 : ouverture des fenêtres le matin pour bénéficier des apports solaires.

Figure.30 : ouverture pour aération.

Figure.31 : tenus vestimentaire en hiver

Figure.32 : éteignement de chauffage lors de sortie du logement.

Figure.33 : Avis sur la facturation globale de gaz et électricité en hiver

Chapitre.04 :

Figure.01 : emplacement des logements semis collectif.

Figure.02 : les deux types de logement ajoutés pour l'enquête subjective.

Figure.03 : Nombre de participants en pourcentage pour chacune des habitations testées.

Figure.04 : répartition des participants selon les tranches d'Age.

Figure.05 : Répartition du confort/inconfort en fonction des saisons et des habitations

Figure.06 : répartition des réponses à question thermiquement trouvez-vous votre appartement confortable en été.

Figure.07 : répartition des réponses à question thermiquement trouvez-vous votre appartement confortable en été.

Figure .08 : Pourcentage de vote des participants des habitations vernaculaires testées par rapport à leurs sensations envers leur environnement thermique.

Figure.09 : Pourcentage de vote des participants des habitations contemporaines testées par rapport à leurs sensations envers leur environnement thermique.

Figure.10 : Variation des paramètres climatiques intérieurs et extérieurs de l'habitation vernaculaire model *HV1*pour la campagne estivale. (a) la température ambiante (b) Taux d'humidité relative (c) : la vitesse de l'air.

Figure.11 : Variation des paramètres climatiques intérieurs et extérieurs de l'habitation vernaculaire model *HV1*pour la campagne hivernale. (a) la température ambiante (b), Taux d'humidité relative (c), la vitesse de l'air.

Figure.12 : Variation des paramètres climatiques intérieurs et extérieurs de l'habitation vernaculaire model *HV2*pour la campagne estivale. (a) la température ambiante (b), Taux d'humidité relative (c), la vitesse de l'air.

Figure.13 : Variation des paramètres climatiques intérieurs et extérieurs de l'habitation vernaculaire model *HV2* pour la campagne hivernale. (a) la température ambiante (b), Taux d'humidité relative (c), la vitesse de l'air.

Figure.14 : Variation des paramètres climatiques intérieurs et extérieurs de l'habitation vernaculaire model *HV3* pour la campagne estivale. (a) la température ambiante (b), Taux d'humidité relative (c), la vitesse de l'air.

Figure.15 : Variation des paramètres climatiques intérieurs et extérieurs de l'habitation vernaculaire model *HV1* pour la campagne hivernale. (a) la température ambiante (b), Taux d'humidité relative (c), la vitesse de l'air.

Figure.16 : Variation des paramètres climatiques intérieurs et extérieurs de l'habitation vernaculaire model *HV3, espace sabbat* pour la campagne estivale. (a) la température ambiante (b), Taux d'humidité relative (c), la vitesse de l'air – Espace sabbat-

Figure.17 : Variation des paramètres climatiques intérieurs et extérieurs de l'habitation vernaculaire model *HC1* pour la campagne hivernale. (a) la température ambiante (b), Taux d'humidité relative (c), la vitesse de l'air.

Figure. 18 : Variation des paramètres climatiques intérieure et extérieure du logement semi collectif pour une journée d'été (a) température ambiante (b) humidité relative (c) vitesse de l'air.

Figure .19 : Variation des paramètres climatiques du logement semi -collectif pour une journée d'hiver, (a) température ambiante (b) humidité relative (c) vitesse de l'air.

Figure.20 : variation de température opérative en période estivale pour le model, HV1.

Figure.21 : variation de température opérative en période estivale pour le model, HV2.

Figure.22 : effet de la ventilation nocturne.

Figure.23 : Températures intérieures de confort observées (OBS) et prédites tirées de la base de données RP-884, pour les bâtiments à ventilation naturelle.

Figure.24 : Le changement de la température de confort avec la température extérieure moyenne mensuelle pour les bâtiments non climatisés et les bâtiments climatisés.

Figure.25 : projection de la zone de confort sur le graphe des habitations de typologie vernaculaire. Figure.21: projection sur le graphe adaptatif .

Figure.26: simulation sur le diagramme adaptatif des échantillons vernaculaires

Figure.27 : simulation du model HV1. (a) modélisation du model, (b) Variation de la température intérieure et extérieure pendant le jour chaude, (c) Variation de la température intérieure et extérieure pendant le jour le plus froid.

Figure.28 : simulation de l'habitation vernaculaire. (a) Modélisation du logement, (b) Variation de la température intérieure et extérieure pendant le jour le plus chaud (c) Variation de la température intérieure et extérieure pendant le jour le plus froid.

Figure.29 : a. variation des facteurs climatiques à l'intérieur et l'extérieur dans l'exemple vernaculaire, chambre de séjour pour une journée froide.b. variation des facteurs climatiques à l'intérieur et l'extérieur dans l'exemple vernaculaire, chambre de séjour pour une journée d'été.

Figure.30 : simulation du logement semi collective. (a) modélisation de logement (b). Variation de la température intérieure et extérieure pendant le jour le plus chaud (c) Variation de la température intérieure et extérieure pendant le jour le plus froid.

Figure.31: ensoleillement et la forme de toiture.

Figure.32 : le système Barra, (cheminée) avec des canaux de ventilation intégrés dans la structure pour rafraichissement sans courant d'air intérieur.

Figure.33 : rapport entre le facteur solaire g et la transmission Lumineuse TL.

Figure.34 : récupération de l'air frais sous toiture pendant la nuit, le jour le système est condamné.

Figure.35: système de toiture isolée dépliable.

Figure.36 : toiture dépliable avec des bacs d'eau.

Liste des tableaux :

Tableau.01 : quelques types de matériaux locaux.

Tableau.02 : classification climatique selon l'indice d'aridité de Martonne.

Tableau.03 : température moyenne au Sahara

Tableau.04 : Taux métabolique par activité tiré de l'ASHRAE 55 (2013, p.05).

Tableau.05 : facteurs influents le bilan

Tableau.05 : Échelle de la sensation thermique de Fanger en 1970 et l'échelle modifiée par ASHRAE (2004).

Tableau.06 : Abréviations des noms des pièces mesurées

Tableau.07 : Matériaux constituant l'enveloppe contemporaine et leurs caractéristiques thermiques

Tableau.08 : propriété thermiques des matériaux.

Tableau.09 : information sur l'occupant de l'espace mesuré.

ABRÉVIATIONS :

RT : Réglementation thermique.

ASHRAE: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers.

Clo: Clothing insulation ($m^2 k/w$).

Met: Metabolic rates (w/m^2).

DTR : Réglementation thermique des bâtiments.

CBE: Building and Environmental Center.

NOMENCLATURE

T: Température ($^{\circ}C$).

Q: flux de chaleur (w/m^2).

d: épaisseur (m).

S: Surface (m^2).

λ : conductivité thermique $w/ (m. k)$

R : résistance ($m^2. k/w$).

ρ : densité (g/cm^3)

M: Masse (g)

V : Volume (cm^3)

Table des matières

Remerciement.....	
Dédicace	
Résumé.....	
Abstract.....	
الملخص.....	
Liste des figures.....	
Liste des tableaux.....	
Nomenclature.....	
Productions scientifiques.....	

Chapitre introductif :

1. Contexte général de la thèse.	02
2. Problématique générale.....	06
3. Problématique spécifique.....	07
4. hypothèses.....	07
5. Objectifs	08
6. Perspectives de recherche.....	09
7. Les motivations de recherche.....	10
*Motivations théoriques.....	10
*Motivations pratiques.....	11
8. Méthodologie de recherche.....	12
9. Structuration de manuscrit.....	13

Première partie : le corpus théorique.

Chapitre.01 : Regard sur l'architecture vernaculaire et la notion d'adaptabilité.

Introduction.....	17
1. Réflexion sur le bâti vernaculaire ; cadre général et environnement des données disponibles sur la notion.	
1.1. Pourquoi le choix du vernaculaire ?.....	19
1.2. Apport du vernaculaire dans le contexte énergétique actuel.....	20
1.3. Le vernaculaire n'est pas un produit d'hasard	21

1.4. Etymologie et concepts.....	23
1.5. La Place du vernaculaire dans le patrimoine universel.....	26
1.6. Les contours de l'architecture vernaculaire.....	27
2. Les ressources du vernaculaire et la notion d'adaptabilité.....	29
2.1. Discussion des précurseurs dans le domaine.....	29
2.2. Les ressources du vernaculaire.....	31
2.2.1. L'environnement géo-climatique générateur des caractères typologiques.....	31
*Le site.....	31
*Le rapport au sol.....	32
*Variables du climat et leurs réponses selon les contextes.....	36
2.2.2. L'image de l'architecture vernaculaire à travers les matériaux locaux et les arts de bâtir et culture constructive.....	45
*Matériaux et mise en œuvre	46
2.2.3. L'influence des pratiques socio-culturelles.....	48
Conclusion	55

**Chapitre.02 : influence des facteurs climatiques et matériels sur les typologies
architecturales, solutions adoptées dans l'architecture vernaculaire en zones chaudes et
arides.**

Introduction.....	57
1. Particularités du contexte Saharien. (Zones arides, climat Aride)	
1.1. Localisation et climat.....	58
1.2. L'environnement aride et ses contraintes.....	61
1.2.1. La contrainte de l'aridité.....	61
*Les indices.....	63
1.2.2. La contrainte thermique.....	64
1.3. Les établissements sahariens et l'environnement aride ; les modes d'adaptation aux contraintes du milieu.....	68
1.3.1. Les oasis.....	63
1.3.2. L'oasis comme référentiel d'adaptation aux conditions chaudes extrêmes	69
1.3.3. Typologie des oasis.....	74
1.3.4. Rapport système oasien et l'établissement humain.....	78
*Apport des oasis dans la fraîcheur ambiante.....	80

2. Etablissement humain en milieu saharien.....	83
2.1.Les ksour.....	83
2.1.1. Typologie des ksour	84
2.1.2. Nomades et sédentaires	85
2.1.3. Distinguo : Le ksar-cité/ Ksar -village.....	79
2.1.4. L'Habitat ksourien.....	81
2.2.Déterminisme climatique et architecture ksourienne.....	91
2.3.Adaptation bioclimatiques des ksour.....	91
2.4.L'habitat des 19 et 20 siècles, adaptation ou rupture.....	92
3. Interaction entre facteurs climatiques et technicités vernaculaires.	93
3.1. Adaptation à l'échelle urbaine, le tissu compact.....	94
3.1.1. La climatisation urbaine traditionnelle.....	96
*Au niveau de l'ilot.....	90
* L'ombre urbaine.....	97
3.1.2. L'inertie de l'enveloppe.....	98
3.2. Techniques de régularisation thermique.....	99
3.2.1. Le patio et la cour enterrée.....	93
3.2.2. Dispositifs annexes de la cours.....	101
*Les plans d'eau.....	101
* Les espaces tampons.....	103
3.3.Technique d'adaptation aux rigueurs climatiques.....	105
3.3.1. Le nomadisme.....	105
* Nomadisme saisonnier vertical et horizontal.....	106
* Nomadisme quotidien.....	107
3.3.2. La terrasse sur les toits.....	108
3.4. Techniques de ventilation naturelle.....	108
3.4.1. Ventilation par rozna.....	109
3.4.2. Malqaf ou Badgir.....	109
3.4.3. Les ouvertures.....	112
3.4.4. Toit en voutes et les coupoles.....	112
3.5. Techniques de protection.....	113
3.5.1. Le moucharabieh.....	113
3.5.2. La couleur et crépissage des murs.....	114
Conclusion	116

Chapitre. 03 : Le néo-vernaculaire et l'Approche bioclimatique dans le bâtiment - la performance thermique et le confort thermique.

Introduction	118
1. Le néo-vernaculaire et l'approche bioclimatique dans le bâtiment. Solutions architecturales d'amélioration du confort avec diminution des consommations énergétiques.....	
1.1. Du vernaculaire au bioclimatique.....	120
1.1.1. Evolution des concepts.....	121
1.1.2. Bref synthèse sur les théories bioclimatiques.....	124
1.2. Quelques technologies et solutions.....	128
1.2.1. Fenêtre réversible.....	128
1.2.2. Fenêtre liquide.....	129
1.2.3. Les Murs capteurs.....	129
1.2.4. L'isolation comme solution d'urgence.....	130
1.2.4. Les matériaux à changement de phase.....	130
1.3. Les méthodes de conception en climat chaud à partir de modélisation des zones de confort hygrothermique.....	
1.3.1. Le diagramme de Givoni.....	131
1.3.2. Les tableaux d'Olgay.....	132
1.3.3. Les tableaux de Mahoney.....	133
1.4. Facteurs influents.....	134
1.5. Clé génératrice de la conception bioclimatique.....	138
2. Apport du vernaculaire dans la pratique architecturale contemporaine.	
2.1. Expérience d'Hassan Fathi.....	148
2.2. Expérience D'André Ravereau.....	149
2.3. Projets inspirés du vernaculaire.	151
2.3.1. La tour 30 St Mary Axe	152
2.2.2. Habitat en matériau locaux.....	158
2.2.3. Toiture en voutes, l'Association des Voûtes Nubiennes (AVN).....	154
2.2.4. Immeuble administratif contemporain inspiré des tours à vent.....	155

3. La performance thermique et approches d'évaluation du confort thermique dans le bâtiment.....	
3.1. Généralités sur le bâtiment performant.....	158
3.1.1. Le bâtiment basse consommation (BBC).....	159
3.1.2. Le bâtiment passif.....	160
3.1.3. Le bâtiment zéro énergie.....	161
3.2. Le confort thermique concepts et contours.....	162
3.3. Paramètres influents le confort thermique.....	165
3.3.1. <i>Facteurs en lien avec l'occupant</i>	166
*Métabolisme et taux métabolique	
*La vêtue.....	169
3.3.2. <i>Facteurs liés aux paramètres d'ambiances intérieures</i>	164
*Température ambiante de l'air (Ta).....	171
*La température des parois (Tp).....	173
*Température du sol.....	173
*La vitesse de l'air.....	173
*L'humidité relative.....	174
3.3.3. <i>Facteurs s liés aux gains thermiques internes</i>	176
3.4. Les mécanismes de thermorégulation humaine.....	170
3.4.1. L'Aspect physiologique, la thermorégulation humaine.....	178
3.4.2. L'aspect physique ; échanges et bilan thermique.....	178
3.4.2.1. Le Bilan thermique.....	171
3.4.2.2. Echanges de chaleur entre l'organisme et le milieu.....	179
* Les échanges de chaleur sensibles.....	173
**La conduction.....	173
**La convection.....	174
**Le rayonnement.....	175
* Les transferts Latents.....	176
-L'évaporation.....	176
3.4.3. L'aspect psychologique.....	183
3.5. Les approches du confort thermique et modèle d'évaluation.....	184
3.5.1. Approche statique.....	184
3.5.2. Approche analytique.....	185

*Modèle d'équilibre thermique.....	185
3.5.3. Approche adaptative.....	189
3.6. Autres critères d'évaluation du confort.....	187
Conclusion.....	196

Deuxième partie : phase empirique et expérimentale.

Chapitre.01. Présentation géomorphologique et analyse bioclimatique de la région d'étude.

Introduction	198
1. Présentation géo-climatique de la région d'El Oued Souf :	
1.1. Situation géographique.....	199
1.2. Environnement climatique.....	200
1.2.1. Indice d'aridité.....	201
1.2.2. La température de l'air.....	202
1.2.3. Précipitation et humidité relative.....	204
1.2.4. Les vents.....	205
2. Conditions physiques d'occupation	
2.1. Caractère géographique de la région.....	207
*Reliefs et atouts souterraines.....	207
2.2. Le Souf, est un pays isolé mais vivant et peuplé, est Un cas qui échappe au reste des pays bas Sahara.....	208
2.2.1. Système oasien.....	210
2.2.2. Rôle de l'oasis dans la morphologie du territoire.....	212
3. Analyse thermique.....	214
3.1. Diagramme de Givoni.....	215
3.2. Tableau de Mahoney.....	215
3.4. Etude de l'ensoleillement.....	216
* Période d'ensoleillement et d'ombre.....	216
4. Les unités d'habitations vernaculaires dans la région	
4.1. Typologie architecturale.....	217
4.2. Adaptation à l'échelle urbaine.....	217
4.3. A l'échelle de L'unité vernaculaire.....	220
4.3.1. Progression de l'unité d'habitation.....	220
4.3.2. La maison typique.....	221

5. Adaptation climatique.....	223
5.1. L'orientation.....	223
5.2. Le rôle de la cour intérieur.....	223
5.2.1. Élément hydrique, puits et palmier.....	223
5.2.2. Le pavage de la cour en sable.....	224
5.3. La toiture en voutes et coupoles.....	224
5.4. Le nomadisme intérieur et extérieur.....	228
* Sabbat espace marquant.....	229
5.5. Façades aveugle avec traitement en gypse.....	229
*La taille des ouvertures.....	230
5.6. Les mur massif et Matériaux de construction locaux	231
5.6.1. Matériaux locaux.....	231
5.6.2. Inertie thermique des murs massifs.....	234
6. Les typologies post vernaculaire.....	235
6.1. L'Auto construit.....	235
6.2. Habitat planifiée contemporaine.....	236
Conclusion.	238
<i><u>Chapitre. 02. Investigation sur l'ambiances thermiques des habitations, les enquêtes subjectives et objectives.</u></i>	
Introduction.....	241
1. Méthodologie d'investigation.....	243
1.1.Critères de choix de type d'enquête.....	236
1.2.Description de la méthodologie utilisée.....	245
2. Analyse objective, les mesures physiques.....	246
2.1.Choix d'une station météorologique.....	246
2.2.Description des échantillons d'habitation	247
2.3.Typologie d'habitations.....	
2.3.1. Echantillons de typologie vernaculaire.....	248
2.3.2. Echantillons de typologie contemporaine.....	252
2.4.Instrument utilisé durant la compagne.....	254
2.5.Mesure in situ.....	255
2.5.1. Périodes des mesures.....	255
2.5.2. Fiches de mesure.....	256
2.5.3. L'espace choisit pour mesure.....	257

2.6.Paramètres climatiques mesurées.....	258
2.6.1. Mesures à l'intérieur de l'espace.....	258
2.6.2. Les Mesures à l'extérieur au niveau de la rue.....	258
3. Investigation objective.....	252
3.1.1. Le questionnaire au temps de mesure.....	259
3.1.2. Le questionnaire en ligne *sondage*.....	259
4. Les outils de simulation et analyse numérique.....	261
4.1.Les Expérimentation sur matériaux : la rose de sable	
*Caractérisation matériaux : densité + conductivité.....	262
4.2. Simulation numérique.....	265
4.2.1. Choix d'outils de simulation.....	266
4.2.2. Energy-plus.....	266
4.3. Processus du travail de simulation.....	266
4.3.1. Création d'un fichier météorologique.....	266
4.3.2. Donnée entrée dans l'interface Ep-lunch.....	267
*Données d'entrée ; input.....	268
*Données de sortis Output.....	270
<u>Chapitre. 03 : Résultats et évaluation.</u>	
<i>Introduction</i>	272
1. Évaluation subjective sur terrain du confort thermique.....	273
1.1. Volet 01 : Qui êtes-vous ?.....	273
1.2. Volet. 02 : L'été et votre logement ?.....	279
1.3.Volet 03. Le confort en hiver.....	287
2. Évaluation du confort thermique avec les critères mesurés.....	
2.1.Enquête porte à porte, accompagnée aux mesures.....	293
2.1.1. Pourcentage de participation.....	294
2.1.2. Caractéristiques du ménage.....	294
2.1.3. Nombre de personnes par logement.....	295
2.1.4. Avis de l'occupant sur son environnement physique.....	295
3. Mesures in situ.....	295
3.1.Variation des paramètres de l'ambiance thermique pour l'échantillon vernaculaire, model HV1	300
3.2. Variation des paramètres de l'ambiance thermique pour l'échantillon vernaculaire, model HV2.....	304

3.3.Variation des paramètres de l’ambiance thermique pour l’échantillon vernaculaire, model HV3.....	306
3.4.Variation des paramètres de l’ambiance thermique pour l’habitation individuelle contemporaine model HC1.....	309
3.5.Variation des paramètres de l’ambiance thermique pour le logement semi collectif model LC2.....	311
4. Discussion et comparaison.	
4.1. Par rapport au facteur température ambiante.....	315
4.2. Par rapport au facteur d’humidité relative.....	317
4.3Par rapport au facteur vitesse de l’air.....	318
4.4. Evaluation par rapport à la norme adaptative : l’ASHRAE 55-2013.....	325
4.5. Comparaison avec la simulation.....	331
5. Recommandations et perspectives	
Perspectives et recommandations.....	336
CONCLUSION GENERALE.	349
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	352
ANNEXE.....	367

Chapitre introductif :

« L'architecture est une merveilleuse expression du processus de découverte. C'est comme un scientifique qui ne connaît pas la réponse, mais qu'il sait le chemin qui y mène. C'est cela qui me fait agir : la joie du chemin, la découverte. »¹

¹ Glenn Murcutt, Exposition Architecture for place, Bruxelles, 2013.

1. Contexte générale de la recherche :

L'idée de recherche s'inscrit globalement au contexte actuel de la crise énergétique qui touche la majorité des pays du monde, selon les statistiques fournies par l'unité thermique britannique figure .01, a. la consommation d'énergie primaire a augmenté à 595,15 EJ ce qui est équivalent à 5,8% de consommation dans l'année 2020 ; ou les énergies fossiles dominent cette consommation. Depuis le graphique sur la figure .01, b qui détaille les tendances de consommation par sources d'énergie, on observe que l'utilisation d'énergies renouvelables est amenée à être considérablement augmentée à l'horizon 2020/2050 ; mais en parallèle les sources fossiles resteront la principale source d'énergie dans les scénarios de références, avec environ 40 % d'augmentation, si on continuera dans les mêmes stratégies actuelles d'exploitation et gestion de ressources actuelles.

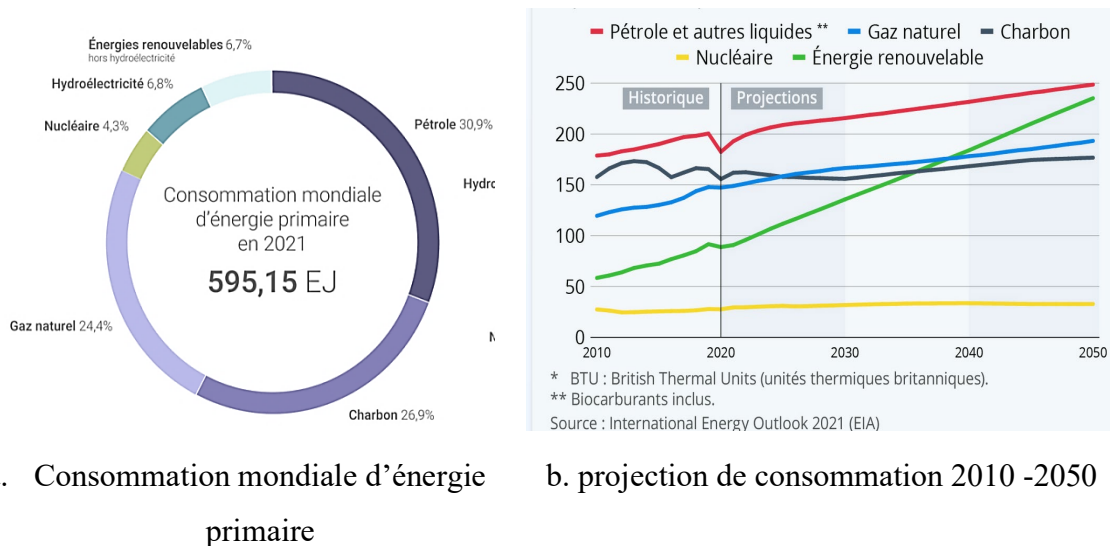


Figure. 01: Consommation mondiale d'énergie primaire²

Devant ce contexte les perspectives d'améliorations de consommation globales font aujourd'hui un défi majeur, ou toutes les préoccupations et les alternatives associées à la réduction de la consommation énergétique et les émissions de gaz à effet de serre (GES) sont encouragées. En effet, le secteur du bâtiment est directement concerné par la nécessité de réduire autant que possible cette consommation, en raison de sa contribution importante au changement climatique, avec des dégagements d'environ 33% des émissions mondiales de gaz

² EIA, revue international energy Outlook, 2021.

à effet de serre³. En outre, les systèmes CVC (chauffage, ventilation et climatisation) consomment entre 16 et 50 % du taux d'énergie totale, la part la plus importante parmi toutes les autres applications dans les bâtiments⁴. Localement, et sur la base des statistiques fournies par l'agence nationale pour la rationalisation et la promotion de l'énergie APRUE. figure.01, a ; les énergies fossiles dominent cette répartition, le gaz naturel avec 34% et électricité 27%

De sa part le secteur du bâtiment représente 42% de la consommation finale d'énergie⁵. Figure. 02, b. Cette situation critique rend indispensable l'amélioration des conditions thermiques et l'intégration de techniques passives dans la conception des nouveaux bâtiments, en utilisant les ressources locales et les procédés de ventilation naturelle.

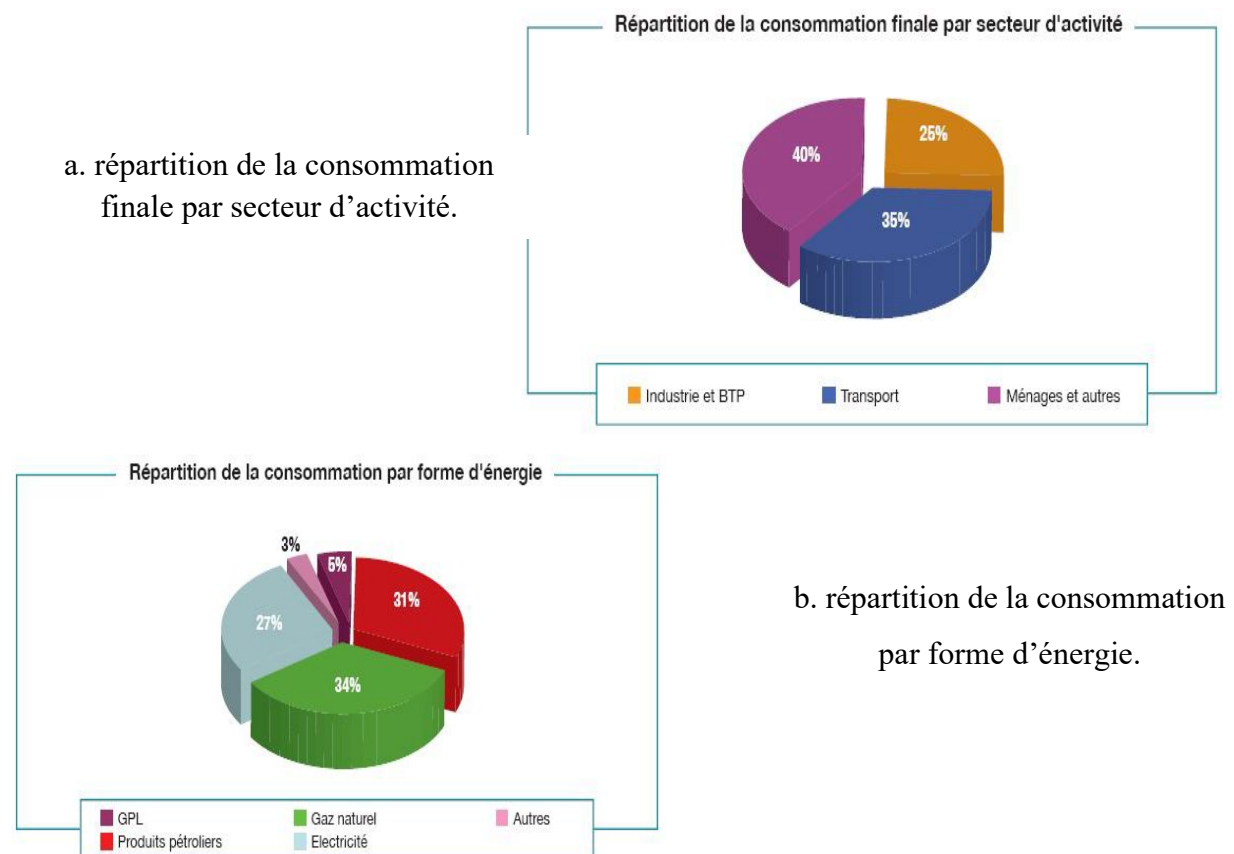


Figure.02 : Bilan énergétique national de l'année 2019⁶.

³ Office of Energy Efficiency and Renewable Energy (EERE). Buildings energy data book, US department of energy: Washington, USA, 2009.

⁴ Anand Y, Anand S, Gupta A, Tyagi S K. Building envelope performance with different insulating materials an energy approach. Journal Applied Thermal Engineering, 2015; 1(4):433 - 439. doi:10.18186/jte.06871.

⁵ <https://www.energy.gov.dz>.

⁶ APRUE. Agence nationale pour la promotion de l'utilisation et la rationalisation de l'énergie, 2019.

En effet, De nombreuses études ont montrés que la consommation d'énergie pour couvrir les charges thermiques peut être minimisée par une utilisation efficace et judicieuse des ressources du bâtiment, notamment par une conception et une exploitation passive de celui-ci. L'exemple de la recherche réalisée par le laboratoire d'énergie dans les zones arides (ENERGARID) à l'université de Béchar et l'unité de recherche sur les matériaux et les énergies renouvelables sur la ventilation naturelle en climat chaud et aride, à travers l'étude de la ventilation naturelle des capteurs de vent de différentes géométries⁷. Ainsi, ces techniques passives deviennent une solution non seulement pour réduire les consommations et les coûts énergétiques, mais aussi pour assurer un niveau acceptable du confort thermique et fournir une ambiance intérieure agréable.

L'intention est visée particulièrement au milieu chaude et aride, du fait que ce contexte présente un caractère extrêmement particulier, où le confort thermique des habitants doit requiert une adaptation réfléchie des constructions aux rigueurs climatiques notamment pendant les périodes de surchauffe. Actuellement ce milieu est confronté à une croissance urbaine accrue suite à l'augmentation des besoins du parc de logement, la ville saharienne s'agrandit et renouvelle en profondeur dans ses formes architecturales et constructives. Les constructions actuelles marquent l'apogée de cette tendance avec des bâtiments en hauteurs, des toitures en dalles plates remplaçant la cour et la toiture voutée. Les matériaux traditionnels cèdent la place aux briques et enduits de ciment⁸. Dans cette perspective, les occupants notamment en saison chaude, cherchent à assurer le confort thermique faisant recours continu aux systèmes de climatisation, et par conséquence consommation excessive et facturation élevée. Ceci implique de penser à des nouvelles alternatives pour les futurs bâtiments répondant à des hautes exigences techniques conceptuelles et constructives ; dans une logique d'optimisation de la performance énergétique.

L'idée de cette recherche revoie à une réflexion que l'architecture vernaculaire par ses qualités intrinsèques d'adaptation au climat peut fortement contribuer à une stratégie d'économie d'énergie, dont l'objectif d'améliorer les techniques de refroidissement employées dans les conceptions futures. Dans cette vision, la construction dite vernaculaire offre de nombreux avantages, elle intègre dans sa démarche des enjeux à la fois économiques,

⁷ Sakhri N, Menni Y, Ameer H, Chamkha A J, Kaid N, Bensafi M, Lorenzini G, Makinde O D. Investigation of the natural ventilation of wind catchers with different geometries in arid region houses. Journal of mechanical engineering and science 2020; 4(3):7109–7124. doi.org/10.15282/jmes.14.3.2020.12.0551.

⁸ Cote M. The city and the desert, the Algerian low Sahara. Paris: Karthala and Ireman; 2005.

sociaux et environnementaux ; qui peuvent être perfectionnés à l'échelle régionale. Dans cet ordre d'idées, Mokhtari ; Brahimi, et Benziada déclarent que l'investissement sur les potentialités des constructions vernaculaires est très limité et peut-être rapidement amorti par des économies allant jusqu'à 40 % sur la facture énergétique.⁹

Dans ce sens Vellinga a souligné, qu'à l'égard de notre époque, le défi majeur est de tirer les leçons et les principes fondamentaux de l'architecture vernaculaire et de trouver des façons d'intégrer fructueusement ces principes dans un contexte moderne¹⁰. Cela exige une étude critique et une compréhension systématique détaillée de ces principes et du savoir-faire vis-à-vis de la demande croissante d'un meilleur environnement intérieur ; plus confortable et plus sain.

En effet, cet habitat vernaculaire a permis d'assurer dans le passé le confort des usagers en procurant l'énergie d'une manière passive et de réduire les effets négatifs sur le milieu naturel, Viaro, Amorce rapport, Hassan Fathi ¹¹⁻¹² ont permis de découvrir le savoir-faire traditionnel dans les milieux en question, un vaste étendu de dispositifs vernaculaires existants répond aux exigences de la construction individuelle, avec tous ses aspects notamment l'isolation thermique, la masse thermique, la pénétration solaire, l'infiltration d'air, la ventilation naturelle, ainsi que des éléments structuraux de l'enveloppe.

De même, Upadhyay¹³ souligne qu'une architecture efficace ou bioclimatique soit présentée aujourd'hui comme une terminologie moderne, nos ancêtres avaient atteint tout de même un environnement confortable dans leurs habitations traditionnelles, répondant aux mêmes questions fondamentales que traite le concept actuel de la durabilité.

À partir de ce constat, on peut synthétiser que les formes architecturales vernaculaires renferment des solutions conceptuelles qui peuvent répondre aux questions environnementales actuelles. Ceci conforte l'objectif de ce travail de recherche qui consiste à étudier et à analyser les possibilités d'extraction des bonnes pratiques à partir des réalisations vernaculaires dans une région précise, afin qu'elles puissent être répertoriées et mises à disposition comme un

⁹ Mokhtari, A., Brahimi, N., et Benziada, R. Architecture et confort thermique dans les zones arides Application au cas de la ville de Béchar. *Revue des Energies Renouvelables*, 2008, 11-4, 307 - 315.

¹⁰ Vellinga, M. *Engaging the future: Vernacular architecture studies in the twenty-first century*, 2006, 81-94.

¹¹ Hegger, M. *From passive utilization to smart solar architecture, Detail solar architecture, strategies visions, concepts*, 2003, 12-25.

¹² Frey, P. *Learning from vernacular/Pour une nouvelle architecture vernaculaire*. Arles : Actes Sud, 2010.

¹³ Anir Upadhyay. *Understanding Climate for Energy Efficient or Sustainable Design*, IAHS World Congress on Housing Science, Melbourne, Australia. 2007, 1-12.

outil d'aide à la conception actuelle des bâtiments. Néanmoins, le recours à des solutions vernaculaires reste souvent le résultat d'initiatives expérimentales, non encadrées par la pratique courante dans le milieu architectural, ce qui ne favorise pas la constitution d'un fond commun des connaissances et des bonnes pratiques dans le domaine de construction.

2. Problématique générale :

Ces dernières années marquent l'apogée d'un souci croissant pour le développement des constructions économes et performantes. Cet intérêt s'inscrit dans une prise de conscience globale, liée au fait des crises énergétiques remarquables ces dernières décennies dans la majorité des pays du monde. L'Algérie, pays en voie de développement, est également touché par ce problème, l'un des secteurs les plus concernés est celui du bâtiment, en effet la forte demande en logement liée à la croissance démographique a engendré la perte d'aspect qualitatif des logements produits pour sacrifier toute l'importance à l'aspect quantitatif afin de couvrir l'énorme de déficit. Les solutions rapides font recours à une importation des modèles étrangers, malheureusement ses derniers ont été inadaptés tant au contexte géo-climatique et aux pratiques socio-culturels.

Le cas du sud Algérien, le secteur du bâtiment connaît également un développement excessif et non maîtrisé, dont les conséquences se sont traduites au niveau architectural par la perte d'identité et la mauvaise intégration aux particularités du site. Ou l'architecture vernaculaire locale est remplacée par des logements contemporains typiques, l'usage de nouveaux matériaux s'est généralisé et donne un aspect similaire à celui des bâtiments existant au nord du pays, le résultat des constructions énergivores et inadaptées aux conditions climatiques arides. Il est donc urgent de sensibiliser les responsables du domaine du bâtiment de s'inscrire dans une nouvelle vision basée sur la rationalisation de la consommation énergétique. Basée sur des démarches régionales et une architecture intégrée à son propre contexte, de point de vue adaptabilité climatique, utilisation et perfectionnement des matériaux locaux.

Devant cette situation, il est opportun de penser à des nouveaux modèles plus adaptés au contexte environnant en valorisant les ressources naturelles, les techniques passives ainsi que les matériaux locaux.

3. Problématique spécifique :

Bien que les régions sahariennes se caractérisent par des spécificités climatiques qui peuvent être généralisées comme le degré d'aridité, la contrainte thermique. Néanmoins, chaque région possède un microclimat unique, donc la recherche des alternatives d'intégration régionale paraît indispensable dans la conception des bâtiments. Dans la présente recherche l'attention est portée à la région du Souf en tant qu'une région saharienne, avec un climat sec et aride. Mais bien qu'elle appartienne au bas Sahara Algérien ; elle se diffère totalement par un caché spécifique ; tant en système oasien que dans son aspect architectural, d'où sa nomination la ville aux milles et milles coupoles. Le fait remarquable que l'architecture actuelle a réussi de conserver cet aspect mais seulement comme élément décoratif et symbolique, aujourd'hui la coupole et les voutains sont utilisées juste pour décorer les terrasses et non pour améliorer l'ambiance thermique intérieure. Le même constat pour les matériaux de construction locaux, la région est riche en pierre de rose de sable et les mortiers de gypse, mais on trouve que les parpaings et les enduits de plâtre.

Face à cette réalité, la question de recherche qui a été proposée est comme suit :

Comment l'adoption des technicités passives vernaculaires dans la conception de l'habitat en zones chaudes et arides peut contribuer d'une manière significative sur la composante énergétique et le confort thermique de l'utilisateur?

Cette problématique est associée à des hypothèses et objectifs qui ont guidé le processus de travail.

4. Hypothèses :

*Les facteurs environnementaux climatiques et matériels propres à la région de Souf sont à l'origine du processus conceptuel qui a produit une architecture vernaculaire adaptée au contexte local.

*Les technicités passives employées dans l'architecture vernaculaire du Souf capables de fournir une ambiance thermique acceptable à l'intérieur des constructions.

*Les gestes adaptatives et le contrôle humain des ambiances contribuent à l'amélioration de la fraîcheur interne des unités d'habitation.

*L'intégration des dispositifs passifs en tant que technicités architecturales peut contribuer à améliorer le confort thermique dans les logements contemporains et par conséquent réduire la facturation énergétique notamment en période critique de surchauffe.

5. Objectifs :

L'objectif global se structure en deux axes : le premier consiste à déceler un ensemble de savoir-faire vernaculaires qui peut contribuer à résoudre les problèmes d'adaptabilité aux rigueurs climatique actuels, et le deuxième d'estimer l'impact de l'ensemble des techniques passives déployées sur la performance thermique intérieure.

De cet objectif global se découlent d'autres secondaires :

*Une connaissance approfondie de la physionomie des unités d'habitations vernaculaires et sa relation avec son environnement de la part d'intégration au site et outils déployés. Comprendre la dialectique et l'interrelation entre les systèmes passifs de l'architecture vernaculaire locale et la performance thermique et tester qualitativement et quantitativement leur impact sur le niveau de confort thermique intérieur.

*Rechercher le rôle que pourraient avoir ces dispositifs vernaculaires par rapport à la question de recherche et proposer un cadre d'étude originale qui intègre les critères et les caractéristiques importantes relevés comme indicateurs déterminants de l'amélioration de la qualité thermique de futures habitations de la zone en question.

*D'investir les performances thermiques des dispositifs passifs de l'architecture vernaculaire ; notamment les éléments typiques en matière de système de couverture spécifique en voutes et coupoles, ainsi que les matériaux de construction originaux la pierre de rose de sable et le mortier du plâtre de gypse.

*La promotion d'une architecture locale efficace sur la base des potentialités et efficience thermique de l'architecture vernaculaire.

*Contribuer à une stratégie globale de la démarche énergétique pour réduire la consommation excessive des énergies fossiles pour système de chauffage et climatisation notamment dans la période de surchauffe.

Objectifs expérimentaux :

Ce présent travail vise aussi à travers l'expérimentation sur des cas réels au développement d'une méthode d'aide à la conception de l'habitat destinée aux concepteurs et aux professionnels du bâtiment du milieu aride pour l'intégration des dispositifs et stratégies vernaculaires d'une manière appropriée.

- *Tester l'impact des dispositifs architecturaux et particulièrement la voute et la coupole sur l'ambiance intérieure des espaces.

- *Evaluer le rôle des caractéristiques thermiques et physiques des matériaux de construction sur le confort thermique.

- *Comprendre les gestes adaptatives et le comportement vis-à-vis aux variations thermiques internes.

6. Les perspectives de recherche:

- * Contribué à faire avancer les connaissances relatives aux performances thermiques de l'habitat en milieu chaud et aride, et ouvrir des pistes liées à d'autres thématiques telles que l'amélioration des matériaux de construction et l'isolation thermique qui peuvent être avancées.

- *En addition de proposer des alternatives conceptuelles plus économes et efficaces, la recherche présente des perspectives, qui aide à concevoir des modèles habitables adaptés aux rigueurs climatiques de la région concernée ; à travers un processus conceptuel en adéquation avec les contraintes climatiques locales, un ensemble des recommandations ont été proposées favorisant un état de confort passif, ainsi que l'implication des gestes adaptatives des occupants.

- *Les perspectives proposées forment un registre d'information qui peut aider les professionnels et les concepteurs en domaine d'efficacité thermique et énergétique sur le l'impact significatif des choix conceptuels et d'inspirer les possibilités d'intégration des technicités passives et les tester à travers des modèles virtuels pour les futurs logements.

7. Les motivations de recherche :

- **Motivations théoriques :**

Ce projet de recherche a été motivé sur le plan théorique par un état de connaissance apprécié par la conception architecturale vernaculaire, qu'il s'agit d'architecture fortement influencée par le contexte local, les traits culturels ainsi que l'impact des milieux physiques ; ou l'homme a longtemps cherché les meilleures possibilités à donner à leur abri.

En addition, des attentions liées aux contextes arides, généralement les zones chaudes et arides se caractérisent par une chaleur excessive et une rareté des précipitations, il existe toutefois des variables climatiques, généralement dues à des variations des températures selon les calendriers des saisons et des précipitations, ainsi qu'au niveau et l'étendue de l'aridité. Mais le fait marquant, la diversité des modèles d'adaptation humaine selon ses variations, à ce propos :

Frey, distingue dans l'architecture vernaculaire en milieu chaud des techniques de construction ancestrales variées, fondées sur les ressources naturelles, qui permettent aux bâtiments de mieux répondre aux contraintes climatique.¹⁴

Ainsi, dans ses milieux, les dispositifs vernaculaires proposés comme solutions prennent en considération la morphologie urbaine environnante, les scénarios climatiques et la nature esthétique du projet et offrent un environnement attractif et confortable. Ce qui est confirmé par professeur Mazouz¹⁵ qui affirme que : le vouloir de concilier les problématiques urbaines et bioclimatiques revient à rapprocher la préoccupation de l'urbanité retrouvée et celle de l'adaptation du cadre bâti au climat.

Ces leçons vernaculaires, représente une source d'inspiration pour la conception d'habitat adapté aux contraintes et exigences de chaque contexte régional, avec des logiques d'économie et d'adaptation aux outils disponibles. C'est dans ce contexte multiforme et très vaste que le présent projet de recherche a été motivé.

¹⁴ Frey, P. Learning from vernacular architecture, pour une nouvelle architecture vernaculaire. Arles ; Actes Sud, 2010.

¹⁵ Mazouz Said. L'adaptation bioclimatique, in la ville et le désert : le Bas-Sahara Algérien. Cote M, 2005.

- **Motivation pratique :**

Sur le plan pratique, la variété des modes d'adaptation selon les régions engendre une diversité des modèles architecturaux vernaculaires. Ces zones géographiques se différencient non seulement par le climat et le relief, mais aussi par la production de l'espace architectural qui varie selon les données du milieu, outils disponibles ainsi que les techniques ancestrales. Néanmoins, tous ces modèles architecturaux vernaculaires possèdent un dénominateur commun : ils sont l'expression d'une architecture locale réalisée en ressources locales et qui présente un potentiel de pouvoir consommer très peu d'énergie ; et d'éviter l'utilisation des systèmes actifs, tout en minimisant le recours aux énergies fossiles.

La recherche a été d'abord motivée par un souci d'exploration de ces techniques constructives vernaculaires et de définir les meilleures façons de concevoir à bien les projets de constructions. Vu l'inadaptation actuelle des logements et la standardisation des typologies, ce qui a conduit à un produit architectural énergivore et sans identité et appartenance au milieu.

En ce sens, Waterson ¹⁶souligne que les résultats de l'adoption des pratiques exogènes dans les zones arides et semi-arides causent d'autres problèmes au lieu de traiter leurs besoins locaux. Ce qui est confirmé par Albrow¹⁷ qui ajoute que la problématique des sociétés du milieu aride se pose dans l'influence de la culture occidentale qui n'est pas adapté à leur mode de vie local.

Ensuite et plus particulièrement le choix a été orienté envers la région d'El Oued Souf comme cas d'investigation vue sa typologie architecturale spécifique en voutes et coupoles, donnant une allure magnifique qui attire tout visiteur de cette région.

¹⁶ Waterson Roxana. *The Living House; Anthropology of Architecture in South-East Asia*, Oxford University Press, Indiana University. 1990.

¹⁷ Albrow Martin. *The Global Age: State and Society Beyond Modernity*, 1997. 256p

8. Méthodologie :

La méthode d'investigation est structurée sur une approche comparative selon deux aspects : qualitatif subjectif et quantitatif à travers des mesures in situ. Précédé par une analyse bioclimatique de la région d'étude en référence à l'approche psychométrique de Givoni ainsi que les tableaux de Mahoney, suivit par une lecture des relations entretenues entre les dispositifs passifs employés dans les habitations vernaculaires de la région et les contraintes climatiques.

L'analyse subjective se présente par deux questionnaires : d'appoint au temps des mesures et en ligne. Le sondage en ligne se compose de trois volets : volet des informations générales sur l'occupant et leur habitation ou bien logement selon la typologie, le deuxième volet concerne les conditions de confort thermique dans la saison estivale, le troisième sur la période hivernale, et finalement un champ ouvert pour les avis des occupants vis-à-vis la question énergétique. L'analyse objective à travers des mesures in situ, qui ont été effectuées sur des échantillons d'habitations de typologie vernaculaire et contemporaine ; à l'aide d'un instrument de mesure de type anémomètre TMA5. Durant les jours les plus chaudes et froids des années 2018 et 2019.

La comparaison des mesures in situ est faite avec la simulation numérique des paramètres mesurés à l'aide de l'interface Energy-plus. L'évaluation des résultats est faite en référence à l'approche adaptative du confort thermique. Les résultats obtenus estiment d'une part, l'impact des dispositifs passifs employés dans l'unité vernaculaire sur l'ambiance thermique des habitations et d'autre part de quelle façon l'intégration des dispositifs vernaculaire peut contribuer à l'amélioration du confort intérieur et participe à la réduction d'énergie.

9. Structuration du manuscrit :

La thèse est structurée en deux parties déterminantes :

Partie.1 : le corpus théorique :

Le théorique de la thèse est fondé sur un état de l'art global sur les deux principaux concepts : l'architecture vernaculaire en zones chaudes et arides et ses facteurs déterminants ainsi que les approches de la performance thermique dans le bâtiment. À ce propos trois chapitres ont été définis, sachant que chaque chapitre se dérive en axes élémentaires.

Le premier chapitre :

Consiste à donner un aperçu global sur l'architecture dite locale ou vernaculaire ainsi que ses principaux facteurs déterminants, à travers des exemples réels mettent l'accent sur les relations intrinsèques entre chaque facteur et la typologie vernaculaire. Cette étape est parue importante car elle nous donne une vision globale sur la physionomie de ce type d'architecture et comment elle a été interprétée par les spécialistes de domaine.

Le deuxième chapitre :

Ce chapitre vise à décrire les particularités du contexte saharien, pour cela une description est faite sur les caractéristiques climatiques des zones chaudes et arides, suivie par le rôle du microclimat sur l'amélioration de l'ambiance climatique locale, dans une deuxième étape un inventaire sur les technicités passives employées dans ces zones a été élaboré dans le but de connaître les interrelations entre les solutions adoptées et les contraintes climatiques.

Le troisième chapitre :

Consacré à la compréhension des notions liées à la performance thermique des bâtiments, commençant par les outils de l'analyse bioclimatique, les paramètres et approches d'évaluation du confort thermique.

Partie.2 : phase Empirique :

La phase empirique est structurée en trois chapitres :

Le premier chapitre :

Une analyse bioclimatique de la région d'étude, à travers les données climatiques fournie par la station météorologique de la région ainsi que les simulations climatiques effectuées par divers programmes ; suivie par une analyse qualitative de l'unité vernaculaire typique à travers une lecture des relations intrinsèques entre dispositifs architecturale et contraintes climatiques.

Le deuxième chapitre :

Une analyse comparative quantitative à travers les sondages directes et en ligne ainsi que les mesures in situ, sur des échantillons d'habitation de typologies vernaculaire et contemporaines. Basant sur les indicateur subjectif et objectif du confort thermique ; suivie par simulation numérique par l'interface Energy- plus.

Le troisième chapitre :

Évaluation et interprétation des résultats par rapport aux avis des occupants ainsi que les paramètres mesurés ; on se basant principalement sur le model adaptative du confort thermique. ASHRAE-55.

Enfinement des perspectives et des limites ont été proposées dans le but de promouvoir l'architecture locale dans les zones arides, notamment les technicités de ventilation naturelle en saison chaudes en tant que saison critique, et l'invention sur les matériaux de construction. On se basant sur les performances thermiques des matériaux locaux pour produire un matériau économe et durable et adapté régionalement.

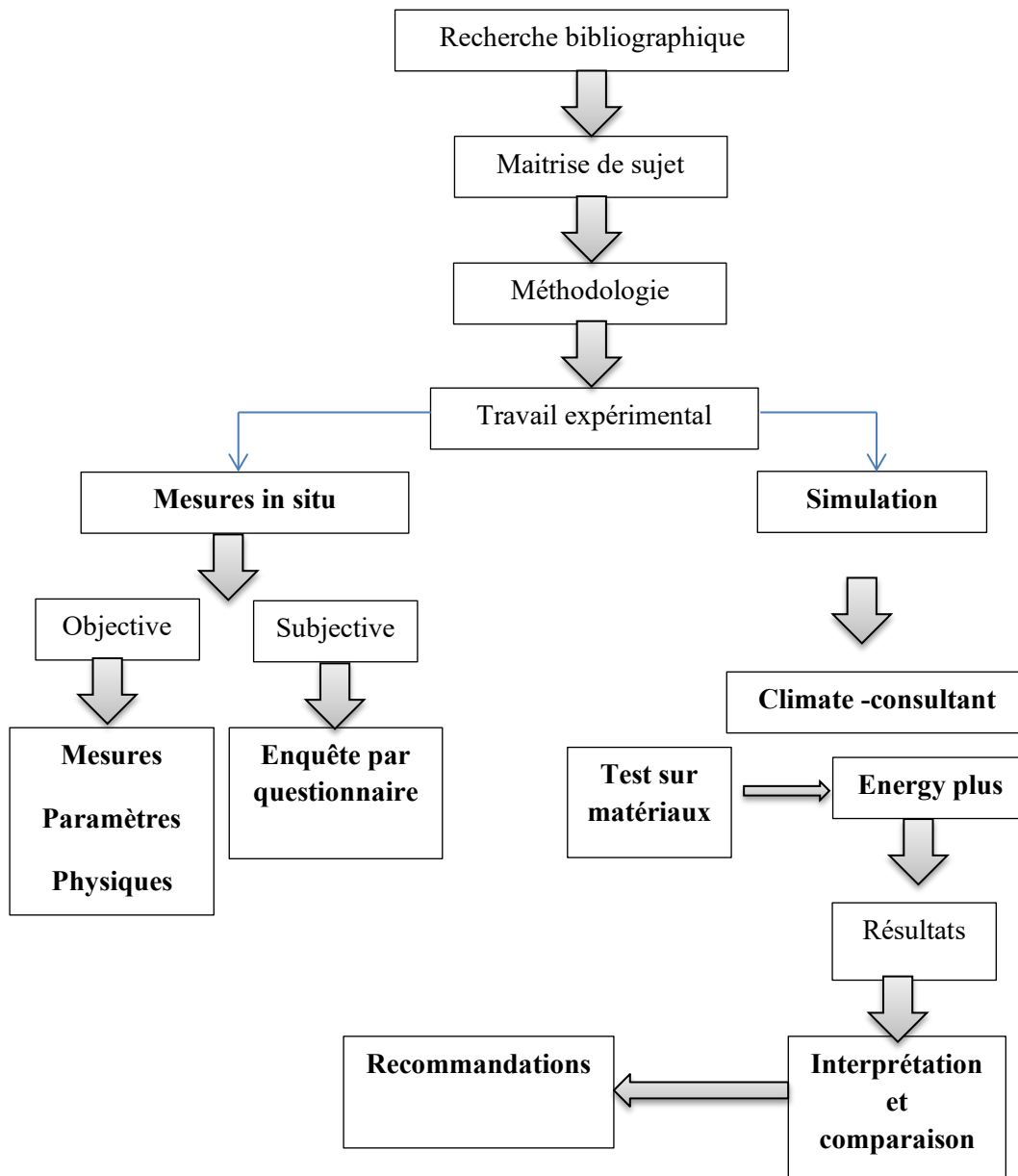


Figure.03.: Méthodologie de la recherche (Modèle conceptuel)

1. Chapitre.01.

Regard sur l'architecture vernaculaire et la notion d'adaptabilité.

L'habitation est abri, mais aussi et surtout un fait culturel...un développement intégré des communautés doit tenir compte des cultures locales et mettre en valeur leurs caractéristiques positives. ¹

¹ Alain M Viaro ; Arlette Ziagler, Habitat traditionnel dans le monde, éléments pour une approche ; établissement humain et environnement socio culturel, UNESCO-83, p05.

Introduction :

L'homme de tout le temps est en quête de satisfaire ses besoins, principalement pour s'abriter ; il cherche un espace de refuge et un lieu qui répond au mieux à ses désirs physiologique et psychologique. Étant donné qu'il est à la fois concepteur et constructeur a cherché toujours les moyens possibles et disponibles pour s'adapter à son environnement immédiat, afin de garantir la qualité la plus parfaite de son espace de vie et de lui donner un sens ; dans une parfaite alliance des facteurs environnementaux et sociaux culturels.

La diversité des productions architecturales primitives à travers le monde entier reflète une richesse incontestable des arts de bâtir et des savoirs faire ancestraux. Ces rapports entretenus avec l'environnement ne cessent de se développer et les règles de vie collective établis ont toujours façonné et eu des traces sur celui-ci. Cette évolution des relations semble être comme soulignée par Gauzain Muller : une succession prolifique des relations interactives entre les sociétés humaines et leurs environnements.²

Cependant, Cette symbiose a été un sujet de question surélevé par plusieurs précurseurs et chercheurs dans le domaine de l'architecture vernaculaire, c'est l'objectif qu'on essaye d'éclaircir à travers ce premier chapitre du corpus théorique. Commenant par un bref passage sur l'apport du vernaculaire à l'égard du contexte énergétique actuel, suivit par un essai de définition d'un ensemble de concepts relatifs à la notion du bâti vernaculaire, dans le but de constituer un état de connaissance global.

Cette phase est parue importante, car elle nous aide à formuler une base compréhensive approfondie sur l'architecture vernaculaire, sa physionomie, ses ressources ainsi que les facteurs qui sont à l'origine de sa configuration. De savoir différencier entre patrimoine vernaculaire qui appartient à une région particulière, et l'autre d'ordre universel, ainsi que les institutions responsables à sa valorisation. De connaître aussi les passerelles entre cette architecture dit local et la production architecturale contemporaine, notamment dans la manière d'en tirer profit de ses performances thermiques face aux préoccupations environnementales et de la crise énergétique.

² Gauzain Muller, D. Architecture écologique, le moniteur : Paris, 2001, p45.

Ce chapitre s'articule principalement en deux axes :

Dans le premier axe, on tente à travers les études et les recherches antérieures ayant cours dans l'étude du vernaculaire de présenter une synthèse globale sur la notion et comment elle a été introduite dans le discours architectural, à travers les travaux des précurseurs dans le domaine.

Le deuxième axe traite le lien entre l'architecture vernaculaire et la notion d'adaptabilité, où les trois échelles principales ont été traitées à savoir : l'environnement climatique comme générateur des caractères typologiques, l'influence des facteurs socio-culturels, ainsi que les matériaux locaux et les techniques constructives ancestrales.

1. Réflexion sur l'architecture vernaculaire ; cadre général et environnement des données disponibles sur la notion.

1.1. Pourquoi l'architecture vernaculaire ? Motivation et raisons.

L'architecture vernaculaire conjugue dans ses formes simples et primitives des réponses adaptatives tant aux modes et pratiques sociaux qu'aux besoins fonctionnels, En effet, elle témoigne des savoir-faire des générations qui l'ont façonné et présente ainsi les traces et les projections aux sols des relations entretenues ; que ces communautés ont eues avec leur environnement. Elle est née du sol et des ressources de la région où elle se développe, tout en s'adaptant à l'ensemble des contraintes, érigée au carrefour de la nature et de la culture, c'est une *architecture qui intègre des savoir-faire et des modèles transmis d'une génération à l'autre, et elle évolue en fonction des besoins nouveaux tout en assimilant les influences extérieures* ³

Cette architecture avec autant d'atouts qui lui donnent une originalité ; qui s'exprime à travers l'emploi des matériaux et outils disponibles, l'adoption des formes originales, adaptabilité aux facteurs environnementaux physiques, ainsi que l'application des savoir-faire et des cultures constructives ancestraux ; tout en cherchant un compromis avec les aspirations humaines, dans le souci d'assurer le bien-être et le niveau du confort espéré.

Cependant, le processus conceptuel des abris et des constructions primitives reflète à travers le monde des solutions ingénieuses suivant les contextes appropriés, dans un sens lié principalement à trouver des solutions et modes de protection contre les forces de la nature : la contrainte du froid ; chaleur excessive, vent et humidité. Ce qui engendre une vaste gamme des typologies formelles et constructives diversifiées à la mesure de la diversité des contextes locaux ou chaque époque et chaque milieu ou culture semble avoir eu sa propre philosophie ou vision de la conception.⁴

Les leçons de ces productions architecturales sont certes besoin d'être interprété et répertorié afin d'éviter leur disparition, et par la suite valorisés et perfectionnés pour être intégrés dans la production architecturale actuelle. Ce processus d'interprétation nécessite en préalable une connaissance approfondie des contours qui forge ce type d'architecture, notamment en matière d'adaptabilité, divers travaux se sont intéressés à ce domaine, il est

³ Définition par François Varin <http://www.international.icomos.org/publications/vernacular.htm>.

donc intéressant de prendre connaissance d'éventuelles recherches élaborées dans le but de constituer une idée compréhensive globale sur le champ très vaste que constitue l'architecture vernaculaire.

1.2. Apport du vernaculaire dans le contexte énergétique actuel :

Il est bien reconnu que les décisions prises durant les phases initiales de la conception architecturale produisent l'impact le plus important sur la performance énergétique d'un bâtiment, dans le contexte actuel de consommation d'énergie et l'empreinte du carbone, on peut observer un accroissement des préoccupations pour la consommation énergétique hydrique et l'utilisation des matériaux non-polluants. Parmi ces préoccupations, l'adoption d'une architecture locale efficace et durable. C'est en effet qu'à partir de l'architecture vernaculaire que ces nouvelles approches ont développé certaines techniques apprises et évoluées depuis la conception de l'abri, elle met l'accent sur les phénomènes physiques notamment le confort thermique de l'architecture vernaculaire afin de les comprendre et de les reproduire. Notant que les premiers chercheurs qui se sont intéressés à la forme architecturale dans une perspective d'optimisation de l'énergie et des ressources voient que l'architecture vernaculaire joue un rôle important dans l'évolution d'architecture locale économe et confortable. Le meilleur exemple à ceci les recherches effectuées dans le domaine de bio climatisme dès 1970. Parmi lesquelles figures :

Olgay, qui a développé une approche qui considère le rapport entre la forme du bâtiment et le climat, selon lui l'architecture vernaculaire joue un rôle important dans l'évolution de l'architecture actuelle, car elle représente le contexte culturel, social et politique d'une société. Il voit que le passé nous offre ainsi une riche expérience, symbolisée dans les différents types d'architecture «*As the shelter evolved, accumulated experience and ingenuity diversified it to meet the challenges of widely varying climates.* »⁵.

De leurs parts, Martin et March ont analysé différents archétypes en lien avec l'optimisation et rationalisation de l'utilisation du sol et des ressources, Ruano aussi ajoute qu'un bon choix de la forme et d'orientation pour un bâtiment peut entraîner une réduction atteignant jusqu'à 40% de sa consommation énergétique.⁶

⁵ Jhonny Gamboa, Analyse comparative de l'approche bioclimatique et de la méthode LEED en architecture, mémoire de Maîtrise en Sciences Appliquées en aménagement, 2016, p15.

⁶ Estéban Emilio Monténégro Iturra. Impact de la configuration des bâtiments scolaires sur leur performance lumineuse, thermique et énergétique. Mémoire de Maîtrise en Sciences de l'Architecture, faculté d'aménagement, d'architecture et des arts visuels université Laval Québec. 2011. p 18.

Actuellement, les futurs architectes ont plutôt intérêt à élargir leur champ de connaissance en commençant par assimiler les précieux enseignements dont regorgent les réalisations vernaculaires du monde, des solutions simples et peu onéreuses qui répondent de façon efficace à des problèmes liés à des contextes variés.

1.3. Le vernaculaire n'est pas un produit de hasard :

Malgré leur caractère régional, elle est répandue dans la majorité des pays du monde et constitue une grande partie de l'environnement bâti de l'homme, une universalité liée en même temps à une grande diversité de formes, de techniques, appropriées chacune aux besoins des sociétés humaines qui l'ont construite et aux conditions locales⁷.

Cette architecture qui a pour point de départ les besoins et l'application des savoir-faire de l'humain, et pour finalité la satisfaction de ses besoins, elle se traduit par la variété des architectures tant au niveau de la richesse des formes construites, de l'emploi maîtrisé des matériaux puisés dans la nature environnante, du matériel et des techniques de construction ancestrales qu'au niveau de l'exploitation et de l'organisation de l'espace guidé par les normes d'organisation sociale et la satisfaction du confort désiré. Hassan FATHY⁸ a constaté que : *« tout peuple qui a produit une architecture a dégagé ses lignes préférées qui lui sont spécifiques que sa langue, son costume ou son folklore... on rencontrait sur toute la terre des formes et des détails architecturaux locaux, et les constructions de chaque région étaient le fruit merveilleux de l'heureuse alliance de l'imagination du peuple et des exigences de l'espace ».* (Fathy Hassan, 1970).

Dans son ouvrage, de la synthèse de la forme, essai. Christopher Alexander démontre que l'architecture vernaculaire contrairement à ce que l'on peut prétendre, répond à des règles et à une méthode et n'est certainement pas le fruit du hasard. Il a tenté de définir et de comprendre ce qu'il appelle : les sources de la bonne adaptation, car il constate que les formes architecturales primitives sont d'une grande cohérence, leurs formes découlent d'une adaptation réussie au contexte dans lequel elles s'insèrent ; elles résultent d'un processus de conception certes inconscient que l'auteur qualifie de processus naturel, mais efficace. D'un autre côté, il constate que les civilisations évoluées actuelles fonctionnent différemment dans

⁷ Ouvrage collectif, des architectures en terre ou l'avenir d'une tradition millénaire, Paris : centre George Pompidou, 1982, p. 49.

⁸ Fathy Hassan, Construire avec le peuple, Paris : Edition Sindbad, 1970, p.51

leur démarche de conception qu'il qualifie de processus conscient qui génère des formes architecturales qui parfois manquent de cohérence.⁹

La richesse de celle-ci, ses potentialités et les solutions qu'elle renferme ont inspirées Bernard Rudofsky qui voit que cette architecture 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. Dans son ouvrage *architecture sans architectes* ; il met le point sur le fait que l'architecture vernaculaire est peu connue et peu valorisée, vouée à disparaître. Il cherche à nous montrer aussi la beauté de cette architecture sans maître résultant de l'exercice de l'intelligence humaine confrontée à la nécessité ; l'architecture sans architectes est donc une architecture non codifiée, relatant l'art de construire, qui n'est pas sous l'influence de la pensée théorique des architectes. Les dispositifs répertoriés répondent aux contraintes de climat et de géographie dans lesquels ils s'intègrent. **Figure.01.**

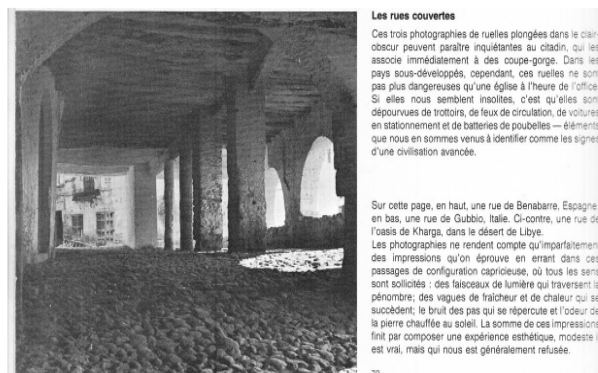


Figure.01 : Exemple d'un dispositif extrait de livre architecture sans architecte.

Quant à Pierre Freyqui, dans son ouvrage *learning from vernacular*, attire l'attention sur ses vertus, il signale que : *le domaine des pratiques vernaculaires offre un stock merveilleux de dispositifs ingénieux témoignant des effets spectaculaires que peuvent produire des techniques extrêmement économes en matériaux et en énergie*¹⁰. Il fait une critique des modes contemporains de production du bâti et attire l'attention sur certaines valeurs perdues appartenant aux modes de production vernaculaires. Il insiste sur le fait que l'architecture vernaculaire devrait servir de modèles dans les pratiques actuelles : *Le domaine des pratiques vernaculaires offre un stock merveilleux de dispositifs ingénieux témoignant des*

⁹ Christopher Alexander, de la synthèse de la forme, essai, Paris : Dunot, 1971, p23

¹⁰ Pierre Frey, *Learning from vernacular* : pour une nouvelle architecture vernaculaire, préface de Patrick Bouchain, Éd : Actes Sud, 2010, p 38.

effets spectaculaires que peuvent produire des techniques extrêmement économes en matériaux et en énergie. »¹¹

De sa part le professeur Frédéric Aubry durant ses trente années d'enseignement dans l'école polytechnique fédérale de Lausanne a pu constituer avec la participation de ses étudiants une collection de plus de 680 maquettes qui reprennent des réalisations vernaculaires. Ces maquettes ont un but pédagogique, elles permettent aux étudiants en architecture de mieux comprendre et de découvrir des procédés constructifs et des savoir-faire issus de cultures vernaculaires. Ces maquettes servent de modèles ou de source d'inspiration pour assister les étudiants durant l'élaboration de leurs projets dans lesquels ils sont invités à transposer des techniques anciennes à des situations contemporaines.

1.4. Etymologique du concept :

Pour comprendre et cerner bien les contours de ce type d'architecture, il paraît opportun de passer par un bref étymologique sur la notion, en effet le terme vernaculaire dérive du latin (*vernaculus*) signifiant indigène : tout ce qui est particulier à un pays ; et impliquant une idée d'enracinement, d'attachement profond à une dimension physique mais également culturelle et pratique d'un lieu ; signification qui se renforce avec l'adjectif (*vernaculum*) désignant, depuis l'époque romaine, tout ce qui était élevé, tissé, cultivé, confectionné à la maison par opposition à ce que l'on se procurait par l'échange¹².

Dans le dictionnaire Flammarion l'adjectif vernaculaire désigne quelque chose de spécifique à une région donnée, produite sans le recours à des produits ou à des processus sophistiqués. Il signifie aussi, le « nom vulgaire d'animal ou de végétal, par opposition que suivent les règles de la nomenclature scientifique ». Par la suite, le vernaculaire est associé au langage en 1823, On définit alors par une langue vernaculaire « une langue communément parlée dans les limites d'une communauté ».

La définition donnée par François Varin est essentiellement à la base des variables essentielles qui la conditionnent : la fonction, la conception, la nature, l'appartenance et le contexte.¹³ La fonction illustre la raison d'être de l'architecture vernaculaire qui doit avant tout répondre à un besoin. La conception désigne la façon de faire les méthodes employées, tels que les matériaux utilisés dans la construction. La nature sert à circonscrire le produit que

¹¹ Pierre Frey, op.cit. p38.

¹² Annalisa CAIMI, Culture constructive et résilience, thèse de doctorat. Université de Grenoble, p20.

¹³ François Varin , <http://www.international.icomos.org/publications/vernacular.htm>.

représente l'architecture vernaculaire comme étant le résultat d'un processus, un produit à l'image d'un milieu. L'appartenance signifie la popularité de cette architecture non conçue par des architectes dans le cadre des canons institutionnels. Et enfin le contexte qui met en relief les conditions de conservation de l'architecture vernaculaire.

En synthèse, on peut déduire que l'architecture vernaculaire est une architecture populaire celle des gens ordinaires, ou plutôt celle qui ne répond pas à des écoles et des courants de pensée, ou bien à des tendances internationales en ce qui a trait à la construction et aux styles constructions. Elle est typiquement le fruit de l'ingéniosité et l'esprit inventif de ses constructeurs. Elle s'inscrit dans la continuité des traditions et des savoir-faire, transmise d'une génération étant continuellement façonnée par les conditions climatiques, géographiques et économiques d'un milieu ; ou l'individu à l'aide d'une collaboration, construit sa propre maison ; de cette collaboration née un échange qui au fil des générations se transforme en savoir.¹⁴

Si cette architecture est née d'un savoir populaire ou primitif qui caractérise une population ou un territoire donné, il semble que la nuance entre populaire et vernaculaire réside dans le fait que le savoir populaire devient culturel lorsqu'il s'agit d'architecture vernaculaire.¹⁵ Ce constat nous conduit à s'interroger : comment la notion a été introduite dans un discours académique et quelles sont les tentatives qui ont à la base de configuration d'un langage vernaculaire aux édifices architecturale approprié?

L'utilisation du terme vernaculaire en relation à la pratique architecturale englobe une multiplicité de significations découlant de différentes recherches et théorisation développées à partir de la moitié du XX siècle. Comme champ de recherche, l'architecture vernaculaire a suscité l'intérêt de plusieurs disciplines ; la géographie, l'histoire, l'architecture et l'ethnologie ; dont les Anglais sont les pionniers, " *The vernacular architecture group*" fondé en 1956 ¹⁶ fut le premier assemblé qui a défendu publiquement le renouveau vernaculaire en grand-Bretagne.

D'autres essais de définition datent de 1979 en Europe, c'est lors d'un colloque à Plovdiv en Bulgarie, que le Comité International d'Architecture vernaculaire (CIAV) tente de définir les caractéristiques et les enjeux de ce type de construction pour rendre universel un

¹⁴ Sezgin, à propos de l'architecture vernaculaire, 1979, p 05.

¹⁵ Pierrick Trauchessec, op. cit, p12.

¹⁶ Ronald BRUNSKILL, architecture et culture, Paris, Éd. Parenthèses, 1981.

terme qui fait référence aux spécificités d'une population et d'un territoire. Ce colloque réunit douze représentants de pays européens, provenant de différentes parties du continent et renfermant une histoire et une culture résolument variées.¹⁷ Ce désir de définition est la conséquence d'un intérêt grandissant pour l'architecture qui s'est développée en marge de l'architecture savante, et qu'on a eu tendance à oublier jusque-là.¹⁸ En effet, le rapport rédigé nous met en garde qu'il est nécessaire d'être particulièrement attentif en essayant de dégager « les critères de la validité universelle pour le terme « architecture vernaculaire », surtout en l'appliquant à un pays concret.¹⁹

Au début des années 1980, un autre essai de définition de l'architecture vernaculaire a été proposé en France par une revue savante éditée par le centre d'études et de recherche sur l'architecture vernaculaire CERVA, inspirée des travaux des spécialistes britanniques, en particulier ceux d'Eric Mercer. Elle définit un bâtiment vernaculaire comme appartement ou un ensemble de bâtiments surgis lors d'un même mouvement de construction ou de reconstruction, ce mouvement affecte une ou plusieurs régions et s'inscrit dans une période variante d'une région à autre selon des décalages de quelques décennies à un siècle ou plus, un type du bâtiment vernaculaire est caractéristique non seulement d'une époque donnée, mais aussi une classe sociale qui l'a fait construire et la utilisé.²⁰

Paul Olivier, lui aussi un des pionniers américains de l'architecture vernaculaire, consacre des dizaines d'années de sa vie à l'étude de ces architectures, le plus illustre de ces ouvrages est : *l'Encyclopedia of vernacular architecture of the world*²¹, constitué de trois grands volumes ; l'encyclopédie regroupe un stock impressionnant de réalisations vernaculaires étudiées, répertoriées et classées selon des critères précis.

¹⁷ Anguelova, Rapport réunion CIAV, 1979, p.02.

¹⁸ Pierrick Trauchessec, op. cit , p10.

¹⁹ Anguelova, op. cit, p.03.

²⁰ Christian Lassure, L'architecture vernaculaire : essai de définition, site web : http://www.pierreseche.com/definition_av.html.

²¹ Oliver Paul, *Encyclopaedia of vernacular architecture of the world volume 1: theories and principles*, University Press, 1997.-883p

1.5. La Place du vernaculaire dans le patrimoine universel.

Il existe, à côté de l'architecture monumentale prestigieuse, préservée dans les différents pays du monde, dont la sauvegarde et la valorisation sont à la charge des institutions internationales UNESCO et de l'ICOMOS, une autre architecture produite par des gens, une architecture plus réservée à caractère régional, des édifices qu'on peut difficilement qualifier de monument

Le bâti vernaculaire suscite à juste titre la fierté de tous les peuples, reconnu comme une création caractéristique et pittoresque de la société, il se manifeste de façon informelle, et pourtant organisée ; utilitaire, et possède un intérêt et une beauté. C'est à la fois un reflet de la vie contemporaine et un témoin de l'histoire de la société ; bien qu'il soit œuvre humaine, il est aussi le produit du temps. Ce type du patrimoine est important car il est l'expression fondamentale de la culture d'une collectivité de ses relations avec son territoire et, en même temps, l'expression de la diversité culturelle du monde. Il serait indigne de l'héritage de l'humanité de ne pas chercher à conserver et à promouvoir ces harmonies traditionnelles qui sont au cœur même de son existence et de son avenir.²²

Actuellement le vernaculaire bénéficie de la protection et de la reconnaissance, la formation en 1976 du comité international de l'architecture vernaculaire CIAV fut un pas important, son but étant de promouvoir et stimuler la coopération internationale afin de connaître, étudier, protéger et conserver ce type d'architecture,²³ Elle bénéficie également de la reconnaissance de L'UNESCO et d'ICOMOS. L'Unesco reconnaît l'importance scientifique de cette architecture, qu'elle est partie intégrante du patrimoine humain et affirme que par l'étude du vernaculaire se dévoile tout une richesse, une somme extraordinaire de connaissances techniques en matière du respect de l'environnement, d'utilisation de matériaux et d'économie d'énergie et les possibilités d'adaptation qu'elle contient.²⁴ . En effet, Le conseil international des monuments et des sites dispose des critères de classification qui se résume comme suit :²⁵

²² ICOMOS, Conseil international des monuments et des sites, Charte du patrimoine bâti vernaculaire, Ratifiée par la 12^e Assemblée Générale de ICOMOS, au Mexique, octobre 1999.

²³ Nicolas Moutsopoulos, l'architecture vernaculaire voir : <http://www.icomos.org/en/home-doc/116-english-categories/resources/publications/303-isc-vernacular-architecture>.

²⁴ Alain Viaro, Arlette ZIEGLER, habitat traditionnel dans le monde éléments pour une approche, p.05.

²⁵ ICOMOS, op. cit, p 01.

- *Un mode de construction partagé par la communauté.
- *Un caractère local ou régional en réponse à son environnement.
- *Une cohérence de style, de forme et d'aspect, ou un recours à des types de construction traditionnels.
- *Une expertise traditionnelle en composition et en construction transmise de façon informelle.
- *Une réponse efficace aux contraintes fonctionnelles, sociales et environnementales.
- *Une application efficace de systèmes et du savoir-faire propres à la construction traditionnelle.

S'ajoute ainsi que l'appréciation et l'efficacité de la protection dépend de l'engagement et du soutien de la collectivité, de son utilisation et de son entretien continu ; Les gouvernements et les autorités compétentes doivent reconnaître à toutes les collectivités le droit de préserver leurs modes de vie traditionnels et de les protéger par tous les moyens législatifs, administratifs et financiers à leur disposition et de les transmettre aux générations futures.

1.6. Les contours de l'architecture vernaculaire :

Dans la plupart des textes portant sur ce type d'architecture, certains adjectifs avaient une valeur semblable au vernaculaire. Il en découle une certaine confusion entre l'architecture populaire, rurale, primitive, anonyme, spontanée, régionale, locale, marginale. Comme citer par Sezgin lors de son travail de définition du vernaculaire : *il est important de faire une investigation sur ces termes pour se rapprocher de la notion de vernaculaire. Car si chacun nous renvoie à une image de l'architecture vernaculaire, ils révèlent des nuances qui permettent de dessiner ses contours.*²⁶

Elle peut être considérée comme une architecture rurale produite à la campagne, cette architecture avait réservé son savoir-faire et son bon sens car elle n'a pas été touchée dans un premier temps par la mutation industrielle ; c'est en cela qu'elle se rapproche de la notion de vernaculaire.²⁷ Or, il est tout aussi évident que le domaine du vernaculaire n'est pas dépendant de la localité. Bien au contraire, puisqu'il a pour caractéristique de s'adapter à son environnement, le vernaculaire peut tout aussi bien se retrouver en ville qu'à la campagne.

²⁶ Sezgin, op. cit, p 04.

²⁷ Stoica, qu'est-ce que l'architecture vernaculaire ? 1979, p.02.

Elle peut prendre aussi les noms : architecture marginale qui se développer en marge de la société, elle se détache à la fois des pensées théoriques de l'architecture, mais aussi elle est indépendante du système sociétal²⁸ ; Ou bien primitifs ou populaires ce sont les termes les plus proches du vernaculaire. Concernant les champs qui catégorisent cette architecture, on peut citer : les bâtiments domestiques, agricoles, et préindustriels.²⁹

²⁸ Pierrick Trauchessec, op, cit, p 14.

²⁹ http://www.pierreseche.com/definition_av.html.

2. les ressources du vernaculaire et la notion d'adaptabilité.

2.1. Discussion des précurseurs dans le domaine.

Après avoir donné un aperçu global sur l'ensemble des réflexions et les termes génériques de l'architecture vernaculaire, l'étape suivie consiste à connaître les facteurs intrinsèques qui façonnent et déterminent sa physionomie. En effet cette architecture est inscrite dans un territoire, elle appartient à celui-ci ; il y a donc une notion d'enracinement et d'adaptabilité, où se manifeste un processus de conception qui utilise les ingrédients de cet environnement en matière des ressources et de la culture locale.

D'une façon générale l'installation dans un lieu donné est essentiellement un compromis ou plutôt, une recherche continue vers un équilibre permettant d'harmoniser les exigences, les désirs et les capacités d'individus aux contraintes et potentialités présentées par le contexte. Donc la nécessité de s'abriter mais également d'exprimer un système de valeurs et de pratiques génère un processus continu d'adaptation et évolution des demeures en accords aux besoins, aspirations et capacités constructives disponibles ou l'homme est à la fois constructeur et utilisateur de son environnement.

De tout temps, le bâti vernaculaire a été conditionné par multiples facteurs dépendants les uns des autres, qui déterminent et orientent un choix conceptuel particulier, reflète aussi bien les conditions physiques propres à leur environnement que les préférences et les aptitudes culturelles, et offre une large variété de solutions aux besoins fondamentaux et de la conception des demeures. Cette interaction a été prouvée par plusieurs chercheurs et elle dépend de trois milieux interactifs : milieu humain, naturel et le matériel.

Jan Krebs voit que les manifestations physiques de cette architecture prenaient des formes aussi diverses que les facteurs les ayant induites, *On trouve aujourd'hui dans le monde les formes d'habitat les plus variées, dans les caractéristiques régionales dépendent des conditions climatiques, de données locales telles que la topographie ou les matériaux disponibles, et surtout les de traditions culturelles.*³⁰

³⁰ Krebs Jan. Concevoir l'habitat, Ed. Birkhäuser, éditions d'architecture, Bâle, 2007, p 10.

Amorce Rapoport voit que les bâtiments primitifs et indigènes reflètent à la fois les désirs et les besoins d'un peuple, des exigences du milieu culturel et de l'environnement physique, sans l'intervention d'architectes aux préoccupations artistiques, il considère ainsi que les constructions vernaculaires résultent de l'interaction de l'homme « sa nature, aspirations et organisation sociales » et la nature « aspects physiques, climat, site et matériaux ».

L'opinion du professeur Frédéric Aubry concorde avec celle d'Amorce, il précise que pour appréhender l'architecture vernaculaire il faut étudier une trilogie conceptuelle qui intègre : l'Homme, le site et les matériaux, dans l'introduction de son ouvrage : *Architecture vernaculaire la morphogenèse de l'architecture vernaculaire s'établit sur la trilogie composée de trois pôles de référence...L'homme enveloppe et exprime le contenu de toutes les données thématiques, activités et besoins de nature socio-économique, culturelle et historique. Le site intègre toutes les données environnementales, climat, morphologie, les matériaux impliquent les choix et les techniques mis en œuvre de la forme bâtie.*³¹

La combinaison de ces trois éléments permet de définir les particularités des différentes architectures vernaculaires³² : *à partir de ces trois pôles de référence on peut analyser méthodiquement chaque construction et l'interpréter en répondant aux simples questions quoi ? pour qui ? où, pourquoi ? comment ? Cette trilogie telle qu'elle est définie par le professeur rappelle le concept de développement durable dont les piliers sont : l'équité sociale, la préservation de l'environnement et l'efficacité économique.* (Ammar Benadji, 1999)

En effet, les chercheurs dans le domaine de la représentation climatique en architecture ont été souvent entrepris suivant un parcours rectiligne et monodirectionnel, par contre les recherches relatives aux représentations culturelles et sociales, confirment la sensibilité des chercheurs aux mouvances des sociétés et aux changements perpétuels des modes de vie. D'où le changement de la perception de la représentation figurative en architecture. Il est regrettable que le changement des données météorologiques à grandeurs physiques et qualifiables, que présente notre atmosphère en matière de réchauffement de la terre, soit moins perceptible que les changements de mœurs.³³

³¹ Doepper Ulrich, Guindani Silvio. Architecture vernaculaire, territoire, habitat et activités productives, Presses polytechniques et universitaires Romandes, 1990, p 05.

³² Rapport Brundtland, 1987, site web : <https://www.are.admin.ch>.

³³ Ammar Benadji, adaptation climatique ou culturel en zone aride, thèse de doctorat, Cas du sud-est algérien. Géographie. Université de Provence Aix-Marseille, 1999, p 19.

2.2. Les ressources du vernaculaire :

On a pu voir à travers cette discussion dans le domaine que les ressources avaient un rôle majeur dans la conception vernaculaire. Cela comprend la question de la matérialité qui provient du site ; ainsi que la façon dont on tire parti du climat et comment on s'en protège. Globalement ces ressources se regroupent en deux grandes catégories : ressources physiques liées à l'environnement (climat, site, matériau et paysage.)³⁴, et des ressources socio-culturelles liées à l'homme lui-même.

2.2.1. Les ressources physiques, L'environnement géo-climatique générateur des caractères typologiques.

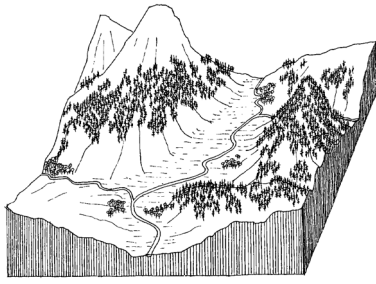
2.2.1.1. Le site :

Dans l'appréhension du site, il se définit par la superposition de plusieurs niveaux d'éléments qui sont à la fois:³⁵ Physique : montagnes, vallées, plaines, rivière...; Pratique : la présence d'eaux à proximité d'activité, des terrains propices aux cultures ou à l'élevage, ou bien un lieu favorable aux échanges ; Symbolique : présentées par les valeurs culturelles que se soient historiques, symboliques, religieuses, sociales, défensives ; et Protectrice par l'utilisation du site physique pour la survie du groupe et la facilité de protection contre les éléments naturels, la faune, les hommes.figure.02.

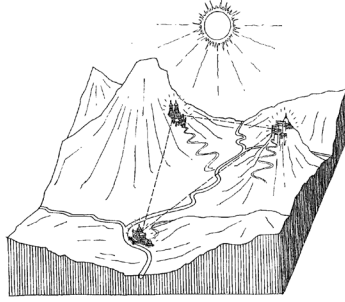
Le choix et le mode d'utilisation d'un site dépendent de ces trois groupes de facteurs les uns ou les autres pouvant être dominants selon les cas. En effet, le site se diffère en dépendant des buts et des valeurs d'un peuple et d'une époque, c'est la projection sur le terrain de l'image qu'une communauté se fait d'elle-même. A l'intérieur, les modes et les formes d'établissements humains présentent une diversité extraordinaire ; qui exprime les multiples interactions à la fois spatiales et culturelles soit par des modes d'occupation dispersés ou groupés.

³⁴ Amoce Rapoport, pour une anthropologie de la maison, Paris, Dunod, 1972, p19.

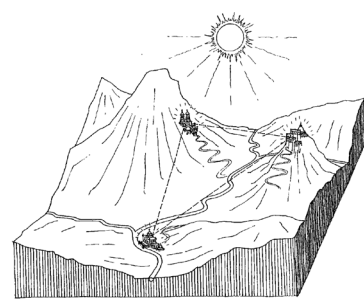
³⁵ Alain M. Viaro ; Arlette Ziagler. Habitat traditionnel dans le monde, éléments pour une approche. Etablissement humain et environnement socio culturel. UNESCO 83, p21.



Le site physique.



Le site pratique



Le site symbolique.

Figure.02 : facteurs d'influence du site.³⁶

***Le rapport au sol :**

Parmi les solutions les plus fameuses au problème du froid ou bien de la chaleur ; les habitations ou les agglomérations souterraines, la maison troglodyte est considérée comme l'une des plus anciennes architectures vernaculaires.³⁷ Bien que la terre dispose une grande inertie thermique et une température à peu près constante toute l'année, elle fournit des habitations fraîches en été et moins difficiles à chauffer en hiver.³⁸

Le premier exemple est celle de l'habitat Troglodyte à Matmata en Tunisie, à Gabès, située sur la latitude 33°N à une altitude de 400m sous un climat pré-désertique. Où le site comme facteur naturel est mis au profit de l'habitat afin de se protéger contre un autre facteur naturel qu'est le climat, figure.03.04.

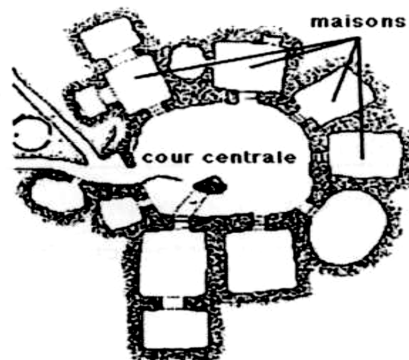


Figure.03 : habitation souterraine autour d'une cour. Tunisie.³⁹

³⁶ Alain M. Viaro ; Arlette Ziagler, op. cit, p21.

³⁷ J.L.Izard, Archi bio, éd Parenthèse, p60.

³⁸ Plemenka Supic, l'aspect bioclimatique de l'habitat vernaculaire, in Arch. and Comport /Arch and Behav, Vol. 10, no 1, p42

³⁹ Agha Khan. Urban housing, proc of sem. 2 in the series design in islamic cultures, MIT lab of architecture and planning, harvard graduel school of design, 1982, p40.



Figure.04 : Maison troglodytique à Matmata.⁴⁰

L'espace central est constitué d'une cour encaissée, ouverte au ciel, tout autour des pièces sont creusées dans les murs entièrement souterrains, cette stratégie sert à diminuer la surface de l'enveloppe et notamment la surface horizontale. L'inertie thermique de ce genre d'habitat enterré permet de diminuer l'amplitude de la température de l'air interne, ainsi que l'échange thermique entre l'intérieur et l'extérieur ; donc le seul échange thermique existant est entre l'espace intérieur et la masse (terre, pierre...)⁴¹

Distinguant ainsi des diverses tailles depuis le simple aménagement d'un site naturel bien disposé, jusqu' à la création totale d'un relief incluant un habitat troglodytique, l'exemple des maisons construites sous-terre dans la province de Valence en Espagne, situé sur la latitude 39°N à une altitude de 70m sous un climat méditerranéen semi-aride et aussi dans la province d'Henan (*Honan*) en Chine, située sur la latitude 33°N sous un climat océanique. **Figure. 05.**



Figure.05 : Villages souterrains près de Loyang au Nord de la Chine.⁴²

⁴⁰ Baklouli Naceur. L'architecture traditionnelle en Tunisie : l'habitat rural. Site web : <https://docplayer.fr>.

⁴¹ Meliouh Fouzia ; Tabet Aoul Kheira, L'habitat espaces et repères conceptuels in courrier du savoir-n°01, Novembre 2001, p 60.

⁴² Gonzalo Rodriguez. Modélisation de la réponse de l'architecture au climat local, Université Sciences et Technologies, Bordeaux I, 2013, p 46.

Un autre exemple célèbre est celui de l'habitat Pueblo au sud-ouest des Etats-Unis d'Amérique, qui a su profiter amplement du site en y épousant sa forme et en y puisant ses matériaux de construction. Contrairement au premier exemple où le site a été modelé en fonction des besoins de l'homme, dans ce cas c'est l'habitat qui a été modelé en fonction des exigences du site. Dans la **figure.06**, on remarque nettement que l'ensemble des habitations épousent la forme en pente du site créant ainsi une protection naturelle contre les différents phénomènes climatiques.

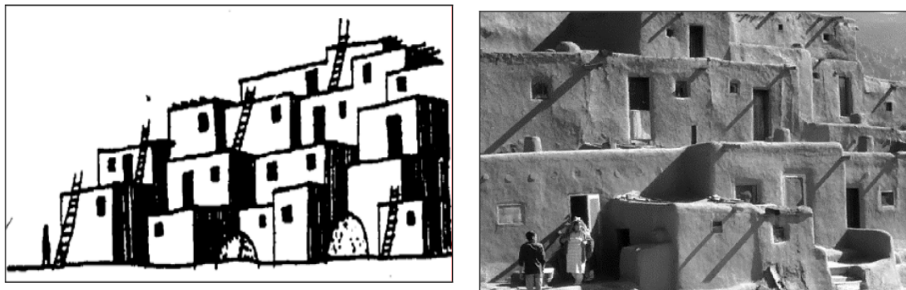


Figure.06 : L'habitat Pueblo au sud-ouest des Etats-Unis d'Amérique. ⁴³

***Le contexte climatique facteur modifiant des choix typologiques :**

La majorité des constructions vernaculaires qui ont été bâties à travers le monde entier présentent une importante gamme des formes qui se diffèrent d'une zone climatique à une autre. Nous observons des toitures pentues dans les zones à précipitations abondantes, des toits plats dans les zones à climat sec. Aussi bien des petits percements dans les murs dans les zones froides et chaudes et des murs presque inexistantes dans les zones à chaleur humide, des maisons enfoncées dans la terre dans les zones aux températures extrêmes et d'autres surélevées par rapport au niveau du sol dans les zones chaudes et humides. Donc les démarches sont diverses et montrent la variété des réponses apportées à cette confrontation homme- nature, si nous prenons comme déterminants des choses simples, mesurables telles que la pente de toiture, le débord de toiture, la proportion de percements et le niveau du socle relativement au niveau du sol, nous pouvons constater que les enveloppes visibles des maisons sont très différentes d'une situation climatique à une autre.

⁴³ Melioui Fouzia, op. cit, p 61.

En effet, cette causalité du climat a été largement prouvée, bien que le déterminisme climatique ne réussisse pas, à rendre compte de l'étendue et de la diversité des maisons, le climat est néanmoins un aspect important des forces génératrices des typologies et il a des effets importants sur les formes que l'homme peut créer. A ce propos Amos Rapoport déclare que : *Bâtir une maison c'est aussi transformer un climat extérieur hostile en micro climat intérieur agréable.* ⁴⁴

De sa part Viaro, ⁴⁵ analyse la morphologie d'habitat à partir des éléments objectifs dominants du climat. Il souligne qu'il y a des concordances entre les habitats traditionnels et les éléments dominants du climat : la radiation solaire, la température, l'humidité, les précipitations et les vents : *La contrainte climatique, qui peut sembler si forte, n'est contrainte que par rapport aux exigences de confort et de mode de vie. L'adéquation à un climat est culturelle parce qu'elle donne les réponses du groupe et non pas une réponse universelle.*

Oliver, lui aussi prend en compte plusieurs éléments des contextes culturels et naturels associés aux différences reconnaissables dans l'aspect d'habitat vernaculaire. Le climat est l'un des éléments du contexte naturel considérés par lui. Il distingue neuf types de climat à partir de la température et d'humidité ; et à chacun de ses types de climat correspond des réponses spécifiques dans l'architecture vernaculaire ; *une stratégie architectonique correspond aux choix relatifs à la forme de la maison la plus adaptée aux contraintes de l'environnement climatique.* ⁴⁶

⁴⁴ Amos Rapoport, op. cit, p

⁴⁵ Viaro, A. M., Ziegler A. op. cit, p

⁴⁶ Oliver, P. Encyclopedia of Vernacular Architecture of the World. Edited by Paul Oliver.: Cambridge University Press, New York, 3 volumes, 1997, 2500 p.

2.2.1.2. Variables du climat et leurs réponses :

a. Climat chaud et sec :

Le jour : la plus grande partie du rayonnement atteint le sol.

La nuit : la plus grande partie du rayonnement est perdue dans l'atmosphère.

Ces zones sont caractérisées par de fortes températures diurnes et par des températures nocturnes désagréablement basses, une variation que l'on neutralise au mieux en retardant l'entrée de la chaleur aussi longtemps que possible afin qu'elle atteigne tard l'intérieur quand on en a besoin.⁴⁷ En effet l'architecture vernaculaire dans ces contextes témoigne d'une interaction réfléchie avec les éléments du microclimat, qui se traduit spatialement par diverses dispositions urbanistiques et architecturales.

À une échelle plus grande, la ville est souvent située à l'intérieur d'un territoire à couvert végétal important (palmeraie), ce genre de site lui offre l'un des premiers moyens pour lutter contre l'hostilité de cet environnement physique. À une échelle moindre, la compacité du tissu urbain engendre la réduction des surfaces exposées au soleil et occasionne un ombrage important des différents espaces extérieurs. La forme géométrique compacte fournit un maximum de volume avec une surface minimum exposée à la chaleur extérieure, en serrant les maisons les unes contre les autres, favorisant de l'ombre et réduisant la surface exposée au soleil.⁴⁸ Figure 07.



Figure.07 : tissu serré, rues en tunnel dans oasis de Dakhla en Egypte.⁴⁹

⁴⁷ Alain Liébard, André De Herde, op. cit, 2005, p

⁴⁸ Amos Rapoport, op. cit, p 125.

⁴⁹ Dabaieh, M. A Future for the Past of Desert Vernacular Architecture. Lund University (Media-Tryck), 2011, p 64.

Sur la base des études de Givoni⁵⁰ sur le contrôle thermique dans les bâtiments du désert, il a été observé que les habitations vernaculaires étaient construites de manière à éviter et empêcher les gains de chaleur, en utilisant un refroidissement par circulation des courants d'air ; ou la construction des villes et des villages avec des rues ombragées et creusées de tunnels, protègent les piétons du soleil direct et fournissent un maximum d'ombre à leurs bâtiments. Ces rues en tunnel facilitent la circulation d'air et la filtration des particules de sable, particulièrement pendant les tempêtes de sable.⁵¹ Figure .08.



Figure.08 : ruelles couvertes.

À l'intérieur des demeures, la chaleur est contrôlée par disposition et écartement des espaces, la cuisine par exemple se trouve souvent en dehors de la maison ; beaucoup de maisons disposent deux cuisines, une à l'intérieur pour l'hiver et l'autre à l'extérieur pour l'été. Le nombre et la taille des fenêtres sont réduits, placées en hauteur pour contrôler l'admission de la lumière naturelle, en réduisant au maximum la pénétration de l'air chaud durant les heures chaudes de la journée. ⁵² De leur côté des matériaux de forte capacité calorifique comme l'adobe ou le pisé, la terre et la pierre ou diverses combinaisons de ces matériaux emmagasinant de la chaleur, en absorbant durant la journée et la restituant pendant la nuit. Le facteur nomadisme est aussi bien distingué, quand les soirées sont fraîches les habitants dorment sur le toit ou dans la cour ; quand elles sont froides ils dorment à l'intérieur des pièces.figure.09.

⁵⁰ Givoni Baruch. L'homme, l'architecture et le climat, Parie : le moniteur, 1978.

⁵¹ Dabaieh, M. op. cit, p49.

⁵² Amos Rapoport, op. cit, p127.

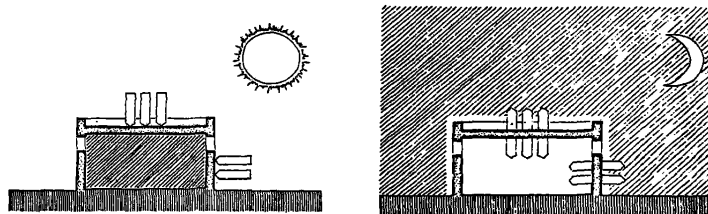


Figure.09 : La chaleur est emmagasinée dans les murs pendant le jour, l'intérieur est plus frais que l'extérieur.⁵³

À l'intérieur des constructions, le patio se présente comme un espace architectural bioclimatique par excellence. figure.10. Le capteur à vent (*malkaf*), le tunnel, la fontaine constituent l'ensemble d'autres procédés de ventilation parmi les divers dispositifs vernaculaires de rafraîchissement.⁵⁴ (Voir axe 03, chapitre 02.)

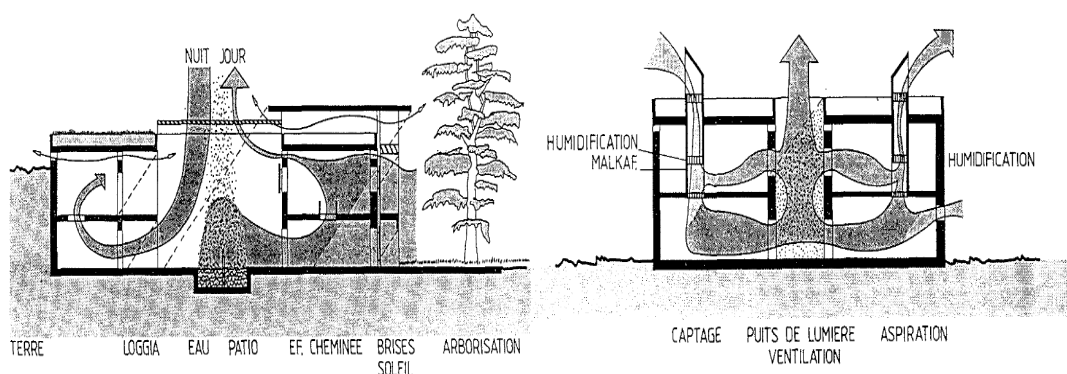


Figure.10 : Schéma de fonctionnement climatique d'un patio.⁵⁵

*Le rôle de la toiture :

La forme plate de la toiture, dans les climats chauds et secs, s'explique comme une manière de réduire la surface exposée au rayonnement solaire et en conséquence de réduire le stockage de chaleur dans l'enveloppe des bâtiments, c'est le cas du Ksar ait ben hadou au Maroc, Figure.11 ,⁵⁶ situé sur latitude 31°N à une altitude de 1280m sous un climat prédésertique ; ou la partie du Ksar exposée directement au rayonnement solaire est minimale grâce aux jeux des toitures terrasses.

⁵³ Amos Rapoport, op, cit p127.

⁵⁴ Belakhal Azeddine, op. cit. p 21.

⁵⁵ Plemenka Supic, op. cit, p 32.

⁵⁶ Gonzalo Rodriguez, op. cit, p26.

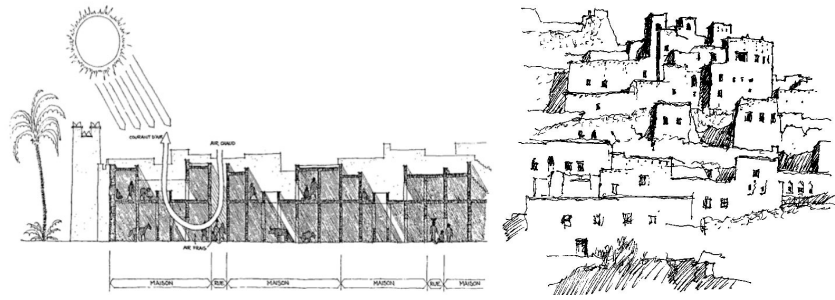


Figure.11 : ksar au Maroc.

Cette technique se trouve aussi à Taos aux Etats Unis, figure.12a, Située sur la latitude 36°N à une altitude de 2150m sous un climat prédésertique. à Tombouctou au Mali figure.12b, située sur la latitude 16°N à une altitude de 270m sous un climat désertique chaud et aussi à Ghadamès en Libye Figure.12c, située sur la latitude 30°N à une altitude de 340m sous un climat désertique chaud ; ou les maisons sont caractérisées par des toitures plates servant même de terrasses habitables.

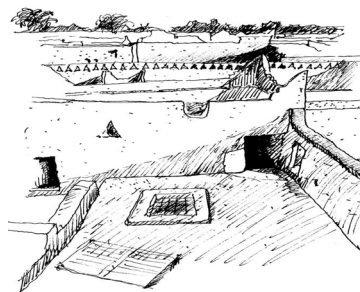


Figure.12 : Toitures plates ; a. Taos en Etats Unie, b. Tombouctou à Mali et c. Ghadamès en Libye⁵⁷

⁵⁷ Unesco. Site web : <https://www.unesco.org/en>.

Une autre astuce concerne à utiliser des toits doubles comme chez les Massa du Cameroun et sur le plateau Bauchi du Nigeria, cette technique a des propriétés suivantes : Le chaume draine l'eau et protège la terre à la saison des pluies, réduisant la pénétration de la chaleur et le réchauffement de la maison. La couche d'air permet une plus grande isolation durant les journées chaudes, tandis que la capacité thermique de la terre réduit les températures diurnes, car la terre emmagasine la chaleur pour les nuits froides et la chaume permet de conserver cette chaleur pendant une plus grande partie de la nuit en réduisant les pertes de chaleur.

b-Climat chaud et humide :

Jour : 40 % du rayonnement atteint le sol.⁵⁸

Nuit : 50 % de la chaleur emmagasinée par le sol s'échappe dans l'air.

Ces régions se caractérisent par des fortes pluies et une grande humidité, des températures relativement modérées avec de faibles écarts journaliers et saisonniers et un rayonnement intense, les défenses requises sont un maximum d'ombre et un minimum de capacité thermique. Il n'est pas intéressant d'emmagasiner de la chaleur quand il y a peu d'écart de température, une chaleur humide exige presque à l'opposé d'une chaleur sèche, des bâtiments ouverts à faible capacité thermique avec une ventilation maximum, donc une structure longue et étroite et des formes très séparées avec des murs les plus minces possible.

Certaines dispositions spatiales se retrouvent d'un environnement à un autre, dans de nombreuses régions chaudes et humides, une véranda offre de large espace exposé aux vents ; lieu où s'effectue les travaux ménagers. Dans ces régions on observe l'utilisation des pilotis qui surélèvent la maison en permettant de ventiler en permanence l'enveloppe du bâtiment y compris le sol « *In hot and humid places, pile dwellings offer distinct advantages in terms of ventilation and cooling.* »⁵⁹. Dans le même esprit les constructions situées dans des zones couvertes d'eau utilisent les pilotis pour écarter les maisons d'eau.

⁵⁸ A. Liébard ; André De Herde ; Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique ; édition le moniteur Paris décembre 2005 ; p30a.

⁵⁹ Vellinga, M. Oliver, P., Bridge, A. Atlas of Vernacular Architecture of the World. New York : Routledge, 2008, 160 p.

Le toit aussi est un élément très important pour ces régions, car il doit répondre à des fonctions différentes : de se protéger du soleil et aussi de la pluie, conçue avec une forte pente et des débords allongés pour drainer l'eau et protéger la structure des pluies. Ces larges avant-toits et les vérandas protègent également les percements d'un excès d'exposition à la chaleur. L'orientation est souvent Est -Ouest minimisant les surfaces exposées au soleil. L'exemple des habitations en Malaisie et en Thaïlande. Figure, 13.

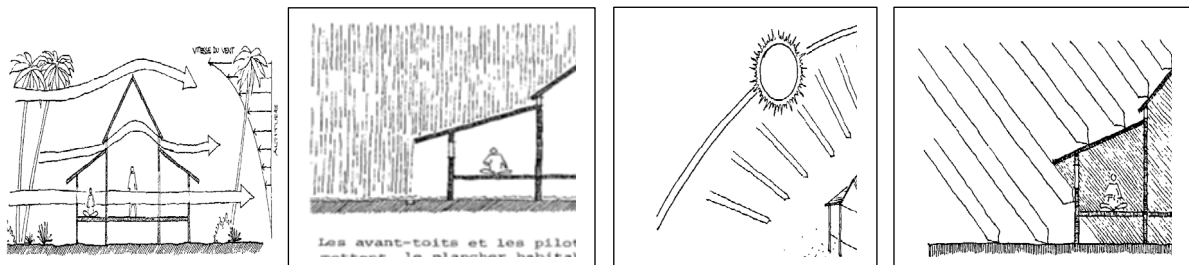


Figure.13 : maisons surélevées avec avant toit et planchés en lame de bambou.

Comme indiquer, le toit se figure comme l'élément dominant; c'est un énorme parasol imperméable ayant une pente rapide, pour permettre aux pluies torrentielles de s'écouler, opaque au rayonnement solaire et d'une masse minimum pour éviter l'accumulation de la chaleur et sa restitution ultérieure, il évite aussi les problèmes de la condensation car il peut respirer. *De larges auvents protègent à la fois contre la pluie et le soleil et permettent la ventilation quand il pleut.* ⁶⁰ Ces solutions traditionnelles concordent parfaitement avec les récentes études climatologiques, les maisons de ce type sont beaucoup plus confortables que les maisons de bois, de brique, ou de pierre couverte de tôle qui les remplacent dans ces régions.

Dans les régions musulmanes comme en Pakistan et le nord de l'Inde ou le besoin d'intimité et socialement important à cause de la position de la femme mais aussi où la ventilation est essentielle pour lutter contre l'humidité de l'air. L'utilisation des cloisons à claire-voie «jali»⁶¹ ; qui procure de l'ombre et assure l'intimité tout en permettant une ventilation efficace. Dans ces mêmes régions où la chaleur humide est seulement saisonnière, les hauts plafonds de 5 à 7 mètres permettent à l'air frais d'entrer la nuit pendant la saison chaude et sèche, et le conservent pendant le jour. Ceci a peu de conséquences pendant la saison chaude et humide tant que l'on peut se permettre de ventiler, mais c'est un inconvénient pendant les hivers froids car de telles pièces sont difficiles à chauffer. Figure.14.

⁶⁰ Amos Rapoport, op. cit, p131.

⁶¹ Ibid, p 133.

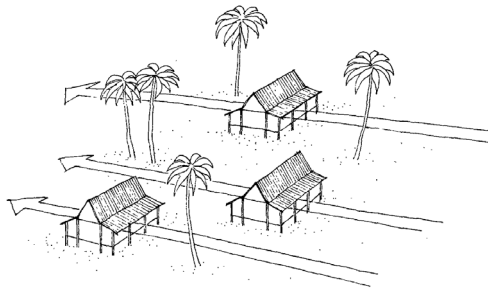


Figure.14 : Utilisation du vent pour ventiler l'habitation en Asie du sud-Est.

Dans les zones tropicales et subtropicales en Amérique du Sud ou les maisons sont généralement avec des toitures larges et pentues, faites de paille ou de feuilles de palmier, qui assurent une protection contre les fortes pluies et le soleil brûlant. En raison de la forte humidité, les couvertures sont formées de branches entrelacées permettant une ventilation traversant et l'entrée de brises fraîches, laissant l'intérieur à l'abri des rayons solaires et la fraîcheur. Autres exemples des maisons surélevées grâce à des pilotis se trouvent en Indonésie entre les latitudes 7°N et 8°S sous un climat tropical humide, et au Shira kawa en Japon, **Figure.15** et aussi dans l'Archipel de Chiloé au Chili, situé entre les latitudes 41°S et 43°S sous un climat tempéré frais et humide.



Figure.15 : Maisons sur pilotis Chiloé, Chili et habitat Batak en Indonésie.⁶²

Un autre élément influence fortement la pente de toiture est la force et la fréquence des précipitations, de ce fait dans les zones climatiques à pluies ou neige abondantes on trouve des toits pentus et dans celles à faibles ou très faibles pluies on trouve des toits plats.⁶³

⁶² Pierre Frey. Learning from Vernacular : pour une nouvelle architecture vernaculaire ; Coédition Ecole polytechnique fédérale de Lausanne ; Novembre, 2010, p30.

⁶³ Gonzalo Rodriguez, op. cit, p42.



Figure.16 : Okayama, Japon.⁶⁴

c-Le Climat froid :

Dans ces zones la priorité est de garder la chaleur à l'intérieur de la maison, la stratégie formelle pour répondre au froid mène à des formes compactes qui permettent de diminuer les surfaces exposées aux conditions climatiques rudes et de minimiser les pertes de chaleur à travers l'enveloppe de la construction. Autrement dit, il est plus important d'être isolé et protégé du froid que de recueillir le rayonnement solaire à travers des ouvertures.

Il y a des différents degrés de froid et des variations d'intensité et de durées, mais les principes pour conserver la chaleur sont les mêmes et ils ont des rapports étroits avec les principes valables pour la chaleur sèche. Les mêmes principes s'appliquent sauf que la source de chaleur est maintenant à l'intérieur au lieu d'être à l'extérieur, et on s'efforce d'empêcher la chaleur de se propager vers l'extérieur. On essaye de chauffer l'habitation le mieux possible, ce qui implique de grands éléments de chauffage que l'on trouve souvent au milieu de la maison, afin d'utiliser de la chaleur de la cuisine, celle des occupants et des animaux, on évite les déperditions de chaleur en utilisant un plan massif, une surface minimum exposée à l'extérieur, des matériaux lourds et bien isolants en empêchant les courants d'air.

De même, le choix de mettre des petites fenêtres relève de la stratégie consistant à privilégier l'isolation à la place d'éclairage et du chauffage par rayonnement solaire direct, vu l'absence des technologies suffisantes pour rendre les ouvertures étanches et isolées. En

⁶⁴ Source : www.alamyimages.fr.

conséquence l'isolation par des murs étanches et opaques reste la réponse vernaculaire la plus répandue contre le froid.

Un exemple représentatif aux adaptations aux inclémences froid est l'iglou, remarquable demi-sphère fait de blocs de neige avec comme matériau uniquement la glace, confectionné en blocs utilisé pour son inertie thermique, la forme de demi sphérique aérodynamique offre une excellente résistance contre les tempêtes de neiges et à la pression des vents glaciaux ; *la résistance d'un dôme est supérieure à celle de presque toutes les autres formes de structure* ⁶⁵ Par ailleurs, les esquimaux ont créé un système de transition d'espaces intermédiaires, qui assurent le passage de l'espace le plus froid à l'espace le plus chaud.⁶⁶ La doublure de glace lisse qui se forme sur sa surface intérieure est une étanchéité efficace contre les infiltrations d'air, ainsi que les sorties en tunnel sont orientées loin des vents dominants afin de réduire les courants d'air et empêcher la fuite de l'air chaud.⁶⁷ figure.17.

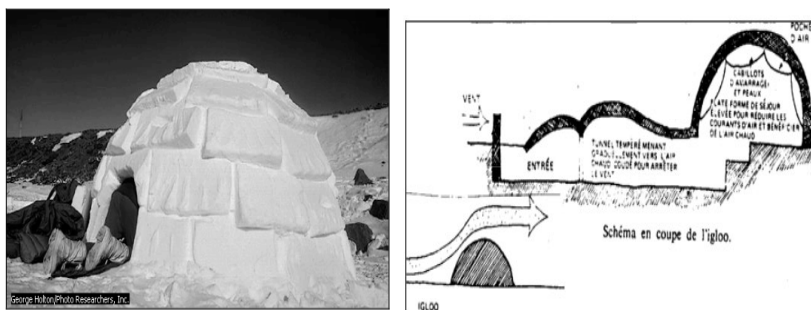


Figure.17 : L'Iglou conception intérieure et sa réaction vis à vis des vents ⁶⁸

Dans les régions frappées par les vents froids, les maisons sont situées dans des creux de sorte que le mur Nord à la hauteur d'un rez-de-chaussée est aveugle ou possède très peu d'ouvertures tandis que le mur sud a un étage et possède de nombreuses fenêtres protégées par des volets ou bien des portiques. Des perches spéciales plantées devant les maisons servant à briser les vents. Figure.

⁶⁵ Salvadori .M, comment ça tient ? Édition Parenthèses. Marseille 2009, p76.

⁶⁶ Dutreix Armand., bioclimatisme et performances énergétiques des bâtiments, Ed. Eyrolles, Paris, 2010, p 30

⁶⁷ Olgyay V. Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism. Princeton, N.J., Princeton University Press.1963.

⁶⁸ Fouzia Meliouh, kheira tabet aoul. L'habitat espaces et repères conceptuels, courrier du savoir – n°01, novembre 2001, pp. 59-64.

2.2.2. L'image de l'architecture vernaculaire à travers les matériaux locaux et les arts de bâtir et culture constructive.

Les arts de bâtir englobent les matériaux, les techniques et les savoirs faire constructifs, c'est à la fois la construction et la compétence des constructeurs, ses savoir-faire sont transmis par l'apprentissage et la pratique, leur usage permanent assure leur transmission naturelle d'une génération à l'autre.⁶⁹ « *L'architecture vernaculaire se caractérise par la transmission collective de méthodes de construction de génération en génération. Les nouveaux bâtiments s'intègrent parfaitement à ceux qui sont déjà là et contribuent à la continuité de l'identité d'un lieu..... Les bâtisses sont semblables les unes aux autres et forment une image unitaire et égalitaire* »⁷⁰.

Globalement les constructions primitives ont été limitées aux matériaux organiques, soit d'origine animale soit végétale nattées, tissées ou tordue pour former des nattes, la seule addition des sociétés préindustrielles vernaculaires est parfois une petite quantité de métal. Là où on ne dispose pas de ces matériaux ou il est difficile à obtenir, on a développé des formes particulières de construction : voutes et coupoles en hexagones et voutes et coupoles véritables⁷¹, plus les contraintes sont grandes, plus le choix est faible, mais on dispose toujours d'un certain choix.⁷²

Selon l'opinion d'Amos Rapoport : les formes des maisons se développent au fur et à mesure que l'homme apprend à maîtriser des techniques de construction plus complexes, et toutes les formes font partir d'un développement progressif où se succèdent des étapes presque inévitables. La disponibilité et le choix des matériaux et des techniques de construction en architecture aura une grande importance et modifiera la forme de bâtiment. De même que la maison répond aux forces physiques du climat chaleur, froid, humidité, rayonnement et lumière ; de même sa structure doit répondre aux forces mécaniques, vent, pluie et neige. La raison pour laquelle il y a avantage à considérer la construction et les matériaux comme des facteurs modifiants et qu'ils ne déterminent pas la forme, Ils rendent simplement possibles des formes qui ont été choisies en fonction d'autres critères, et rendent certaines formes impossibles et tant que moyen, modifiant ainsi la forme.⁷³

⁶⁹ Weston Richard., Formes et matériaux dans l'architecture, Ed du Seuil, Paris, p 01.

⁷⁰ Barro Julien. Sauvegarde et revitalisation des villages de montagne, Forum Heimatschulz, patrimoine, 2/09.

⁷¹ Amos Rapoport, op.cit, p145.

⁷² ibid, p 145.

⁷³ Amos rapoprt,op. cit, p 144.

D'un autre côté, la notion du local est indissociable de celle de l'économie, en effet le recours aux potentialités locales s'appuie et participe au développement de l'économie locale. Comme l'affirme H. Fathy : « *Nous voyons que l'artisanat local peut être rétabli très vite ; il s'agit plus de lui redonner du prestige que de l'enseigner à nouveau.* »⁷⁴

Donc, Le volet matériel englobe la mise en œuvre des matériaux, les principes structurels et la combinaison des efforts sont les révélateurs des formes, le moyen d'expression fondamental de la géométrie : horizontalité, verticalité, angulation, courbure, continuité, discontinuité rencontre, superposition et dissociation des éléments de l'espace construit. C'est la réponse rationnelle à la question comment ? Tandis que, le concept de culture constructive embrasse la dimension sociale et technique de l'acte de construire et du processus d'élaboration des savoirs et savoir-faire qui lui sont inhérents, reflétant intrinsèquement la multiplicité des sociétés humaine et leur enracinement indissoluble au territoire qu'elle habite. Le vernaculaire en tant que caractérisation des modes de bâtir, d'habiter et de se protéger se révèle par ce fait une source précieuse de pratiques, techniques et mesures, testées au cours des siècles et des multiples aléas, pour la construction d'environnements bâtis durables.

Les matériaux ne déterminent pas la forme, ils la rendent possible ou impossible, et parfois la modifie. Seule la pénurie rend l'utilisation des matériaux impossible ; c'est la contrainte fondamentale.

***Quelques Matériaux et mise en œuvre :**

Il existe quatre catégories de matériaux : la terre, la roche, les végétaux, et les matériaux d'origine animale. Figure.18. Les techniques de construction en terre les plus répandues sont les suivantes : le pisé, l'adobe, le torchis, la bauge et les briques de terre comprimée (BTC). Chaque technique a ses spécificités et utilise une terre bien précise : tableau.01.

⁷⁴ Fathy Hassan. Construire avec le peuple ; collection hommes et sociétés, Paris : Ed ; Sindbad, Paris, 1996, p 76.

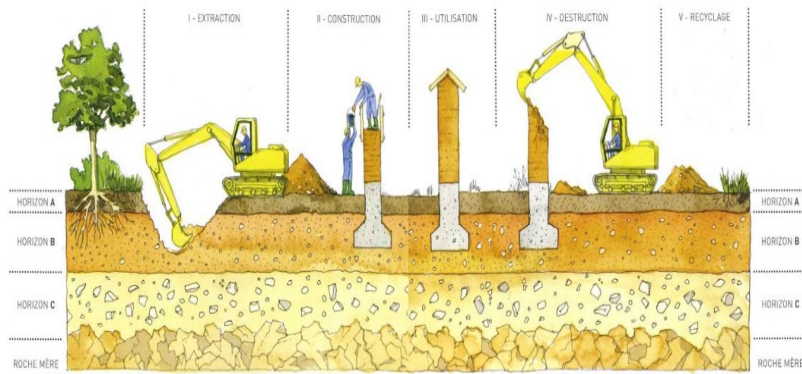


Figure.18: La terre, un matériau recyclable.

Tableau.01 : quelques types de matériaux locaux.⁷⁵

Adobe	Le torchis	Le sod	Utilisation des matériaux bruts	Les végétaux

⁷⁵ Alain M. Viaro ; Arlette Ziagler. Habitat traditionnel dans le monde ; éléments pour une approche. Etablissement humain et environnement socio culturel. UNESCO-83, p29-37.

2.2.3. Adaptabilité au contexte social :

La vie sociale est régie par l'ensemble des règles qui forme la cohésion d'une communauté, et par les pratiques sociales qui assurent la communication entre les membres. Elle implique des actions qui permettent à un groupe d'individu de vivre ensemble en ayant des buts communs.⁷⁶ On peut l'appréhender sous ses aspects principaux : stratification sociale ; organisation sociale élargie ; organisation sociale restreinte ; mythes et croyances.⁷⁷

En plus de son environnement naturel, l'homme s'est référé dans la conception de son habitation à son environnement social, celui-ci peut être défini comme l'ensemble de la communauté dans laquelle évolue l'homme et également à moindre échelle sa famille, ainsi que les types de relations qu'il entretient avec elles. C'est aussi la hiérarchisation sociale ; les relations familiales qui relient les différents membres de la famille, ainsi que et le système économique qu'adopte cette société pour subvenir à ses besoins. *Les modes de vie d'une communauté, les croyances, les traditions, les valeurs... l'ensemble des phénomènes matériels et idéologiques qui caractérisent un groupe ethnique.*

L'habitation est un abri mais aussi et surtout un fait culturel, *«La maison est une institution créée dans toute une série d'intentions, et n'est pas simplement une structure. Comme la maison est un phénomène culturel, sa forme et son aménagement sont fortement influencés par le milieu culturel à laquelle elle appartient.»*⁷⁸ En effet, l'occupation d'un espace par une population détermine une organisation spatiale spécifique qui est la réponse d'une société confrontée à des pratiques sociales et des implications culturelles, de telles contraintes et limites qui conditionnent le rapport ingénieux que chaque groupe populaire entretient avec son héritage vernaculaire et son environnement.

Donc, Il serait lacunaire de penser que tout est régi par les ressources environnementales. C'est le message qui est porté par Amos Rapoport ; il nous fait prendre conscience de l'importance des facteurs socioculturels dans les habitations populaires, même si les conditions environnementales ont une place majeure, il argumente évidemment la prégnance de ces facteurs sur tout autre facteur: *« Une maison est un fait humain et même au milieu des contraintes physiques les plus sévères et avec des techniques limitées l'homme a construit selon des modes si divers qu'on ne peut les attribuer qu'au choix, ce qui impliquent*

⁷⁶ Alain M. Viaro ; Arlette Ziagler, op.cit, p30.

⁷⁷ Ibid, p34.

⁷⁸ Amos Rapoport, op. cit, p 84.

*des valeurs culturelles.*⁷⁹ Selon lui l'explication d'ordre social donnée aux formes des maisons à faire appel au motif défensif et économique.

L'étude d'Xavier Thysein sur les habitations sahel Tunisien 1983 et Bourdieu 1963 sur l'habitation berbère de Kabylie, confirme aussi l'influence sociale sur la genèse de la forme architecturale traditionnelle ; Il a donné de nombreuses preuves du mode d'action de ces facteurs qui restent toutefois modifiants et non déterminants.

La projection de l'écosystème social à travers la gestion et la hiérarchisation des espaces dans l'habitation engendre des typologies diverses, En effet, l'exemple des habitations indigènes en Afrique nous montre très nettement les différentes formes que prend l'habitation en fonction des relations conjugales (monogamie ou polygamie) adoptée par chaque société. Le premier cas ; **figure19.a** où la famille est monogame, l'habitation est structurée autour d'un point central qu'est l'espace de vie de la femme et des enfants, alors que dans le deuxième cas **figure19.b**, où la famille est polygame (donc il y a plusieurs femmes), l'habitation est structurée d'une façon radiale donnant aux différents espaces de vie la même importance.

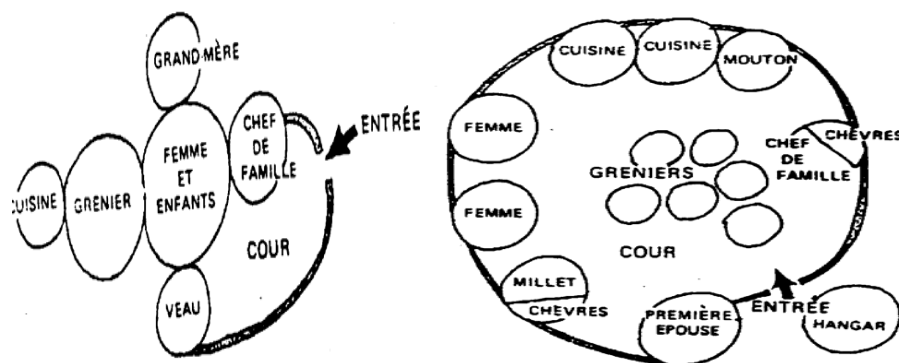


Figure.19 : Ferme Mofou au Cameroun. A.Famille monogame.⁸⁰

b. Ferme Moundang au Cameroun. Famille polygame.

Une autre distinction se remarque par des différentes manières avec lequel on marque l'habitation : la situation de cette habitation par rapport aux autres, ainsi que beaucoup d'autres formes d'expressions architecturales. Nul besoin de s'étaler sur le contraste expressif, que créent les deux extrêmes formes d'habitations dans une même communauté et qui sont le palais, habitation des plus riches et le taudis, habitation des plus pauvres.

⁷⁹ Amos Rapoport, op. cit, p 67.

⁸⁰ Amos Rapoport, op.cit, p78.

La question de l'intimité aussi est déterminante de par les prescriptions de la religion, consacrant l'inviolabilité de la vie privée, ne serait-ce que par le regard. Ceci a engendré une hiérarchisation très rigoureuse des espaces, du public au privé, d'abord à l'échelle des tissus urbains, comme illustré dans la figure. 20, distinguant le passage de l'espace le plus public comme les places et les rues aux ruelles et finalement aux impasses aboutissant aux espaces habitables et les pièces les plus privées. Ensuite à l'échelle urbaine cette hiérarchisation continue à gérer la structuration de l'habitat à l'échelle de la cellule elle-même, où les espaces extérieurs et intérieurs sont séparés par un espace de transition ainsi que les espaces intimes tels que les chambres sont les plus éloignés.

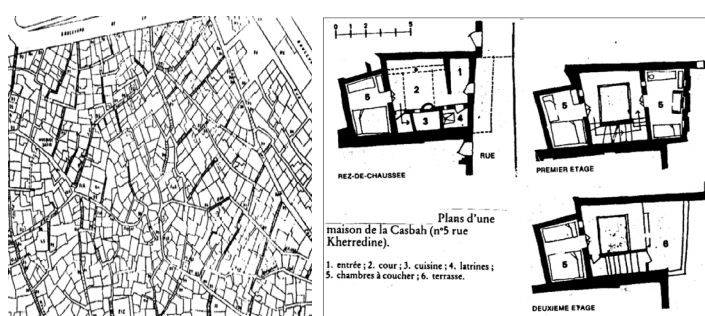


Figure.20 : a. tissu urbain traditionnel, b. Hiérarchisation des espaces intérieurs d'une habitation traditionnelle.⁸¹

Dans les cités islamiques traditionnelles, les façades ont toujours été décrites comme étant sobres et peu décorées qualifiées d'aveugles, elles versent vers l'intérieur au lieu de donner sur l'extérieur. A Baghdâd et au Caire, les jeux de fenêtres décorées et celui des moucharabiehs sur les façades attestent d'un grand talent artistique dans le traitement et la décoration de la façade. D'autre part, cette introversion est-elle consécutive de la rigueur d'un climat très chaud, ainsi que la propre logique sociale de la cité qui valorise de manière presque sacrée l'intimité de la vie familiale. *C'est pour cette raison que toute lecture qui ne voit dans l'espace extérieur des maisons arabo-musulmanes qu'une façade aveugle n'a de sens, parce qu'elles les réfèrent à des modèles auxquels elles ne sont pas réductibles et ne rendent pas compte, ce faisant de la cohérence d'un système architectural. Il ne s'agit pas de façades sur rue, mais d'un mur qui participe à l'écart des unités de résidence. Dispositif qui*

⁸¹ Fouzia Meliouh, Kheira Tabet aoul. L'habitat espaces et repères conceptuels, courrier du savoir – n°01, novembre 2001, pp. 59-64

*engendre toute une série de degrés d'éloignement matérialisés par des moyens très précis et destinés à assurer un maximum d'intimité à la vie familiales.*⁸²

D'une façon générale, les éléments constituant l'architecture vernaculaire montrent comment leurs agencements dans l'espace répondent à des modes de vie. La porte par exemple est considérée comme instrument et symbole constitue un dispositif matériel servant à réguler le passage et différencier les différentes espaces, elle signifie une limite séparative et une frontière ; qui permet d'effectuer une transition entre la vie privée et la vie publique. Au Maghreb la *sguifa*, préserve ainsi l'intimité de l'espace domestique, mais qui impose un parcours en chicane. En Iran, l'accès à la maison traditionnelle, une fois la porte franchie entraîne plusieurs changements d'axe ; cette paroi construite et ces chicanes garantissent la protection de l'espace privé contre l'entrée des regards.⁸³ Figure .21.

Ainsi, la matérialisation de cette transition dénote la valeur assignée à l'intimité selon les cultures et sert à l'analyse des modes de vie. *La mise en place d'un chemin d'accès change de direction dans l'espace d'entrée conserve l'intimité des maisons islamiques, donc sert à séparer deux mondes : le féminin et le masculin.*⁸⁴

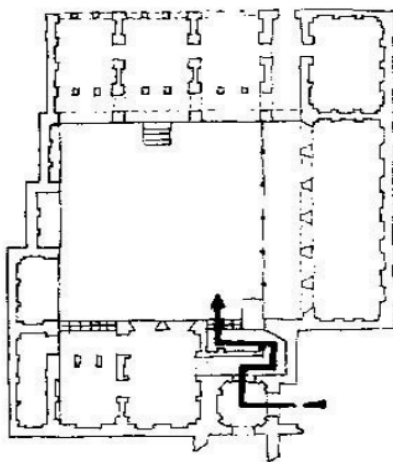


Figure.21 : Plan d'une maison traditionnelle, avec accès en chicane, Iran.

Dans le même sujet, les chercheurs de l'architecture islamique attribuent l'influence privilégiée de l'intimité (visuelle et acoustique), à la position sacrée de la femme mais aussi à une division de l'espace en fonction du sexe des personnes, division prescrite par les lois de

⁸² Belakhal azedine, la façade entre l'esthétique et le contrôle du rayonnement solaire, cas de l'habitation individuelle urbaine dans les milieux arides et semi arides en pays islamique, thèse de magister, université de Biskra, institut d'architecture, 1995.

⁸³ Monnier, G. La Porte : instrument et symbole. Paris : Editions Alternatives, 2004, 119 p.

⁸⁴ Gonzalo Rodriguez, Modélisation de la réponse de l'architecture au climat local, Université Sciences et Technologies, Bordeaux I, 2013.p 24.

l'Islam.⁸⁵ Nombreux sont les versets coraniques et les paroles prophétiques qui font révéler cette Importance de l'intimité : le verset (24/27) indique que :

« Ô vous qui croyez ! N'entrez pas dans des maisons autres que les vôtres avant de demander la permission (d'une façon délicate) et de saluer leurs habitants. Cela est meilleur pour vous. Peut-être vous souvenez-vous ».

L'habitat traditionnel dans la médina présente une préoccupation importante pour l'intimité visuelle et auditive de ses occupants. Par ailleurs, l'hospitalité des étrangers est un caractère privilégié dans cette culture mais contradictoire à cette exigence d'intimité. De ce fait, pour concilier ces deux concepts opposés au sein d'un même habitat, un système d'organisation spatiale est adapté aux domaines intérieurs public/ privé.

Au niveau du domaine public, la salle des invités se situe au plus proche de l'entrée de l'habitat et elle est séparée du domaine privé plutôt féminin (les chambres et la cuisine) grâce à l'insertion d'un espace de transition (la cour, le sas d'entrée, etc.) entre les deux domaines afin d'éliminer toute sorte d'accès visuel direct entre ceux-ci⁸⁶. La figure.22, illustre cette organisation spatiale dans un plan type d'habitat traditionnel.



Figure.22 : Plan d'une maison traditionnelle en Arabie saoudite.

⁸⁵ Muhannad Haj Hussein, Investigation sur la qualité des ambiances hygrothermiques et lumineuses des habitats palestiniens. La cour : contribution environnementale et socioculturelle, doctorat en mécanique, l'université bordeaux 1, Les Sciences et les Technologies au service de l'Homme et de l'environnement, 2012, p47.

⁸⁶ Mortada, H. Traditional Islamic principles of built environment, Routledge Curzon, London, 2003, pp.83-85.

Dans la vallée du Mzab, figure .23, comme la terrasse est devenue utilisable, le traitement des acrotères couronnés par des trous de vision protège l'intimité de la femme suivant les coutumes et les traditions religieuses de la région, chaque élément de construction se trouve à la place qui lui convient. Si, par exemple une partie de la terrasse est insuffisamment protégée des regards, on surhausse à cet endroit l'acrotère juste ce qu'il faut pour obtenir la protection voulue. Le respect des familles habitées tout autour est dictée par notre religion et ceci est l'un des facteurs principaux qui doit l'avoir le musulman. Dans les terrasses accessibles, la hauteur constante des acrotères est d'environ 1,50 m juste une hauteur suffisante pour ne pas pouvoir se pencher en dehors et regarder, et aussi pour que le soleil et l'air peuvent passer.⁸⁷



Figure.23 : acrotères et dispositions d'intimité.⁸⁸

Rapoport dans son étude relative aux caractéristiques socio-culturelles les plus importantes dans la conception d'habitat, estime que le besoin et le niveau d'intimité sont, au moins partiellement, dépendants de la place de la femme dans une société donnée. Par conséquent, chaque société possède vraisemblablement des mécanismes spécifiques pour garantir le niveau d'intimité désiré⁸⁹. Dans certaines cultures, les maisons sont ouvertes vers l'extérieur, elles sont dites « extraverties ». Alors que dans d'autres, elles sont fermées, repliées sur elles-mêmes et sont dites « introverties », **figure.24**⁹⁰

⁸⁷ Mansouri Sadek, les proportions dans l'architecture musulmane, thèse de doctorat, université de Constantine, p90.

⁸⁸ André R., le M'Zab une leçon architecture, Paris : Sindbad, 1981, p135.

⁸⁹ Altman, I. Environment and social behaviour: Personal space, privacy, crowding and territory. Monterey, CA: Brooks Cole, 1975, p18

⁹⁰ Amos Rapoport, op. cit, p88.

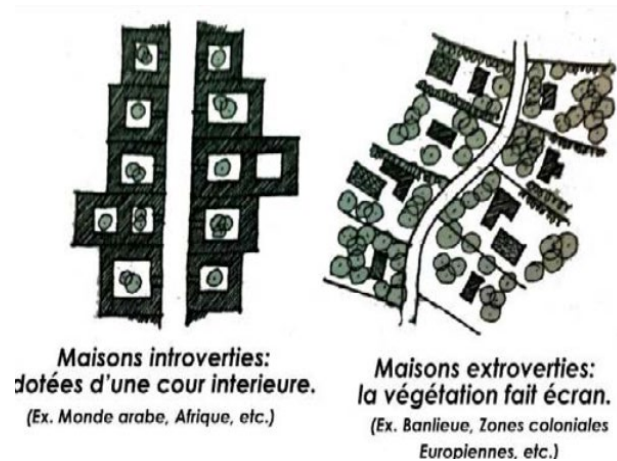


Figure.24 : Différentes mécanismes pour assurer l'intimité en matière d'habitat.⁹¹

Un autre concept a beaucoup influencé la forme de l'habitation, c'est celui de l'égalité qui devrait être appliquée à toutes les échelles, au niveau du voisinage cela a engendré une sobriété uniforme des façades des habitations, ne permettant aucune distinction entre l'habitation du riche et celle du pauvre malgré la grande différence de leur intérieur.

Se limiter à ces exemples-là, n'exclut pas l'existence d'une infinité de repères culturels qu'adopte l'homme dans la conception de son habitation, et qui varient en fonction du contexte culturel et ses différentes sources d'inspiration.

Conclusion :

⁹¹ Ibid, p89.

L'étude de l'architecture vernaculaire selon ces trois facteurs déterminants relève que derrière la simplicité des formes et la modestie des matériaux et les techniques appropriées existent des rapports de causalité complexe, chaque élément a ses motivations selon le volet attribué, chaque facteur peut être considéré comme déterminant et contribue de part et d'autre à orienter processus conceptuel et technique. Comme l'homme il ne pas s'extraire à sa nature environnante il faut qu'il soit en adaptation avec elle ; donc pour construire par exemple, il faut se pilier avec les matériaux que la nature environnante prévoit, l'arrangés et l'assemblés selon ses capacités et choix constructif.

On a pu voir aussi que l'architecture vernaculaire ou primitif englobe une gamme importante des savoirs faire ancestraux, les divers modes d'adaptabilité aux contextes, montre que la connaissance du milieu de ses aptitudes et contraintes, la maîtrise des techniques de construction qui permet de concilier les impératifs des sociétés toute en concorde avec l'environnement.

S'il on se réfère à Olivier, il semble bien que le climat avant tout modelé le psychisme des hommes qui l'on subit pendant des siècles, de sorte que jamais la forme de la maison ne découla du climat mais toujours de l'âme de ceux qui la bâtirent.⁹²

Lorsqu'on pense aux sociétés qui vivent dans les milieux chauds et arides, l'attitude de ses sociétés envers le soleil comme facteur d'influence dominant est bien accentué dans leur architecture, leur urbanisme et surtout leur mode d'occupation de l'espace. Les autres facteurs sociaux, religieux et économiques interviennent évidemment mais sur la manière de se protéger contre les effets indésirables du climat. Les multiples formes sous lesquelles se présentent les moyens de protection ne sont que des indicateurs de diversité culturelle voire de représentation économique et sociale.

⁹² Ammar Bennadji, adaptation culturelle ou climatique des zones arides, cas du sud est Algérien, thèse de doctorat, université de Provence, Aix Marseille I, 1999, p54.

2. Chapitre. 02.

Influences des facteurs environnementaux et solutions adoptées en zones chaudes et arides.

Comprendre l'espace saharien, et les territoires qui le composent, s'est tout d'abord s'interroger sur les spécificités marquantes du support physique qui ont déterminé historiquement la structuration du peuplement et les pratiques socio-spatiales des populations. Car si cet espace est un des plus inhospitaliers pour la vie humaine à l'échelle mondiale, il a cependant été en partie approprié et maîtrisé par des populations depuis des millénaires.¹

¹ Robert Capot-Rey. Le Sahara français. Paris :Presses Universitaires, 1953 (Collection Pays d'Outre-Mer), in-8°, 464 pages.

Introduction :

Bien que le milieu saharien possède des caractéristiques spécifiques, il est opportun de comprendre ses particularités notamment son contexte géo-climatique, ainsi que les réponses appropriées tant aux logiques d'aménagement territorial ainsi que le choix typologique d'établissements humains.

Comme on a pu voir dans le premier chapitre que l'urbanisme et l'architecture dans ces zones ne peuvent ignorer l'influence du climat sur le confort thermique, cette prise de conscience à pousser les bâtisseurs à innover et créer des systèmes susceptibles de réduire les effets indésirables du climat ; l'ensemble de ces solutions adoptées forme un registre des technicités passives qui sont à la base du développement des approches environnementales actuelles. A travers ce présent chapitre on va essayer d'établir une lecture descriptive et analytique du contexte saharien ainsi que ses productions architecturales vernaculaires spécifiques, Globalement, on peut la cheminée en trois axes déterminants :

Le premier axe consiste à donner une description globale de l'environnement désertique, de ses contraintes et aptitudes, ainsi que ses divers systèmes oasiens. L'ensemble des réflexions livrées ici sont tirées à partir des recherches effectuées par les précurseurs de la géographie humaine, notamment les études effectuées dans le bas Sahara Algérien citons à titre d'exemple les travaux de : Marc Côte, Jean Bisson, Dubost et Claude bataillons.

Le deuxième axe présente le cœur de notre recherche car il met l'accent sur les technicités vernaculaires adoptées dans les régions chaudes et arides, en tant que solutions face aux rigueurs de climat. En effet, un inventaire sur la diverse technique est collecté à partir des travaux et recherches sur les technicités vernaculaires passives, mais bien que le domaine est très vaste et varié par la variation des régions et des villes, on a essayé de sélectionner la gamme importante se ses techniques.

Le troisième axe concerne le rapport intrinsèque entre l'adoption d'une telle forme d'établissements humains et l'espace oasien, de mettre l'accent au rôle des oasis dans l'amélioration du microclimat ambiant.

1. Particularités du contexte saharien :

1.1. Localisation et climat :

Les zones chaudes sont principalement situées autour de l'équateur entre les tropiques ou à leur proximité ; entre les latitudes 23°N et 23°S. Dans ces zones, le soleil est toujours haut dans le ciel et il fait chaud pendant toute l'année². La figure.01 présente la carte du climat dans le monde selon la classification de l'encyclopédie Larousse. En effet, les climats régionaux s'expliquent par des différences de latitude (les régions polaires reçoivent trois fois moins d'énergie solaire que les régions équatoriales) ou bien par l'inégale répartition des terres et des mers (différence d'échauffement entre terre et mer, courants marins) ou encore par l'influence de la circulation atmosphérique et des massifs montagneux, **figure.01**.

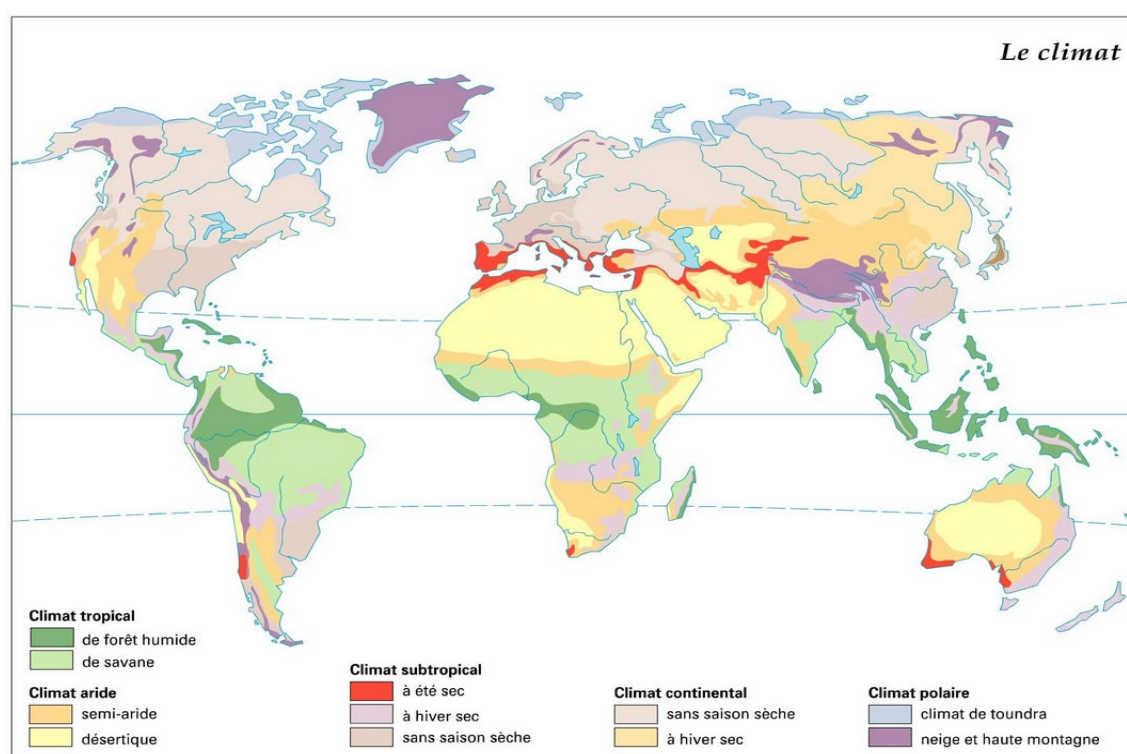


Figure.01 : carte des climats du monde.³

² Encyclopedie larousse: <https://www.larousse.fr>

³ Encyclopedie larousse.op, cit.

En effet, et selon la classification de Köppen, les pays aux climats très chauds sont par défaut classés sous la rubrique (climat désertique chaud) B.Wh, cette classification des climats est fondée sur les facteurs de précipitation et de température. C'est le botaniste Wladimir Peter Köppen qui l'a inventée en 1900 en combinant la carte mondiale de la végétation publiée en 1866 par Hermann Griesbach et la division du climat en cinq zones par de Candolle⁴. **Figure.03.**

Au début, Wladimir proposa cette classification en cinq groupes : Tropical, aride, tempéré, continental et polaire, un sixième groupe fut rajouté plus tard nommé hautes steppes. Dans la catégorie B (arides), les caractéristiques du classement sont : faible précipitation, une grande variation de température entre le jour et la nuit, et de grosses pertes d'humidité par évaporation due à la basse humidité relative. Pour classer la notion de faible précipitation il utilise le paramètre P où :

$$P = \text{température moyenne}^{\circ}20 + N.$$

N= une des trois valeurs (280, 140,0), déterminée en fonction de la concentration des pluies le long de l'année, plus elles sont concentrées plus que la valeur de (N) est grande. Dans les cas où les précipitations annuelles sont au-dessous du tiers du seuil (P), les pays sont considérés désertiques et ils sont classés : h «hot». Ainsi les pays désertiques chauds sont classés sous la rubrique B.Wh de Köppen. **Figure.01.**

L'ASHRAE comporte dans sa norme 90.1, une classification de climat 1b (very hot and dry climate). Egalement, un système de classification développé (code 4710/4711) tient compte des degrés jours du chauffage et de refroidissement d'un climat (cooling degrés days) (DJR) à partir d'une température de 10°C. ⁵ Le diagramme montre la classification à partir de localisations de 25 bâtiments EULEB, où la différence entre les climats plus chauds et plus froids est évidente. **Figure .02**

⁴ M.C. Peel, B.L. Finlayson, T.A. MacMahon. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. In Hydrology and Earth System Sciences no 11, p. 1633, Copernicus Publications pour European Geosciences Union, Göttingen, 2007, ISSN 1027-5606.

⁵ ASHRAE Handbook of Fundamentals. American Society of Heating Refrigeration and Air-Conditioning Engineers Atlanta, 2013.

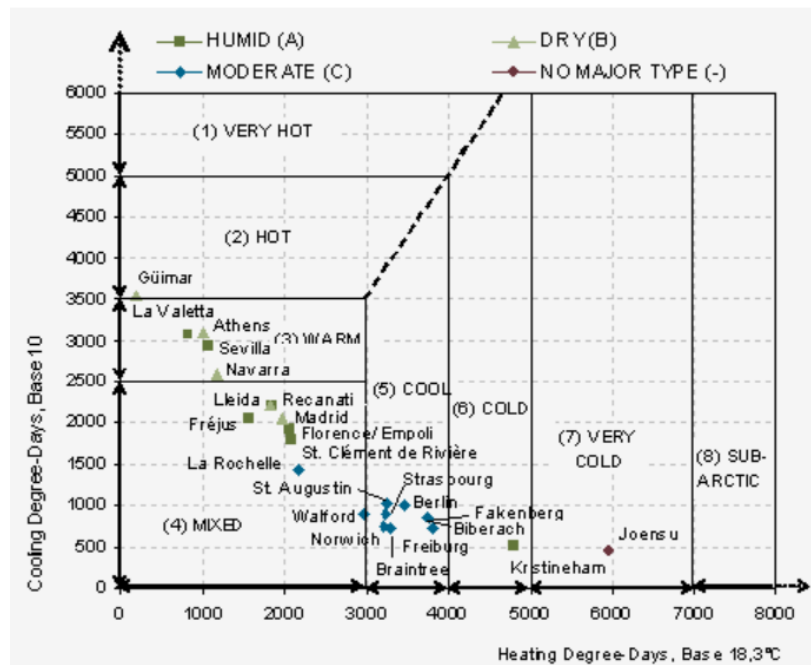


Figure.02: Classification ASHRAE des localisations de 25 bâtiments EULEB⁶

Théoriquement, dans la typologie des déserts, le Sahara s'identifie comme un désert subtropical, désert zonal chaud qui résulte de la subsidence de l'air sous l'effet des anticyclones permanents qui se produisent entre 25° et 35° de latitude. Et au-delà, l'aridité se concrétise également par une distribution très irrégulière des précipitations dans le temps et dans l'espace. Ces dernières sont notablement inférieures à l'évaporation potentielle annuelle et ainsi, en zone aride, il pourrait s'évaporer dix à vingt fois plus d'eau qu'il n'en tombe chaque année.⁷

En somme, ce terme englobe toute l'Afrique saharienne, le sud de l'Afrique autour de la Namibie, l'Arabie, le sud de l'Inde, le sud des États-Unis et le centre de l'Australie. Cependant dans cette classification tous les pays ne subissent pas les mêmes températures, et notamment les pays de la péninsule Arabique où tous les records de température sont atteints. Ces pays que nous pourrions les classer de très chauds ou extrêmement chauds n'ont pas une classification spécifique même si leurs hautes températures et leurs longues périodes de chaleur permettraient de créer une classification spécifique.

⁶ Projet Euleb. <https://www.new-learn.info/packages/euleb/fr/home/index.html>

⁷ Yaël Kouzmine. Dynamiques et mutations territoriales du Sahara algérien vers de nouvelles approches fondées sur l'observation. Géographie. Université de Franche-Comté, 2007.p34.

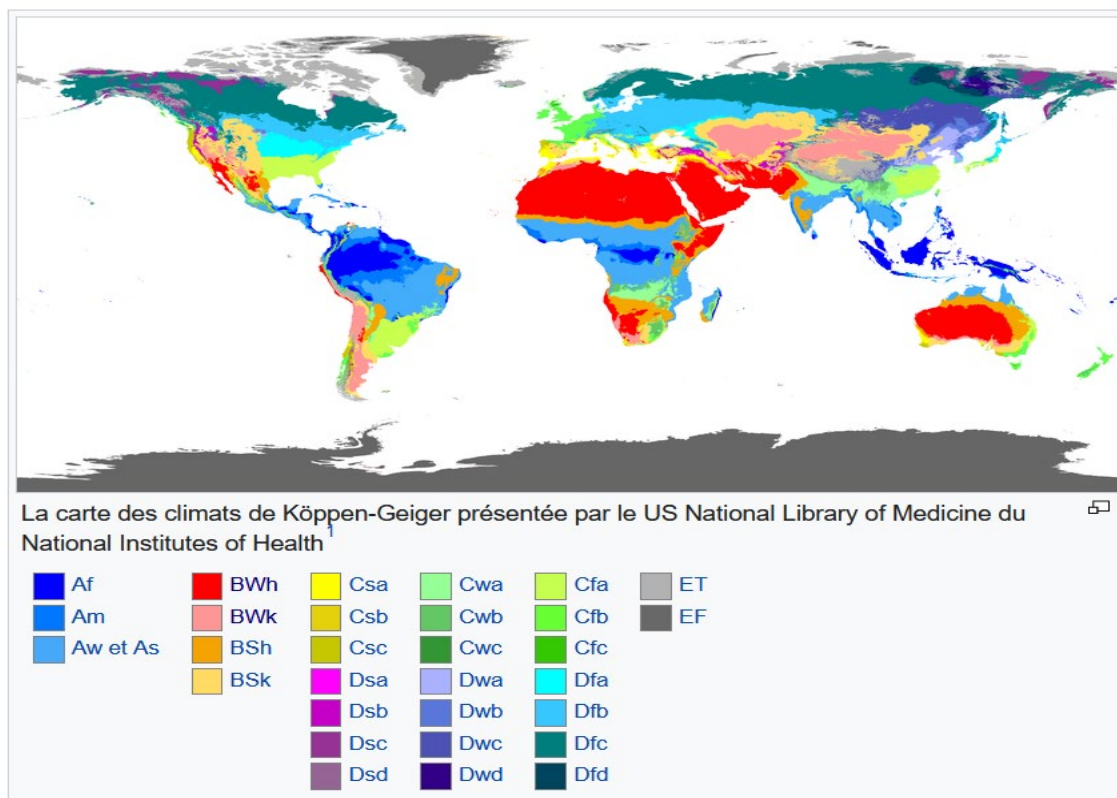


Figure.03 : pays sous la classification Koppen du climat désertique chaud BWh.⁸

1.2. L'environnement aride et ses contraintes.

1.2.1. La contrainte d'aridité :

L'aridité constitue l'élément central de la spécificité saharienne. Elle se définit comme étant le résultat de la combinaison d'une faiblesse des précipitations et de l'intensité des phénomènes d'évaporation liés aux fortes températures.⁹

Ce phénomène climatique impliquant une pluviométrie faible, elle est d'ailleurs marquée sur près de 30% des terres continentales¹⁰. Malgré les différentes classifications, on retrouve 3 degrés communs à quasiment tous les indices d'aridité ; Selon l'UNESCO les déserts sont une zone sèche $P < 250\text{mm}$ subdivisée en trois catégories : hyperarides (10 à 15 mm par an, en moyenne) ; arides (50 à 150 mm dans la zone tropicale, réparti de manière saisonnière en averses) ; semi-arides (rythme saisonnier, jusqu'à 500 mm de pluie). Pour

⁸ Beck, Hylke E.; Zimmermann, Niklaus E.; McVicar, Tim R.; Vergopolan, Noemi; Berg, Alexis; Wood, Eric F. 2018, Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. Scientific Data. 5: 180214. doi:10.1038/sdata.2018.214. ISSN 2052-4463. PMC 6207062. PMID 30375988.

⁹ <https://fr.wikipedia.org>.

¹⁰ Roger Coque, Géomorphologie, Paris, Armand Colin, 1977, 1998, (ISBN 2200217390), p.231

l'établissement de la carte des sols du monde, l'UNESCO a proposé l'indice d'aridité bioclimatique : $I = P/ETP$ (en mm par unité de temps), où :

P = précipitations annuelles et ETP = évapotranspiration potentielle c'est-à-dire la quantité d'eau prélevée sur une nappe d'eau libre par l'évaporation + transpiration du couvert végétal non limitée par la disponibilité en eau du sol¹¹. **Figure, 04.**

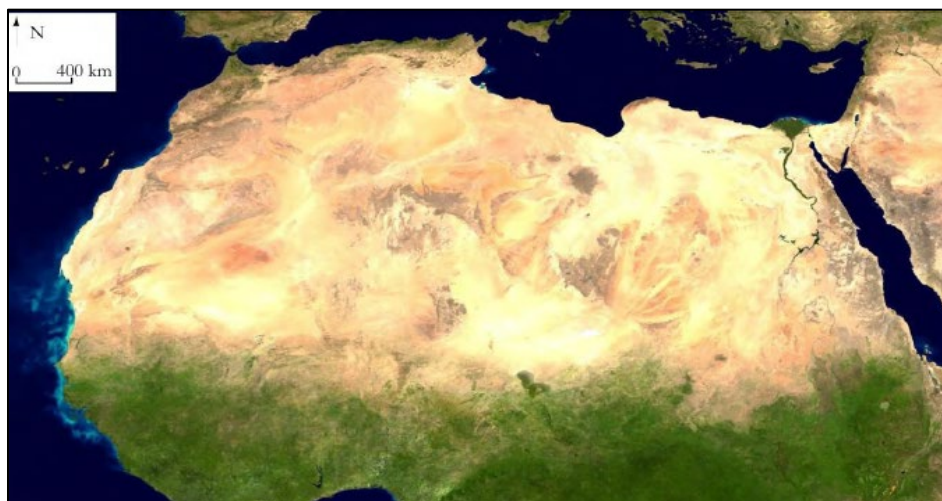


Figure.04 : L'Afrique septentrionale vue par la NASA.¹²

A ce propos Jean Bisson dit : *En effet, au-dessus du Sahara, une vaste cellule de hautes pressions permanentes engendre un vent chaud et sec qui, en s'échappant vers la périphérie, repousse les arrivées d'air humide (...) et l'air surchauffé au sol faute de pouvoir s'échapper vers le haut renforce l'anticyclone, si bien que dans cet air comprimé, la vapeur d'eau s'éloigne de son point de condensation, écartant du même coup toute possibilité de pluie* ». ¹³

D'une façon globale, les climats désertiques qu'ils soient chauds ou froids sont associés à des précipitations très faibles, à une amplitude thermique journalière et annuelle potentiellement forte, à des températures extrêmes (à l'exception des climats désertiques doux où les températures sont beaucoup plus modérées) et à des étés chauds ou très chauds.

¹¹ Boudjellal lazhar, rôle de l'oasis dans la création de l'îlot de fraîcheur dans les zones chaudes et arides, cas de l'oasis de chetma -Biskra -Algérie, mémoire de magister, université de Constantine, 2009, p 38.

¹² Site web: http://visibleearth.nasa.gov/view_rec.php?vev1id=11656.

¹³ Kouzmine Yaeil, op. cit, p 31.

***Les Indices :**

Les indices climatiques globaux fournissent des variables synthétiques qui combinent généralement des données climatiques moyennes calculées à partir de séries climatologiques correspondant à un poste d'observation. Ces indices ont été tout d'abord utilisés pour classer et cartographier les climats selon leur aridité par les hydrologues et les géomorphologues puis par les botanistes et écologues. À l'échelle macro climatique, ces indices permettent d'expliquer la répartition biologique des essences, de définir les limites d'aire biotique coïncidant avec celle d'un facteur climatique précis. Cependant, ce sont avant tout des formules mathématiques qui ignorent les exigences écologiques des plantes, les possibilités écologiques d'un territoire et la hiérarchie écologique des facteurs déterminant la répartition d'une essence dans un milieu géographique, en vue de caractériser l'aridité dans les zones climatiques supposées arides, une multitude d'indices et de formules ont été proposés, certaines basées sur des critères climatologiques, d'autres biogéographiques. Parmi tous ces indices, les plus connus restent : De Martonne et Gaussem, qui ont mis au point des indices climatiques intégrant le bilan d'eau et les seuils extrêmes de sécheresse ou de température.

***Indice d'aridité de De Martonne (1926) :¹⁴**

En se basant sur des considérations essentiellement géographiques, De Martonne a défini comme fonction climatologique nouvelle l'indice d'aridité du climat par le quotient I ou IDM équivalent à $P/(T+10)$. Cet indice permet de caractériser le pouvoir évaporant de l'air à partir de la température ; l'évaporation étant considérée comme une fonction linéaire de la température. Il a été ajouté 10 aux moyennes thermométriques pour éviter les valeurs négatives de l'indice. Du fait de sa simplicité, il a été beaucoup utilisé par les géographes. L'aridité augmente quand la valeur de l'indice diminue. Une faible aridité correspondant à des pluies abondantes et/ou des températures basses. De Martonne a proposé six grands types de climats selon les valeurs de l'indice annuel (Tableau, 02).

$$I = \frac{P \text{ (mm)}}{T \text{ (°C)} + 10}$$

P : précipitations annuelles (mm) et T : température moyenne annuelle (°C).

¹⁴Rouabhi Ammar, Polycopiés de cours bioclimat et changement climatique, Spécialité : Master Production végétale. Université de Sétif, p12.

Valeur de I_{DM}		Signification
< 5	aridité absolue	désert sans culture
5 à 10	désert (aride)	désert et steppe ; aucune culture sans irrigation
10 à 20	semi-aride	formations herbacées, steppes ou savanes. Irrigation nécessaire pour les cultures exigeant de l'humidité
20 à 30	semi-humide	prairie naturelle ; irrigation généralement non nécessaire
30 à 40	humide	les arbres jouent un rôle de plus en plus grand dans le paysage
> 40	humide	la forêt est partout la formation climatique. Les cultures de céréales tendent à être remplacées par les herbages

Tableau.02 : classification climatique selon l'indice d'aridité de Martonne.¹⁵

***Indice de Bagnouls et Gaussen (1953) :**¹⁶

C'est encore à l'heure actuelle l'un des indices les plus utilisés. Cet indice tient compte des moyennes mensuelles des précipitations (P en mm) et de la température (T en °C) et donne une expression relative de la sécheresse estivale en durée et en intensité. Celle-ci est appréciée à travers un indice de sécheresse, S (indice ombrothermique) calculé en faisant la différence entre les courbes P et T pour le ou les mois les plus secs. Un mois donné est considéré comme sec quand $P < 2T$ c'est-à-dire quand l'évapotranspiration potentielle (ETP) est supérieure aux précipitations. Inversement, quand $P > 2T$, le mois est considéré comme humide. Pour repérer les mois "sec" et "humide" et mettre en évidence les périodes de sécheresse d'une localité, on trace généralement les diagrammes ombrothermiques. Ces diagrammes superposent les deux courbes de température et de précipitations pour les 12 mois de l'année ce qui permet de définir une aire ombrothermique ; plus l'aire est importante et plus la saison est sèche.

1.2.2. La contrainte thermique :

Le Sahara constitue un désert chaud et aride, subaride sur sa marge septentrionale et subtropical sur ses limites méridionales. Parmi les caractéristiques thermiques l'intensité du rayonnement solaire direct supérieur à 800 ou 900 W/m² sur une surface horizontale et il est en outre augmenté par le rayonnement réfléchi par les surfaces arides et de couleur claire voisines, une température d'air diurne très élevée, contraste entre les températures diurne et nocturne. Du fait la clarté du ciel pendant la plus grande partie de l'année ; la faible humidité

¹⁵ <https://fr.wikipedia.org/wiki/Aridit%C3%A9>.

¹⁶ Rouabhi Ammar, op. cit, p13.

et l'absence de nuages ont pour conséquence une très large amplitude de température en été, les rayons solaires non interceptés chauffent la surface du sol jusqu'à 70°C au milieu de la journée tandis que la nuit une rapide perte de cette chaleur par rayonnement de grande longueur d'onde refroidit cette surface jusqu'à 15°C ou moins encore. Les fluctuations de la température de l'air sont bien sûr beaucoup plus faibles mais malgré tout une amplitude diurne de 20°C n'est pas rare, les températures durant un jour d'été sont aux alentours de 40 à 50 C et la nuit elles sont comprises entre 15 et 25 °C. S'ajoute la faiblesse des précipitations et l'irrégularité interannuelle. Ces facteurs sont les premiers responsables avec tous ses effets induits sur la vie quotidienne des Sahariens. ¹⁷figure.05.

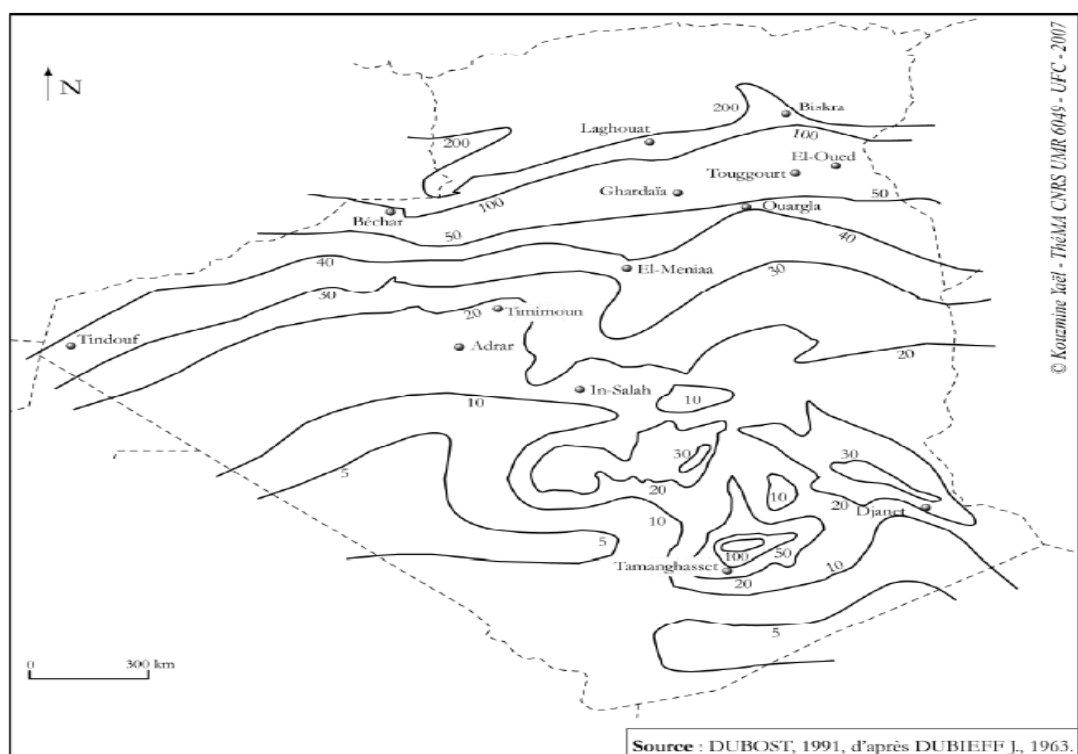


Figure.05 : répartition des précipitations du Sahara algérien. ¹⁸

Ces caractéristiques semblent très proches dans toutes les régions arides et elles mettent en évidence le caractère rigoureux du climat. Néanmoins des différences sont dues essentiellement aux effets du microclimat spécifiques à chaque région.

¹⁷ B. E. Farhi, F. Z. Hadhaga, op. cit, p 83.

¹⁸ B. E. Farhi, F. Z. Hadhaga, op. cit, p 84.

A ce sujet Said Mazouz écrit que : dans la mémoire collective locale, il est souvent question d'un climat paradoxalement modéré dans le Souf et Oued right par opposition à Biskra, réputée comme ayant, en saison estivale, la sensation d'une température constante, sans différence notable entre le jour et la nuit, particulièrement quand le ciel est couvert ou en présence de vent de sable, les gens d'El oued parlent, eux, d'un climat plus modéré le soir, même en période de grande chaleur. En effet, au Souf, les grandes surfaces de sable contribuent à l'équilibre thermique du fait qu'elles ne retiennent pas la chaleur, car celle qui est emmagasinée le jour est rapidement évacuée le soir venu, par le biais du rayonnement nocturne vers la voûte céleste.¹⁹ Pour les Ziban, la morphologie du relief en cuvette et la nature du sol, ayant une plus grande capacité thermique.

L'analyse des variations des températures maximales et minimales sur une décennie fait apparait des fluctuations annuelles et journalières importantes entre les températures maximales et minimales. Entre le mois le plus froid et le mois le plus chaud, l'amplitude thermique dépasse largement 20°C. L'amplitude journalière pour la saison chaude avoisine 22°C à Biskra et ne dépasse guère 15°C dans l'oued right et le Souf.²⁰

Le rayonnement solaire est intense, il avoisine 3500h/an=10h/jour, un taux très élevé d'ensoleillement est estimé à 3170h /an. L'humidité relative moyenne est de l'ordre de 47 % et reste faible, ne dépasse guère 60% en hiver. Le phénomène d'évaporation est lié à la température et au vent. Dans les Ziban : évaporation-transpiration atteint son paroxysme au moins de juillet avec 426mm. Ces régions se caractérisent par l'irrégularité et la faiblesse des précipitations 120mm à Biskra, 50mm Touggourt. Les taux de pluviosité les plus élevés sont enregistrés pendant la saison hivernale, provoquant parfois des crues et des débordements d'oued, comme cela a été le cas, de manière périodique, depuis plusieurs décennies.

	Latitude (°)	Altitude (m)	Moy. mois le plus froid (°C)	Moy. Mois le plus chaud (°C)
Biskra	34,5	121	11	33,5
Laghouat	33,5	752	7,5	28,5
Bechar	31,37	784	9	33
Quargla	31,59	128	11,2	34,3
Adrar	27,54	257	12,3	36,5
Tamanrasset	22,56	1376	11,5	28

Tableau.03: température moyenne au Sahara.²¹

¹⁹ Cote Marc, La ville et le désert, le bas Sahara algérien, Edition Karthala et Iraman, 2005, p188.

²⁰ Les données présentées ici sont issues de l'étude de Saïd Mazouz sur les trois régions du bas Sahara algérien.

²¹ B. E. Farhi, F. Z. Hadhaga, ville oasienne, ville saharienne et ville au Sahara : controverse conceptuelle entre urbanité et contextualité, in courrier de savoir, – N°25, Février 2018, pp81-92. p 83.

1.2.3. Les vents dominants :

Les conditions d'aridité sont provoquées par les vents alizés qui soufflent du Sud-Ouest et du Nord-Ouest en direction de l'équateur et qui se déchargent de la plus grande partie de leur vapeur d'eau au-dessus de vastes zones continentales.²²

En effet ces régions sont toujours frappées par les tempêtes de sable et de poussière qui surviennent en général lorsque des vents forts soulèvent dans l'atmosphère de grandes quantités de sable et de poussière d'un sol sec et nu. Ces tempêtes de sable et de poussière sont généralement causées par des orages, ou de fort gradient de pression associé à des dépressions qui accroissent la vitesse du vent sur une large zone. Ces vents violents soulèvent dans l'atmosphère de grandes quantités de sable et de poussière qui peuvent parcourir des centaines, voire des milliers de kilomètres. Ce sont fréquemment causées par des courants convectifs dus à l'échauffement intense de l'air à proximité du sol ou elles se produisent surtout l'après-midi. En effet plus au sud, le grand erg oriental a fait l'objet d'abord d'une étude pionnière de Wilson en 1971, puis plusieurs études de M. Mainguet en 1984 qui ont mis en évidence que la localisation des dépôts sableux était due au ralentissement d'un courant éolien transporteur de sable par la convergence de deux ou plusieurs vents, plus précisément de vent de NE (*el bahari*) dominant à l'est et de vent de NO dominant à l'ouest.²³

L'ensemble de ses caractéristiques climatiques se manifeste comme source d'inconfort pour les habitants de ces régions. Afin d'y améliorer les conditions de vie, il faut adopter plusieurs stratégies se rapportant à la protection contre les effets de ces paramètres climatiques. Essentiellement en période de forte chaleur en impliquant des actions sur les paramètres suivants : radiations solaires, température de l'air, vitesse de l'air.

²² Givoni. L'homme, l'architecture et le climat. Le moniteur, p 353.

²³ Jean louis ballais, les villes sahariennes et les risques naturelles, in la ville et le désert. Chapitre IV, 2006, p 67.

1.3. Les établissements sahariens et l'environnement aride : les modes d'adaptation aux contraintes du milieu.

1.3.1. Les oasis :

Au sujet des villes sahariennes, Marc Côte écrivait : C'est là une catégorie à part, faisant référence d'une part au climat aride, et d'autre part à l'enclavement au sein d'étendues vides, deux traits qui leur ont donné une forte spécificité : ces villes sont nées de la fonction de relais sur les grands axes caravaniers d'autrefois ; elles ont pris la forme de ville-oasis, l'eau et la palmeraie assurant le support de cette fonction de relais,²⁴ ce mode d'urbanisation a historiquement des racines profondes.

Ainsi, désert ne signifie pas vide humain dans le cas saharien ; le fait que le Sahara soit considéré dans la taxinomie des espaces géographiques comme faisant partie des espaces désertiques²⁵, ne signifie pas qu'il n'ait pas été traversé, parcouru. Il fut en réalité, et pendant de longs siècles, un espace d'échange et de commerce fructueux.²⁶

Donc pour comprendre l'espace saharien et ses établissements humains, c'est tout d'abord s'interroger sur les spécificités marquantes du support physique qui ont déterminé historiquement la structuration du peuplement et les pratiques socio-spatiales des populations.

Le Sahara en somme, n'appartient plus tout à fait aux Sahariens, ceux qui y vivent certes mais aussi ceux qui l'étudient. Le Sahara dont nous parlerons est à la fois celui des villes et celui des circulations. Cette posture conduite à être attentif aux mutations des territoires sahariens dans la longue durée, à la transformation des formes spatiales, aux glissements des représentations des territoires et espaces observés.²⁷

Cependant, l'urbanisation du Sahara a historiquement des racines profondes, Elle est fille du grand commerce transsaharien qui pendant de dix siècles a animé ces vastes espaces entre rive nord et rive sud du Sahara, c'est lui qui explique leurs genèses comme centres commoditaires ou centres relais au sein de cet espace relationnel, toute une logistique dut progressivement être mis en place par les populations riveraines : puits, oasis, relais, centres urbains.

²⁴ Cote Marc, dynamique urbaine au Sahara, *Insaniyat*, n°5, 1998, pp. 85-92.

²⁵ Demangeot J, *Les milieux naturels du globe*, 5e édition, Paris, Masson, 1994, 313p.

²⁶ Cote Marc, *L'urbanisation aujourd'hui au Bas-Sahara*, in *La ville et le désert, le Bas-Sahara algérien*, Paris Aix en Provence, Karthala – IREMAM, 2005, pp. 13-26.

²⁷ Institut de recherche pour le développement presses universitaires du mira, *Les cités aux désert, des villes sahariennes aux Sahara Towns*, p13.

Ces divers établissements jouaient le rôle de relais des itinéraires caravaniers, ou les sociétés sahariennes ont toujours mêlé deux modes de vie : le nomadisme des pasteurs et la sédentarité des Oasiens. À l'inverse des nomades qui se déplacent sans limites avec bétail et tente, le sédentaire est attaché à sa terre, à sa maison, à son village, dit ksar ; une relation organique et solidaire de l'homme et de l'activité agricole. Autant la vie du nomade est marquée d'aisance et d'insouciance, autant celle du sédentaire est une lutte perpétuelle contre une nature hostile et l'irrégularité des récoltes car la terre et l'eau profonde.²⁸

L'oasis en tant qu'association d'une ville et de son territoire cultivé, donnant une rigueur du milieu qui est à l'origine liée à la fois aux exigences socio-culturelles, ainsi que les modes d'organisation de l'espace ; qui dépend particulièrement à l'accès à l'eau, engendrant ainsi une palette de types d'exploitations selon les régions et les oasis. C'est cette relation qui se trouve perturbée, en premier lieu, par les tensions engendrées par la crise écologique, donnant à cette solidarité une dimension conflictuelle aiguë²⁹.

Cependant, les populations qui s'installèrent créèrent un système d'adaptation à ce milieu naturel très particulier ; la lutte de l'homme se traduit par la construction d'unités complexes introverties, renfermées par une enceinte. Ces unités parfaitement adaptées aux conditions climatiques constituent des berceaux, refuges à une vie sociale en liaison avec son support économique et agricole irrigué par le système des puits artésiens, ainsi se crée l'équilibre du milieu existentiel basé sur les trois éléments : ksar - palmeraie – eau.

1.3.2. L'oasis comme référentielle d'adaptation aux conditions chaudes extrêmes : le système oasien : l'eau, l'homme, l'habitat et la terre :

Au-delà des spécificités physiques et topographiques qui fondent le particularisme saharien, la forme, la structure et le fonctionnement des pôles du peuplement saharien se caractérisent par une terminologie porteuse de sens, de pratiques et de configurations spatiales ; L'oasis.

Parce que l'oasis a constitué le fondement principal des processus de l'urbanisation actuelle du Sahara, il est alors indispensable de connaître son origine, sa physionomie ainsi que son impact écologique en tant que microclimat.

²⁸ Chaouch Bencherif Meriama. La micro-urbanisation et la ville-oasis ; une alternative à l'équilibre des zones arides pour une ville saharienne durable, thèse de doctorat, université de Constantine, 2008, p 83.

²⁹ Marc cote, La ville et le désert, Paris : Karthala et Ireman, 2005, p100.

Une définition de l'oasis est de le donner comme un îlot de vie, un écosystème construit et maintenu par le génie de l'homme à partir d'une gestion rigoureuse des ressources naturelles, grâce à des systèmes élaborés de collecte de l'eau. La définition de Lévy. J et Lussault. M est plus précis car ils considèrent l'oasis comme « *lieu habité isolé dans un environnement aride ou plus généralement hostile dont la localisation est liée à la possibilité d'exploiter une ressource, notamment l'eau, pour la pratique de l'agriculture irriguée* ». ³⁰

Cependant, beaucoup de chercheurs s'accordent sur le fait que l'eau ne prend sa place dans la localisation des oasis que comme un facteur explicatif ; et voient que l'eau ne saurait suffire à la définition de l'oasis, ajoutant que la contrainte de la distance s'impose avant la contrainte écologique afin de caractériser ces entités géographiques, ou encore affirme Ali Bensaad que l'eau n'est pas à la source de la vie au Sahara. ³¹

En effet, les logiques d'implantation des foyers de peuplement milieux sahariens ne peuvent être appréhendées pertinemment en dehors de toute référence au contexte des échanges commerciaux qui animèrent le Sahara entre le VIIe et le XIXe siècle. En tant que « nœud dans un espace relationnel » et « non pas agrosystème » autosuffisant, la logique fonctionnelle de l'oasis saharienne est à rechercher dans son rôle d'étape sur des itinéraires commerciaux, de lieux d'échanges et d'interactions socio-économiques. ³²

Au-delà des facteurs de localisation de l'oasis, sa structure traditionnelle même soulève des spécificités, que l'on peut appréhender de manière systématique étant donné la très forte intégration des éléments de l'espace oasien. Ce dernier constitue un espace socio-territorial. L'ensemble des oasis s'est fondé sur le triptyque eau – habitat – palmeraie qui forme un tout cohérent et fortement interdépendant. Néanmoins, Gaouar propose d'ajouter à ce triptyque un quatrième élément structurant et moteur : l'homme, mettant ainsi l'accent sur l'organisation et la dynamique sociale très spécifique des oasis. ³³

³⁰ Lévy J, Lussault M. Dictionnaire de la géographie et de l'espace des sociétés. Paris : Belin, 2003, 1127p.

³¹ Ali Bensaad, eau, urbanisation et mutation sociales dans le bas Sahara, in la ville et le désert, 2005, p 97.

³² Cote Marc, 2005, op.cit, p13.

³³ Gaouar M. A. L'oasis et les ksour : un espace socio-territorial à redécouvrir », in Actes du séminaire international : Espace saharien et développement durable, Biskra (Algérie), CRSTRA, 14-16 novembre, 2000, pp. 61-73.

On peut synthétiser que l'oasis se définit comme étant un milieu bioclimatique artificiel développé à partir d'un site naturel préexistant qui rompt avec l'aridité environnante en transformant l'ambiance climatique au niveau du sol, englobant les volets suivants :

a -sur le plan géographique : l'oasis est définie comme un îlot de survie (ou de prospérité) dans un milieu aride,

b -sur le plan bioclimatique : l'oasis est un microclimat créé par l'homme en milieu aride et induit par l'étagement des cultures,

c -sur le plan agronomique : il s'agit d'un agrosystème intensifié établi, dans un espace isolé situé en milieu désertique,

d -sur le plan socio-économique : il s'agit d'un lieu de sédentarisation et d'intenses activités économiques et socioculturelles dans un environnement désertique.

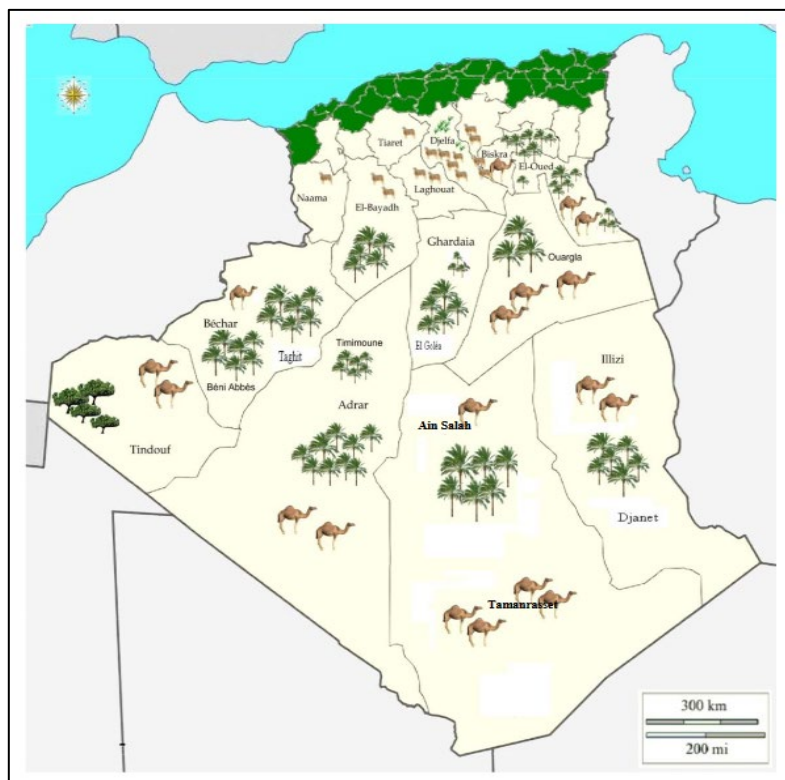


Figure.06 : réseau des oasis au Sahara (Algérie).³⁴

³⁴ CRSTRA, (centre de recherche scientifique et technique sur région arides), L'oasis comme référentiel d'adaptation aux conditions chaudes extrêmes, p 04.

Si en revenant à l'origine de l'eau utilisée pour les besoins agricoles et domestiques variés. Tantôt, les sahariens utilisent : l'eau du ciel (qui est rare), tantôt et c'est le cas général l'eau du sous-sol issu d'une nappe superficielle ou profonde. La forme de la palmeraie traduit parfaitement cette diversité massive et contrôlée par une société hydraulique qui gère les intérêts communs ou éclatés, reflet de l'individualisme en matière agraire.

Bien que l'aridité soit une contrainte majeure au bas Sahara Algérien, son sous-sol contient parmi les plus vastes réserves hydrauliques reconnues à l'échelle mondiale. Leur existence est liée à la lithologie spécifique du bouclier saharien où alternent couches perméables et imperméables. Les séries sédimentaires qui recouvrent le socle ont permis de pérenniser ces ressources d'eau fossile, faiblement renouvelables. Deux aquifères majeurs furent découverts subséquemment au développement des forages liés aux activités pétrolières à partir des années 1950, **figure.07** et forment conjointement le système Aquifère du Sahara Septentrional (S.A.S.S.). Si c'est bien dans les conditions extrêmes du Sahara que l'eau se révèle, plus que partout ailleurs, comme la contrainte environnementale majeure, autant par sa rareté et la difficulté de son accès que par l'accroissement des besoins amplifiés par l'aridité c'est aussi au Sahara que l'eau se trouve être le meilleur révélateur des vigoureuses mutations qui ont secoué l'espace et la société en Algérie, et plus particulièrement au Sahara³⁵

Le premier aquifère, le complexe terminal le plus anciennement utilisé et constitue les réserves hydrauliques sur lesquelles repose l'irrigation de l'essentiel des palmeraies du Bas-Sahara, Il s'étend de l'accident sud-atlasique aux plateaux du Tademaït et de Tinrhert au sud, et se prolonge vers l'est dans le sud tunisien et le nord libyen, couvrant une superficie d'environ 665 000 km²³⁶. Le second aquifère, le continental intercalaire ou nappe albienne, recouvre une superficie d'environ 1 100 000 km² (Algérie, Tunisie et Libye) progressivement reconnu et délimité entre 1940 et 1960. D'un point de vue spatial, cet aquifère couvre la totalité du Sahara algérien septentrional, limité à l'ouest par les oueds Saoura-Messaoud et au nord par la flexure sud-atlasique et au sud par une ligne d'affleurement passant par Adrar, Reggane, In-Salah et Bordj-Omar-Driss.

³⁵ Bensaad Ali, op. cit, p 95.

³⁶ Dubost D., 1991 : Ecologie, aménagement et développement agricole des oasis algériennes, Thèse Université de Tours, 550p.

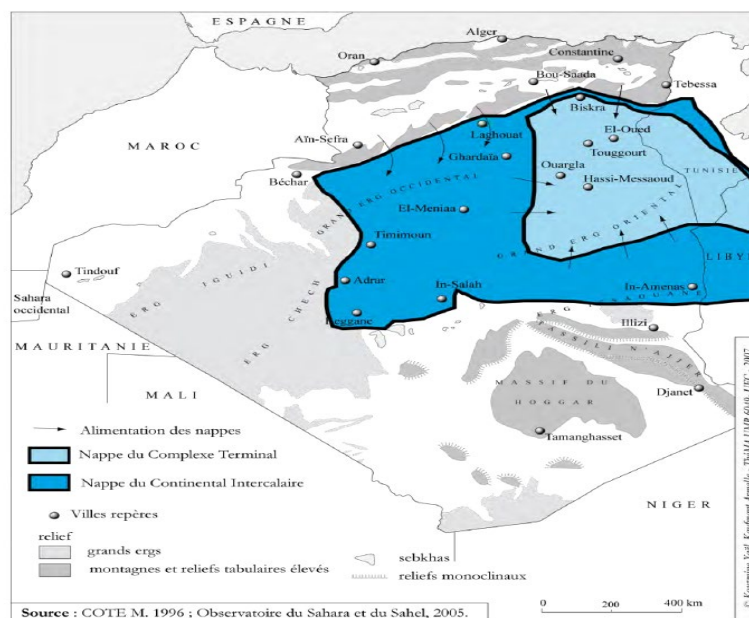


Figure.07 : ressource hydraulique.³⁷

Comment il fallait faire avec une eau généralement de qualité médiocre (2 à 5 g/l de sel), les pionniers du système ont dû redoubler d'ingéniosité pour le choix d'une espèce hors du commun « le palmier dattier » permettant l'expression d'une pratique agricole dans ces conditions. En effet, par son aptitude au stress thermique, hydrique et salin, le palmier dattier reste l'espèce fruitière cultivée par l'homme, la mieux adaptée aux conditions agropédoclimatiques qui règnent au Sahara. Ce fruit est devenu un des éléments structurant des oasis qui trouvent en réalité, leurs comptes dans ce type d'agriculture saharienne qui s'accommode aux fortes températures et aux faibles bilans pluviométriques. Cet arbre est la providence du Sahara, car il a deux atouts, malgré sa voracité en eau : il supporte les fortes chaleurs et produit un des fruits les plus sucrés qui soient à partir de sols salés et ils le sont, souvent, au Sahara.

Quoiqu'il en soit la pratique de la phœnix-culture a permis une diversification des cultures menées sous couvert du palmier allant des fruitiers (grenadiers, l'abricotier, figuiers) jusqu'aux plantes condimentaires et aromatiques d'où le nom de cultures intercalaires ou encore système à trois étages.

³⁷ Marc cote, op.cit p



Figure.08 : culture en étage. ³⁸



Figure.09: habitat en milieu oasien. ³⁹

Au-delà de l'uniformité végétale, les formes d'organisation des palmeraies sont d'une variété étonnante. A chaque structure géologique correspond une réponse propre, un mode d'utilisation des eaux spécifiques. L'adaptation des populations sahariennes à leurs différents milieux fut par conséquent apparaître des diverse formes et multiples mode de fonctionnement.

1.3.3. Typologie des oasis :

Chacune de ces formes d'irrigation induit un type d'organisation spatiale du terroir : «ruban allongé de fond de vallée ; semis de micro-palmeraies tapies au fond des alvéoles du Souf; palmeraies frangeantes des eaux jaillissantes d'oued Righ». Autant de systèmes hydrogéologiques et de formes d'organisation spatiale, d'où la variété des paysages oasiens. Les cultivateurs pourtant démunies se sont ingénies à valoriser l'eau avec les moyens disponibles, le Sahara a été un véritable laboratoire de techniques d'irrigation.

L'ingéniosité du système réside d'abord dans le choix judicieux du site d'implantation alliant la présence d'une ressource hydrique accessible et un sol apte à l'irrigation, le drainage et à la mise en culture. Selon, la localisation hydrogéologique de la ressource hydrique, le relief, la géomorphologie, la topographie du site d'implantation, on a vu naitre différentes oasis surtout de par leur système hydraulique (complexe, ingénieux mais fragile) mais toutes aussi fascinantes les unes que les autres avec des savoirs faire avérer en matière d'exploitation de milieu nourricier saumâtre et de lutte contre l'ensablement.

Selon Yves Clouet, les oasis se répartissent en trois types, suivant leur position, leur taille et leur fonction. Ces oasis peuvent être nommées ainsi : les oasis intra-désertiques

³⁸ Boudjellal lazhar, Rôle de l'oasis dans la création de l'îlot de fraîcheur dans les zones chaudes et arides « Cas de l'oasis de chetma -Biskra -Algérie », Constantine, 2009, p47.

³⁹ Lakhdari k. Kharfi y. Boulaassel, Atlas des semences locales ou acclimatées dans les Oasis de l'Oued Righ. CRSTRA, 2010, 78 p.

alimentées par la nappe phréatique, les oasis de piémont soutirant directement l'eau aux rivières issues de la montagne et les oasis de plaine irriguées par barrages⁴⁰.

Ainsi, Yaël Kouzmine, classe les oasis en cinq catégories :⁴¹

- les oasis sur source au pied des montagnes (cas du Hoggar),
- les oasis sur rivières (cas de l'Atlas saharien de l'Est, Saoura),
- les oasis sur nappes phréatiques (cas du Djanet et les Ghout du Souf),
- les oasis sur Foggara (cas du Touat, Gourara et Tidikelt),
- les oasis sur sources, autrefois artésiennes, et puits peu profonds (cas des Zibans, Oued Righ et Ouargla).

• Les oasis à fogarras :

Dans les régions à foggaras, le système d'irrigation et d'alimentation en eau des ensembles oasiens se fondait sur l'exploitation d'un affleurement du continental intercalaire le long d'accidents topographiques, figure.09. La nappe n'étant pas captive, il fallut développer un réseau de galeries drainantes, pénétrant la surface de la nappe phréatique. Ces galeries conduisaient par gravité l'eau de la nappe phréatique vers les jardins à irriguer en aval, en suivant une pente faible, variable selon les conditions locales, de 1% à 4-5% selon, par un réseau hiérarchisé de séguis, ⁴² figure.10.

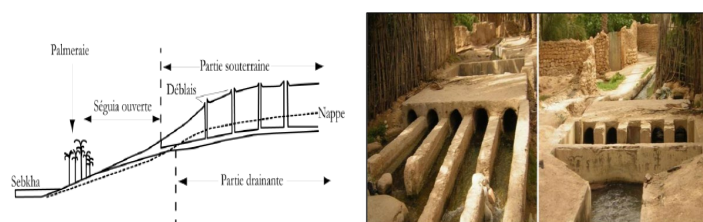


Figure.10 : Des techniques d'irrigation multiples par un bassin de distribution à l'oasis de Chetma.⁴³

⁴⁰ Abdelkader Salhi. Transformations spatiales et dynamiques socio-environnementales de l'oasis d'Ouargla (Sahara algérien). Une analyse des perspectives de développement. Thèse de Doctorat en Géographie. Géographie. Aix-Marseille Université, 2017. Français. p186.

RICHTER M., les oasis du Maghreb : typologie et problèmes agroécologiques », in Cahiers du CERES : Les oasis au Maghreb, mise en valeur et développement, Série Géographique n°12, Tunis, 1995, pp. 29-56.

⁴¹ Kouzmine Yaël, op. cit, p 43.

⁴² Bisson Jean, Le Gourara, étude de géographie humaine, Mémoire n°3, Université d'Alger, Institut de Recherches Sahariennes, 1957, p98.

⁴³ Menasra Asma, Bouzahr lalouani Soumia, Les oasis des Ziban : un patrimoine paysager menacé. Cas de la région des Ziban, Algérie, international Journal of Innovative Research in Human Sciences, Vol.3, Issue 1, 2019, 005– 012.

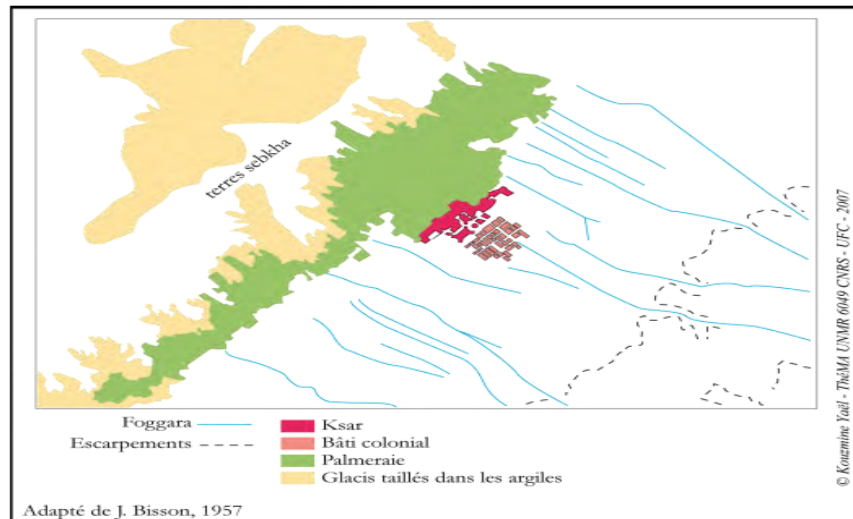


Figure.11 : oasis à foggara, le cas de Timimoune. Adaptés de J. Bisson, 1957.⁴⁴

Comme indiqué sur la figure.11, L'organisation de l'oasis de Timimoune étudiée par J. Bisson en 1957 constitue un exemple caractéristique des formes oasiennes de l'ensemble de la région. Dans ce cas, les foggaras sont organisées de manière perpendiculaire à la palmeraie, le ksar surplombant cette dernière. La palmeraie la plus proche du ksar est la plus ancienne et la plus dense, un gradient décroissant de densité de plantations est visible dans un axe partant du ksar vers les sebkhas, cet état de fait n'est pas dû aux déperditions des réseaux de seguias qui redistribuent l'eau au sein de la palmeraie ou au rabattement de la nappe, mais bien à de nouvelles dynamiques agricoles qui ont permis l'extension des réseaux et la mise en place de nouvelles méthodes de culture du palmier on les espaçant.⁴⁵



Figure.12: segia à l'air libre irrigant les palmeraies et traçant le parcours de la rue au vieux Biskra.⁴⁶

⁴⁴ Yaël kouzmine, op. cit, p 49.

⁴⁵ Bisson Jean, Le Gourara, étude de géographie humaine, Mémoire n°3, Université d'Alger, Institut de Recherches Sahariennes, 1957, p136.

⁴⁶B. E. FARHI, F. Z. HADHAGA, ville oasienne, ville saharienne et ville au Sahara : controverse conceptuelle entre urbanité et contextualité, in courrier de savoir, – N°25, Février 2018, pp81-92. p 84.

- **Les oasis sur nappes phréatiques, le cas du souf :**

Les systèmes oasiens développés dans le Souf constituent un type exceptionnel d'oasis au Sahara algérien. Figure.12. Cette région est largement spécifiée par sa localisation dans un massif dunaire, le Grand erg Oriental, ce qui constitue un exemple rare et un cas d'école au Sahara. Ces oasis ont été développées sur les nappes phréatiques du grand erg Oriental qui sont alimentées par des écoulements en provenance essentiellement du sud du plateau Chaamba du Tademaït et de la hamada de Tinrhert. Selon M. Côte, les puits pouvaient atteindre l'eau entre 3m au nord du Souf et 40m au sud.⁴⁷ Les populations soufies développèrent une technique spécifique d'excavation permettant à la palmeraie d'atteindre l'eau des nappes les plus proches, il s'agit donc d'une culture "en sec" (*bour*), sans irrigation apparente.

C'est le produit de la sédentarisation des nomades qui ont développé une forme originale de culture engendrant ainsi l'aspect le plus particulier et le plus délicat de l'irrigation au Sahara. Les palmiers sont plantés au fond des cratères (*Ghout*) creusés assez profondément pour être à proximité du toit de la nappe, elles absorbent ainsi directement depuis la nappe l'eau qui est leurs nécessaire, Figure.13. Cette forme ne rivaillant pas l'agriculteur à sa terre, son élaboration a sûrement surgi pour une part importante des traditions de mobilité de ces populations et elle en a favorisé potentiellement leur permanence. Cette forme de mise en valeur a été portée à un degré d'élaboration élevé : les *ghout* sont de véritables ouvrages colossaux, qui nécessitent une masse considérable de travail pour leur creusement et un entretien rigoureux pour leur maintien (brise de vent-désensablement). Ils révèlent ainsi, d'une certaine façon, un génie hydraulique, même si ce génie consiste justement à éviter la confrontation avec l'eau et sa gestion. La culture est ainsi livrée à l'équilibre naturel de la nappe qui nourrit les palmiers et se renouvelle sans intervention de l'homme⁴⁸. Néanmoins, ce type de culture n'est pas exclusif au Souf, M. Côte précise que l'on a pu retrouver des traces de cette technique dans le Fezzan (Libye) et aujourd'hui encore dans le Kavar (Niger).

⁴⁷ Marc cote, si le Souf m'était conté, Constantine : Media plus ; 2006.p 06.

⁴⁸ Ben Saad, 2005, op, cit, p101.

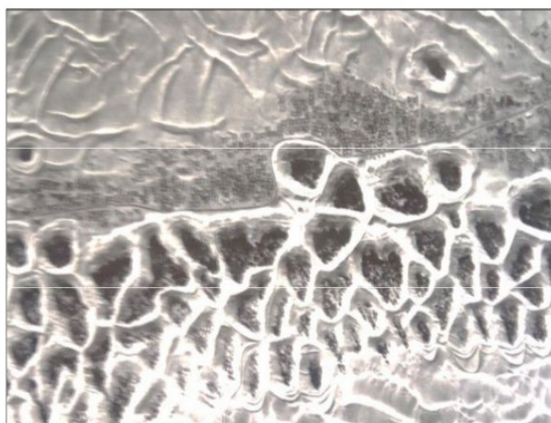


Figure.13 : Un secteur d'aménagement agraire ancien. ⁴⁹

1.3.4. Rapport entre système oasien et l'établissement humain :

- **Relation oasis -cadre bâti :**

On peut déduire d'après ce qui précède que les oasis sont des écosystèmes patiemment élaborés par les sociétés en milieu aride, les processus à l'œuvre sont ceux d'une optimisation des interactions entre références culturelles, contraintes techniques, limites économiques et potentiel écologique face à l'adversité climatique d'un milieu hostile à la vie.

La diversité des typologies adaptées de cet écosystème se multiplie par la diversité des formes d'établissements humains créés par les habitants de ces régions. Marc Cote écrivait au sujet des villes sahariennes : *C'est là une catégorie à part, faisant référence d'une part au climat aride, d'autre part à l'enclavement au sein d'étendues vides, deux traits qui leur ont donné une forte spécificité.* Ces Villes sont nées de la fonction de relais sur les grands axes caravaniers d'autrefois, elles ont pris la forme de ville - oasis, l'eau et la palmeraie assurant le support de cette fonction de relais.⁵⁰

De sa part, Said Mazouz, nous explique de façon talentueuse l'adaptation bioclimatique de l'habitat ancien au bas Sahara et de la conception à l'aide des matériaux locaux thermo-physiques, l'architecture (toitures, cours, terrasses et ruelles ventilées) aux rapports directs avec l'espace palmeraie tout en s'interrogeant sur les mutuelles formes de bâti

⁴⁹ Marc cote, 2006, op, cit, p06.

⁵⁰ Marc Cote, L'Algérie, Masson Armond Colin, p97.

et d'urbanisation au Sahara. En définitive, le palmier a joué le rôle de générateur de lieux de vie pour les espèces végétales, animales et aussi pour l'être humain. ⁵¹

Globalement, On peut distinguer trois formes d'organisation spatiale des ksour en relation avec le système oasien : de forme circulaire, l'exemple des vieux villages d'Oued Righ construits sur de légères buttes au milieu des palmeraies (*Tamerna Djedida*), celui aussi de *Temacine* est implanté au centre d'un marais, sur un monticule étendu et renforcé par un amas de troncs de palmiers constituant un soubassement sur lequel est édifié le mur continu des maisons-remparts, **Figure.14**

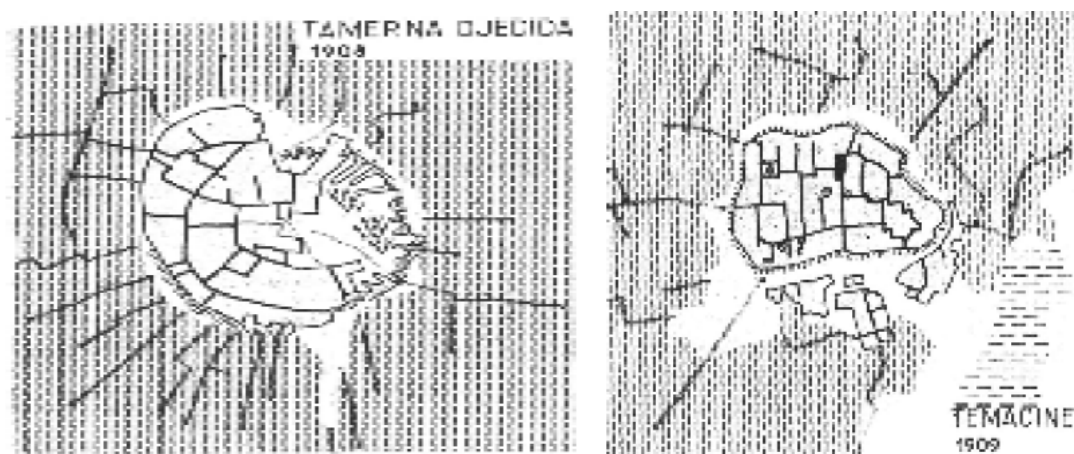


Figure.14 : Les ksour de l'Oued Righ au milieu des palmeraies. ⁵²

Le cas aussi du ksar de Béni Abbés (la Saoura), figure.15, blotti au milieu de sa palmeraie, les clôtures de *toub* des jardins crée un premier obstacle à l'avant du village, lui-même ceint d'un mur en pierres doublé d'un fossé et une seule porte.



Figure.15 : position centrale, ksar de Béni-Abbes dans sa palmeraie, ksar au Maroc⁵³.

⁵¹ Said Mazouz, l'adaptation bioclimatique dans le bas Sahara, in la ville et le désert, p192.

⁵² Ben Cherif Maryama, op, cit, p105.

On peut distinguer aussi la forme périphérique ou bien une séparation totale entre le ksar et la palmeraie comme indiqué sur la figure.16a et b .

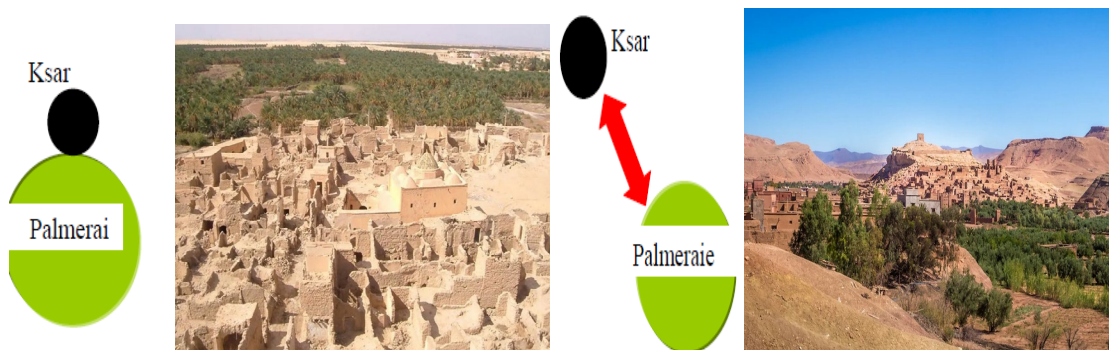


Figure.16 : a. position périphérique, Ksar d'Ouargla.⁵⁴ b. Séparation totale entre habitat et palmeraie.⁵⁵

- **Apport des oasis dans la fraîcheur ambiante :**

En tant qu'entité spatiale caractéristique du milieu saharien, l'oasis dispose d'une organisation structurelle cohérente et utile à la fois. Les voies principales sont très peu nombreuses, leurs formes sont le résultat de la morphologie des îlots qui épousent la forme organique, très rares sont les villages oasiens et les ksour qui ont une organisation rectiligne en damier. Les ruelles ne sont pas carrossables, ce sont des pistes non goudronnées qui servent au déplacement entre les palmeraies qui jonchent le territoire oasien. Elles permettent uniquement le passage des piétons et des animaux domestiques. Souvent, elles suivent le cours des seguia et structurent la distribution de l'eau. Ces particularité marquantes des rues et des ruelles oasiennes sont multiples et diversifiées mais peuvent être rassemblées en un seul aspect : le calme et la sérénité ainsi que la fraîcheur ambiante.

Ces qualificatifs sont généralement liés à la fois aux palmes qui assurent un ombrage continu tout au long des rues et ruelles, aux matériaux de terre ou roche de sable utilisés dans les constructions limitant les voies de circulation, au pavage exceptionnel des sols donnant

⁵³ Site web: www.etapes-marocaines.com.

⁵⁴ Site web: <https://www.vitamedz.com/>.

⁵⁵ Site web: <https://fr.freepik.com/photos-vecteurs-libre/ksar>.

une impression de ruralité rassurante, ainsi à l'étroitesse des largeurs facilitant le rapprochement social des habitants, Figure.17



Figure.17 : rue dans l'oasis el kantara.

Il est vrai que la verdure, quelle que soit sa densité a des effets physiques bénéfiques. Le végétal absorbe le gaz carbonique et produit de l'oxygène. Cette fonction en plus d'assurer la pérennité de tout être vivant, présente un intérêt certain en milieu urbain. En effet, l'évapotranspiration des végétaux humidifie l'air et l'émission de vapeur d'eau permet de maintenir l'équilibre entre le sol et l'atmosphère. Par ailleurs, les végétaux purifient l'atmosphère par la fixation de poussière sur les feuilles.⁵⁶

Les palmes jouent le rôle de filtre à air et de brise de vent tout en abaissant les températures et en humidifiant l'air. En effet, tout obstacle se situant sur la trajectoire d'un vent chargé de sable provoque un dépôt est vite submergé par le sable ; pour protéger leurs jardins et villages, les habitants disposent une palissade de palmes sèches pour bloquer le sable en transit et assurer la stabilité du site.

De plus, la projection des zones d'ombre des feuilles de palmes sur les parois des édifices peut réduire beaucoup leur échauffement et améliore leur confort thermique interne. Pour cette raison le palmier est utilisé à l'intérieur ou devant les façades des habitations afin de protéger les murs contre les rayons solaires directs. En addition, ces zones d'ombre

⁵⁶ Revue pollution atmosphérique :
<https://www.cairn.info/revue-ecologie-et-politique-2019-1-page-35.htm>.

procurent des surfaces sous lesquelles peuvent se développer certaines activités agricoles telles que la culture étagée.

Les troncs sont aussi utilisés, non seulement dans l'artisanat traditionnel (fabrication manuelle des paniers, des nattes etc.), mais aussi dans le domaine de construction (poutres, poutrelles, tuiles, linteaux, poteaux en bois de palmiers, etc.), figure.18.



Figure.18 : Habitation oasienne à Chetma (Biskra), structure en palmier⁵⁷

⁵⁷ B. E. Farhi, F. Z. Hadhaga. Ville oasienne, ville saharienne et ville au Sahara : controverse conceptuelle entre urbanité et contextualité, in courrier de savoir, N°25, 2018, pp81-92. p 84.

2. les établissements en milieu saharien :

2.1. Ksour :

Si l'oasis constitue un système, le ksar en tant qu'élément de ce système ; n'est pas seulement l'objet architectural et urbain, il est à la fois l'ensemble des processus à l'origine de sa formation, de son fonctionnement et de sa transformation.

Le ksar (pluriel : ksour), étymologiquement signifie palais, les ksour sont des ensembles fortifiés et qui à l'origine étaient construits dans un souci défensif, caractérisé par une forme typique d'habitat très concentré, construit en matériaux traditionnels (pisé ou toub). Le mot se prononce « *Gsar* ». C'est une altération phonique de la racine arabe « *quasr* » qui désigne ce qui est protégé. C'est-à-dire un espace délimité auquel n'a accès qu'une certaine catégorie de groupes sociaux.⁵⁸ De nos jours et avec la disparition des préoccupations défensives, le ksar désigne toute agglomération saharienne construite et de tendance plutôt rurale par opposition aux structures plus importantes que sont les médinas.⁵⁹

Selon Marouf, le ksar peut-être défini comme étant une implantation agglomérée spécifique aux populations du désert, c'est aussi la forme urbaine traditionnelle de ces régions. Son installation dépend de la disponibilité de l'eau, condition assurant la culture du palmier et la création des jardins ; qui fonctionnent tels des microclimats indispensables à l'installation humaine.⁶⁰

D'autres définitions voient que le ksar est un ensemble d'habitats groupé intégral et fortifié, caractéristique d'habitat présaharien et saharien ; ayant une fonction de grenier et jouant un rôle important dans les rapports entre nomades et sédentaires, le terme est entré dans la langue française puisqu'on le trouve dans les différents dictionnaires, il est généralement défini comme un habitat fortifié⁶¹

Néanmoins autres chercheurs voient que la fondation des ksour dépend d'autres facteurs à titre d'exemple : Ibn-Khaldoun voit que l'établissement d'une ville saharienne sur un site donné, obéit à certains critères pour se protéger de mauvaises conditions atmosphériques, on veillera à choisir le lieu dans une région où l'air est bon et pur. Aussi, la

⁵⁸ Mousaoui a. Logiques du sacré et modes d'organisation du sacré de l'espace dans le sud-ouest algérien, thèse de doctorat, 1994, 370 p.

⁵⁹ Said Mazouz. Mémoire et trace ; in la ville et le désert, Paris : karthala et Iramen, 2005, p 123.

⁶⁰ MAROUF N. Lecture de l'espace oasien, Paris: Sindbad, 1980,286 p.

⁶¹ Amar Bennadji. Adaptation climatique ou culturelle en zones arides ; cas du sud-est Algérien, thèse de doctorat, université de Provence, Aix-Marseille I, 1999, p 26.

présence des points d'eau permet aux habitants de se ravitailler et la proximité des jardins facilite l'exploitation des ressources.⁶² De sa part, Masqueray voit que dans la formation des cités sahariennes, les ksour ont été bâtis sur des collines ou à flancs de coteau, afin d'être ensoleillés en hiver et protégés des vents, des crues d'oueds et des agressions.⁶³

On peut déduire que, le Ksar est un espace de vie collective répondant à la fois à une organisation politique d'autodéfense et autre sociale visant à faire respecter la segmentation sociale et raciale. En somme, le choix du site des villes sahariennes doit être défendu des agressions, à l'abri des crues d'oueds, proche des grandes routes du commerce caravanier transsaharien, au milieu des oasis afin de se profiter des avantages et douceur du microclimat oasien.

2.2.1. Typologie des ksour :

Comme expliquer précédemment. Les ksour sont généralement dressés sur des sols rocheux et terrains élevés dans un but d'autodéfense, et aussi pour la préservation des ressources hydriques et des sols fertiles ; ils ne présentent pas des caractéristiques typologiques uniformes. Les études conduites par des officiers militaires français : Martin en 1908 et Echalié en 1972 particulièrement dans le sud-ouest algérien révèlent des différences dans la localisation, le processus d'implantation, ainsi que dans le modèle d'organisation des rues. En parallèle, Professeur Saïd Mazouz voit que les différences portent essentiellement sur la morphologie de l'unité fondamentale composant le ksar, dans le sud-ouest, le ksar est constitué par l'adjonction d'entités appelées *kasbet* (pluriel de *kasbah*) entités fortifiées, cette caractéristique ne se rencontre pas dans la vallée du Mزاب ou dans les ksour du sud-est.⁶⁴

De sa part Cote Marc, associe de plus la forme des ksour à différents éléments, les formes rondes correspondent à un matériau précis (la pierre), à des régions Berbérophones, ainsi à une adaptation à la topographie.⁶⁵ Jean Bisson, caractérise les ksour comme étant des villages sont toujours bâtis sur des hauteurs dominant un oued, *juste au-dessus de la palmeraie ; on choisit un endroit pourvu en matériaux de construction (grès, schiste, argile, arbres...) qui sont utilisés presque bruts. Ils participent ainsi, par leurs couleurs et leurs formes à la nature qui les a produits.*

⁶² Ben cherif maryama, op.cit, p94.

⁶³ E. Masqueray, 1983.

⁶⁴ Saïd Mazouz, mémoire et trace, in la ville et le désert, 2005, p123.

⁶⁵ Marc cote, la ville et désert, khathala et Iramen, 2005, p 124.

Les ksour peuvent être en briques de terre ou en pierres maçonnées recouvertes d'un torchis épais. En pays de dunes, les fondations sont enfoncées dans le sable jusqu'au sol dur. Grâce à l'éclatement thermique des roches, la montagne fournit des moellons taillés de diverses grosseurs, de minces plaquettes de schiste et de grandes dalles de grès.⁶⁶

Quant à l'urbanisme et à l'architecture des différences apparaissent, par exemple dans le M'Zab ou à Touggourt,⁶⁷ les premiers constructeurs élevèrent leurs demeures autour de la mosquée principale comme centre, les rues dessinant des cercles concentriques. Dans d'autres cités, la création de nouveaux quartiers se fait par rajout, sans respect du schéma initial, la ville se développe selon un modèle qui peut être radioconcentrique (Touggourt, Ngoussa, les cités du M'Zab) ou de forme plus étirée (les cités du Souf). Elle traduit aussi les inégalités sociales, qui s'inscrivent dans le tissu, et maintient sur ses marges les campements temporaires des nomades. Si les ksour se distinguent par un tracé assez dense, certains ksour sont d'un tracé orthogonal et moins dense, cette caractéristique est propre aux ksour édifiés sur des vestiges romains. Donc les ksour s'est faite essentiellement autour d'une mosquée ; l'urbain ou l'espace public est formé par un axe principal, à partir duquel s'articulent les ruelles et impasses donnant sur les habitations, il reste la forme le mieux adapté au climat saharien, parce qu'il est d'abord compact, en relation directe avec un microclimat palmeraie et il réagit à l'hostilité au climat par des stratégies adoptées par les concepteurs ; ces stratégies varient du choix des matériaux à la forme urbaine et architecturale en passant par l'implantation et même le partage des parcelles.⁶⁸

2.1.2. Nomades et sédentaires :

Le simple ksar est pour le nomade un pôle d'attraction permanent, comme le disait Duveyrier : « *au milieu du désert, les ksour sont des relais nécessaires, le gîte d'étape utile à l'existence matérielle et morale du nomade, sans lequel la vie au Sahara serait insupportable* »⁶⁹. Autant pour le sédentaire, le nomade est un lien avec l'extérieur. Malgré l'étendue du Sahara et une diversité de langues et de races, on trouve, toujours, cette étroite association entre deux genres de vie opposés, mais complémentaires.

Au sein de cette hiérarchie, nous pouvons distinguer d'une part le ksar-cité et d'autre part le ksar-village. Cette distinction sémantique s'établit sur une force de polarisation et de structuration de l'ensemble des ksour.

⁶⁶ Chaouch Bencherif Meriama, op. cit, p99.

⁶⁷ Belguidoum, op. cit, p

⁶⁸ Ammar Bennadji, op. cit, p26.

⁶⁹ Chaouch Bencherif Meriama op, cit, p 94.

2.1.3. Le ksar-cité/ Ksar –village :

L'urbanité des cités sahariennes renvoie alors à des éléments quantitatifs mais également qualitatifs. Elle a alors pour socle un système économique de production et d'échange, un rôle politique et symbolique fort qui se matérialise par un complexe architectural induisant des modes de vie propres ainsi que des inscriptions spatiales de pratiques sociales particulières et spécifiques.

La première caractéristique se manifeste par leurs organisations spatiales et les modes d'appropriation territoriale, c'est avec les mêmes termes qu'El Bekri en 1913 et aussi Docteur Shaw en 1980 ont les décrits : *Ce sont des chapelets d'agglomérations, villages, bourgs et bourgades s'égrenant le long des oueds, parmi ces ensembles d'agglomérations ; une cité s'impose aux autres par son importance et son rôle.*

Au fait, au gré des événements politiques ou des contingences physiques, notamment hydrauliques, les villages se forment et peuvent disparaître. Les luttes entre cités, les expéditions des pouvoirs centraux ont comme conséquence l'émergence de nouveaux villages ou au contraire leur destruction. Cependant, l'existence des ruines et de restes de palmeraies abandonnées, constatées aux différentes époques et dont les traditions locales conservent le nom des ksour aujourd'hui disparus, atteste de ces mouvements. Inversement, de nouvelles installations de populations peuvent participer à la dynamique des réseaux, tel a été le cas pour le Souf qui a été longtemps marginalisé et dépourvu de véritables cités, confiné à une fonction de refuge, commencera à partir du xv siècle à développer sa propre organisation.⁷⁰

Donc, le distinguo entre une agglomération urbaine et un village, est plus l'existence d'une diversité d'activités que le nombre d'habitants sur un périmètre donné. L'insécurité dans ces régions jusqu'à la colonisation rendit l'habitat épars risqué, il obligea les habitants à s'abriter derrière des murailles. Le ksar de Bechar avait initialement, huit tours et les terrasses de ses maisons périphériques constituaient le chemin de ronde de l'enceinte.⁷¹

La référence à la cité établie par S. Belguidoum, nous renvoie alors à la définition proposée par E. Dorier-Apprill ⁷² de la cité classique, comme : entité disposant de pouvoirs civils, judiciaires, de privilèges, qui se traduisent notamment par l'existence d'enceintes et de citadelles ; au sens politique, collectivité auto-administrée et dont les membres jouissent de droits et de devoirs qui assurent la cohésion politique et le fonctionnement de l'ensemble.

⁷⁰ Belguidoum Saïd., op. cit, p 54.

⁷¹ Chaouch Bencherif Meriama, op. cit, p100.

⁷² E. Dorier Apprill. Vocabulaire de la ville, notions et références, Paris, éditions du temps, 2001, 190p.

Donc, ce sont les rôles qu'elles jouent qui les qualifient continuellement tiraillées entre : la vie bédouine et la vie citadine, les cités ont néanmoins des traits forts qui les différencient de leurs ksour. La configuration générale de tout regroupement stable au Sahara prend la forme du ksar, cet ensemble de bâtis de taille variable autour duquel se développe une palmeraie. Mais les statuts de ces agglomérations les distinguent qualitativement et une hiérarchie apparaît entre le « ksar-cité » et le « ksar-village ».

Le village est une agglomération durable, de taille relativement modeste, qui existe par et pour son terroir. L'aire villageoise est une totalité, qui souvent se laisse lire à travers les correspondances qui existent entre la configuration des quartiers bâtis et celle des quartiers de culture. Cette myriade de petites agglomérations, qui jalonnent les différentes vallées, revêt une dimension villageoise. Quand un ksar plus important émerge, il s'érige comme cité et devient le pôle structurant d'un réseau entre le ksar-village et le ksar-cité.

Par exemple dans le cas du Souf, les plans des cités de Guémar et Kouinine, parmi les plus anciennes du Souf indiquent encore une croissance concentrique, mais les voies sont orthogonales et les contours s'inscrivent dans un rectangle qui est très irrégulier comme à Guémar. Si l'allure externe des agglomérations du Souf est différente de celle observée dans le M'Zab ou l'Oued Righ, cela tient au fait qu'elles soient bâties sur un terrain presque plat, alors que les contours circulaires des cités du M'Zab ou de l'Oued Righ aient été voulus dans un but de composition urbaine. Jean Claude Bataillon en 1987 attribue l'absence d'enceinte à la sécurité due à l'isolement du Souf.⁷³

Echallier en 1972, basé sur l'apport des photos aériennes, entreprit une classification qui fit ressortir six types différents de ksour. Mais en général, l'archétype du ksar reste une structure carrée, ou rectangulaire parfois circulaire entourée d'une enceinte aveugle et continue, flanquée de tours guet aux angles, et percée d'une ou de plusieurs portes qui assurent la relation avec le monde extérieur. Le tissu est organisé autour d'un réseau de voirie structuré en ramification, dont les différentes branches traduisent, au sol la division du groupement humain et des sous-groupes. Les habitations sont continuités et généralement mitoyennes sur deux ou trois coté. Les places des ksour sont appelées *rahbas*. Elles constituent des éléments structurants dans l'espace urbain et servent le plus souvent de lieux

⁷³ Ben Cherif Maryama, op. cit, p106.

de réunions pour manifestations sociales traditionnelles. C'est aussi dans les *Rahbas* que sont célébrées certaines fêtes religieuses. La place acquiert souvent de l'importance par les activités commerciales, l'importance de ces dernières se reflète dans la configuration de la place et sur sa structure urbaine.⁷⁴

On peut déduire que les agglomérations sahariennes traditionnelles sont le résultat d'une multitude de facteurs culturels et socio-économiques, qui en s'impliquant, ont conduit les habitants à produire un habitat de survie formant un véritable système écologique. Ainsi la trame support sous-jacente semble jouer le premier facteur dans l'évolution typomorphologique de ces groupements humains. Certaines variables comme le site, la topographie, relief et structure géomorphologique du terrain, la manière de se procurer de l'eau ont joué un rôle non négligeable dans la topologie du noyau initial et de son évolution par la suite et même dans la genèse des systèmes écologiques composés du triptyque «bâti-palmeraie-eau»,

2.1.4. L'Habitat ksourien :

L'habitat « ksourien » ou extensivement l'habitat « oasien », cet habitat très typique que l'on rencontre encore au Sahara, et que l'on désigne par traditionnel ou vernaculaire, correspond aux demeures transmises par les générations précédentes. Malgré leur ancienneté et les tensions qui agissent sur ces demeures, elles continuent tant bien à survivre et servir. La forme de cet habitat ksourien constitue un élément caractéristique de l'organisation spatiale et de la morphologie des oasis, montrant encore aujourd'hui, dans de nombreux territoires sahariens leurs fonctionnements passés et les logiques sociales structurantes de la société ksourienne.

L'approfondissement des définitions des éléments du système ksourien s'inscrit dans un dessein d'appréhension des logiques passées dans l'expectative de leur intégration de façon cohérente dans nos réflexions portant sur les perspectives de développement urbain durable et l'observation des dynamiques de ces systèmes ksourien.

⁷⁴ Said Mazouz, mémoire et trace, le patrimoine ksourien, in la ville et le désert, p 124.

En effet, ces habitations sont construites entièrement en terre (pisé et briques séchées au soleil) ont un à deux étages (parfois même trois à quatre au Maroc). Figure, 29. Les maisons s'élèvent dans certains cas jusqu'à pouvoir dominer les remparts afin de mieux surveiller les alentours. La construction lorsqu'elle se fait en hauteur semble répondre à des besoins essentiels à l'habitat des oasiens ; elle est le produit d'une culture de masse nourrie de la quotidienneté, de l'environnement et du génie local et non pas une production d'élite. Cet habitat exprime les contraintes environnementales et les valeurs de civilisation locales, car raisonner exclusivement en terme d'écosystèmes et de contraintes environnementales, c'est succomber à la séduction du discours rationnel qui sépare le corps et l'esprit en deux entités distinctes.⁷⁵



Figure.19 : L'horizontalité et la compacité des constructions à Taghit⁷⁶.

Cependant, dans l'étude des maisons ksouriennes, il faut reprendre la toponymie en usage, car elle nous renseigne sur la culture locale et sur le mode d'appropriation de l'espace. Globalement, Les maisons obéissent au même plan, à savoir une cour intérieure toujours carrée, accessible par une chicane d'une ruelle. Cette cour est en plus très fonctionnelle. Elle peut, selon les circonstances, faire fonction d'étable pour les animaux ou de lieu de dépôt provisoire. Autour de la cour sont disposés les *byût* (les pièces). Ces pièces adjacentes étalées en rez-de-chaussée, rarement en étage, sont éclairées et aérées par l'intermédiaire de cette cour.

⁷⁵ Echallier J.-C. Sur quelques détails d'architecture du Sahara, in *Le saharien*, n° 42 et 44, Paris, 1966-67.

⁷⁶ Mustapha Ameer Djeradi, l'architecture ksourienne en Algérie entre signes et signifiants, in *l'architecture vernaculaire*, TOME 36-37, ISSN 2494-2413, 2013.

Byût (pluriel *bayt*) est la cellule de base, généralement allongée de 4 mètres de profondeur et d'environ 2 mètres en hauteur et en largeur ; la juxtaposition de ces *byût* et leur superposition donne l'impression depuis l'extérieur d'une muraille élevée, sans ouverture, compacte, analogue aux remparts d'un établissement fortifié. L'une de ces *byût* fait office d'une cuisine ; généralement sans toit pour permettre l'évacuation des fumées résultant du feu de bois servant à la cuisson.

Un autre élément très important et même structurant de la maison ksourienne est le patio ou *wast dār*. C'est autour de cet élément que s'organise la maison. Chaque face s'ouvre sur l'espace appelé bayt. Dans le cas où des contraintes techniques empêchent l'une de ces ouvertures, notamment sur un côté mitoyen à une autre maison ou donnant sur l'extérieur, l'ouverture est simulée et une porte aveugle est dessinée dans le même mur, bien marquée par un arc et des décors.figure.20.

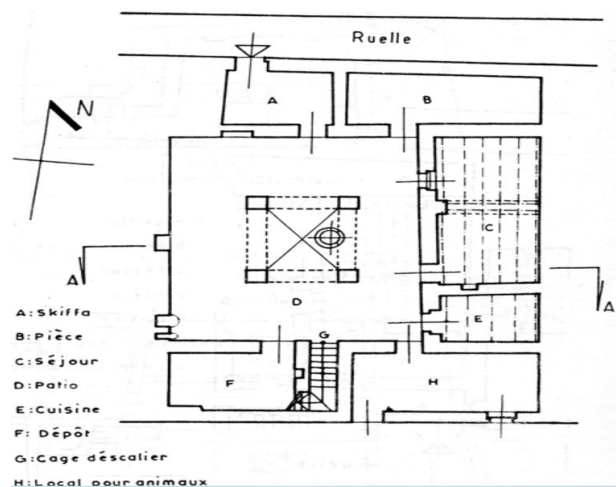


Figure.20 : Plan typique d'une maison ksourienne, Maison à quatre piliers au ksar de Knadsa.⁷⁷

2.2. Déterminisme climatique et architecture ksourienne :

En architecture, la théorie de la causalité du climat, (voir chapitre 01axe 02) encore couramment soutenue, affirme que la préoccupation première de l'homme primitif est de s'abriter, et que par conséquent les impératifs du climat déterminent les formes de son habitat. Effectivement, les rapports entre l'architecture et le soleil sont quasiment passionnels, même si la démarche du concepteur n'est pas guidée par un souci d'économie d'énergie, le soleil occupe par ses connotations culturelles et psychologiques, une place de choix dans les idées

⁷⁷ Bachminski J. et Grandet D. Éléments d'architecture et d'urbanisme traditionnels, Université des sciences et de la technologie d'Oran, 1985, 84 p.

motrices de l'architecte, il y a dans l'inconscient de tout architecte, mais aussi de tout consommateur d'architecture un esthétisme du soleil et de lumière.⁷⁸

Les établissements sahariens illustrent à travers divers exemples des réponses à cet environnement hostile, ceci à travers l'utilisation des éléments liés à la fois à la topographie du site ; tel que l'habitat troglodyte de Matmata en Tunisie, ou bien aux éléments végétaux comme dans les palmeraies et les jardins privé ainsi que les éléments artificiels de la morphologie urbaine le cas des ksours du Maghreb. Les bâtiments doivent être adaptés aux conditions d'été, en partant du principe que les exigences d'hiver seront satisfaisantes par un bâtiment ou le confort est assuré en été⁷⁹.

En addition, L'adaptation des populations sahariennes à leurs différents milieux fut apparaitre par conséquent une diversité des formes et multiplication des fonctionnements. Les établissements de peuplement illustrent parfaitement les caractéristiques d'adaptation : la compacité à travers les étroites rues qui ombragent les constructions et les protègent des vents violents, l'introvertie à travers l'organisation des maisons autour d'un patio ce qui réduit énormément les surfaces exposées à l'extérieur, ainsi que l'orientation majeurs des rues dans la direction est-ouest ; ce qui favorise pour les façades un minimum de gains solaires pour celle orientée au sud⁸⁰

De plus, comme la majorité des oasiens exercent un élevage à l'étable, la construction en hauteur offre la possibilité de mieux ventiler les maisons et de migrer verticalement entre les étages suivant les périodes de l'année et les moments de la journée. On utilise l'expression « migration verticale » pour désigner ce phénomène de déplacements des habitants des Ksour entre les niveaux inférieurs et supérieurs. Cette migration consiste selon le nombre de niveau de l'habitation à demeurer la nuit aux étages supérieurs (Deuxième étage ou terrasse) et le jour aux étages inférieurs (RDC ou premier étage) pendant l'été et inversement en hiver.

⁷⁸ Depecker P. Construction et modes de transfert d'un savoir scientifique dans le domaine de l'architecture ; le cas de la thermique. Thèse de docteur en science INSA de Lyon. Univ Claude Bernard, Lyon, 1985, p 40.

⁷⁹ Givoni B. l'homme l'architecture et le climat, Paris : le moniteur, 1980, p353.

⁸⁰ Fardeheb F, Natural cooling techniques in hot arid region of developing countries, the ISES sol ,west Germany, 1987, p05.

2.3. Adaptation bioclimatiques des ksour :

Dans les ksours des Zibanes et l'oued Righ, les implantations initiales tiraient profit de la proximité de la palmeraie. Parfois la palmeraie entourait entièrement le bâti, comme c'est le cas de nombreux noyaux du Zab. Indépendamment des aspects topologiques du rapport bâti-palmeraie (relation de contiguïté, proximité, éloignement relatif) le triptyque bâti- eau-palmeraies contribue à créer un microclimat. Un refroidissement par humidification est obtenu et l'air rafraîchi est transporté vers le groupement bâti. Les palmeraies sont disposées de sorte à protéger le bâti des vents dominants. Elles constituent aussi une extension de l'espace bâti, utilisé en période estivale comme espace de loisir et de vie.⁸¹

2.4. L'habitat des 19 et 20 siècles, adaptation ou rupture.

La colonisation a causé un nouveau rythme de construction dans les villes sahariennes, avec un tracé en damier régulier. Ce processus d'urbanisation varie selon les besoins, soit par extensions ou bien une superposition du nouveau à l'ancien comme le cas de la ville d'Ouargla, ou bien

En effet, la première étape dans la colonisation a été caractérisée par la construction des forts «*bordjs*» pour assurer la sécurité des millénaires, Suivie par la juxtaposition qui consiste à construire des nouvelles villes sur des terrains vierges. Ce damier colonial possède un caractère compact, les cours intérieurs des îlots jouent un rôle dans la régulation thermique en été et la plupart des maisons sont construites en terre,

Après la colonisation, les premières générations de l'informel conservent certaines composantes comme la cour et la terrasse ainsi qu'une hiérarchisation dans le tracé viaire qui assure l'ombre aux rues étroites et venelles.

Dans la conception de L'habitat étatique type lotissement, la propension à construire en R+2 assure un ratio surface-volume assez bas et donc une ambiance intérieure relativement acceptable en été ; la grandeur des parcelles permet la présence de quelque verdure entourant les logements.

⁸¹ Marc Cote, la ville et le désert. Paris : Karthala et Iramen, 2005, p190.

3. Interaction entre facteurs climatiques et technicités vernaculaires :

Les populations soumises à des conditions extrêmes ont été à travers le temps de remarquables inventeurs des dispositifs architecturaux adaptés aux rigueurs climatiques en créant à l'intérieur de ses demeures les conditions d'un relatif confort, (la maison à patio du sud de la Méditerranée, la maison sur pilotis du Malaisien, l'igloo de l'Eskimo). Dans tous les cas ses solutions d'adaptabilité climatiques commencent à l'échelle de la ville, pour se poursuivre à celle du bâti qui assure la protection, le confort et l'intimité.

Dans cet axe du chapitre nous avons essayé de présenter un inventaire sur les techniques passives employées dans l'habitat vernaculaire dans les zones chaudes et arides, afin de comprendre l'interrelation entre ces technicités et les contraintes climatiques et de savoir ainsi les réponses architecturales variées pour chaque région. Pour cela nous avons basé sur les recherches menées par les célèbres dans ce domaine notamment : les travaux de Hassan Fathi et André Ravereau, les livres d'Izard sur le confort d'été ainsi que les recherches d'adaptabilité climatique aux Sahara.

Les contextes chauds et arides sont largement déterminés par la présence presque permanente des anticyclones subtropicaux, les rayons solaires faisant avec l'horizontale un angle toujours fort et les températures moyennes annuelles atteignent un niveau très élevé. Mais si l'été est torride, une certaine fraîcheur règne en hiver. Notant que les latitudes subtropicales arides possèdent les points les plus chauds de la planète. D'autre part, la limpidité de l'air favorise un taux élevé de rayonnement nocturne, au point que la température baisse quelquefois de 30 °C en quatre ou cinq heures ; il s'ensuit que dans certaines fins de nuits d'hiver le thermomètre descend sous abri au-dessous du seuil de gel, Surtout en altitude.

A ces excès thermiques s'ajoutent une humidité relative très basse aux heures les plus chaudes, au moins dans les endroits les plus marqués par la continentalité, une radiation solaire intense et des vents desséchants, souvent chargés de sable ou de poussières. En outre, au sein d'un air à ce point voué à la subsidence, les précipitations ne peuvent être que rares et très irrégulières.

Donc la question qui se pose : *De quelle manière le confort thermique est assuré ?*

Pour s'adapter à ses contraintes, les habitants ont cherché avant tout de se protéger des radiations partant du principe que dans le désert le contrôle du rayonnement solaire est un des éléments majeurs des choix urbanistiques et architecturaux. Il est admis en général que les procédés utilisés génèrent une ambiance interne confortable, lorsque l'écart thermique avec l'extérieur atteint une dizaine de degrés.⁸² La préoccupation dominante est de donner aux constructions l'orientation et la forme qui sont les plus aptes pour faire bénéficier des variations saisonnières du soleil, en position et en intensité, tout en répondant aux besoins de climatisation, de ventilation et d'éclairage. Donc⁸³, laisser le soleil pénétrer à l'intérieur de l'habitation, pour stocker sa chaleur ce qui permet d'élever la température ambiante en hiver ; par contre, voiler son rayonnement par un écran qui assure le rafraîchissement et la ventilation en été ou bien combiner les deux ; donc exposer et se cacher alternativement, c'est réaliser la régulation thermique la plus simple et la plus efficace.

3.1. Adaptation à l'échelle urbaine, le tissu compact :

La stratégie de la compacité urbaine est la plus répandue en zones chaudes, cette dernière se caractérise par un cadre bâti continu, des immeubles mitoyens, un faible recul des bâtiments par rapport à la rue, ainsi qu'une mixité des activités et des usages. Le tissu urbain se caractérise alors par une grande compacité, verticale et horizontale, minimisant la surface exposée au soleil d'été et aux vents froids d'hiver. La configuration des rues est souvent irrégulière avec des impasses, ce qui les met à l'abri des vents, leur étroitesse ainsi que l'ombre générée par les bâtiments adjacents contribuent à ce que l'air frais y demeure une bonne période durant les journées de la saison estivale, notant que les rues n'atteignent souvent que 10 à 15 % de la superficie totale.⁸⁴

Izard voit que, dans un environnement dense il y a peu d'espace pour les tourbillons de poussières, pour le sable et pour le rayonnement solaire direct ou diffus, qui sont les trois contraintes majeures auxquelles la population doit faire face dans de tels climats. Il est en outre plus avantageux d'y accoler les maisons les unes aux autres, de façon à réduire

⁸² Quellec JL, Tréal C, Ruiz JM. Maisons du Sahara ; habiter le désert, Paris : Hazan, 2006.

⁸³ Alexandroff G, Alexandroff JM. Architectures et climats ; soleil et énergies naturelles dans l'habitat, Paris : Berger Levrault. 1982.

⁸⁴ Abdulac S. Les maisons à patio, continuités historiques, adaptations bioclimatiques et morphologies urbaines, 2011, In : Icomos. Le patrimoine, moteur de développement. Paris : International Council on Monuments and Sites : http://openarchive.icomos.org/1160/1/II-1-Article6_Abdulac, p288.

sensiblement les surfaces ensoleillées, la rareté des ouvertures impose la présence d'un espace extérieur enclos dans la maison⁸⁵.

Cette configuration repose sur l'association d'une stratégie de compacité et les dispositifs vernaculaires passifs dans la conception, ce qui permet de réduire les gains et les pertes de chaleur dont l'objectif est de diminuer la consommation d'énergie⁸⁶. À l'intérieur les caractéristiques spécifiques de l'habitat varient en fonction du climat régional, des traditions et des matériaux locaux. Cependant, une constante est la présence des demeures vastes sur plusieurs niveaux, ou l'on ne voit jamais directement le soleil.

Ces maisons à patio sont agglomérées densément et leurs murs mitoyens limitent la surface exposée. Parfois, l'étage est en encorbellement au-dessus des ruelles, ce qui permet de régulariser le plan des pièces ou de les agrandir aux dépens de la rue. Celle-ci voit alors son ombrage renforcé, tandis que diminue encore le temps d'ensoleillement des façades et que le vent devient incapable de chasser l'air frais nocturne.⁸⁷ Cette compacité génère de l'ombrage pendant la période estivale où le rayonnement solaire est intense et les températures ambiantes élevées⁸⁸, Elle minimise également les déperditions thermiques pendant la période hivernale où les apports solaires sont minimisés et les températures ambiantes sont basses. Parfois les façades se rejoignent complètement et forment un passage couvert en voûte ou en rondins. Ils sont très obscurs, même en plein jour, frais et adaptés au climat, ce qui permet de circuler à l'abri du soleil.

Elle est la manière d'occuper le territoire, la façon de créer des liens (physiques et sociaux) en limitant les vides et les discontinuités, permet de créer des milieux de vie à la fois denses et conviviaux, favorables à la création de quartiers de courtes distances. Ce mode d'occupation se veut une réponse aux problèmes engendrés par l'étalement urbain, beaucoup mieux adaptée au contexte des zones arides et semi-arides. A ce propos : Bardou P, dans son ouvrage *archi de soleil* voit que : La première adaptation au climat est réalisée par la densité du bâti et par les contours extérieurs des bâtiments, qui aident à se soustraire aux températures extrêmes⁸⁹.

⁸⁵ Izard JL, Guyot A. *Archi bioclimatique*. Roquevaire : Parenthèses. 1979.

⁸⁶ Abdelsalam, T ; Rihan, G. M, op. cit, 159–172.

⁸⁷ Ben Cherif, M; Chaouche, S, op. cit, p205.

⁸⁸ Baduel, P. R. *Habitat État et société au maghreb*.2003.

⁸⁹ Bardou P, Arzoumanian V. *Archi de soleil*. Roquevaire : Parenthèses.1978.



Figure.21 : tissu compact à Ouled Rached (Timimoun). ⁹⁰

3.1.1. La climatisation urbaine traditionnelle :

La climatisation est une réponse à la sensation d'inconfort thermique que ressent l'homme lorsqu'il transpire. Elle consiste d'abord à rejeter les apports énergétiques solaires, puis à la recherche des sources de froid inertielles évaporatoire ou radiatives. Les cités sahariennes constituent des exemples remarquables par la compréhension, l'efficacité et surtout l'intégration architecturales des systèmes variés utilisés.

***Au niveau de l'ilot :**

L'ilot qui constitue l'élément de base reprend les caractères de l'ensemble mais possède aussi certaines propriétés par rapport à la ventilation. L'orientation de l'ilot à 45 degrés par rapport aux vents dominants semble être un élément dominant dans l'urbanisme saharien ; cette orientation est la plus favorable selon les études sur le sujet. De plus, l'effet venturi est induit par le rétrécissement des voies au fur et au mesure que l'on s'efforce à l'intérieur de l'ilot. ⁹¹ Les rues rétrécies permettent au volume d'air d'y passer avec une vitesse plus rapide, cette technique s'applique aussi bien en urbanisme qu'en architecture, notant que cet effet n'existe que pour des hauteurs de construction dépassant les 15 mètres.

⁹⁰Ben Cherif maryama Chaouche, op.cit, p206.

⁹¹ Said Mazouz, l'adaptation bioclimatique dans le bas Sahara in la ville et le désert, Paris : karthala et Iramen,2005, p 187

Ainsi les petites ouvertures à l'étage permettent aux occupants de profiter du mouvement d'air canalisé par la ruelle. ⁹²

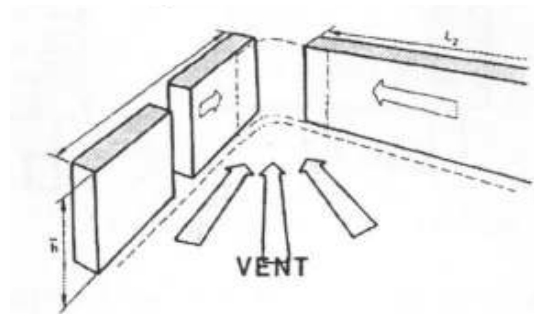


Figure.22 : effet venturi ⁹³

S'ajoute que cette configuration fait diminuer la pression du vent et augmente la vitesse, d'où un flux important qui provoque la ventilation. Le décalage dans les perspectives renforce cet aspect en créant des coupe-vent qui augmentent la différence de pression d'air autour du bâti et améliorent ainsi la ventilation. La hiérarchie spatiale est améliorée par une hiérarchie d'éclairement naturel, les rues principales sont plus éclairées, les rues secondaires et les impasses donnent une sensation d'intimité aux habitants et interdisent l'accès aux étrangers. L'organisation du tissu urbain est basée sur un tissu de ruelles imbriquées. Celles-ci semblent avoir des orientations différentes, mais un examen plus attentif des divers tracés.

***L'ombre urbaine :**

L'urbanisme et l'architecture traditionnels concourent à la protection thermique, les textures urbaines ainsi formées ont un air de parenté du Maroc à l'Iran. Toutefois, leur caractère se modifie sensiblement de ville en ville, et de quartier en quartier ; un accollement autant que possible des maisons les unes aux autres horizontalement, de manière à réduire sensiblement les surfaces d'ensoleillement ; cela diminue toutefois les possibilités d'ouverture sur l'extérieur. ⁹⁴ ces rapports entre largeur des rues et hauteur des constructions sont des stratégies utilisées aussi pour protéger les espaces extérieurs ainsi que les bâtiments contre les vents chauds d'été et ceux froids d'hiver. ⁹⁵ En effet, l'étroitesse des rues et la hauteur des constructions assurent un ombrage mutuel des façades en été, la pénétration des rayons solaires bénéfiques en période froide s'effectue à travers les cours centrales.

⁹² Amar Bennadji. Adaptation climatique ou culturelle en zones arides. Cas du sud-est Algérien. Université de Provence - Aix-Marseille I, 1999, p36.

⁹³ Guy Barnaud, introduction à l'aérodynamique du cadre bâti, 1996, p42.

⁹⁴ Ammar Bennadji, op. cit, p36.

⁹⁵ Fardeheb F. examination and classification of pas. Sol. Cool.stratégie in middle eastern vernacular architecture. In passive solar journal, vol.4 n° 4, pp.377-417.1987b.

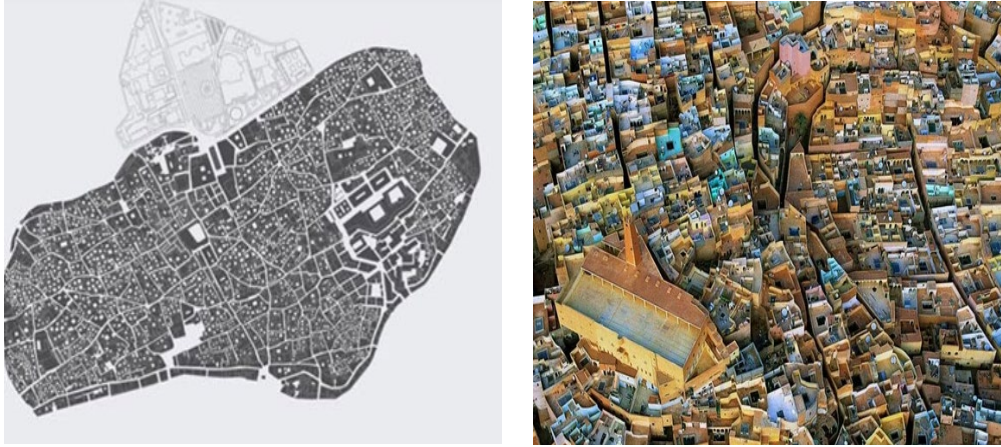


Figure.23 : a. La médina de Tunisie⁹⁶ , b. l'urbanisme du Mzab.⁹⁷

3.1.2. L'inertie de l'enveloppe :

Les types de matériaux de construction utilisés sont en général ceux qui favorisent surtout l'isolation thermique du bâtiment ; assurant ainsi une bonne inertie thermique avec un déphasage maximum de températures extérieure et intérieure. Au début de la nuit ou la température extérieure est inférieure à celle de l'intérieur ; toutes les fenêtres et les portes sont alors ouvertes, un refroidissement rapide de l'intérieur du bâtiment améliore le confort, et réduisent fortement l'absorption du rayonnement solaire pour un bon moment de la journée.

⁹⁶ <https://www.webmanagercenter.com>.

⁹⁷ <https://www.atmzab.ne>.

3.2. Les Techniques de régularisation thermique :

3.2.1. Le patio :

La maison vernaculaire en climat chaud se ferme au désert, l'outil utilisé pour faire face est la cour intérieure. Cet espace enclos par les pièces apporte un sentiment de calme et de sécurité répondant déjà au besoin culturel d'introvertie. Le patio forme un espace ombragé pour une durée de la journée, Il permet aussi de profiter d'un bon gain d'espace architectural en supprimant les couloirs. L'espace intermédiaire entre les pièces et l'espace central de la cour est une galerie couverte à colonnade ; elle sert aussi bien à desservir qu'à éloigné les rayons de soleil sur les façades intérieurs selon les saisons, formant un endroit frais et intime où se déroulent diverses activités sous l'ombre ; présentant le centre des activités et de groupement familiale.

La cour centrale est parfois accompagné par des dispositifs d'humidification tels que : bassin, canaux, cascades (*silsabils*) et arborisation, améliorant l'effet visuel et psychologique.⁹⁸ Et formant une sorte de microcosme qui met la maison en relation avec la nature, le ciel, le soleil, l'air frais, la terre, l'eau et la végétation. Un patio-terrasse peut se situer à l'étage, les pièces inférieures étant éclairées et ventilées par un éclairage zénithal.

D'un autre côté, grâce à des projections géométriques et a une orientation soigneusement étudiées, le patio réalise un système idéal de défense contre l'environnement aride chaud. Cependant, la majorité des patios au Sahara sont orientés en NE-SW ou bien SE-NW, ces directions à 45 degrés sont optimales pour produire de l'ombre en été, tout en permettant l'ensoleillement en hiver. Sa configuration spatiale en forme de cuvette génère une sorte de micro-climat. Durant la saison estivale une température ambiante agréable est conservée durant un bon moment de la journée vue que la cour est protégée de l'ensoleillement sur une part importante de ces cotés. Donc il régularise la température, car la fraîcheur nocturne ne s'y estompe qu'en début d'après-midi, l'air frais collecté pendant la nuit repousse l'air chaud vers le haut jusqu'à son évacuation.⁹⁹ **Figure.24.**

⁹⁸ Plemenka Supic, L'aspect bioclimatique de l'habitat vernaculaire, Arch et Comfort., Vol. 10, no 1, p32.

⁹⁹ Abdulac S, 2011. op. cit. p283.

Durant la journée, l'air extérieur qui rentre passe à travers le patio ou il est rafraîchi par l'effet d'évaporation ; à l'aide des végétations et les plans d'eau, puis il passe à travers les ouvertures des différentes pièces et repousse l'air chaud accumulé à l'intérieur et l'évacuer à travers les orifices d'aération, Par ailleurs, en tant que structure radiative, le patio permet le rafraîchissement par conduction et par radiation nocturne,¹⁰⁰ ce qui construit un circuit continu d'air en conjonction avec les ouvertures. ¹⁰¹ S'ajoute que cette configuration en cuvette assure une parfaite protection contre les tempêtes de sables. **Figure. 25.**

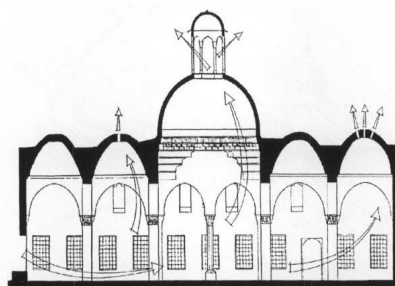


Figure.24 : phénomène de flux d'air, Alep, Syrie ¹⁰²

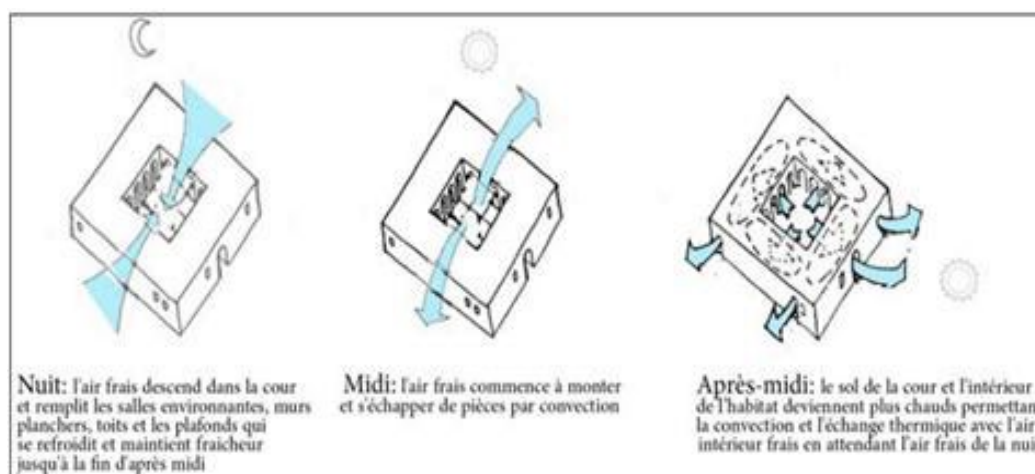


Figure.25 : la régulation thermique dans la cour durant la journée. ¹⁰³

¹⁰⁰ Wright D. Soleil, nature, architecture. Roquevaire : Parenthèse.1979.

¹⁰¹ Fardeheb F. Classification des techniques de refroidissement naturelles dans l'architecture vernaculaire des pays du Moyen-Orient. Séminaire sur l'énergie solaire, Tlemcen. 1989.p511-515.

¹⁰² Dufayad F, pinazo D, fillon marc. Habiat traditionnel syrien, travail de certificat d'études approfondies en architecture, architecture ambiance et energie, marseille. 1984.p86

¹⁰³ Sayigh A, et Marafia A. Vernacular and contemporary buildings in Qatar», in Architecture: Comfort and Energy, C Gallo, M Sala, A.A.M. Sayigh (Eds.), Elsevier Science Ltd., UK, in Ch.02, 1998, pp.25-37.

les patios de l'architecture du M'Zab qui ont été souvent écrit par Ravereau comme suit: *dans les cinq cités alignées le long du lit de l'oued, Ghardaïa, Melika, Beni-Izguen, Bou-Noura et El Atteuf, la maison type de couleur claire, a une inertie thermique considérable, avec très peu d'ouvertures sur l'extérieur ; elle est dotée d'une terrasse, utilisée la nuit en été ; un arbre au coin du patio lui donne de l'ombre et retient l'humidité, symbole de vie dans le désert.*



Figure.26 : Maison à patio M'Zab.¹⁰⁴

3.2.2. Dispositifs annexes de la cour pour l'amélioration de l'ambiance thermique :

a. Amélioration par humidification :

*Les plans d'eau :

L'importance accordée à l'eau est primordiale, en effet l'évaporation de l'eau abaisse la température ambiante tout en augmentant l'humidité de l'air, ce qui est également agréable en climat chaud et sec où le sable et la poussière ont tendance à s'infiltrer et voler. Les matériaux traditionnels tels que : la terre, pisé, pierre, mortier et bois, utilisés lors de la construction permettaient grâce à leur capillarité, une certaine montée d'eau qui venait s'évaporer en surface. Ainsi, en domaine aride, l'eau et la végétation sont présents à tous les niveaux d'aménagement, de la ville noyée dans la palmeraie au simple palmier planté dans le patio.

¹⁰⁴ Andrés Ravereau, Le M'Zab, une leçon d'architecture, Paris : Sindbad, 1981 (nouvelle édition : Arles, Actes Sud ; Sindbad, 2003).

Le premier dispositif architectural spécifique est celui du bassin, élément essentiel dans la composition du patio, que l'on trouve parfois à l'intérieur de la maison. Le bassin d'une maison du Caire ou de Damas comporte une épaisseur d'eau réduite, pour mettre en valeur la mosaïque décorative. Mais le plus important est la possibilité de réduire la consommation d'eau et surtout une circulation continue d'eau favorisant son évaporation, et par la suite entraîne le rafraîchissement de la température ambiante. L'autre dispositif est le *silsabil*, l'eau coule verticalement en faible épaisseur ; dans certains palais comme à Grenade, l'eau effectue un circuit, reliant les pièces entourant le patio à un bassin central.¹⁰⁵ À Damas ou bien en Caire, l'eau jaillit au milieu de certaines pièces.

Il est aussi banal de trouver des jarres d'eau devant les ouvertures des maisons, l'air affleurant la surface des jarres poreuses, se rafraîchit aussitôt pour donner un havre de fraîcheur à l'intérieur des maisons, **figure.27**. Cette pratique est différente dans les zones moins arides où l'on observe, à la place des jarres d'eau ; des pots de plantes ; de la même manière l'air se rafraîchit en effleurant les feuilles humides des plantes. Distinguant aussi l'arrosage continu qui demeure un moyen efficace en période de canicule, ce simple geste d'asperger le sol donne un effet de fraîcheur.

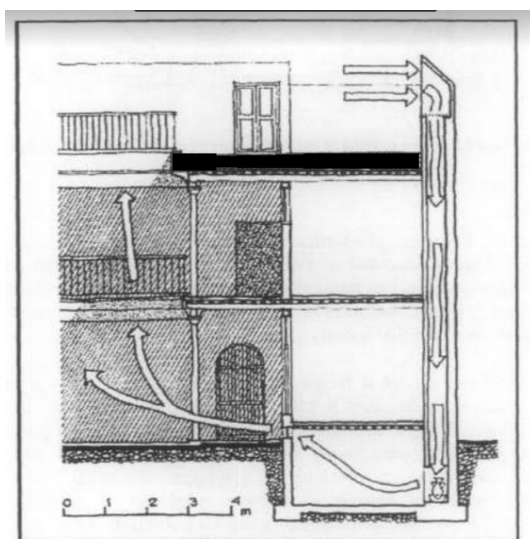


Figure.27 : une jarre d'eau permet d'humidifier l'air

Distinguant aussi de simples tonnelles avec des plantes grimpantes sont susceptibles d'apporter de l'ombre et de la fraîcheur ; elles peuvent être parfois disposées aussi en toiture, tels des jardins suspendus, **figure.28**.

¹⁰⁵ Abdulac S, 2011, op. cit. p284.

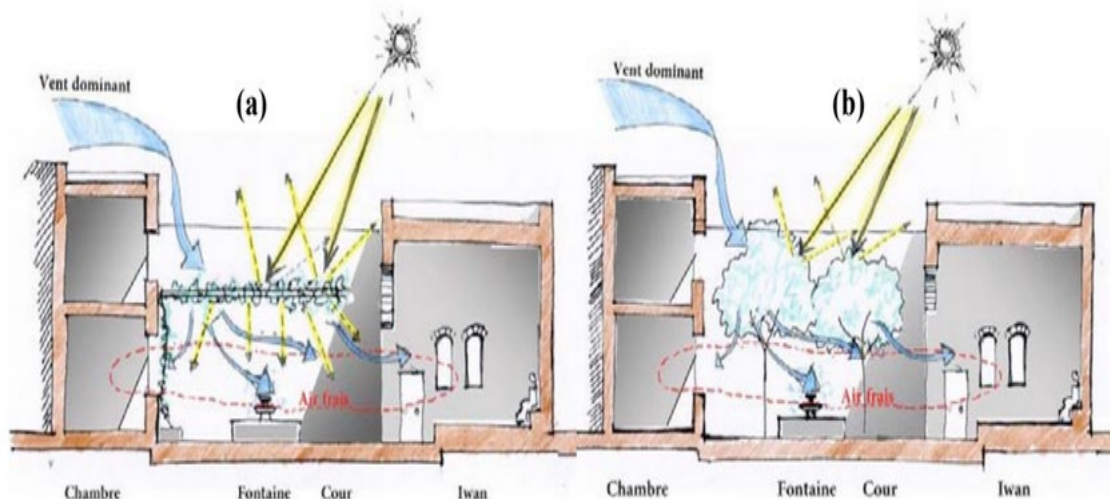


Figure.28 : Les écrans végétaux jouent le rôle de filtrage des rayonnements solaires, lumières, vent et poussières, avec un effet plus limité sur réduction du bruit et ainsi offrent une zone confortable à l'abri de nuisances externes : (a) végétation horizontale, (b) végétation verticale.¹⁰⁶

b. Les espaces tampons :

*Les galeries :

Les galeries peuvent atténuer l'effet du soleil vu l'ombre qu'elles procurent autour du patio, elles garantissent un espace de circulation assez confortable. Pour le patio, on distingue deux méthodes principales selon l'aridité de la zone ; dans les régions où la saison de surchauffe est de courte ou moyenne durée, comme le cas d'Alger ou de Constantine, l'utilisation des galeries autour du patio s'avère suffisante pour l'ombrage d'un tel espace, son humidification à travers l'emploi de végétation et de l'eau améliore son confort. Là où l'aridité est plus rigoureuse et longue, le patio et les galeries sont entièrement couverts ; une simple petite ouverture perce cette couverture afin d'apporter de la lumière dans cet espace souvent sombre. D'autre manière d'ombrager cet espace central se voient dans divers pays ; au Caire par exemple, il est couvert et chapeauté par un élément transversalement ouvert, qui est associé au *malqaf* ajoute un agrément de ventilation à celui de l'ombrage,¹⁰⁷ **figure.29.**

¹⁰⁶ Muhannad H. Investigation sur la qualité des ambiances hygrothermiques et lumineuses des habitats palestiniens, la cour : contribution environnementale et socioculturelle, thèse de doctorat en Mécanique, Université Bordeaux 1, 2012, p93.

¹⁰⁷ Fathy H. the malqaf: a traditional cooling and ventilation system. In Sun Word vol.9, n02, 1985 pp.48-50.

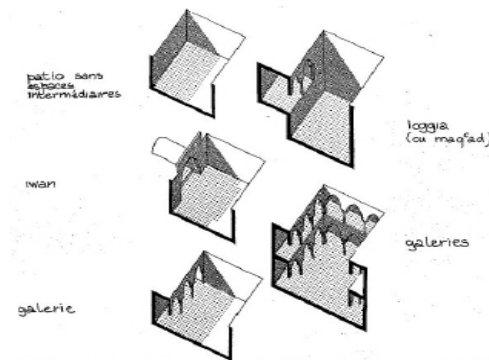


Figure.29 : différentes formes des espaces intermédiaires.¹⁰⁸

La présence d'espaces intermédiaires entre le patio et les pièces arrière est fréquente, surtout dans les grandes demeures ; ceux-ci ont l'avantage de protéger du rayonnement direct du soleil. Un iwan par exemple, est une sorte de pièce couverte, ouverte par un côté sur le patio ; orientés au Nord, les iwans restent toute la journée à l'ombre sert de lieu de réunions familiales. Dotés par banquettes basses disposées en forme « U », bordant les murs de trois côtés.

Notant aussi que l'usage de la terrasse est complété par divers espaces couverts qui s'ouvrent sur le patio, mais leurs fonctions diffèrent selon les régions : galerie, loggia, sabbat ou iwan. Avec une dénomination différente : le *talar* en Irak, au Caire : un *takhtabouch* ouvert au niveau de sol et un *maqaad* sorte de loggia à la terrasse.¹⁰⁹

Le *Sabbat* au Souf du bas Sahara Algérien, un espace couvert mais ouvert latéralement sur le patio, une sorte d'espace tampon entre la cour et les pièces d'habitation, il en existe même deux : l'un orienté au Nord et utilise en été, l'autre orienté au sud et utilise en hiver.¹¹⁰

De très grandes maisons marocaines peuvent disposer à la fois d'un *wast al dar* central minéral et d'un *riyadh* plus grand, latéral et plutôt végétal. Les pièces bordant le patio sont souvent hautes, ce qui amène l'air chaud de monter, pendant que l'air frais du patio continue de rentrer ; des lucarnes disposées en partie supérieure lui permettent de s'évacuer.¹¹¹

¹⁰⁸ Abdulac S. Pinon P. Maison en pays islamique, modèles d'architecture climatique, in architecture d'aujourd'hui, N°167. 1973, p09.

¹⁰⁹ Abdulac S, 2011.op. cit. p284.

¹¹⁰ Said Mazouz, adaptation bioclimatique des ksour, in la ville et le désert, karthala et Iramen, 2005, p142.

¹¹¹ Abdulac S, op. cit, 2011. p284.

3.3. Technique d'adaptation aux rigueurs climatiques :

3.3.1. Le nomadisme :

Dans les maisons au climat chaud, la polyvalence des espaces de la maison autorise un nomadisme intérieur qui permet de fuir la cellule surchauffée en fin de la journée vers des espaces semi-extérieurs servant de séjour ou de lieu de repos comme : loggia ; l'iwan ou le portique, ou bien extérieurs comme la cour et la terrasse sur les toits. Le nomadisme interne peut être défini comme l'occupation partielle de la maison en certaines périodes, suivies d'un déménagement vers un autre espace de la maison en d'autres périodes. L'occupation de tel ou tel espace est relatif à l'orientation du soleil et à sa position par rapport à l'ensemble. Les stratégies diffèrent d'une zone aride à l'autre. Le mode d'habiter et le site jouent un rôle déterminant dans la façon d'approcher le climat. Distinguant deux modes : vertical et horizontal.

Cette pratique est possible grâce à l'aménagement des pièces par un mobilier multifonctionnel en étroite rapport avec les habitudes pratiquées dans l'acte de s'asseoir. En effet la position assise du monde arabe a profondément conditionné l'aspect de l'architecture. Cette position autorise une polyvalence des espaces en séjour, salle à manger ou chambre.¹¹² D'un autre côté durant la journée, la température extérieure est élevée ; la masse thermique des murs en pisé, adobe ou pierre retarde la fluctuation de température ambiante jusqu'au soir ou les murs commencent à libérer la chaleur à l'intérieur des pièces, les habitants trouvent le bien être dans le patio, ou l'air frais commence à descendre et la température décroissante plus vite, et le cycle recommence.

***Nomadisme saisonnier vertical et horizontal.**

Le nomadisme vertical, **figure.30**, est effectué notamment dans les zones arides où la construction est en hauteur, le rez de chaussée et la cave sont utilisés comme des zones de vie d'été ; car ils sont naturellement plus humides et frais que les étages supérieurs et moins soumis aux rayonnements solaires, tandis que les chambres sont utilisées de préférence pendant l'hiver. Au contraire dans les régions où la forme de la maison est horizontale, les chambres d'hivers et d'étés sont adossées au même niveau, l'un ouvrant au nord et l'autre au sud selon les saisons, ceci est appelé nomadisme horizontal, **figure, 31**. l'exemple du «*sabbat*» de la région du Souf. Cela peut encore aller plus loin avec l'usage de quartiers d'été et

¹¹² Ferran Yusta Garcia. La méthode des saisons climatiques : stratégie passive de conception architecturale de bâtiments basse consommation énergétique en climat très chaud, Doctorat en mécanique. Université de Bordeaux, 2018. Français, p 72.

quartier d'hiver dans le même demeure, avec deux bâtisses indépendantes autour de la cour commune comme cela se passe à Oman ou en Afghanistan.¹¹³

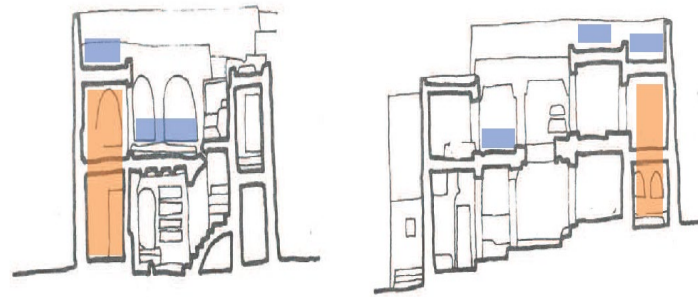


Figure.30 : nomadisme vertical et horizontal, le cas de la maison mozabite.

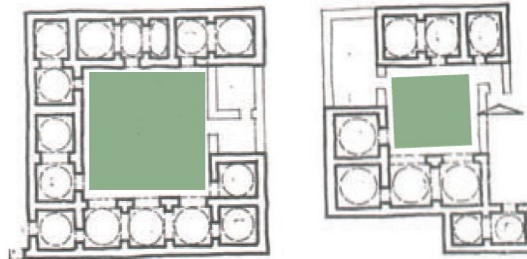


Figure.31 : nomadisme horizontale, le cas de maison soufie.

***Nomadisme quotidien :**

Le nomadisme peut être aussi journalier, consiste à habiter différents niveaux de la maison dans une même journée. En été les habitants passent la journée dans les pièces fraîches et ventilées du rez-de-chaussée et dorment la nuit sur les terrasses, sauf si la chaleur est importante ; dans ce cas ils dorment dans la cave. Puisque ce nomadisme est permanent, les occupants ne se donnent plus la peine de transporter son équipement. Ammar Benadji voit que la pratique de la maison évolue selon la saison, mais aussi tout au long de la journée et selon les activités qui y sont accomplies. Cuisiner est une fonction en mutation permanente, elle se déplace vers d'autres espaces de plus en plus aérés, au fur et à mesure que la saison chaude avance. En saison froide cette fonction reste sédentaire. L'espace sommeil obéit lui aussi à la loi de recherche de fraîcheur, les chambres à coucher sont utilisées exclusivement en saison froide, *ouaste eddar* (le patio) est envahi dans les saisons moins chaudes pour être abandonné

¹¹³ Ferran Yusta Garcia, op. cit, p70.

les nuits d'été vers les terrasses ¹¹⁴ ; l'exemple à Baghdâd : en été, les habitants passent une grande partie de la journée au rez de chaussée, prenant leur repas sous les galeries et font leurs sieste dans la cave plus fraîche, et dorment la première moitié de la nuit sur la terrasse. ¹¹⁵ En hiver ils profitent du soleil dans les terrasses et la nuit ils dorment dans les chambres, plus sèches et chaudes que les étages inférieurs.

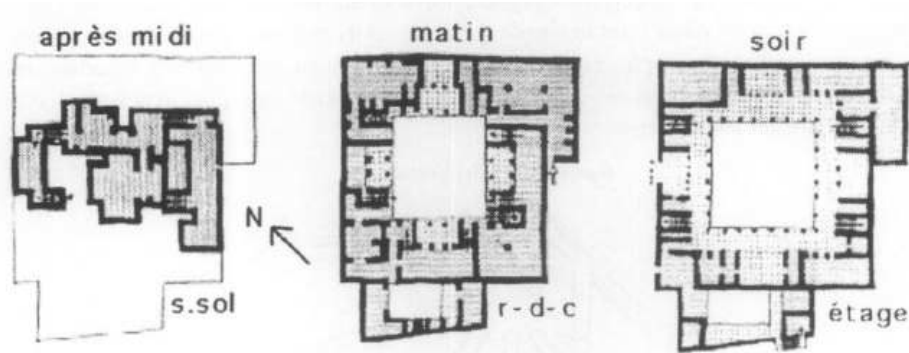


Figure.32 : nomadisme vertical quotidien d'été. Baghdâd ¹¹⁶

L'inertie thermique, demeure néanmoins, bénéfique pour les matinées d'été, la fraîcheur transmise au cours de la soirée vers l'intérieur notamment à travers les ouvertures peut être gardée au cours de la journée si on arrête la ventilation dès que la température commence à s'élever après avoir l'opéré pendant toute la nuit. ¹¹⁷ On ne peut pas parler du profit qu'on peut avoir ouvrir les fenêtres sans parler aux contraintes et risques qui pousse certaine population des zones désertique à fermer les ouvertures en craintes de multiples conséquences notamment l'introduction des bestioles : serpents, scorpions ou de la poussière.

3.3.2. La terrasse sur les toits :

L'utilisation de la terrasse pour les activités domestiques en hiver, et le sommeil en été. Généralement dans les pays au climat chaud au moyen orient, les toitures couvertes en voutes moins confortables pour les activités sociales, sont utilisées comme zones de séchage des fruits et des céréales. Dans certains pays comme en Algérie, les hommes sont strictement interdits sur les terrasses de jour car ils pourraient apercevoir depuis cette plate-forme les

¹¹⁴ Ammar Bennadji, op. cit, p46.

¹¹⁵ Abdulac S et Pinon, for a continuity in housing design: the case of islamique countries in African environment, n°17-18-19, vol. VI-2-3, 1986, p .06.

¹¹⁶ Abdulac S, Pinon P, 1973, op. cit, p08.

¹¹⁷ Belakehal, op. cit, 1995, p.99.

femmes d'autres maisons. Souvent dans les terrasses des éléments architecturaux comme de murs acrotères de plus de 1,5m assurant l'intimité de l'espace lorsque les personnes sont assises. Les loggias, balcons couverts et en retrait par rapport à la façade, sont les lieux de séjour mais font également office de protection solaire sur les pièces adjacentes (Syrie, Caire).¹¹⁸

3.4. Techniques de ventilation naturelle :

Face aux rigueurs du climat, l'architecture saharienne locale a su s'adapter durablement au climat en développant des solutions créatives et locales qui offrent un cadre de vie confortable, consomment moins d'énergie et causent moins de pollution que les nouveaux modes de construction, dont l'un est la ventilation induite par le vent. Elle comprend plusieurs techniques (tour à vent, échangeur air-sol, cheminée solaire) sans aucune consommation d'énergie ; ce qui assure sa passivité, durabilité et une efficacité énergétique importante.

3.4.1. Ventilation par *rouzna* :

La ventilation naturelle par ouverture des fenêtres, permet de créer un confort d'été acceptable dans les habitations ; cette ouverture vers l'extérieur est cependant effectuée avec prudence. Plusieurs stratégies profanes et savantes ont été utilisées, afin de s'opposer aux effets thermiques indésirables notamment en été. Parmi les éléments architecturaux assurant une climatisation de l'habitation, la *rouzna* joue un rôle non négligeable dans l'aération des maisons. Cette pratique est surtout utilisée dans les pays du Maghreb, elle consiste à faire évacuer l'air chaud.

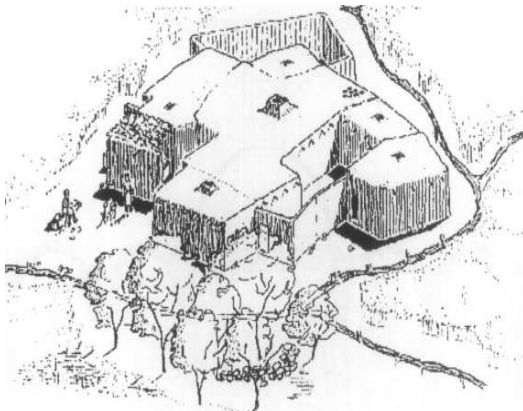


Figure.33 : maison à plusieurs rouzna.¹

3.4.2. Malqaf ou badgir :

¹¹⁸ Plemenka Supic, op. cit, p33.

L'architecture vernaculaire offre des exemples de systèmes architecturaux destinés à améliorer la ventilation naturelle de l'habitat : ce sont les capteurs de vent Appelé *malqaf* ou *badgir*, employés notamment au Moyen-Orient¹¹⁹. Le principe de Malquaf est double ; capter l'air à une hauteur suffisante pour échapper aux poussières et avoir une vitesse d'air suffisante pour générer un flux, puis l'humidifier pour le refroidir par évaporation. Ces capteurs d'air en sorte de canal cheminée conduit les brises d'air directement au bas des pièces à ventiler. La prise d'air peut être pratiquée dans une ou plusieurs directions. Ainsi, chacune des quatre faces d'un conduit de forme carrée est pourvue d'orifices, posés en diagonale. L'orifice du canal est muni d'un volet qu'il suffit d'ouvrir pour obtenir un courant d'air. Le rafraîchissement peut être très accentué en humidifiant l'air au moyen des jarres poreuses placées dans le canal et de bassins d'eaux situés en contrebas. Des charbons de bois humidifiés posés sur une grille, filtrent et rafraîchissent également l'air qui entre en bas de la pièce. **Figure.34.** L'air circule ensuite à l'intérieur du mur, qui se rafraîchit, et ressort à chaque étage, traversant alors des jarres d'eau qui le rafraîchissent davantage.

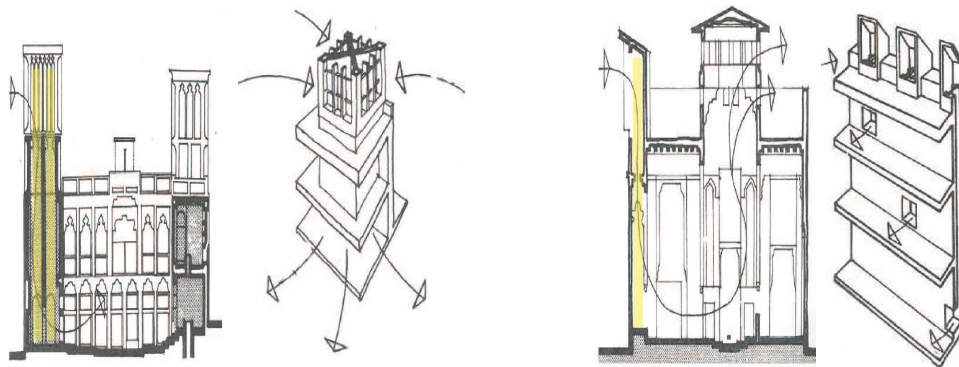


Figure.34 : les tours de vent.¹²⁰

Cheminée d'air –a –Baghdâd vents en provenance d'une seule direction- Bahreïn vents en provenance de plusieurs directions.¹²¹

Par exemple ; le *malqaf* du Caire est tourné vers le nord vers la direction de la mer, le *batinj* d'Alep est plus petit et il est généralement orienté selon la direction des vents dominants. En Irak l'incorporation d'une voile montée sur un pivot rotatif permet de capter des vents variables.

¹¹⁹ Izard. Architectures d'été : Construire pour le confort d'été. Edi Sud, 1993.

¹²⁰ Yusta Garcia, op. cit, p75.

¹²¹ Abdulac S, 2011, op.cit p286.

Dans les pays du Golfe, ces capteurs prennent la forme d'une haute tour à vent, traversée de murs obliques, qui permet de ramener l'air à l'intérieur, quelle que soit la direction des vents. ¹²²Le côté opposé de la tour peut aspirer l'air chaud de la pièce en profitant d'un effet de cheminée. L'utilisation de fenêtres vitrées, parfois très rapprochées permet enfin, avec une bonne orientation au sud, d'utiliser l'effet de serre en hiver quand l'air est froid mais que les journées sont ensoleillées. Comme à Damas, ces pièces sont plutôt situées à l'étage et donnent sur le patio ou l'extérieur. Elle modifie à la fois la température et la densité de l'air qu'elle absorbe. En fonction de l'heure de la journée et de la saison, le fonctionnement des tours à vents peut se résumer ainsi :

Les nuits sans vent : la tour fonctionne comme une cheminée ; les murs de la tour qui ont absorbé de la chaleur pendant la journée réchauffent l'air ambiant, l'air à l'intérieur de la tour commence à se déplacer par la pression du gradient thermique créant un courant ascendant de succion. Figure, 35(1)

La nuit avec vent : la tour capte l'air extérieur vers l'intérieur de la maison, les pièces sont rafraichies par l'air frais. Figure, 35(2)

Les jours sans vent : elle fonctionne au contraire d'une cheminée ; les murs de la tour, étant froids la nuit, ils refroidissent l'air à l'intérieur de la cheminée, l'air commence à descendre vers le logement créant un courant d'air qui finit par sortir par les portes et les fenêtres. Lorsque la température des murs de la tour arrive à la température extérieure, et commence à se chauffer à cause de soleil, le processus s'inverse et l'air commence à monter. Figure, 35(3)

Les jours avec vent : la tour capte l'air qui rentre vers l'intérieur de la maison, les pièces sont rafraichies par l'air en mouvement rafraichit grâce à l'évapotranspiration apportant une sensation de confort. Lorsque la température extérieure est élevée, l'air chaud même s'il est en mouvement ne rentre plus à l'intérieur de la maison. Figure, 35(4).

¹²² Abdulac S, 2011, op.cit. p285.

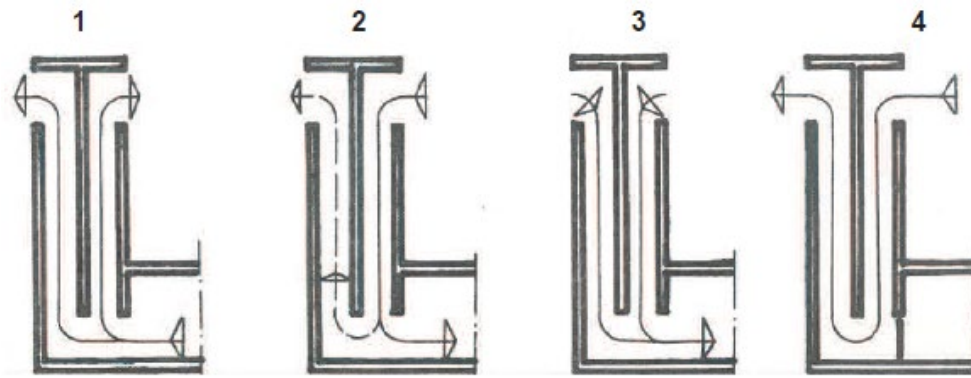


Figure.35 : fonctionnement des cheminées à vent en fonction des conditions extérieur.¹²³

Des galeries souterraines ont été utilisées en Iran, ces galeries dont l'extrémité est une tour surmontée d'un capteur d'air, ramène l'air à travers une galerie souterraine, afin d'y être rafraîchi avant de s'introduire dans la maison, souvent par le sous-sol. Tous ces systèmes ne peuvent être efficaces que par l'existence de deux ouvertures, l'une permet l'entrée d'air et la seconde sa sortie. ¹²⁴

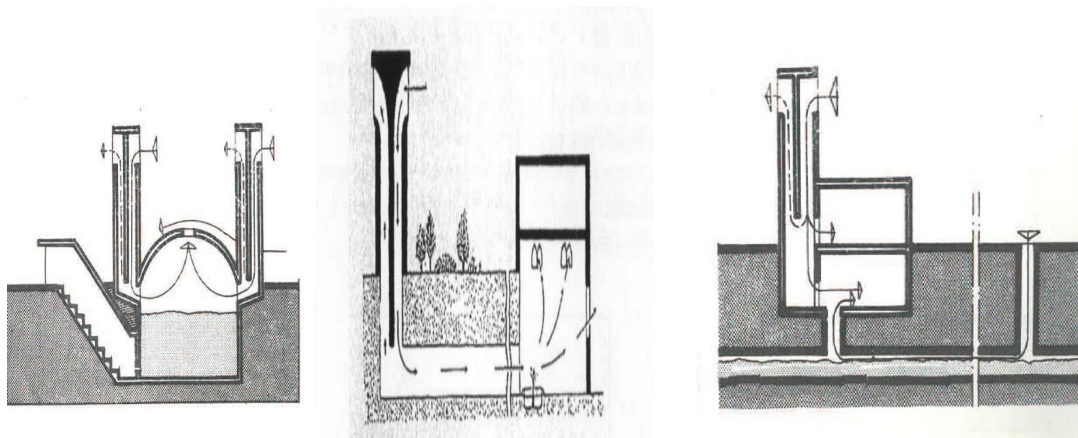


Figure.36 : malquaf à galerie souterraine.¹²⁵

¹²³ Yusta Garcia, op. cit, p 74.

¹²⁴ Ammar Bennadji, op. cit, p 46.

¹²⁵ Yusta Garcia, op. cit, p 76

3.4.3. Les ouvertures :

La circulation d'air peut être activée par la disposition des ouvertures et leurs grandeurs. Généralement, les ouvertures doivent se situer en face l'une de l'autre, celles où le débit d'air pénétré doit être plus petit que celles de sortie. Avec différence de niveau car l'air chaud tendant à s'élever, et remplacé par l'air frais en créant un mouvement d'air continu sans qu'il y ait besoin de vent à l'extérieur.¹²⁶

3.4.4. Toit en voutes et les coupoles :

La toiture voutée ou bien en coupole favorise l'effet de tirage thermique, l'air chaud a tendance à s'élever puis s'échapper vers l'extérieur ; le renouvellement de cet air se fait automatiquement, même s'il n'y pas de vent à l'extérieur. Créant alors un renouvellement d'air au sein de la maison, l'exemple de la région du Souf au Sahara algérien marqué par l'utilisation des coupoles, **figure.37**. L'air chaud collecté depuis les pièces intérieures monte sous la coupole pour être évacué à l'extérieur. Le jour, le rapport de la surface du couple sur la surface incidente solaire est de l'ordre de deux, d'où la diminution des apports solaires. La nuit la surface de la coupole plus importante que la surface de sa projection plane ce qui permet de profiter des radiations du ciel sur une plus grande surface.¹²⁷

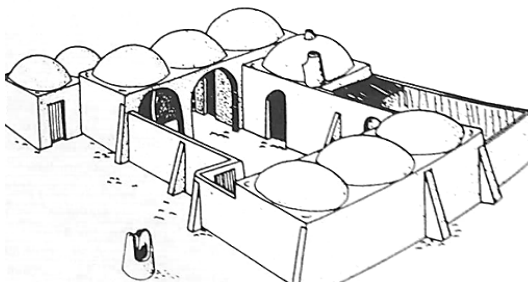


Figure.37 : maison typique à l'oued Souf.

¹²⁶ Izard Guyot. Archi Bio. Paris: Ed. Parenthèses.1979.

¹²⁷ Ammar Bennadji, op. cit, p47.

3.5. Techniques de protection :

3.5.1. Le moucharabieh :

Lorsqu'on cherche simultanément la protection solaire et le maintien d'une ventilation, on peut utiliser des fermetures perméables à l'air : c'est le cas des persiennes, des volets projetables, des claustras où encore des *moucharabiehs*. Cette dernière est répandue dans l'ensemble du monde islamique, c'est une sorte d'ouverture en panneaux ajourés de bois ou de gypse, qui assure la vue vers l'extérieur sans être vu ; tout en favorisant la ventilation naturelle sur les façades extérieures et la pénétration de la lumière diffuse, moins agressive pour l'œil que le rayonnement direct. La réduction de la surface produite par le maillage du moucharabieh accélère le passage du vent ; celui-ci est alors mis en contact avec des surfaces humides, bassins ou plats remplis d'eau ; diffusant leur fraîcheur à l'intérieur de la maison.¹²⁸ **figure.38.**

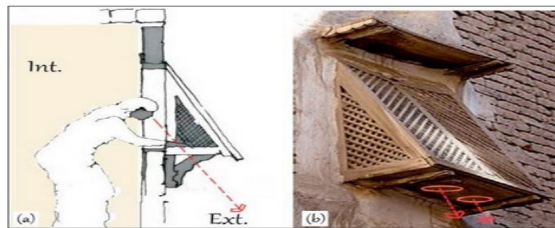


Figure.38 : Type d'occultation des fenêtres aux niveaux supérieur à Jiddah :

- (a) Schéma représentatif du principe d'intimité pour les fenêtres masquées en bois, (b) une vue extérieure de ce type d'occultation fixe.¹²⁹

3.5.2. La couleur et crépissage des murs :

La couleur blanche réfléchit mieux les rayons solaires, qui sont peu absorbés par les parois, en effet la peinture blanche de chaux peut augmenter la performance des murs en matière climatique : La chaux est une surface sélective froide qui a un facteur d'émission infrarouge de 90% et un facteur d'absorption solaire de 12% qui augmente lorsque les pluies d'automne arrivent. Cette technique de contrôle climatique est bien répondue dans les zones à fortes radiations solaires. A l'intérieur des habitations la couleur blanche répartie mieux la

¹²⁸ Ben Cherif, M., et Chaouche, S. La maison urbaine à patio, réponse architecturale aux contraintes climatiques du milieu aride chaud. Sécheresse, V : 24 : n°24, 203-13. 2013.

¹²⁹ Muhannad H. Investigation sur la qualité des ambiances hygrothermiques et lumineuses des habitats palestiniens, la cour : contribution environnementale et socioculturelle, thèse de doctorat en Mécanique, université Bordeaux 1, 2012, p51.

lumière dans les pièces vu la petitesse des ouvertures dont peuvent se munir les habitations de ces mêmes zones.¹³⁰

Une texture rugueuse, telle qu'un appareillage en pierre ou en brique, ou tout simplement un enduit tyrolien, apporte un ombrage additif au fond. Traditionnellement, une technique de crépissage très intéressante fut utilisée pour ombrager au maximum le fond de façade ; ce crépissage est tant constitué de boules semi-sphériques talées avec la main sur le mur ; de cette façon la moitié de la façade crépée est toujours ombragée.

En Égypte et au Moyen Orient, pour diminuer l'effet d'éblouissement venant de l'extérieur, la partie basse des façades intérieures de la cour est conçue de façon à diminuer les réflexions. Cependant, les bâtisseurs utilisent la technique d'*Ablaq*, figure.39. (C'est une technique d'architecture islamique, principalement répandue en Syrie et en Égypte, elle se trouve parfois en Anatolie). Consiste d'arranger des bandes de marbres colorées¹³¹, où bien de briques ornées ; en plus de leur aspect esthétique, cette technique contribue à la diminution de la réflexion de lumière sur les façades.

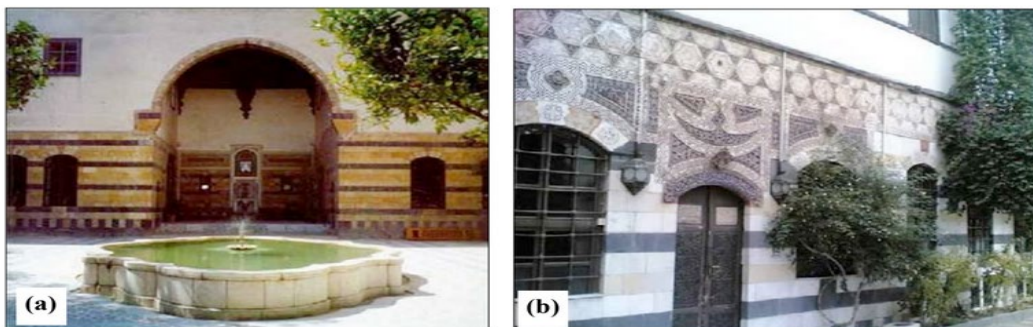


Figure.39 : Techniques et traitement des façades pour diminuer la nuisance de l'éblouissement : (a) *l'ablaq* dans une cour à Damas, (b) *l'ablaq* par briques ornées,

¹³⁰ Ammar Bennadji, op. cit, p 50.

¹³¹ Muhannad H, op. cit, p123.

Conclusion :

Les spécificités du contexte saharien sont prégnantes et structurantes, l'immensité de l'espace a induit de fortes typicités locales et régionales en matière de technicités employées et formes du peuplement. L'adaptation des populations aux différents milieux sahariens se traduit par l'émergence d'une vaste gamme de modalités d'exploitations socio-économiques et spatiales diverses et particulières.

En effet, l'habitat vernaculaire produit englobe un registre des savoir-faire en matière d'adaptabilité aux rigueurs climatiques et offre un potentiel considérable de dispositifs ingénieux ; témoignant des effets performants capables de fournir des ambiances confortables ainsi que des économies en ressources et énergie. Ce type d'habitat qui a été répandu en certaine époque, subit actuellement un délaissement, car les attentes des utilisateurs à l'ère actuelle sont largement changées et évoluées. Néanmoins ce type d'architecture nous apprend une vraie base de conception qui est toujours valable, cette architecture a su s'adapter durablement au climat en développant des solutions créatives et locales qui offrent un cadre de vie confortable, économes et moins nuisibles que les nouveaux modes de construction. en s'inspirant et en réintégrant ses principes et ses techniques, nous aurons réussi une bonne partie du travail de conception des maisons passives confortables et à basse consommation d'énergie.

Chapitre. 03.

L'approche bioclimatique du bâtiment et le confort
thermique.

Introduction :

Les notions ancestrales utilisées dans l'architecture vernaculaire disparaissent au profit de l'industrialisation, cette déviation conceptuelle et fonctionnelle est à l'origine des problèmes environnementaux auxquels nous devons faire face aujourd'hui, le mouvement moderne s'est élevé contre la ville ancienne en abolissant la quasi-totalité des éléments qui l'on crée, les éléments vernaculaires ou traditionnel qui assuraient l'homogénéité urbaine et l'efficacité architecturale tel que : les place, les rues, ainsi que les patios sont désormais délaissées.

Cette standardisation qui postulait à la fabrication de l'homme type dit standard à ce propos C.N.Schuls déclare : *les architectes des années vingt, pour que l'architecture moderne ne devrait pas avoir de caractère local ni de caractère régional, mais qu'elle devrait se soumettre partout aux même principes*¹. donc ce courant qui met en avant : la fonction, la rationalisation, et sur le plan formel des lignes géométriques pures, formulant ainsi des principes qui demeuraient valide dans le monde entiers, indépendamment de toute variation géographique et culturelles, une architecture typique son enracinement et référence historique.

Envers ce contexte, des courants protecteurs ont été soulevés pour revenir à la nature et le respect des particularités environnementales, ces nouvelles approches ont été dans la globalité fondée sur les préceptes de l'architecture vernaculaire. Généralement, l'ensemble des approches inventées se rapporte au grand concept de développement durable qui s'articule sur les trois piliers connus social, économique et environnemental, qui sont les mêmes facteurs sur lequel l'architecture vernaculaire à accumuler son savoir-faire.

Présentant à travers ce présent chapitre un passage par les liens entre les vernaculaires et nouvelles approches sensibles aux problèmes environnementaux ou bien autrement dit : approches néo-vernaculaires. Il s'articule en trois axes : le premier met l'importance sur l'approche bioclimatique et quelques technicités passives ; le deuxième axe concerne l'apport du vernaculaire dans la pratique architecturale contemporaine, ainsi que les passerelles entre l'ancien et le nouveau à travers les expériences architecturales inspirées du vernaculaire. Le dernier axe est consacré à détailler la notion du confort thermique dans le bâtiment ainsi que les approches et outils d'évaluation.

¹ Schuls, c,n, Genius loci. Paysage, ambiance, architecture, Edition : pierre margada, 1979, p194.

Bien que la vision d'architecture bioclimatique s'inscrive dans une manière de construire avec l'environnement ; elle forme l'approche la plus fameuse vue la gamme importante des procédés et les techniques qu'elle englobe. En effet, le concept global est également appelé architecture climatique ou architecture naturelle, elle peut englober ainsi le type : architecture écologique, architecture durable, ou même aussi architecture verte² lorsque la prise en compte à l'échelle environnementale se fait aussi dans l'utilisation des matériaux, contrôle des émissions de gaz à effet de serre, ainsi que la gestion d'eau et des déchets.

Elle peut être défini comme une architecture sensible aux problèmes environnementaux en visant à concilier l'efficacité énergétique et le confort des occupants ; de tirer le meilleur parti des conditions d'un site (climat et microclimat, la géographie et la morphologie) et de son environnement. Impliquant un ensemble de stratégies, des solutions et des techniques architecturales qui font appel le plus possible aux énergies renouvelables et réduisent les impacts sur le milieu naturel, les coûts d'investissement et du fonctionnement.³

Dans Cette partie on a basé sur les ouvrages des pionniers : Design with climate : bioclimatic approach to architectural regionalism de Olgyay (1963), Man, climate and architecture de Givoni (1978), Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques de Liébard (2006) et Concevoir des bâtiments bioclimatiques de Fernandez et Lavigne (2009).

² Lou Chesné. Vers une nouvelle méthodologie de conception des bâtiments, basée sur leurs performances bioclimatiques. Architecture, aménagement de l'espace. INSA de Lyon, 2012. Français 04.

³ Alain Liébard, André de herde. Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques. Paris : le Moniteur. 2006, p23a.

1. Le néo-vernaculaire et l'approche bioclimatique dans le bâtiment ; Solutions architecturales d'amélioration du confort avec diminution des consommations énergétiques.

1.1. Du vernaculaire au bioclimatique, le néo vernaculaire :

L'intérêt principal de l'analyse des constructions vernaculaires à partir du climat, exemplifié dans l'approche bioclimatique, est qu'elle cherche à déterminer le rôle climatique et la modulation des éléments architecturaux (matériaux, forme de toit, nombre et disposition des ouvertures) par rapport aux différents facteurs climatiques (direction du vent, rayonnement solaire, précipitations). Les ouvertures par exemple ne possèdent pas la même fonction sous tous les climats, dans certains pays comme l'Égypte ou l'Algérie, les fenêtres sont le plus souvent réduites à étroites fentes permettant de diffuser la lumière et de ventiler, sans faire pénétrer le rayonnement solaire direct⁴.

Avec la remise en cause de l'architecture typique standard dès le début de vingtième siècle, afin d'accorder plus d'importance au confort de l'habitant à l'égard des éléments fonctionnelles. C'est notamment le cas aux Etats-Unis où Frank Lloyd Wright qui va dès les années 1900, proposer une réflexion sur l'intégration de ses bâtiments dans leur paysage en définissant le style des « prairies houses » **figure.01**⁵.

Ces maisons sont conçues, à la différence de l'architecture classique, sur un mode horizontal et donc plutôt basses. L'éclairage naturel est favorisé par des différences d'hauteur des plafonds, créant des ouvertures et assurant également une meilleure ventilation. La récupération des apports solaires est réalisée à l'aide de grandes baies vitrées protégées en été par des débords de toiture.



Figure.01: Falling water house de Frank Lloyd Wright.⁶

⁴ Clément Gaillard, L'approche énergétique de l'architecture vernaculaire : genèse et développement, l'approche énergétique de l'architecture vernaculaire : genèse et développement, p. 67-80, p 06.

⁵ Lou Chesné. Vers une nouvelle méthodologie de conception des bâtiments, basée sur leurs performances bioclimatiques. Architecture, aménagement de l'espace. INSA de Lyon, 2012.p04.

⁶ Lou Chesné. Op cit, p 05.

Vers les années 1973, (date du choc pétrolier et de la crise énergétique) l'étude des constructions vernaculaires apparaît comme une source pour les concepteurs et les architectes ; parce qu'elles intègrent et maximisent les énergies issues du climat, ces constructions réalisent des économies d'énergies par des moyens purement architecturaux. Donc, La dimension climatique apparaît comme primordiale dans la mesure où une meilleure adaptation des constructions aux différents climats permettrait d'économiser une quantité non négligeable des énergies combustibles pour chauffage et climatisation. C'est dans ce contexte de la crise énergétique mondiale que se développe un intérêt croissant pour la conception bioclimatique et que sont menées les premières études approfondies sur l'architecture vernaculaire considérée sous l'angle de l'intégration climatique.

En effet, l'architecture vernaculaire a accumulé son savoir ancestral à partir des particularités à la fois culturelles, géographiques et climatiques alors que l'architecture bioclimatique est créée dans le contexte des nouvelles technologies, des techniques et matériaux qui peuvent être utilisés dans tous les contextes climatiques et géographiques, mais dans certains cas ne s'adaptent pas au contexte culturel local ou reflètent une vérité partielle, comme exprimée par Williamson : *Ainsi, nous ne pouvons pas concevoir un bâtiment pour refléter pleinement une culture régionale que nous ne partageons pas. Nous pouvons cependant chercher à refléter notre compréhension (certes partielle) et nos valeurs de la durabilité architecturale.*⁷

Certains architectes, thermiciens et chercheurs tentent de ressortir les valeurs de certains édifices vernaculaires à partir des critères thermiques et de considérations climatiques. A titre d'exemple en France, Georges et Jeanne-Marie Alexandroff ont mené les premiers travaux sur le sujet ; ainsi les recherches d'Olgay en 1963⁸, ont montrés que la forme architecturale a une grande influence sur l'optimisation d'énergie et des ressources.

⁷ Williamson et al., 2002, p. 26.

⁸ Olgay V. Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism. Princeton, N.J., Princeton University Press, 1963.

Dans son ouvrage *Design with Climate*, Olgyay développe une approche bioclimatique qui aborde la relation entre la forme d'un bâtiment et son fonctionnement selon le climat. En considérant les pertes et gains thermiques pendant l'hiver et l'été, il propose des « formes idéales » pour 4 types de climats : froid, tempéré, chaud sec, et chaud humide. Malgré que ces formes puissent paraître trop rigides face à la complexité de l'architecture réelle, elles constituent un bon exemple de la réponse du bâtiment aux conditions environnementales. Il faut noter aussi que sur la base de ses résultats, Olgyay indique que la forme carrée ne serait pas adéquate pour aucun des climats évalués. Ou la forme optimale serait plutôt celle se développant selon un axe est-ouest, car elle présente un meilleur équilibre entre les gains et les pertes thermiques. Néanmoins, il est important de considérer que les études d'Olgyay traitent des bâtiments à logement, c'est-à-dire des bâtiments à faibles gains thermiques, et que les conclusions ne sont donc applicables qu'aux contextes particuliers étudiés.

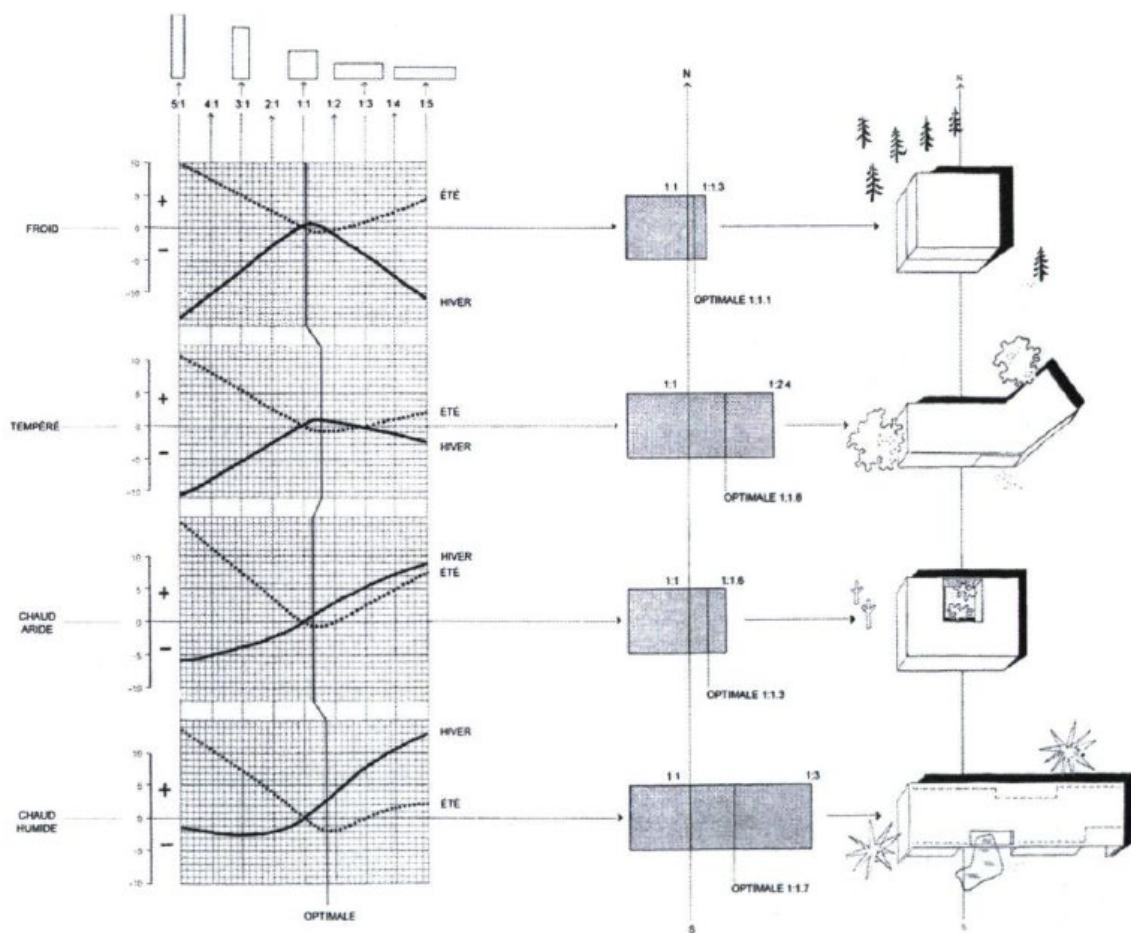


Figure.02. Les formes optimales proposées par Olgyay pour les 4 types de climats : froid, tempéré, chaud aride et chaud humide. D'après Olgyay, V. 1963.

De leurs côtés, les britanniques Martin et March 1966⁹ se sont aussi intéressés à la forme architecturale dans une perspective d'optimisation et de rationalisation d'utilisation du terrain. Ils développent une série d'études pour tenter de répondre à la question, quelles formes bâties font un meilleur usage du sol. Ces études considèrent l'analyse des archétypes des formes bâties par rapport à des critères d'éclairage naturel et le potentiel de surface constructible de chaque forme.

Dans le même intérêt, il est apparu que plusieurs architectes ont été amenés à étudier précisément ces constructions afin d'inscrire, parfois, leur pratique dans le prolongement de leurs observations du bâti vernaculaire. Ainsi, l'idée de comparer terme à terme les techniques traditionnelles et modernes, les maisons en terre crue et celle en béton comme l'a fait Hassan Fathy en Égypte par exemple ; paraît indispensable pour dépasser le préjugé selon lequel une maison en terre serait nécessairement obsolète et pour mettre en avant la performance énergétique de ces techniques compte tenu des conditions climatiques.

1.1.2. Bref Synthèse sur les approches bioclimatiques :

***Baruch Givoni :**

L'un des spécialistes précurseurs en domaine d'architecture bioclimatique en climat chaud, il développe de nombreuses méthodes comme le diagramme de Givoni, il parvient aussi à orienter les concepteurs sur le choix le plus raisonnable ; combinant la basse consommation, le confort acceptable et le bio climatisme. Selon lui la performance thermique du bâtiment peut être prédite avec une bonne précision et le bâtiment peut lui-même contrôler les conditions intérieures par des moyens passifs. Givoni réalise un couplage étroit entre l'extérieur et l'intérieur des bâtiments « de l'enveloppe contrôlée » à partir d'une variante de la « charte bioclimatique du bâtiment » qui prend en compte non seulement les conditions climatiques extérieures, mais aussi les conditions climatiques intérieures du bâtiment disponibles, pénétration de soleil à travers les fenêtres, la ventilation naturelle, et du transfert thermique à travers les murs et le toit. Son ouvrage classique *Man, climate and architecture* (1978), est considéré comme le volume ayant la plus grande référence dans le domaine de la construction en lien avec la climatologie.

⁹Martin, L. et L., March. *Built form and land use*. Cambridge Research. London.1966.

***Hassan Fathi :**

La vision d'Hassan Fathi de la maison idéale en climat chaud est très liée à l'architecture vernaculaire en se basant sur les phénomènes physiques dus à la transmission de chaleur et son évacuation, Il analyse la forme architecturale des bâtiments sous l'influence du climat, les interactions entre les techniques vernaculaires et l'ambiance thermique.

Il critique l'architecture contemporaine en mettant l'accent sur les outils d'adaptation aux rigueurs climatiques. L'exemple En Egypte, Irak, Inde et Pakistan à travers les loggias profondes et les larges balcons empêchent la pénétration directe de lumière du soleil, les fibres du bois des moucharabiehs forment un masque aux rayonnements directs sans empêcher la ventilation transversale. La toiture est plate permettant aux occupants de l'utiliser la nuit. Il décrit aussi comment avant l'ère industrielle les peuples du désert emploient des murs épais pour bien isoler la construction avec des petites ouvertures afin d'éviter l'éblouissement et les apports solaires directs.

Cette approche n'a pas négligé ni éliminé les facteurs culturels et sociaux, mais a les combinés avec les notions et les concepts de la thermique et de la climatologie pour défendre l'actualité de certains modèles vernaculaires afin de répondre aux enjeux de la crise de l'énergie. De plus, la réappropriation de ces techniques s'est inscrite dans le projet plus général d'une compréhension plus immédiate et plus riche des phénomènes thermiques.

On peut déduire que, la fonction des éléments en architecture peut alors être déduite du climat et de ses effets, bien que des facteurs culturels interviennent nécessairement. Le postulat à l'origine de l'étude bioclimatique de l'architecture vernaculaire est qu'un bâtiment doit fournir les conditions d'habitabilité par des moyens simples, au plus proche des normes culturelles de confort et faire face aux rigueurs climatiques.

***Georges Alexandrof et Jeanne Marie Alexandrof en 1923 :**

Fut l'un des pionniers de l'énergie solaire. Il enseigne déjà l'architecture solaire avec Jeanne Marie Alexandrof. Il réalise en 1973 le projet gîte étape en Tunisie avec Alain Liébard, son associé et ex président de l'observatoire des énergies renouvelables, ils ont exploré des champs qui étaient révolutionnaires pour l'époque : du chauffage eau sanitaire ou stockage inter saisonnier de l'énergie ainsi que l'électricité rurale.

Ces deux architectes de formation et particulièrement engagés dans les recherches sur l'énergie solaire, ils écrivent un rapport en 1978 pour le ministère de l'Équipement intitulé *Intégration des énergies naturelles à l'habitat* qui sera résumé et publié en 1982 sous le titre *Architectures et climats*. On trouve dans cet ouvrage de nombreuses références aux travaux américains évoqués précédemment. Dans lequel ils décrivent les différentes typologies de l'architecture vernaculaire dans tous les contextes climatiques du chaud au froid, du sec à humide. Ils s'intéressent plus particulièrement dans ce livre sur le Mègaron typologie d'habitats provenant de l'antiquité, dont on retrouve ses préceptes de la méditerranée jusqu'au la Syrie et Iran. Ils exposent ainsi les interactions entre les techniques bioclimatiques employées et les contraintes climatiques. Notamment la protection de l'habitat des rigueurs extérieur par l'introvertie à une cour central ainsi que la ventilation transversale et la masse thermique des matériaux.¹⁰

L'étude qu'ils mènent aborde les réalisations vernaculaires de toute l'Europe et de l'Afrique du Nord. Celles-ci sont analysées à partir de la prise en compte des énergies naturelles, qu'ils définissent comme l'ensemble des énergies issues du climat (rayonnement solaire, vent...) qui forment « l'écosystème » dans lequel une construction s'intègre. Ils étudient par exemple l'importance des cours intérieures dans les typologies d'habitats traditionnels d'Afrique du Nord, mettant en relation le mode de vie des habitants avec le « nomadisme interne » qui permet d'habiter une pièce en fonction de son exposition et de l'heure de la journée. Pour Georges et Jeanne-Marie Alexandroff, il y a un véritable enseignement de l'habitat vernaculaire : Dans l'optique bioclimatique, les leçons du passé sont profondes ; *(la lecture des architectures vernaculaires donne aux concepteurs des exemples d'implantation dans le site, de volumétrie générale et d'orientation qui sont directement transposables ; des choix de matériaux ; des jeux spatiaux modulant des relations variables avec les forces et contraintes du milieu naturel ; bref, un langage cohérent et riche dans ses applications)*.¹¹

Cet effort pour se réapproprier les éléments de l'architecture traditionnelle et vernaculaire est un enjeu central, cette volonté de puiser dans les constructions anciennes permet d'inscrire l'approche bioclimatique dans une certaine profondeur historique, à

¹⁰ Yusta Garcia, op. cit, p.

¹¹ Alexandroff G., Alexandroff J.-M. *Intégration des énergies naturelles à l'habitat*, 2 t. rapport pour le Plan Construction, ministère de l'Équipement, 1987, p136.

l'inverse des différents mouvements d'avant-garde en architecture qui s'appuient sur un rejet des formes de construction passées ; le problème consiste cependant à légitimer ces formes passées. Native et traditionnelle, cette approche, associée à une meilleure compréhension du comportement thermique des bâtiments anciens, a également incité de nombreux architectes à recycler certains éléments et choix techniques des bâtiments passés pour répondre à l'urgence induite par la crise énergétique.

Notant ainsi d'autres auteurs récents comme : Jean Louis Izard, Micheel Wasoof, Thierry Salomon et Claude Aubert.

***Izard :**

Il a consacré ses travaux aux relations climat, architecture, confort et énergie dans le contexte méditerranéen, auteur de l'ouvrage architecture d'été qui est une référence sur la construction en climat chaud, il propose une méthode basée sur l'influence des paramètres de conception architecturale dont les paramètres sont regroupés en six grandes groupes : Protection solaire (orientation, dimension des vitrages, masques, ombrage toits et murs, rideaux), la Ventilation : régime de ventilation, ouverture perméables, ventilation transversale et nocturne, L'inertie thermique : constante du temps, contact avec le sol, Isolation thermique et le refroidissement passif par l'eau et par rayonnement.

***Thierry Salomon et Claude Aubert :**

Spécialistes d'habitat de basse consommation et des solutions écologique en chauffage et rafraîchissement, ils publient l'ouvrage, fraîcheur sans climatisation paru en 2004, dans lequel ils proposent une série de solutions bien organisées par grands thème :

Protéger la maison du soleil (murs et toits végétalisés, effusivité des murs protections solaires.

Empêcher la chaleur de rentrer par isolation et gestion de l'air chaud rentrant.

Inertie thermique et apports de chaleur internes.

Aider le corps à lutter contre la chaleur par transpiration, vêtement, ameublement, hydratation.

Rafrâchir en ventilant par ventilation naturelle, brassage de l'air, ventilation nocturne, puits.

Rafrâchir par évaporation par brumisateurs, rafraîchisseurs adiabatiques et les fontaines.

Protéger les fenêtres du soleil recourant aux volets rideaux et film solaire

Empêcher la chaleur de rentrer, isolation et gestion de l'air chaud entrant

1.2. Quelques Technologies passives :

Le contrôle de la transmission du flux solaire selon les saisons de l'année peut également être réalisé à l'aide de dispositifs transparents adaptatifs présentant deux modes de fonctionnement : l'un pour l'été et l'autre pour l'hiver, le changement entre les deux pouvant être contrôlé par l'habitant lui-même.

1.2.1. Fenêtre réversible :

C'est le cas notamment de la fenêtre réversible théoriquement présentée par Feuermann et Novoplansky en 1998 et expérimentalement réalisée et testée par Etzion et Erell en 2000 et 2004¹². Il s'agit d'une fenêtre double-vitrage au sein de laquelle sont placés deux autres vitrages : un verre clair et un verre teinté, la lame d'air entre les deux étant ventilée sous le mode « rideau d'air », les deux ouvertures étant placées du même côté. En été, le verre teinté est placé à l'extérieur et la lame d'air est en mode rideau d'air extérieur, ce qui tend à rafraîchir le verre clair intérieur. En hiver, c'est le verre clair qui est placé à l'extérieur pour laisser passer les rayons solaires et ainsi réchauffer le rideau d'air intérieur.

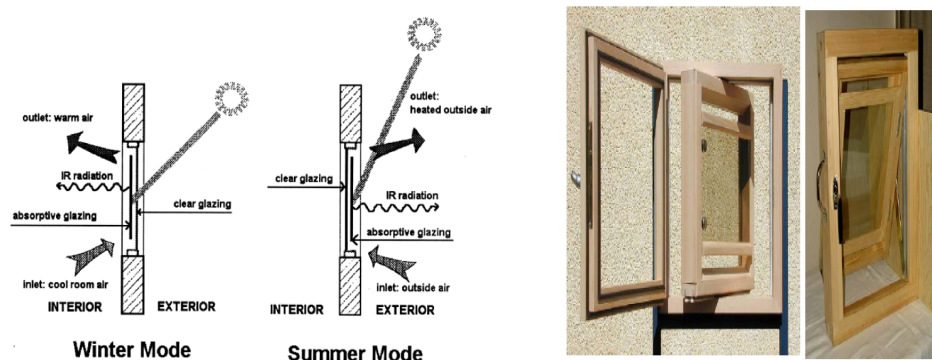


Figure.03 : Mode de fonctionnement hivernal et estival de la fenêtre réversible.¹³

1.2.2. Fenêtre liquide :

Un autre exemple de fenêtre adaptative est proposé par Carbonari¹⁴, le comportement réversible est assuré par la présence ou l'absence d'un liquide absorbant dans le vitrage. Cette fenêtre est constituée d'un double-vitrage classique auquel on juxtapose un simple-vitrage, venant ainsi créer une fine lame d'air (1,5mm environ) qui peut se remplir d'un liquide

¹² Feuermann, D. Novoplansky, A. Reversible low solar heat gain windows for energy savings. Solar Energy, 1998, 62(3):169 – 175.

¹³ Etzion, Y. Erell, E. Controlling the transmission of radiant energy through windows: a novel ventilated reversible glazing system. Building and Environment, 2000, 35(5):433– 444.

¹⁴ Carbonari, A., Fioretti, R., Naticchia, B. et Principi, P. Experimental estimation of the solar properties of a switchable liquid shading system for glazed facades. Energy and Buildings, 2012, 45(0):299 – 310.

absorbant pour réduire les apports solaires en été. Un réservoir placé sous la fenêtre permet de stocker le liquide l'hiver lorsque les gains solaires sont désirés, et alimente le vitrage à l'aide d'une pompe. Un grand soin doit être apporté à la mise au point du liquide afin que le frottement sur le verre soit presque inexistant lors de la vidange. Le dispositif a été testé pendant une saison estivale et les performances du liquide n'ont pas été altérées permettant ainsi une réduction du facteur solaire par rapport à un double vitrage standard.

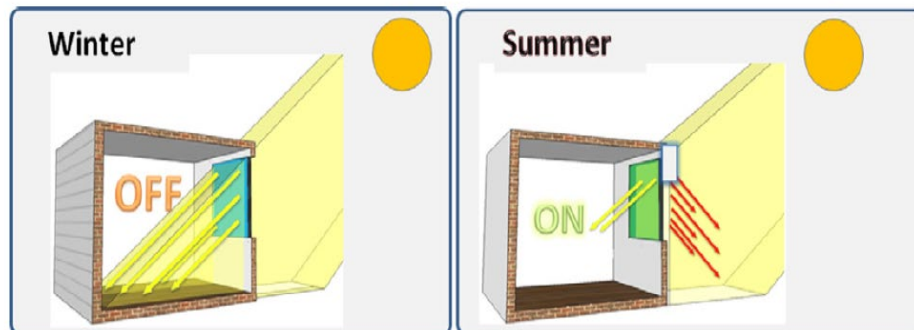


Figure.04 : Modes de fonctionnement en hiver et en été de la fenêtre liquide.

1.2.3. Les Murs capteurs :

La principale problématique à laquelle répondent tous ces projets est la récupération des apports solaires d'hiver et leur stockage pour une utilisation nocturne. Les solutions trouvées, sont alors une combinaison d'apports directs et de systèmes capteurs et accumulateurs permettant un déphasage. Différentes techniques sont expérimentées : la façade sud entièrement vitrée avec mur lourd capteur et déphaseur, la ventilation naturelle par effet cheminée, les capteurs à eau, la serre, le mur Trombe. Le mur d'eau, figure.05 a été également utilisé par Steve Baer dans sa résidence à Corrales au Mexique en 1971, comme moyen d'accumuler de la chaleur et de la restituer à l'intérieur. Il est constitué dans ce cas précis d'un empilement de fûts métalliques horizontaux remplis d'eau devant lequel est disposé un simple-vitrage. La face extérieure des fûts est absorbante et une paroi amovible est placée au sol durant la journée pour réfléchir les apports solaires vers les fûts, et placée contre le mur durant la nuit pour conserver la chaleur à l'intérieur du bâtiment.



Figure.05 : Mur capteur à eau de Steve Baer en Mexique, 1971.

1.2.4. L'isolation comme solution d'urgence face à la crise :

Le choc pétrolier de 1974 et la crise énergétique qui s'ensuit impriment une pression sans précédent sur les prix de l'énergie et conduisent les pouvoirs publics à initier une politique de réduction des consommations énergétiques, notamment dans le secteur du bâtiment où les gisements potentiels d'économie d'énergie sont repérés comme très importants. Plusieurs réglementations¹⁵ ont été imposées mais globalement l'application de ces réglementations thermiques se traduit par le recours systématique à l'isolation et dans le secteur résidentiel à une ventilation plus efficace.

1.2.5. Les matériaux à changement de phase ; Phase change matériels (PCM) :

Les PCM furent utilisés dans des prototypes de maisons au Solar Decathlon de l'équipe canadienne en 2005, allemand en 2007 et l'espagnol en 2010, comme un élément constructif capable d'ajouter une grande inertie thermique grâce à une masse constructive faible de PMC. Les résultats montrent un déphasage de l'arrivée de l'onde de chaleur ainsi qu'une grande capacité à stocker de la chaleur ou de la fraîcheur en fonction des besoins. Ce type de démarche est intéressante pour des constructions légères et très peu compactes, avec un ratio façade-volume habité très élevé. Le système se prête aussi bien à être utilisé en climat chaud que froid figure, 06 ; si les températures extérieures arrivent à un moment donné à rentrer dans le fuseau de confort.¹⁶

¹⁵ Lou chesné, op. cit, p 110.

¹⁶ Yusta Garcia, op. cit, p 26.

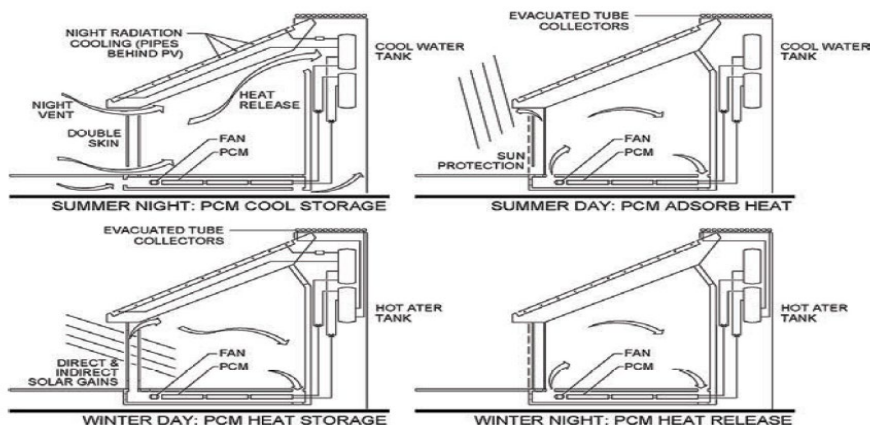


Figure.06 : stratégies possibles de réduction de la consommation énergétique avec des PMC.¹⁷

1.3. Les méthodes de conception en climat chaud à partir de modélisation des zones de confort hygrothermique : outils d'analyse.

1.3.1. Le diagramme de Givoni :

Le diagramme bioclimatique de Givoni en 1979 est un outil d'aide à la décision globale du projet bioclimatique permettant d'établir le degré de nécessité, et la typologie des grandes options telles que l'inertie thermique, la ventilation généralisée, le refroidissement par évaporation, plus le chauffage ou la climatisation.

Le diagramme bioclimatique n'est pas un outil de dimensionnement précis du projet, comme des outils de simulation numériques mais il constitue bien un guide pour aider l'architecte et l'ingénieur à prendre les bonnes décisions en phase esquisse. Sous réserve que les conditions du confort hygrothermique soient bien celles relatives à l'activité, à la tenue vestimentaire et à la culture des futurs occupants du bâtiment, Il peut être utilisé indifféremment en climat tempéré, chaud ou tropical. Étant universel, Il a un caractère local par la superposition d'un profil hygrothermique d'une journée type de la station météorologique représentative du site de construction du projet. Les possibilités sont multiples : une journée froide d'hiver, une journée chaude d'été, une journée ensoleillée, une journée sans soleil, une journée ventée pour les périodes d'été, il est intéressant d'utiliser le profil moyen des Cinq jours consécutif les plus chauds, de manière à voir quelles sont les solutions architecturales susceptibles de couvrir les risques liés à cette probabilité météorologique de dépassement. Certains logiciels utilisent ce diagramme pour établir les stratégies de conception.

¹⁷ ibid, p 26.

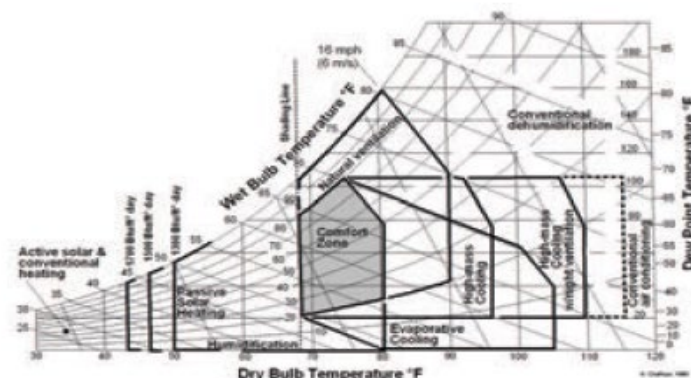


Figure.07 : charte psychrométrique et plage de confort proposé par Givoni pour classification du climat d'un site.

1.3.2. Les tableaux d'Olgay :

Largement connue pour sa proposition de méthode basée sur la graphique dite diagramme d'Olgay ou il propose une approche simple à la question de la stratégie bioclimatique. Il a été chronologiquement le premier qui a approfondi la notion de confort thermique. La méthode assume que le confort thermique ne peut être estimé à partir du seul paramètre température, mais fait intervenir plusieurs facteurs en interaction tel que : l'humidité et vitesse de l'air et l'humidité. Cependant pour mettre en relation les quatre variables majeurs, Olgay propose un diagramme bioclimatique de base et une zone de confort extensible qui est variable en fonction de la prédominance de certains facteurs. En effet, une sensation de confort peut être ressentie si les pertes de chaleur du corps humain sont compensées par le rayonnement solaire. En dessous de 21°C une perte de 0.56°C en température ambiante peut être composée par une augmentation de 0.45°C de température radiante.

En outre en climat chaud, le diagramme montre que la zone de confort peut être étendue en incluant deux facteurs clef pour le confort en climat chaud : le vent et le refroidissement adiabatique. Ainsi pour des plages d'inconfort due à une humidité trop importante, la solution d'augmenter la vitesse de l'air jusqu'au 3.5m/s est envisagée, et par ailleurs, la solution de refroidissement adiabatique est proposée sous des conditions d'humidité relative basse dans des plages de d'inconfort dues aux températures élevées. Globalement, il est difficile à appliquer et très limité dans des conditions intérieures ou la température intérieure et le métabolisme ont une influence importante sur le confort ressenti.

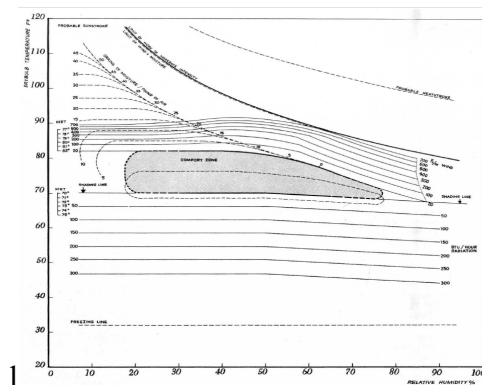


Figure.08 : Charte bioclimatique d'Olgyay.¹⁸

1.3.3. Les tableaux de Mahoney :

La contribution la plus notable à l'architecture bioclimatique fut le livre manuel for the thermal design of housing édité par les nations unies en 1969. Dans ce manuel il propose une méthode de conception appelée les tables de Mahoney dans lesquelles une approche d'aide à la conception est développée en fonction des températures mensuelles moyennes, maximales et minimales, ainsi que par rapport à l'humidité relative. Cette classification permet de nous orienter sur des choix de conception très spécifiques.

1.4. Facteurs influant la conception bioclimatique :

1.4.1. Les données climatiques et éléments du microclimat :

Les paramètres définissant le climat d'un territoire particulier sont : l'ensoleillement, la température, l'humidité, le vent et les précipitations, il permet de définir les zonages dit microclimatiques.¹⁹ Cependant la présence de certains éléments naturels ou artificiels dans une même zone microclimatique peut engendrer des différences considérables d'où l'existence de sous zones climatiques : micro climat. Parmi ces éléments on distingue : la topographie, l'altitude, la turbidité (climat urbain, îlot de chaleur, couverture nuageuse), le couvert végétal forêt, les étendues d'eau, obstacles aux vents et causant ombrage, la nature du sol (terre, végétal, revêtement).

¹⁸ Olgyay 1963, op. cit p.22

¹⁹ Belakhal Azeddine Micro climat et architecture bioclimatique contemporaine référence aux milieux arides a climat chaud et sec, Colloque sur l'héliotherme, l'environnement et les systèmes solaires, Chems 2000, p 20.

Il n'y a pas de conception dite bioclimatique sans une connaissance rigoureuse des données climatiques locales du projet considéré. Le degré de caractérisation locale d'un climat peut varier en subtilité, selon le zonage climatique et le nombre de stations de mesures disponibles dans un pays donné. Il s'agit de bien connaître l'évolution des données classiques de température sèche de l'air, de l'humidité et donc des variables associées importantes comme la température humide ou la température de rosée, la vitesse et direction du vent, le rayonnement solaire direct et diffus et la pluviométrie. De plus, indirectement défini par les variables décrites ci-dessus, la température du sol au contact du bâtiment est également une condition limite importante à estimer correctement. Enfin, en parallèle des données de rayonnement solaire, les données de luminosité extérieure sont également importantes pour évaluer l'éclairement naturel dans les locaux.

Il existe deux types fondamentaux de données climatiques : les données dites représentatives, généralement pour une période trentenaire, et dérivées de mesures et d'algorithmes. Et puis il y a les séries de données mesurées sur une certaine période de temps. L'usage de ces deux formats est différent. Les données représentatives sont utilisées en conception et par suite pour réaliser des estimations de besoins, consommation et confort. Les données mesurées peuvent être utilisées dans le cadre d'un contrat de performance énergétique avec protocole strict de mesure et vérification.

1.4.2. Sources et présentation des données :²⁰

Les données climatiques sont aussi caractérisées par leur fiabilité, la notion de source de la base de données climatique utilisée est cruciale selon nombreuses bases de données par pays existent. Parmi les sources de données internationales considérées comme fiables, on peut citer IWEC (International Weather for Energy Calculations) ou SWERA (Solar and Wind Energy Resource Assessment). La base de données suisse METEONORM, basée sur 8 000 stations réparties sur la planète, représente une bonne compilation des données météo.

Cependant, ces données sont disponibles sous forme de séries horaires, quotidiennes, mensuelles et annuelles et présentent diverses statistiques utiles pour caractériser le climat. Les données climatiques peuvent être présentées sous diverses formes dont les plus classiques

²⁰ Les guides bio-tech. Confort d'été passif, arène (expertise et ressources pour un développement durable).

sont : diagramme chronologique (graphique), tableaux, histogrammes, courbes de fréquences cumulées, cartographie.

1.4.3. Matériaux et inertie thermique :

L'inertie thermique est un élément important dans la conception bioclimatique car la réponse du bâtiment face aux sollicitations dépend en grande partie des propriétés thermiques des matériaux qui le constituent. Cependant, dans un climat à forte amplitude thermique jour-nuit, il faut recourir à des parois (murs et planchers) ayant une bonne inertie thermique permet de différer l'onde de chaleur qui va pénétrer dans le bâtiment au cours de la journée, et donc de se protéger de la chaleur pendant les heures les plus chaudes.

Si les épaisseurs des parois sont telles que l'onde thermique atteigne les faces intérieures la nuit (cas des dalles de toiture en béton), il sera nécessaire d'assurer une très bonne ventilation nocturne pour évacuer cette chaleur restituée à l'intérieur du bâtiment. Si toutefois en journée l'inertie ne suffit pas à assurer le confort, on peut ajouter des brasseurs d'air pour procurer une sensation de rafraîchissement (sans ouvrir les fenêtres) par stimulation de l'évapotranspiration sur la peau. Pour les bâtiments utilisés jour et nuit, il est possible également que malgré la ventilation nocturne, il y ait une surchauffe dans le bâtiment : dans ce cas, des espaces extérieurs peuvent être prévus pour le sommeil.²¹

A titre d'exemple, Les propriétés particulières de la terre crue et son emploi dans des constructions aux murs épais dans les climats chauds et secs permettent de mettre en valeur l'inertie thermique d'une construction, c'est-à-dire sa capacité à absorber une grande quantité de chaleur pendant les périodes d'ensoleillement pour ensuite la restituer progressivement au moment où l'atmosphère se refroidit.

En effet, l'importance de l'inertie thermique dans les constructions des climats chauds et secs a été étudiée par certains architectes et thermiciens se revendiquant de la conception bioclimatique. C'est le cas de l'architecte Jean-Louis Izard, auteur en 1979 d'un traité sur l'architecture bioclimatique intitulé *Archi-bio*, qui a collaboré avec François-Marie Camia, thermicien au CNRS, il explique ses recherches sur l'inertie thermique par la volonté de

²¹ Thierry Joffroy, Arnaud Misse, Robert Celaire, Lalaina Rakotomalala. Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal. 2017. p 24.

reconstituer un savoir des phénomènes thermiques qui était implicitement connu par des générations de constructeurs Lors d'un colloque à Lyon en 1976 :

*Jusqu'à la génération actuelle, la tradition fondée sur l'expérience séculaire donnait des règles de solution très valables, qui dispensaient de tout calcul difficile l'homme de l'art, de sorte que celui-ci pouvait se consacrer à une recherche principalement formelle, avec pour fil conducteur des règles et des conceptions traditionnelles.*²²

La capacité des murs extérieurs et de la toiture des constructions vernaculaires à tempérer le rayonnement solaire dans les régions où l'ensoleillement est important a été particulièrement étudiée par les architectes bioclimatiques et plus généralement par les architectes construisant dans les régions désertiques. L'exemple de Hassan Fathy, qui est connu pour la construction du nouveau village de Gourni entièrement réalisé en briques de terre crue selon une technique traditionnelle. Dans le célèbre ouvrage Construire avec le peuple, traduit en français en 1970 et consacré à la construction de ce village, Hassan Fathy justifie le choix de la brique de terre crue par le climat dans lequel le village devait s'implanter :

*Le climat de la Haute-Égypte est caractéristique des zones chaudes et arides, avec une grande différence de température entre le jour et la nuit. Ainsi toute surface directement exposée au soleil comme le sol, les murs ou le toit des maisons absorbe énormément de chaleur dans la journée et doit libérer cette chaleur pendant la nuit. C'est pourquoi dans cette région le confort des gens à l'intérieur des bâtiments dépend beaucoup des propriétés thermiques des murs et du toit. Les matériaux non conducteurs de chaleur sont les meilleurs*²³.

Dans le même contexte : L'étude sur l'inertie thermique menée par Camia vise indirectement à revaloriser les techniques de construction vernaculaire des climats chauds et secs, présentant une inertie importante grâce à l'emploi d'une grande quantité de matériaux dans les parois (terre ou pierre), à l'inverse des constructions légères très sensibles aux variations de température. « C'est par une combinaison judicieuse de la résistance thermique

²² Camia F.-M. Pour une meilleure compréhension des échanges thermiques entre un bâtiment et son environnement », VII-1-VII-2, compte-rendu d'une communication réalisée dans le cadre du colloque Les échanges thermiques entre un bâtiment et son environnement à Lyon organisé par la Société française de thermique, avril 1976, p. VIII.1.

²³ Hassan fathi, construire avec le peuple, Paris : Sindbad Actes Sud Martineau, 1970.p

et de la capacité [thermique] que les bâtiments traditionnels arrivent à donner une sensation de fraîcheur en été et de tiédeur en hiver. ²⁴

Propriétés thermiques des matériaux Diffusivité thermique :

Selon les capacités des matériaux à stocker et à véhiculer la chaleur, le bâtiment réagira différemment, d'où le problème couplé de la conductivité et de la résistance thermique, ce qui conduit à l'introduction des deux notions de diffusivité et d'effusivité. (L'inertie thermique est la capacité physique d'un matériau à conserver sa température).

La propagation de la chaleur dans un matériau dépend de sa diffusivité thermique, qui est le rapport de la conductivité thermique λ en W/(m.K) sur la capacité calorifique volumique :

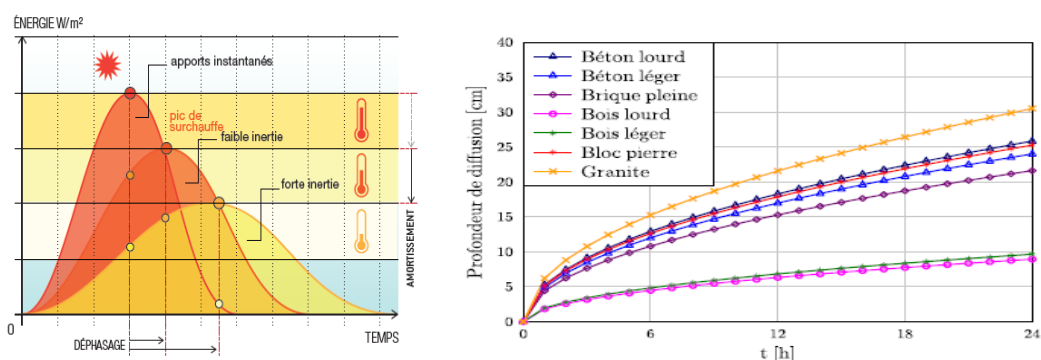


Figure.09 : Propagation de la chaleur pour différents matériaux en fonction du temps de diffusion.

1.5.Clé génératrice de la conception efficace

1.5.1. L'Intégration au site :

L'intégration du bâtiment dans son environnement est le premier principe dans une conception intelligente, il est indispensable d'avoir une parfaite connaissance des ressources de l'environnement, et plus particulièrement de leur utilité au regard des besoins du bâtiment (vents dominants, de la radiation solaire incidente et des masques solaires voisins, des risques d'inondations, de la végétation environnante et des objectifs de confort). C'est la combinaison de ces deux aspects qui peut permettre de quantifier l'utilité de l'environnement et sa qualité énergétique. A titre d'exemple les masques proches qui font partie intégrante du bâtiment, sont en générale intégrés à celui-ci pour lutter contre les problèmes de surchauffe et d'éblouissement.

²⁴ Camia F.-M. Pour une meilleure compréhension des échanges thermiques entre un bâtiment et son environnement, VII-1-VII-2, compte-rendu d'une communication réalisée dans le cadre du colloque Les échanges thermiques entre un bâtiment et son environnement à Lyon organisé par la Société française de thermique, du 6 au 8 avril 1976, p. VIII.4.

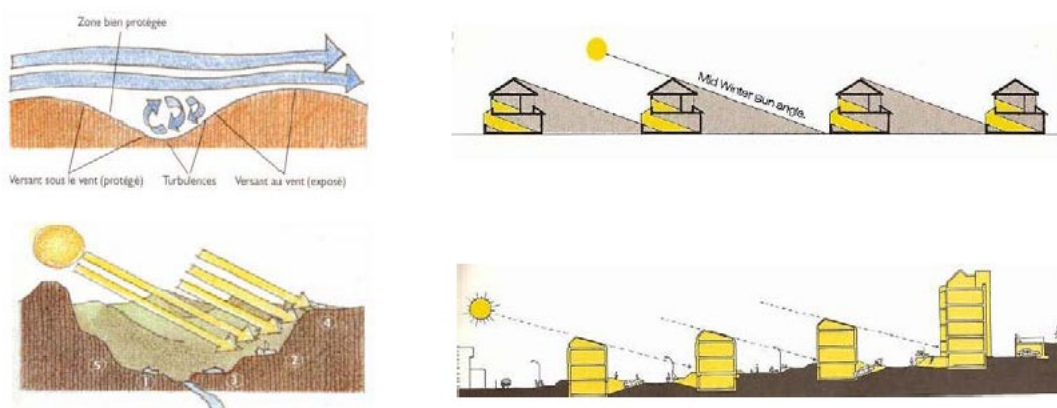


Figure.10 : l'apport solaire passif pourra être capté au maximum. Vent dominant – Masque solaire du relief – ombres portées.

La topographie, et notamment l'altitude, influence la température, l'humidité de l'air et la pression atmosphérique. Dans une zone climatique donnée, les zones d'altitude élevées sont plus fraîches que les zones de plus basse altitude. La température baisse d'environ 1 °C tous les 150 m de gain d'altitude.²⁵ Par contre dans les environnements urbains denses ou semi-denses, la température peut localement être plus élevée que dans les zones rurales voisines, en raison de la nature des matériaux utilisés qui absorbent davantage le rayonnement solaire que le milieu naturel, de la faible densité de végétation, de la moindre évacuation par le vent de la chaleur accumulée et enfin des activités humaines (transport automobile, usines, etc.). Cette chaleur est en effet captée et stockée notamment par les surfaces sombres et à forte inertie thermique telles que le bitume des voiries.

Ce phénomène est appelé effet d'Ilot de Chaleur Urbain (ou ICU) ; lors des périodes à faible régime éolien et à fort ensoleillement, l'ICU conduit à des élévations des températures moyennes en ville de plusieurs degrés, avec des maxima diurnes pouvant dépasser 5° ou 6°C.²⁶ Ceux-ci contribuent de manière significative au réchauffement en ajoutant au bilan thermique global l'énergie dégagée par les compresseurs. Ainsi, plus la climatisation se développe, plus la ville s'échauffe, et plus les besoins en climatisation augmentent.

²⁵ Thierry Joffroy, Arnaud Misse, Robert Celaire, Lalaina Rakotomalala. Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal. 2017. p13.

²⁶ Thierry Joffroy, op.cit.p16.

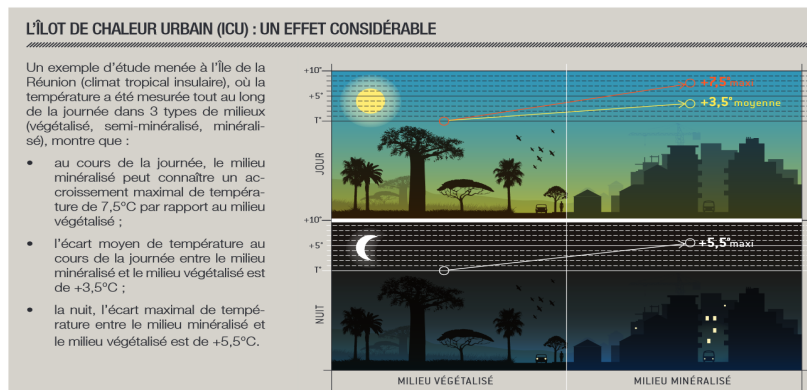


Figure.11 : Effet de l'îlot de chaleur, Les températures annuelles moyennes peuvent varier de 1,5°C entre le centre-ville et les campagnes environnantes.²⁷

1.5.2. L'orientation du bâtiment :

Le soleil est souvent recherché l'hiver alors qu'on essaye de s'en protéger l'été ; en hiver, la course du soleil est limitée et seules les façades orientées au Sud apportent un complément solaire significatif par rapport aux besoins de chauffage. L'été, la course du soleil est beaucoup plus longue et plus haute. Les façades Est et Ouest font l'objet de surchauffe et devront être équipées de dispositifs de protection. Il est préférable pour le logement quand cela est possible, une orientation Nord/Sud (c'est-à-dire qui offre une plus grande façade au sud), car cette orientation est la plus passivement profitable et donne le meilleur compromis entre apports de chaleur et apports lumineux en toute saison (apports solaires d'hiver facilement maîtrisables l'été). Cette orientation optimale peut varier notablement pour améliorer la ventilation naturelle en recherchant une exposition plus efficace aux vents dominants. Elle peut également varier légèrement pour rechercher par exemple, dans certaines zones climatiques, un léger apport solaire pour les soirées les plus froides (+22° de rotation au sud-est). Les expositions plein- Est et plein-Ouest nécessitent des protections solaires en été, difficilement compatibles avec les apports lumineux. Veiller à éviter une mono-exposition nord des logements en privilégiant les bâtiments traversant (accès à deux façades opposées) ou bi-orientés.

²⁷ Jhonny Gamboa, op.cit, p19.

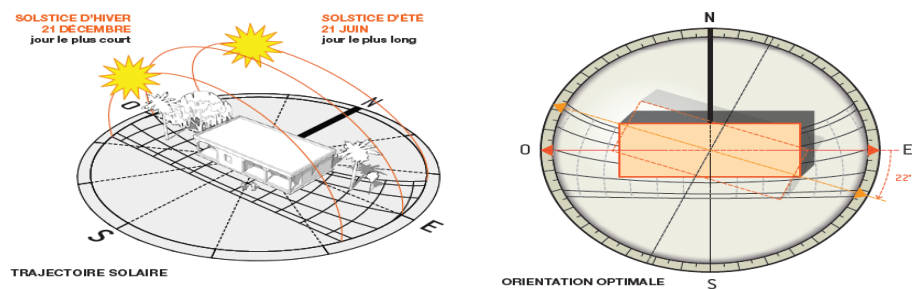


Figure.12 : trajectoire solaire et orientation optimale.

Après la toiture, les parois Est et Ouest de la construction sont les plus directement impactées par le rayonnement solaire. En effet, le matin et le soir, le soleil est bas sur l'horizon, le rayonnement est alors quasiment perpendiculaire à la surface des murs. La partie ouest est généralement une zone où l'inconfort généré par l'exposition solaire est important. En effet, celle-ci entraîne une surchauffe en fin d'après-midi, alors que la température à l'intérieur de la construction a augmenté régulièrement tout au long de la journée.

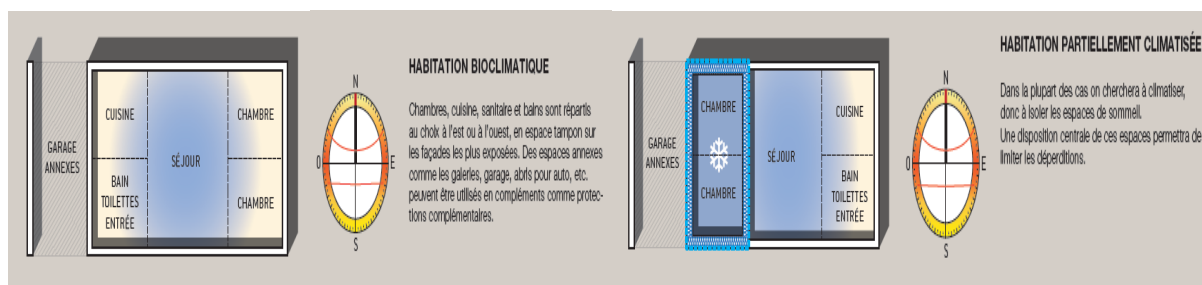


Figure.13 : effet d'orientation de bâtiment

Cependant, les traités d'architecture bioclimatique ²⁸ prennent généralement en compte ces deux dimensions, en orientant le bâtiment en fonction de l'ensoleillement moyen et des vents dominants. Ils proposent par exemple d'organiser les pièces d'un logement suivant leur fonction et le moment de la journée pendant lequel elles vont être occupées. En adaptant également la taille des parois vitrées, ces traités permettent ainsi d'utiliser la course du soleil et donc d'optimiser les apports solaires directs. *Dans l'hémisphère nord, on considère donc que les pièces de vie, telles que le séjour et la cuisine doivent être orientés plutôt au sud (ou à l'est, ou à l'ouest), tandis que l'on peut prévoir des espaces tampons*

²⁸ NICOLAS, F. et VAYE, M. Pour une approche bioclimatique de l'architecture : rapport final. Rapport technique, Ministère de l'environnement et du cadre de vie. Direction de l'architecture. Comité de la recherche et du développement en architecture.1987.

(comme les sanitaires ou le garage) le long de la façade nord qui reçoit moins de soleil que les autres orientations.²⁹

1.5.3. Compacité du bâtiment :³⁰

La compacité permet de limiter les surfaces de déperdition et d'expansion intensive aux rayons de soleil. Le concept utilisé en climat désertique où une cour intérieure (totalement ouverte) est souhaitable, l'objectif étant de créer le plus d'ombre possible, cette disposition s'avère plus efficace dans le cas des logements groupés

Ainsi, la réduction des décrochés de façades et l'optimisation de la compacité du bâtiment sont les clés de la réussite d'un projet sur le plan énergétique. En effet, les pertes de chaleur sont en fonction de la surface des parois en contact avec l'extérieur ou avec le sol : Les pertes sont donc d'autant plus réduites que ces surfaces sont optimisées par rapport au volume habitable. Il est cependant important de savoir, lors de la conception d'une habitation, que toute diminution de la compacité génère automatiquement des consommations d'énergie et des coûts d'investissement plus élevés.

Par contre, un bâtiment découpé ou bien étalé nécessitera un effort particulier pour bien isoler l'ensemble des décrochements et coupes, car ils représenteront une part non négligeable dans les déperditions et les points faibles pour l'étanchéité à l'air, le traitement de certains ponts thermiques pourra s'avérer difficile ou impossible.

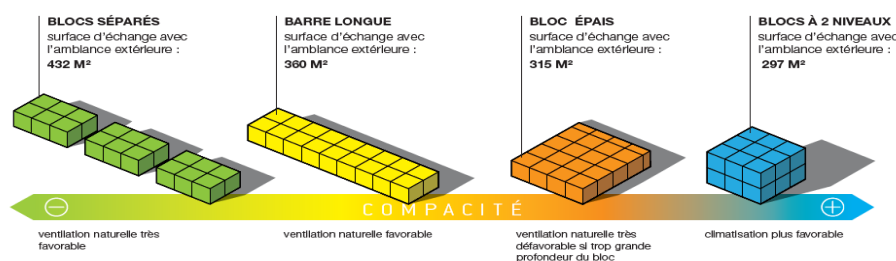


Figure.14 : diverses dispositions des bâtiments.

1.5.4. L'enterrement partiel :

Le fait d'enterrer le bâtiment ou une de ses façades réduit l'exposition solaire et améliore l'ambiance intérieur (température du sol = moyenne annuelle extérieure qui est en

²⁹ Lou Chesné. Op. cit, p04.

³⁰ Boursas Abderrahmane, étude de l'efficacité énergétique d'un bâtiment d'habitation à l'aide d'un logiciel de simulation, magistère en génie climatique, université de Constantine. 2013. p70.

général dans la zone de confort). Réduit également la dissipation de chaleur depuis le bâtiment vers l'extérieur.

1.5.5. La végétalisation des espaces extérieurs et abords :

La végétation autour des abords du bâtiment agit de manière bénéfique sur l'ambiance thermique environnante : elle assure l'ombrage des murs, dont la qualité dépend de la densité de la verdure (celui-ci peut arrêter de 60% à 90% du rayonnement solaire). L'écran végétal sert à rafraîchir l'air ambiant par l'évaporation de l'eau contenu dans les feuilles elle sert ainsi à protéger la construction des poussières transportées sous l'effet de vent.

1.5.6. La conception hivernale et estivale

Le confort d'hiver répond la stratégie du chaud : capter la chaleur du rayonnement solaire et à la transformer en chaleur, la stocker dans la masse, ce stockage a lieu au sein de chaque matériau suivant sa capacité d'accumulation et permet ainsi d'absorber la chaleur et d'atténuer les fluctuations de température, la conserver par le moyen d'isolation et la distribuer dans le bâtiment soit naturellement ou la chaleur accumulée par les matériaux est restituée dans l'air par convection et rayonnement ou bien par thermorégulation à l'aide d'un circuit de ventilation forcée.³¹

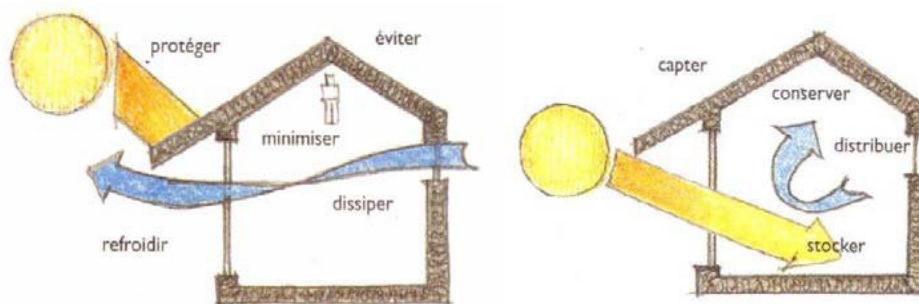


Figure.15 : stratégie hivernale et estivale.

1.5.7. La ventilation naturelle :

La ventilation naturelle est provoquée par une différence de température ou de pression entre les façades d'un bâtiment. Les écoulements d'air permettent d'évacuer les charges thermiques du bâtiment. Différents dispositifs permettent d'optimiser la ventilation naturelle : évaluer le potentiel de ventilation en fonction du site, exposer les façades aux vents dominants des mois les plus chauds, éloigner le bâti des obstacles à l'écoulement du vent,

³¹ Alain Liébard, André De Herde, Traité d'architecture et urbanisme bioclimatique, le moniteur, 2005, p31a.

protéger l'abord et l'enveloppe du bâti des rayonnements solaires, dimensionner les ouvertures et les dispositifs qui favorisent les écoulements d'air à l'intérieur, anticiper l'aménagement intérieur afin que les circulations d'air soient canalisées avec un minimum de frottements.

En climat chaud, pour dissiper la chaleur les procédés de rafraîchissement passifs se résument à l'utilisation de : toiture et murs doubles ainsi qu'une répartition spatiale intérieure judicieuse pour la ventilation naturelle, les surfaces d'eau bassin, fontaines en vue d'un rafraîchissement par évaporation, tunnel ou conduites souterraines pour un rafraîchissement par convection, toiture avec bacs remplis d'eau et protégés par une isolation mobile pour profiter du rayonnement nocturne en été, bâtiment ou espaces semi enterrés ou enterrés.

***En plan :**

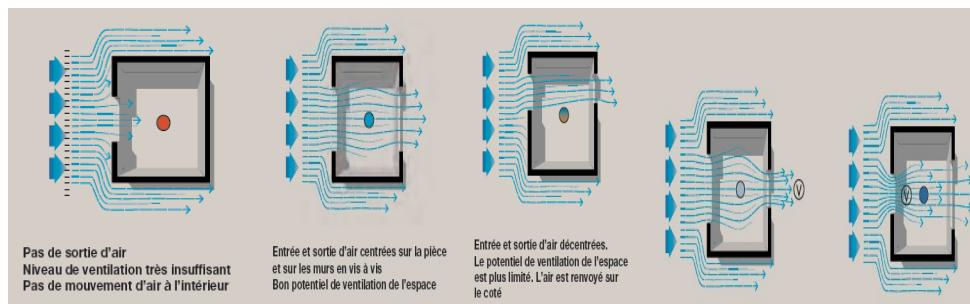


Figure.16 : Ventilation naturelle influencée par le positionnement des ouvertures /en plan.

***En élévation :**

C'est la position de l'entrée d'air qui est déterminante dans la qualité de la ventilation. La position de la sortie influence peu le flux interne. Si l'entrée est bien positionnée, par exemple assez basse, le flux est alors dirigé vers le bas et la ventilation est efficace.

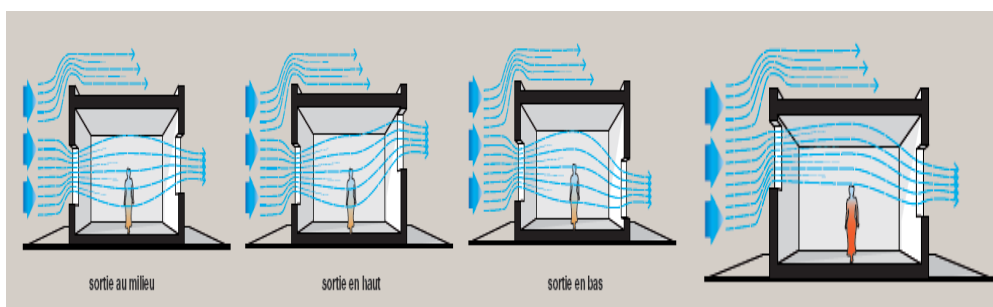


Figure. 17 : position des ouvertures par rapport au chemin de ventilation.

Si l'entrée d'air est en position haute, le flux est dirigé vers le plafond et par conséquent la ventilation n'est pas bonne.

1.5.8. La ventilation du toit : ³²

La ventilation d'une toiture évacue une grande part des charges thermiques de l'ensoleillement. Elle permet donc d'améliorer le confort de l'habitation. Ce principe de protection adaptés au climat chaud implique que la totalité des ouvertures de combles soit au moins 15% de la totale de la surface du toit. Les toitures ventilées sont des solutions à préconiser à chaque fois que le potentiel de vent est suffisant. la toiture transmet jusqu'aux 2/3 des transferts de chaleur de l'enveloppe vers l'intérieur du bâtiment .il existe trois voies complémentaire la ventilation des combles ; les surfaces réfléchissantes et les matériaux isolants. En effet, la toiture terrasse constituée d'une couche d'étanchéité de couleur clair et de 5 cm d'isolation sur une dalle de béton d'une épaisseur de 10 cm a tendance à emmagasiner la chaleur la journée et la restituer la nuit, cette solution est donc à préconiser en climat chaud et sec.

***Le facteur de transmission solaire de la toiture :³³**

Le facteur de transmission solaire d'une paroi est le ratio entre la chaleur transmise à travers cette paroi à l'intérieur du local et l'énergie solaire reçue sur la face extérieure de cette paroi au cours de la journée. Ce facteur permet donc de caractériser la capacité d'une paroi à plus ou moins transmettre le rayonnement solaire dans le bâtiment. Il est formulé de la manière suivante :

$$F_{ts} = 0,05 \times \frac{\alpha}{R + 0,22}$$

α : coefficient d'absorption de la paroi dépendant de la teinte du mur.

R : résistance thermique de la paroi en m². °C/W.

Pour minimiser la transmission du rayonnement solaire à l'intérieur du bâtiment on cherchera à avoir un faible facteur de transmission solaire au niveau de la toiture. Cela peut être obtenu : en privilégiant des teintes claires qui absorbent peu le rayonnement solaire ; en utilisant des matériaux isolants pour augmenter la résistance thermique de la paroi. Le diagramme ci-dessus permet de noter que plus l'épaisseur d'isolant augmente, moins le facteur solaire influe. Plus le coefficient d'absorption diminue et plus la toiture est performante en termes de protection solaire.

³² Alain Liébard, André De Herde, op. cit, p173a.

³³ Thierry Joffroy, op, cit. p 38.

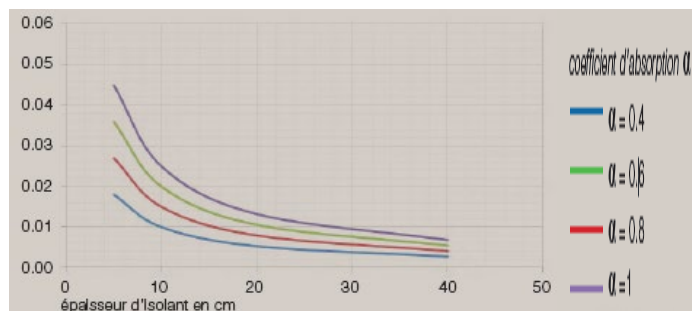


Figure.18 : Facteur de transmission solaire d'une toiture suivant son coefficient d'absorption (sa couleur) et suivant son épaisseur d'isolant (panneaux de typha).

*Les protections solaires au niveau des toitures :

C'est la toiture qui transmet le plus de chaleur dans le bâtiment, donc pour une bonne conception thermique et énergétique, il est essentiel et prioritaire d'assurer une protection solaire efficace en toiture. D'un point de vue pratique, la minimisation des apports solaires par la toiture peut être réalisée en privilégiant un revêtement de teinte claire ; en s'assurant d'une bonne ventilation en sous toiture (combles ventilés ou sur-toiture ventilée) en isolant thermiquement la toiture.



Figure.19 : Toiture avec combles ventilés – Ecole primaire à Gangouroubouro, Mali.¹

Pour synthétiser, l'ensemble de ses facteurs permettent la création d'un microclimat, l'action de ces paramètres a fait l'objet de traduction spatiale en diverses techniques et stratégies appartenant au répertoire des concepts bioclimatique vernaculaire et solaire passif contemporain (rafraîchissement naturel et passif).

2. L'architecture vernaculaire, source d'inspiration pour l'habitat de demain ; apport du vernaculaire dans les pratiques architecturales contemporaines :

Les études sur le domaine d'architecture vernaculaire intéressent de plus en plus les chercheurs et les concepteurs soit par le biais des publications scientifiques, des actes de conférences et même par des réalisations concrètes. Cette réflexion contemporaine liée aux préceptes des savoirs vernaculaires se base sur la prise en charge de l'environnement et son rapport direct à l'homme. En effet, le mode de vie et l'architecture actuelle sont aujourd'hui les principales sources énergivores vues la conception inadaptée aux différents contextes climatiques, s'ajoute l'utilisation des matériaux d'usage récent comme le béton, le verre ou encore l'asphalte pour les espaces extérieurs ; or ces derniers ne sont pas adaptés aux fortes chaleurs. Le verre par exemple réfléchit le rayonnement solaire vers l'espace environnant, ce qui crée des îlots de chaleur, avec un risque d'effet de serre à l'intérieur des logements. De l'extérieur l'asphalte de sa part absorbe une grande partie du rayonnement solaire, qu'il transforme en flux de chaleur contribuant au réchauffement ambiant ; le béton quant à lui consomme beaucoup d'énergie lors de sa production, participant au réchauffement planétaire par ses émissions de carbone.

Par ailleurs, l'aménagement des villes ne favorise pas les transports publics, obligeant bien souvent à se servir d'un véhicule privé, ce qui se traduit par une augmentation de la pollution et le développement d'îlots de chaleur localisés lorsque celle-ci se cumule aux systèmes d'air conditionné des immeubles.

Comme on a vu dans le premier chapitre de cette phase théorique, avant l'adoption du mode de vie moderne et la standardisation des typologies, la plupart des habitants vivaient de manière plus harmonieuse avec leur environnement. Les matériaux qu'ils choisissaient pour construire leurs habitations provenaient de leur environnement. Ils étaient durables, adaptés à leur mode de vie, fondés sur ce qu'on appelle aujourd'hui l'économie circulaire, de même les techniques employées en matière de conception sont réfléchies et s'adaptent parfaitement aux exigences du milieu. Une gamme considérable de savoirs faire a été perfectionnée dans les habitations primaires. De ces leçons, plusieurs expériences ont été inspirées, pour la production d'une architecture contemporaine efficiente et confortable de l'échelle du projet qu'au l'échelle des villes et cités résidentielles, parmi les plus fameuses de ces expertises, citons des exemples :

2.1. Le nouveau village El *Gourna* en Egypte, Hassan Fathi :

Hassan Fathi parmi les fameux précurseurs en domaine d'architecture bioclimatique influencé par le vernaculaire notamment dans le contexte chaud et aride, ses expériences méritent tout le temps d'être interprétées. A travers ses pensées, il cherche à s'ancrer dans les traditions autochtones par l'utilisation des techniques de construction locales et ancestrales pour mieux s'adapter aux exigences modernes et les nouveaux besoins de la vie contemporaine. Connu par la construction de plusieurs projets efficaces, l'exemple de nouveau village de *Bariz* dans une oasis près d'*el kharga* dans les années 1965, et avec la publication de son fameux ouvrage *construire avec le peuple* en 1973 son travail est porté à la reconnaissance internationale. Il raconte son expérience à Gournah, il travaille avec les gens pour adapter ses projets à leurs besoins, il leur enseigne comment travailler avec les briques de boue et démontre qu'il est possible de construire pour eux même. Il est devenu un des architectes les plus reconnues en domaine d'inspiration du vernaculaire en Afrique³⁴.

En effet, Hassan Fathi a produit non seulement des réponses modernes pour l'architecture en climat chaud, mais aussi une source d'inspiration à travers sa pensée, son expérience et son esprit constituent une ressource internationale importante, il réalise près de 160 projets, non seulement en Egypte mais aussi en Irak et Pakistan. Le village de *new Gourna* est constitué et créé en 1946 et 1952, pour accueillir la communauté de vieux *Gourna*, les caractéristiques principales du village du *new Gourna* résident dans la réinterprétation d'un cadre architectural et urbain traditionnel dans l'utilisation appropriée des matériaux et techniques locaux ainsi que dans une extrême sensibilité aux contraintes climatiques. À travers ce projet il a démontré que l'on pouvait aussi atteindre des objectifs de durabilité et de la cohésion sociale avec les leçons de vernaculaire et des outils disponibles localement.

Dans le village, il utilise les préceptes vernaculaires caractéristiques de la région, grande compacité urbaine, murs épais et protégés, ouvertures maîtrisées en taille et orientation tout en favorisant la ventilation transversale, une cour intérieure par logement et des terrasses pour passer la nuit les plus chaudes en été, les tours à vent et des toits en coupoles. Il a amélioré le système des capteurs du vent en incorporant des plateaux de charbon de bois d'humidité ce système de ventilation adiabatique qui abaisse la température d'une dizaine de degrés. La ventilation transversale est très bien réfléchie récupérant la fraîcheur des parties

³⁴ <http://www.unesco.org>.

basses des bâtiments et évacuant l'air chaud par la toiture et les ouvertures supérieures. Pour le chauffage il a réinterprété le système de chauffage basé sur le cheminement des gaz de combustion chauds dans les chicanes des tuyaux d'évacuation. Il proposa plusieurs modèles comme indiqué sur la **figure, 20**. En effet, il a démontré que l'on pouvait créer une architecture confortable en adobe, malgré un contexte de pauvreté. Ses 1500 logements construits en adobes pour un prix unitaire 7 fois inférieur à une construction en béton sont devenus des modèles architecturaux de référence.³⁵



Figure.20 : village de nouveau *Gourna*.

2.2.L'expérience d'André Ravereau dans la vallée du Mzab :

Un autre exemple marquant les expériences du néo-vernaculaire est celui d'André Ravereau, ³⁶en effet, André est beaucoup consacré à l'étude des architectures et cultures méditerranéennes toujours dans le souci de comparer la pertinence des gestes savantes de l'architecture vernaculaire, en 1949, alors qu'il est encore étudiant il se rend dans la vallée du Mzab en Algérie. Cette visite est décisive dans son appréhension de la construction, il écrivait suite à cette visite son livre, le Mzab une leçon d'architecture.

Le projet sur la figure.21, conçue en cohérence avec les traditions de la vie Ibadite principalement conduite par le climat et la religion. Le site se trouve à l'est de Ghardaïa, au cœur de la vallée du M'Zab, les constructions se trouvent au pied d'une colline qui bénéficie d'un panorama sur la ville historique de Bounoura vers le sud et sur la palmeraie vers l'est. Il s'agit d'une vingtaine de logements, en amorce d'un groupement de plusieurs centaines d'autres. La circulation a été cherchée par des rues étroites, dont le réseau est ponctué de placettes plantées de palmiers. L'étroitesse des rues tempère l'échauffement des murs. Dans

³⁵ Anger et Fontaine, 2009, p. 87

³⁶ Ww. Aladar-assoc.fr/ site sur l'œuvre d'André Ravereau.

certain types de logement, une chambre se développe sur rue pour former un passage couvert, une solution bénéfique pour apporter de l'ombre à la circulation des piétons sous la chaleur.

Globalement, les logements reproduisent les rapports intérieurs-extérieurs propres à la coutume mozabite. Au rez-de-chaussée, on trouve la *sqiffa*, l'entrée en chicane qui permet de laisser la porte ouverte tout en arrêtant les regards indiscrets ; des accès au séjour sont différenciés, et peuvent être séparés par une cloison modulable. À l'étage, on retrouve la terrasse favorable au sommeil en été, bordée d'un auvent, l'*ikomar* traditionnel, et protégée, côté rue, par un mur d'acrotère. Cette terrasse constitue la couverture de la cuisine, placée à mi-niveau, permettant ainsi de servir indifféremment le rez-de-chaussée ou l'étage, selon la saison ou l'heure : la terrasse les soirs d'été ou le midi en hiver, le rez-de-chaussée dans le cas échéant.

La plupart des unités possèdent trois murs mitoyens et ne disposent que de peu d'ouvertures sur leur façade. La hauteur de construction n'excède pas sept mètres soixante, et la taille des fenêtres est limitée. Une protection thermique accrue fut obtenue via la construction d'un double mur extérieur aux niveaux supérieurs, mur-masque, et grâce au percement d'ouvertures dans le toit et dans le plafond, permettant une bonne circulation de l'air.

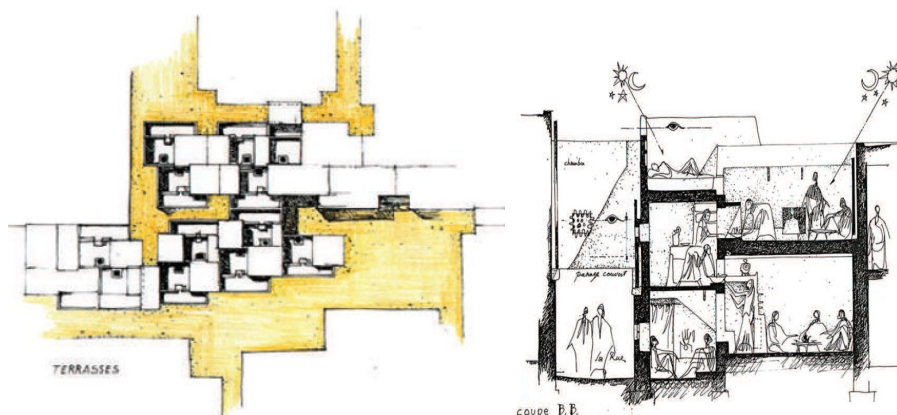
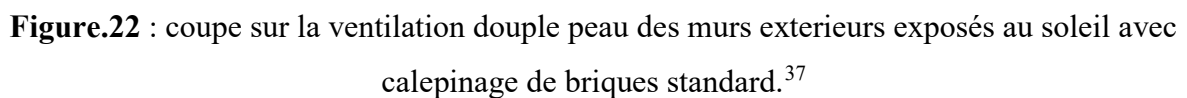


Figure.21 : coupe de la maison sidi Abbas d'André Ravereau avec le rapport à la rue, des espaces extérieurs en toiture et les murs exposés au soleil avec une lame d'air ventilée.

Cette solution est proposée avec des briques standard et accessibles à tous aide à réduire fortement la transmission de l'ensoleillement sur le mur intérieur. La lame d'air peut donner à l'extérieur ou à l'intérieur en fonction du rôle garde-corps du mur extérieur et donc de la disponibilité de la résistance mécanique



2.3.1. La tour 30 St Mary Axe :

³⁷ Ferran Yusta Garcia. La méthode des saisons climatiques : stratégie passive de conception architecturale de bâtiments basse consommation énergétique en climat très chaud. Mécanique. Université de Bordeaux, 2018. Français, p96.

Norman Foster, architecte et concepteur du projet, déclare qu'il avait développé : *une architecture écologique, la première de ce genre à Londres, qui sans doute, par sa fameuse qualité, sera une référence dans la génération émergente des immeubles de grande hauteur* ».

³⁸ La rotation du plan en spirale montre le décalage des niveaux et les découpages triangulaires qui permettent la création de petits atriums ou puits de lumière comme illustré dans la figure. Ces derniers filtreront la lumière naturelle, ce qui contribuera à une meilleure qualité d'ambiance et minimisera les besoins en énergie.

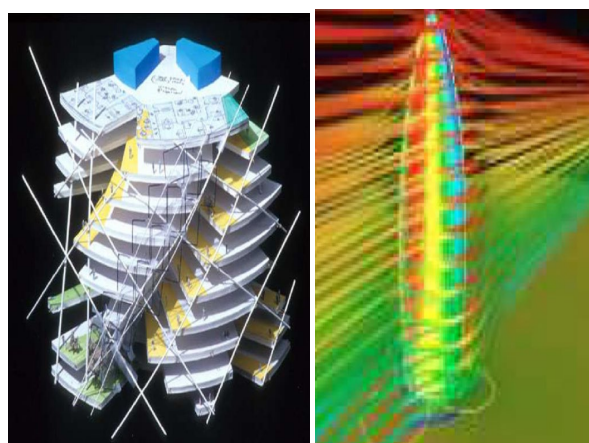


Figure.23 : Maquette illustrant le décalage des niveaux.

Sa forme aérodynamique permet d'utiliser le vent dans le système de ventilation de l'immeuble, été comme hiver ; cette forme emploie des alvéoles, une structure de façade en spirale et la forme d'un cornichon. Entre 12 et 25 °C et avec un vent modéré, des stations météo gèrent l'ouverture des fenêtres. Si la température varie en dessous ou au-dessus de ces températures, la ventilation naturelle est complétée par le chauffage ou le rafraîchissement de l'air. Le système de ventilation et l'organisation interne des locaux permettent des économies d'énergie. Pour cela, des essais de simulation à l'aide d'une maquette numérique, comme l'illustre la figure.23, ont été réalisées, dont l'objectif était de prendre en compte l'environnement immédiat, une autre stratégie vernaculaire d'adaptation au contexte local.³⁹ Cet apport du vernaculaire dans le contemporain contribue à intégrer non seulement de nouveaux dispositifs dans les études sur le vernaculaire, mais aussi dans les études pour le contemporain.

2.3.2. Habitat en matériau locaux :

³⁸ Norman, F. Reconversion et patrimoine au Rouyame Uni. Revue géographique de l'est, 2008, 48/1-2

³⁹ https://fr.wikipedia.org/wiki/30_St_Mary_Axe.

Mauricio Sanchez et Dario Angulo, architectes colombiens, construisent quant à eux des habitats collectifs et individuels de haut standing en BTC, Figure.24, prouvant que la construction en terre n'est pas réservée à la population pauvre.



Figure.24 : Habitats collectifs et individuels, Mauricio Sanchez et Dario Angulo.

Aussi, le Centre d'Architecture de Terre au Mali, Figure.25 ; qui est l'œuvre de Diébédou Francis Kéré. À l'instar de ses autres créations, ce bâtiment est extrêmement bien pensé et réalisé afin de profiter pleinement de tous les avantages de la construction en terre. Les murs et les voûtes en berceau faites en BTC afin de garantir une température intérieure stable et confortable grâce à l'inertie thermique du matériau tandis que les poutres sont en béton. Une toiture en tôle débordante permet de protéger les briques des intempéries et fournit une protection contre le soleil. Un flux d'air naturel est effectué grâce à des ouvertures de ventilation dans les murs et les voûtes ; le tout est traité d'une manière contemporaine tout en s'intégrant parfaitement à l'environnement.



Figure.25 : Centre de l'Architecture de Terre, Mali

2.3.3. Toiture en voutes :

***L'association des Voûtes Nubiennes (AVN) :**

Cette association française créée dans le but de promouvoir les matériaux locaux et en particulier la terre, afin de permettre à tout un chacun d'avoir un accès à un logement décent. La technique des voûtes nubiennes qui est : un procédé architectural antique venu du haut Nil, elle permet de construire avec des matériaux locaux, un outillage basique et des compétences techniques relativement simples des habitations aux toitures voûtées réalisées sans coffrage, solides, confortables et économiques.⁴⁰ En effet, L'association s'est chargée de simplifier, codifier et adapter cette ancienne technique afin de répondre aux besoins actuels des Sahéliens.

Les spécificités techniques de ce procédé constructif, décrites par l'AVN sont multiples :

- *Le bâti est presque exclusivement construit en terre crue, seules les fondations font appel à la pierre, les toitures créées sont exclusivement voûtées et permettent l'usage du toit-terrasse par leur mise en charge.

- *La construction des voûtes ne nécessite pas de coffrage ni aucune autre sorte de support, un « câble-compass » est utilisé pour définir la courbe de la voûte et guider le maçon dans son travail.

- *Les voûtes ont une portée maximum de 3,25m et sont construites à partir de briques de dimensions standards pour les murs et de briquettes pour la toiture et les voûtains.

- *Les murs, suivant leurs différents usages, sont d'épaisseurs standardisées ainsi que les ouvertures des portes, fenêtres, et autres rangements maçonnés.

- *Une bâche plastique est incorporée aux mortiers de terre en finition de toiture afin d'apporter une garantie supplémentaire d'étanchéité et finalement, Il est possible de construire en étage (R+1).

⁴⁰ Association de la Voûte Nubienne, site web :



Figure.26 : chantier voute nubienne. ⁴¹

2.3.4. Immeuble administratif contemporain inspiré des tours à vent :

La ventilation naturelle de ce bâtiment contemporain de bureaux administratifs figure.27 est établie par l'action de cheminées ressortant sur la toiture, ces dernières cheminées jouent le rôle des tours à vent du Moyen-Orient.



Figure.27 : Ventilation inspirée des tours de vent iraniennes¹.

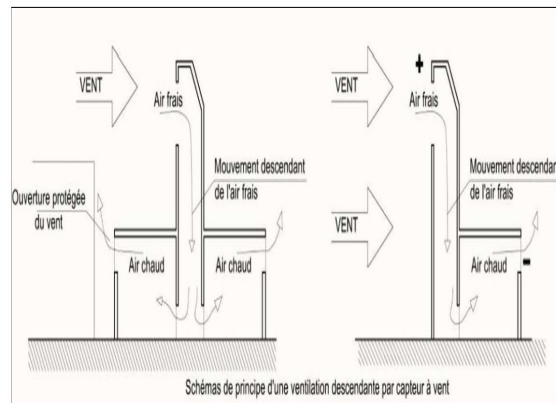


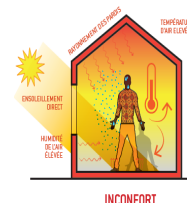
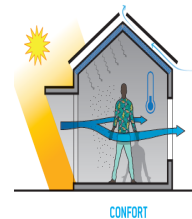
Figure.28 : Illustre le schéma de principe de capteurs à vent.¹

Le principe de ces tours à vent est le captage des vents dominants comme l'illustre la figure. Une fois captés, ils rafraîchissent et humidifient l'air chaud depuis le sous-sol et passant par-dessus des bassins. De ce fait, la température de l'air est abaissée. Cet exemple constitue une source d'inspiration pour l'architecture contemporaine d'aujourd'hui.

⁴¹ Jehanne Paulus, construction en terre crue : dispositions qualitatives, constructives et architecturales – Application à un cas pratique : Ouagadougou, Master en Ingénieur Civil Architecte, Université de Liège, 2015, p 79.

3. Performance thermique dans le bâtiment et les approches d'évaluation.

Le souci au confort et bien-être humain est un sujet soulevé et approché par de multiples disciplines tel que la médecine, la psychologie, la sociologie, ainsi que l'architecture ; il se fonde sur les rapports d'échanges qu'entretient l'homme avec son environnement, que ce soit naturel ou bien construit.



Actuellement, le sujet de confort dans le domaine architectural constitue une préoccupation nécessaire et préalable, justifiée du fait de son impact sur la qualité des ambiances intérieures, la santé ainsi que la productivité de l'occupant passant les trois quarts de son temps en logement. Cet intérêt est guidé par des normes et des réglementations qui permettent d'assurer la conformité des ambiances intérieures aux exigences du confort thermique intérieur. Néanmoins, la recherche d'une ambiance adéquate et confortable conformément aux normes sans tenir compte des particularités du microclimat régional, engendrant des bâtiments moins efficace impliquant l'ajout des suppléments d'installations et systèmes mécaniques pour chauffage et climatisation ; entraînant ainsi des fortes consommations d'énergie d'origine fossile épuisable et polluante.

D'un autre côté, les exigences constructives et les recommandations pour les concepteurs ne sont pas adaptées pour anticiper des ambiances thermiques adaptatives. Elles favorisent le surdimensionnement des équipements de contrôle et de régulation des ambiances thermiques (systèmes de chauffage, de rafraîchissement et de climatisation) principales sources de consommation d'énergie. Avec ces préoccupations grandissantes, le secteur du bâtiment doit répondre à deux exigences primordiales : maîtriser les impacts sur l'environnement extérieur, tout en assurant des ambiances intérieures saines et confortables.

Etant donné que l'investigation thermique forme le cœur de notre travail de recherche, cet axe du troisième chapitre est consacré à présenter les connaissances existantes concernant le sujet de confort thermique et la performance ; mettant en évidence d'une part, l'importance de l'étude du confort thermique dans les espaces résidentiels, et d'autre part connaître les variables intrinsèques qui influe le niveau de confort intérieur ; basant sur les recherches effectuées dans le domaine, ce qui nous permet de collecter les différentes approches et mécanismes d'évaluation ainsi que les divers outils et approches d'analyse disponibles, dans l'objectif de bien cerner les lignes directrices de la phase empirique d'investigation sur site.

À ce propos, la première étape consiste à définir le concept, suivie par les différents paramètres influant le confort thermique des habitants, la troisième étape est consacrée aux différents aspects de confort thermique à savoir : physiques, physiologiques et psychologiques ainsi que les indices d'évaluation. Finalement, l'exposition d'une manière détaillée les deux grandes approches du confort thermique statique et adaptative ; de cerner les différences et les complémentarités.

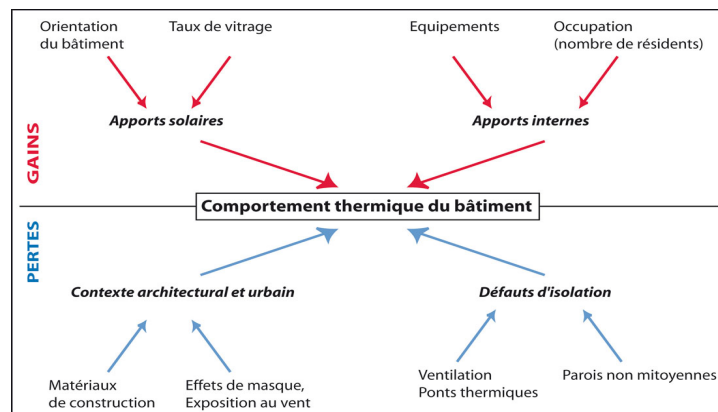


Figure.29 : comportement thermique d'un logement.

3.1. Généralités sur le bâtiment performant :

Un bâtiment est considéré comme «performant» lorsque compte tenu de sa volumétrie, de sa composition et de ses matériaux mobilisés pour assurer son isolation thermique ; ses besoins énergétiques en termes de chauffage et climatisation sont peu importants. À l'inverse, un bâtiment est «peu performant» pour les mêmes occupations, il nécessite la consommation de supplément d'énergie pour les besoins de chauffage et climatisation.

En effet, Les bâtiments performants ont tous un point commun : ils se veulent de garantir un confort plus important à leurs occupants et de réduire les besoins énergétiques par une conception architecturale bioclimatique et par l'usage de technologies plus efficaces. Ces concepts des bâtiments sont définis par un ensemble d'objectifs (niveau de performance à atteindre) et de solutions techniques destinés à guider le concepteur. Ce dernier, en s'appuyant sur divers outils d'aide à la conception, associe des techniques, matériaux, structures et équipements de manière à atteindre au mieux les objectifs fixés.

La performance énergétique d'un bâtiment désigne sa capacité à limiter les consommations d'énergie à l'intérieur, compte tenu de la qualité de ses équipements de chauffage, mais peut-être avant tout, de son comportement thermique et l'évolution des températures à l'intérieur du bâtiment. **Figure.30.** La Directive européenne (2002/91/CE) ⁴² sur la performance énergétique et le climat intérieur des bâtiments évalue la performance énergétique des bâtiments comme suit : la quantité d'énergie calculée ou mesurée nécessaire pour répondre aux besoins énergétiques liés à une utilisation normale du bâtiment, ce qui inclut entre autres l'énergie utilisée pour le chauffage, le système de refroidissement, la ventilation, la production d'eau chaude et l'éclairage. Généralement exprimée en kilowattheures d'énergie primaire consommés pour 1 m² dans une année (KWh/m².an),

Selon des différents labels de performance énergétique, il existe divers concepts des bâtiments performants qui sont encadrés par ces derniers. En effet, ces bâtiments sont classés en trois catégories de même que les labels qui leurs associent : bâtiments performants, très performants, et à zéro énergie ou à énergie positive.

3.1.1. Le bâtiment basse consommation (BBC) :

Ce terme est généralement utilisé pour désigner des bâtiments dont des performances énergétiques sont supérieures à celles des bâtiments standards⁴³. Les bâtiments d'habitation classés BBC (selon le label Effinergie)⁴⁴ lorsque sa consommation d'énergie primaire est inférieure à 50 kWh/m²/an pour les postes suivants : Chauffage, Eau Chaude Sanitaire, Ventilation, Eclairage et Refroidissement. Cependant la consommation énergétique globale des bâtiments à usage autre que d'habitation (tertiaire,) ne doit pas dépasser 50 % de la consommation conventionnelle de référence de la RT 2005. D'après l'association Effinergie, ce niveau de performance peut être atteint par l'optimisation de l'isolation, la réduction des ponts thermiques et l'accroissement des apports passifs. Ce concept ne comprend a priori aucun moyen de production local d'énergie, sans toutefois l'exclure.

⁴²Hovig Ter Minassian, La réhabilitation thermique des bâtiments anciens à Paris ; comment concilier la protection du patrimoine et performance énergétique, Cybergeog: European Journal of Geography, Aménagement, Urbanisme, document 536. doi.org/10.4000/cybergeog.23737.

⁴³ Laustens J. 2008, Energy efficiency requirements in building codes, energy efficiency policies for new buildings, International Energy Agency, OECD/IEA, Paris,p 65

⁴⁴ EFFINERGIE, 2012, site officiel de Effinergie : www.effinergie.org.

3.1.2. Le bâtiment passif :

Le concept de bâtiment passif a été développé dans les années 1970 et formalisé en 1985 par le Pr. Bo Adamson de l'université de Lund (Suède) et Wolfgang Feist de l'institut de logement et de l'environnement ; (IWU) de Darmstadt (Allemagne). Le bâtiment passif désigne⁴⁵ un bâtiment garantissant un climat intérieur confortable aussi bien en été qu'en hiver sans recours aux systèmes de chauffage ou de refroidissements actifs ; c'est à dire les apports passifs solaires et internes et les systèmes de ventilation suffisent à maintenir une ambiance intérieure agréable toute l'année. Ce bâtiment très faiblement consommateur d'énergie ; 80% de moins d'énergie de chauffage que les constructions existantes ou neuves traditionnelles, il n'a pas besoin de plus de 15 kWh par m² et par an de chauffage, que la consommation d'énergie primaire ne doit pas dépasser la valeur de 120 kWh/m² par an et que l'étanchéité à l'air soit efficace avec un paramètre n₅₀ < 0,6 h⁻¹.

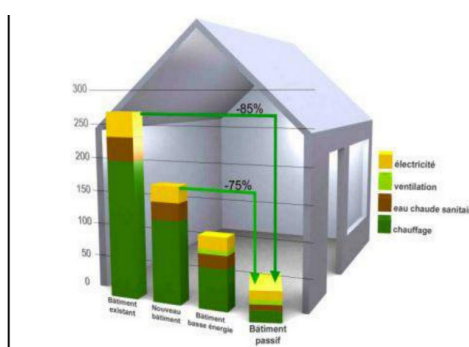


Figure.30 : Comparaison entre les indices de performance énergétique en kWh/m².ans.

3.1.3. Le bâtiment zéro énergie :

Le bâtiment zéro énergie combine de faibles besoins d'énergie à des moyens de production d'énergie locaux, sa production énergétique équilibre sa consommation. Ce bâtiment est quasi autonome en énergie sur l'année (son bilan énergétique net annuel est donc nul), il obtient tous ses énergies requises par d'énergies solaire et d'autres sources d'énergie renouvelable et il présente des niveaux d'isolations supérieurs à la moyenne⁴⁶. Les maisons zéro énergie se chauffent en général par des panneaux solaires thermiques avec l'appoint fourni par une pompe à chaleur alimentée en électricité. Le principe de la maison à énergie zéro est donc complètement différent de celui de la maison passive, puisqu'il consiste en une

⁴⁵ Laustens J. 2008, op. cit, p 66

⁴⁶ Laustens J. op. cit, p.71

compensation de la consommation totale, et non en une optimisation des conditions favorisant la sobriété énergétique de la maison.

Le bilan de consommation de la maison à énergie zéro prend en considération 5 usages principaux que sont le chauffage, la climatisation éventuelle, la production d'eau chaude sanitaire, l'éclairage et les auxiliaires. Cette consommation doit tendre vers l'objectif⁴⁷ :

*Maison énergie zéro (5 usages) = consommation env. 0 à 15 kWh/m².an, en énergie primaire.

*Maison énergie zéro (tous les usages, compris appareils électriques, ...) = env. 100 kWh/m².an, en énergie primaire.

3.1.4. Le bâtiment à énergie positive (BEPOS) :

Le bâtiment à énergie positive est un bâtiment dont le bilan énergétique global est positif (il dépasse le niveau zéro énergie), c'est-à-dire qu'il produit plus d'énergie (thermique ou électrique) qu'il n'en consomme. L'énergie complémentaire peut être soit stockée afin d'être consommée ultérieurement, soit réinjectée au réseau de distribution d'électricité pour être revendue⁴⁸. Pour qualifier un bâtiment qui serait à énergie positif⁴⁹, deux indicateurs énergétiques sont retenus :

*Le bâtiment doit être sobre en énergie hors production locale et à faible contenu carbone.

*La consommation totale d'énergie primaire du bâtiment doit être compensée en moyenne par la production locale d'énergie.

3.2. Le confort thermique concepts et contours :

L'aspect du confort thermique englobe de multiples facettes et plusieurs champs d'application, il est le point de convergence de plusieurs domaines tel que le physique du bâtiment, le bioclimatique et science du l'homme ; ceci justifie la diversité des définitions données à la notion, selon que l'être humain est considéré comme un objet physique (une machine thermique autorégulée), ou une personne active affectée par ses sensations. C'est un vieux concept qui a été discuté depuis temps (depuis les années 1930)⁵⁰ ; Et ne cesse d'être étudié jusqu'à maintenant.

⁴⁷ Clima-maison, 2012, le site officiel de climat maison, disponible sur internet : www.climamaison.com.

⁴⁸ THIERS S., 2008, Bilans énergétiques et environnementaux de bâtiments à énergie positive, Thèse de doctorat, l'université des mines, Paris, p.15

⁴⁹ ADEME, 2009, Objectif 2020 : bâtiments à énergie positive. Note de cadrage et perspective, ADEME-Département Bâtiment et Urbanisme, Paris, p.2

⁵⁰ Taleghani, M., Tenpierik, M., Kurvers, S. and van den Dobbelaert, A, a review into thermal comfort in buildings, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 26, 2013. pp. 201–215.

En effet, vue la complexité du concept et le nombre importants des facteurs qui interagissent en dehors de l'ambiance elle-même, figure, 31. Il est donc presque utopique d'espérer satisfaire la totalité des individus se trouvant dans une même enceinte climatisée. C'est une notion difficile à appréhender et à définir, on peut cependant répertorier des tentatives de définitions trouvées dans la littérature professionnelle et scientifique.

Certaines définitions du confort intègrent les aspects physiologiques, comme celle de Givoni en 1978, qui présente le confort thermique comme l'ensemble des conditions pour lesquelles les mécanismes d'autorégulation du corps sont à un niveau d'activité minimum. Et d'autres comme celle de Fanger en 1972⁵¹, prend en compte des éléments sensoriels du confort, définissant ainsi le concept comme un état d'esprit exprimant la satisfaction de son environnement.

Selon Ruano et Baker Steemers⁵², physiquement, le confort thermique correspond à un équilibre entre les gains de chaleur produits par le métabolisme du corps et les pertes de chaleur vers l'extérieur. Cet équilibre dépend de 6 aspects : le métabolisme, l'habillement, la température d'air, l'humidité relative, la température superficielle des objets (température rayonnante), et la vitesse de l'air **figure.32**. Olgyay indique qu'il peut aussi être défini comme une « zone » dans laquelle l'être humain dépense le minimum d'énergie pour s'adapter à l'environnement ».

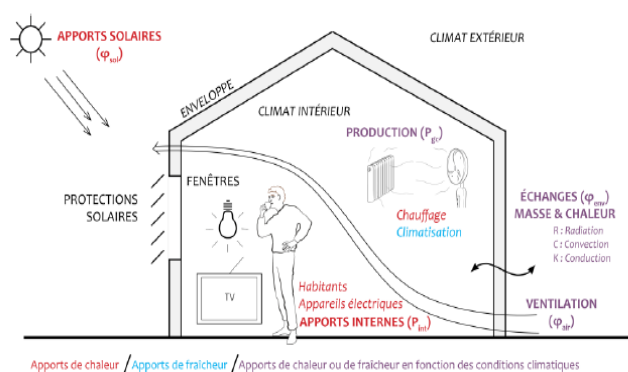


Figure.31 : Maintien du climat intérieur acceptable d'un habitat. ⁵³

⁵¹ Nicolas cordier. Développement et évaluation de stratégie de contrôle de ventilation appliquée aux locaux de grandes dimensions, thèse de doctorat en génie civil. Ecole nationale des travaux publics de l'état. 2007. p 51.

⁵² Baker, N. et K. Steemers. Energy and Environment in Architecture, a technical design guide (1 Ed.). 2000, London : E and FN Spon.

⁵³ Cécile Batier. Confort thermique et énergie dans l'habitat social en milieu méditerranéen: D'un Modèle comportemental de l'occupant vers des stratégies architecturales, Doctorat en Thermique. Université de Montpellier, 2016. p 56.

Une vision plus élargie est aujourd'hui utilisée incluant certains aspects qualitatifs associés à la perception et l'évaluation des occupants. En effet, les études de terrain montrent que la zone de confort est plus étendue que celle prévue par les approches statiques⁵⁴ Cependant, Au-delà des facteurs physiques et physiologiques qui régissent la sensation thermique, d'autres facteurs d'ordre psychosociologiques influencent le confort thermique. En effet, la satisfaction perçue, par un occupant dans une ambiance donnée, s'exprime en fonction de l'accord entre les conditions thermiques actuelles dans le bâtiment (satisfaction obtenue) et celles qui correspondent aux attentes de l'occupant (satisfaction anticipée).

De sa part, Richard Franck concorde avec de Dear et définit le concept comme suit : Le confort thermique d'une personne est un phénomène complexe, il correspond à un équilibre entre la chaleur produite (métabolisme et la chaleur échangée avec son environnement extérieur laquelle dépend de nombreux facteurs : La température sèche de l'air mesurée par un thermomètre, température de rayonnement des surfaces environnantes humidité relative de l'air, vitesse relative de l'air⁵⁶.

Pour Desmons, le confort est une notion subjective. Une ambiance donnée peut satisfaire un individu et pas un autre.⁵⁷ Dans la même perspective et Conformément aux normes internationales : ASHRAE55 1992 ; ISO7730 :1994, les chercheurs ont généralement défini ce concept comme la condition de l'esprit qui exprime la satisfaction envers l'environnement thermique. De même, Prakash et Ravi Kumar en 2015 sont arrivés à définir cette notion comme l'état de l'esprit qui exprime la satisfaction de l'environnement thermique⁵⁸. En effet, ces deux citations illustrent l'idée selon laquelle le confort thermique reste un aspect essentiel concernant la satisfaction des occupants envers leur environnement.

⁵⁴ Brager, G.S. et R.J. de Dear. Thermal adaptation in the built environment: a literature review. *Energy and Buildings*, 1998, 27(1): 83-96.

⁵⁵ Van Hoof, J. Forty years of Fanger's model of thermal comfort: comfort for all, 2008, *Indoor Air Journal*, 18:182-201.

⁵⁶ Richard Franck, Guy Jover, Frank Hovorka, efficacité énergétique du bâtiment, optimiser les performances énergétiques le confort et la valeur des bâtiments tertiaires et industriels, groupe EYROLLES. p58.

⁵⁷ Foundjangan Doma Soro, conception des murs en climat chaud et sec : minimisation de l'inconfort thermique dans les bâtiments à ventilation naturelle construits en brique de terre comprimée, MASTER Laboratoire Eco-Matériaux et Habitat Durable. (LEMHaD), 2020, p23.

⁵⁸ Prakash, D. and Ravikumar, P. Analysis of thermal comfort and indoor air flow characteristics for a residential building room under generalized window opening position at the adjacent walls, *International Journal of Sustainable Built Environment*. The Gulf Organisation for Research and Development, 4(1), pp. 42–57.2015. doi: 10.1016/j.ijbsbe.2015.02.003.

D'autres chercheurs définissent le confort thermique d'une manière un peu différente. À titre d'exemple, Hensen signale que le confort thermique est un état dans lequel il n'y a pas d'impulsions qui conduit à corriger l'environnement de l'occupant par son comportement⁵⁹. D'autre part, Fabbri souligne de son côté que le confort thermique peut être défini comme le résultat d'un processus dû à des échanges au niveau de la masse d'énergie entre l'occupant et son environnement.⁶⁰

D'une vision sanitaire, Prakashet Ravikumar ont ajouté que le confort thermique est un facteur impératif qui détermine la santé et la productivité des occupants des immeubles d'habitation⁶¹.

A travers cette piste de réflexion on peut déduire qu'une telle définition considère une interaction entre l'individu et l'espace qui l'entoure, c'est-à-dire, entre des conditions ambiantes physiquement mesurables et certaines conditions individuelles qui affectent notre perception. Nous pouvons ajouter également que l'état de confort de l'habitant envers son environnement thermique dépend de l'interaction entre de multiples facteurs physiques, physiologiques et psychologiques.

3.3.Paramètres influents le confort thermique :

La norme ASHRAE Standard-55 (Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy) évalue le confort thermique selon six facteurs. Les deux premiers facteurs sont en lien avec l'occupant et les quatre autres avec les conditions thermiques intérieures à savoir : Le taux métabolique, l'isolation des vêtements, la température de l'air, la température radiante, la vitesse de l'air et l'humidité relative. Ces facteurs doivent être en état d'équilibre, mais ils peuvent varier dans le temps avec certaines restrictions⁶². S'ajoute que l'évaluation du confort thermique avec cette norme présuppose que tous les critères doivent être appliqués ensemble à cause de la complexité de l'interaction de ces facteurs dans un environnement intérieur.

⁵⁹ Hensen, J. L. M. On the thermal interaction of building structure and heating and ventilating system. PhD thesis. Technische Universiteit Eindhoven. 1991, Available at: http://www.esru.strath.ac.uk/Documents/PhD/hensen_thesis.pdf.

⁶⁰ Fabbri, K. Indoor Thermal Comfort Perception: A Questionnaire Approach Focusing on Children. 2015, Springer.

⁶¹ Prakash, D. and Ravikumar, P, 2015, op. Cit, pp.42-52.

⁶² ASHRAE Standard 55-2013. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2013, Inc, 52 p.

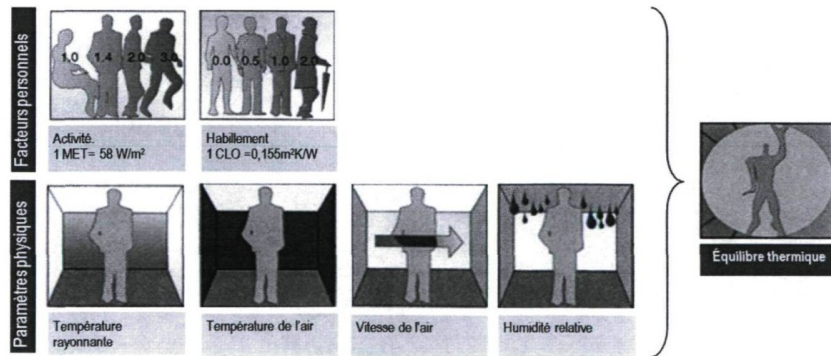


Figure. 32 : paramètres et facteurs de l'équilibre thermique. D'après Ruano⁶³.

Outre ces facteurs, il y a les échanges thermiques du corps humain avec l'environnement comme l'illustre à la Figure, 33. Ces échanges sont : l'évaporation et la sudation qui comptent pour 24 %, la convection pour 35 %, le rayonnement pour 35 %, l'ingestion de nourriture pour 6 % et la conduction pour 1 %. Plus de 50 % des pertes de chaleur du corps humain se font par convection avec l'air ambiant (convection et évaporation). De plus, les échanges par rayonnement avec les parois ne sont pas à négliger.⁶⁴



Figure.33 : les échanges thermiques du corps humain avec l'environnement.

⁶³ Esteben Emilio Monténégro itura. Impact de la configuration des bâtiments scolaire sur leur performance lumineuse, thermique et énergétique. Mémoire de maitre en science, université Laval de Québec. 2011. p 29.

⁶⁴ Noel Pamela, Évaluation du confort thermique à la suite d'abaissements de la température de consigne des thermostats en mode chauffage à l'aide de données mesurées in situ et de simulations, école de technologie supérieure université du Québec à l'obtention de la maîtrise, 2018, p 05.

3.3.1. Facteurs en lien avec l'occupant :

a. Métabolisme et taux métabolique :

Le métabolisme se définit comme un processus par lequel la nourriture absorbée par le corps se combine avec l'oxygène pour générer l'énergie requise pour le fonctionnement des divers organes du corps, tels que la contraction des muscles pendant le travail et l'activité involontaire des organes internes, circulation du sang, respiration, sécrétion interne des glandes et formation de la sueur, et pour la fabrication des tissus du corps. Son taux est environ proportionnel au poids du corps.⁶⁵

La valeur maintenue à l'arrêt complet dans une position couchée est prise comme le métabolisme de base, Givoni définit le métabolisme de base par la quantité de chaleur que produit, heure par heure, et par mètre carré de la surface du corps, un sujet à jeun et au repos. Ainsi que Madame P. Miller Chagas distingue le métabolisme de base qui est l'énergie nécessaire au maintien de la vie végétative et le métabolisme de repos qui est, lui, la production minimale d'énergie pour le corps humain en position assise, s'alimentant normalement et n'ayant à lutter ni contre le chaud ni contre le froid.⁶⁶

Seule une faible partie de l'énergie est utilisée par les muscles pour le travail externe, noté W , qui est défini en fonction du métabolisme par un facteur η , appelé rendement mécanique ($W = \eta.M$; η n'excède pas 20% et pour les activités classiques de bureau il est pratiquement nul). Le reste de cette énergie produite est transformé en chaleur.⁶⁷ Cette production de chaleur interne compense les pertes et les gains de chaleur vers et en provenance de l'environnement, si la température intérieure du corps est maintenue stable. Lorsque cet équilibre n'est pas obtenu, la température des parties internes du corps augmente ou diminue, selon que la perte de chaleur est plus petite ou plus forte que la production de chaleur, jusqu'à ce qu'un équilibre s'établisse à un niveau différent ou jusqu'à ce qu'une défaillance se manifeste.

⁶⁵ Candas Victor. Confort thermique. In : Génie énergétique. Vol. BE 4. Paris : Techniques de l'ingénieur, 1998, p. BE 9085.

⁶⁶ Denis Manceau, Christian Marenne, Chantal Nicolas, Intégration des paramètres du confort dans un modèle de simulation thermique. [Rapport de recherche] 234/84, Ministère de l'urbanisme et du logement ; Secrétariat de la recherche architecturale (SRA) ; Ministère de l'industrie et de la recherche; Centre de recherches méthodologiques d'architecture (CERMA). 1984. hal-01888551.p12.

⁶⁷ Bassam Moujalled. Modélisation dynamique du confort thermique dans les bâtiments naturellement ventilés, doctorat en Génie civil, Laboratoire des Sciences de l'Habitat de l'Ecole Nationale des Tavaux Publics de l'Etat, Département Génie Civil et Bâtiment, (DGCB), URA CNRS 1652.p 29.

En effet, la chaleur dégagée par le métabolisme, plus ou moins grande selon l'activité, est éliminée directement ou au travers des habits, par convection et conduction vers l'air ambiant, par rayonnement vers les surfaces voisines et par évaporation, transpiration dans l'air Figure. On notera que, dans la zone confortable, les échanges par rayonnement, convection, conduction et évaporation transpiration se partissent en trois parts approximativement égales⁶⁸.

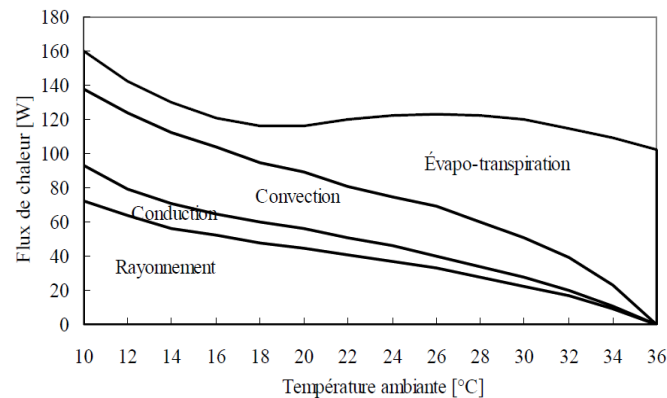


Figure.35 : Répartition des échanges de chaleur d'une personne en fonction de la température ambiante, supposée homogène.

***Le taux métabolique et l'activité ; Production de la chaleur :**

L'activité est un paramètre essentiel pour la sensation thermique de l'individu, définissant directement le métabolisme de l'individu, c'est à dire la quantité de chaleur produite par le corps humain. Dans le cas d'une très forte activité, elle peut être responsable de sensations d'inconfort chaud, même en présence de conditions météorologiques très favorables. Il est à noter toutefois que, dans le cas d'une activité classique de bureau, les plages de variation du métabolisme demeurent limitées.

Le taux métabolique varie selon l'activité de l'occupant. L'unité est le Met (Metabolic Equivalent of Task), et il est équivalent à 58,2 W/m². Le met représente l'énergie dissipée par unité de surface de la peau d'une personne. L'évaluation du confort thermique ne peut être réalisée sur un occupant qui dort. Le Tableau fournit les taux métaboliques pour différentes activités. ⁶⁹

⁶⁸ Claude-Alain Roulet, thermique de bâtiment tout le confort avec peu d'énergie, institut de technique du bâtiment, Lausanne, 29 août 2000. P06.

⁶⁹ Noel Pamela, op. cit, 2018, p06.

De sa part Pierre Fernandez⁷⁰ a divisé le métabolisme en trois catégories qui sont : Métabolisme énergétique de base, où les besoins des calories nécessaires au maintien des fonctions vitales dans des conditions de repos ou de neutralité thermique (température 29-31 °C quand il est nu, 25-29 °C s'il est habillé). Métabolisme lié à la position du corps (couché, assis, debout), ainsi que le métabolisme lié au type de travail ou bien les activités réalisées (repos, activité physique légère, moyenne, lourde...) ⁷¹figure, 34.

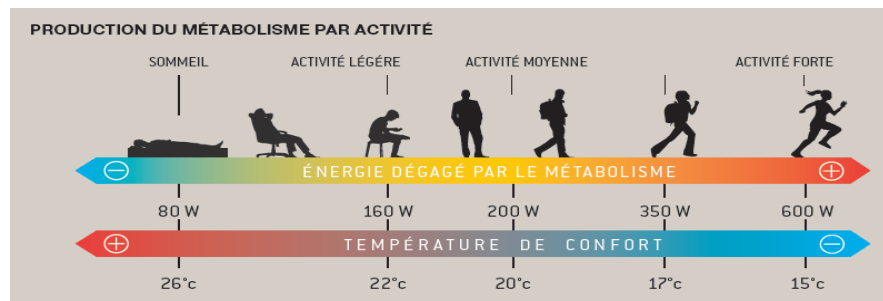


Figure.34 : production métabolique par activité.

Le métabolisme total M peut être mesuré expérimentalement à partir du volume d'oxygène consommé. Dans la pratique, il est estimé à partir des tableaux qui donnent le métabolisme en fonction de la description de l'activité ou la tâche.

Activité	Taux métabolique (met)
Assis (silencieux)	1
Lire (assis)	1
Écrire	1
Dactylographier	1,1
Debout (détendu)	1,2
Marcher	1,7

Tableau. 04. Taux métabolique par activité tiré de l'ASHRAE 55 (2013, p.05).⁷²

⁷⁰ Fernandez. P, et Lavigne. P. Concevoir des bâtiments bioclimatiques, fondements et méthodes, le Moniteur, 2009, p 93.

⁷¹ Fabbri, K. Indoor Thermal Comfort Perception: a questionnaire Approach Focusing on Children. Springer.2015.

⁷² Thierry Joffroy, Arnaud Misse, Robert Celaire, Lalaina Rakotomalala. Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal. 2017. p20.

b. La v ture :

Elle constitue la deuxième barrière thermique après la peau, les vêtements permettent de créer un microclimat sous-vestimentaire, à travers leurs résistances thermiques, en modifiant les échanges de chaleur, entre la peau et l'environnement. Leur rôle essentiel est de maintenir le corps dans des conditions thermiques acceptables en été comme en hiver. Cependant, La nature du tissu, la coupe des vêtements et l'activité du sujet influencent aussi ces échanges thermiques avec l'environnement. Son rôle est pris en compte à travers la définition d'un indice de v ture, exprimé en Clo, caractérisant la résistance thermique d'un vêtement (figure).⁷³ Il équivaut à 0,155 m²  C/W. En général, en hiver, l'isolation des vêtements portés à l'intérieur est de 1 Clo et, en été, de 0,5 clo. Plus précisément, **la Figure.** Illustre la variation de l'isolation typique des vêtements des personnes selon la température extérieure prise à 6 h.

A ce sujet Givoni déclare :

A des températures de l'air supérieures  35 C, les effets des vêtements sont plus complexes. D'un côté ils réduisent le gain de chaleur « sèche » en provenance de l'ambiance mais d'une autre côté, ils augmentent l'humidité et réduisent la vitesse de l'air en contact avec la peau, ce qui se traduit par une diminution du refroidissement résultant de l'évaporation de la sueur  ⁷⁴

De sa part Auliciems et Szokolay ⁷⁵ souligne que, l'habillement est considéré comme l'un des facteurs dominants qui affectent la dissipation de la chaleur, et que le choix des vêtements par les habitants dans les situations chaudes est couramment limité aux vêtements légers qui ne dépassant pas une valeur d'isolation de 0,5 Clo, voir la figure. 36.

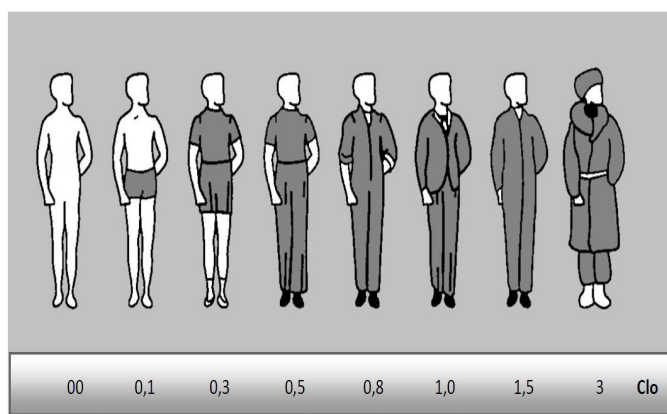


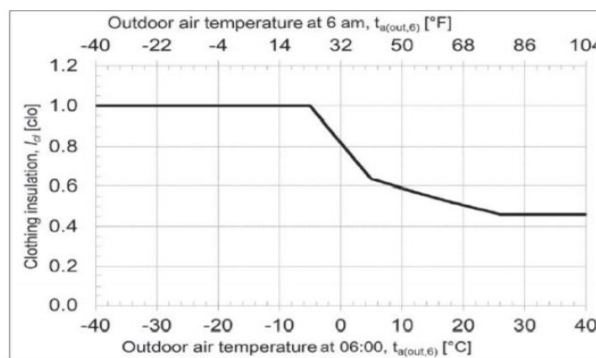
Figure.36 : valeurs exprimées en Clo des tenues vestimentaires.

⁷³ Thellier, Françoise. L'homme et son environnement thermique – Modélisation, Université de Paul Sabatier de Toulouse, 1999, p 65.

⁷⁴ GIVONI Baruch, L'homme, l'architecture et le climat. Paris : Editions du Moniteur, 1978, p84

⁷⁵ Auliciems, A. and Szokolay, S. V. Thermal comfort, in. PLEA. 1997, p09.

Figure.37 : Isolation typique des vêtements selon la température extérieure à 6 h Tirée de l'ASHRAE-55 2013, p.08



3.3.2. Facteurs liés aux paramètres d'ambiances intérieures :

a. Température ambiante de l'air (T_a) :

La température ambiante de l'air est le paramètre le plus influant sur la sensation thermique de l'habitant car elle intervient dans l'évaluation du bilan thermique de l'individu au niveau des échanges convectifs, conductifs et respiratoires⁷⁶. Bien qu'il existe pas mal de paramètres qui ont également des impacts considérables sur la sensation thermique. Néanmoins, ils sont restés toujours tournent autour de la température ambiante de l'air. À ce sujet, Gagge et al. (1986), Hensen (1990) et Auliciems et Szokolay (1997) soulignent que la température est le paramètre environnemental le plus important en ce qui concerne le confort thermique, Dans un local, la température de l'air n'est pas uniforme, des différences de températures d'air se présentent également en plan à proximité des surfaces froides et des corps de chauffe.

*Quelles températures à cibler :

**En hiver⁷⁷ :

19°C est la température maximale acceptée par le code de la construction dans la plupart des locaux de travail (art. R. 131-20). Cette température a été fixée dans une période post-choc pétrolier et a une époque où les connaissances sur le confort d'ambiance n'étaient pas encore suffisamment répandues. Nous constatons aujourd'hui qu'extrêmement peu de bâtiments tertiaires respectent cette obligation. Les mesures tournent généralement autour de 21 à 22 °C quand ce n'est pas d'avantage, il y a plusieurs explications à cela :

⁷⁶ NEUF, Climat intérieur/ confort, Santé, confort visuel, Revue européenne d'architecture N°77, novembre - Décembre 1978. p 12.

⁷⁷ Richardd franck, Guy jover, Frank hovorka, efficacité énergétique du bâtiment, optimiser les performances énergétiques le confort et la valeur des bâtiments tertiaires et industriels, groupe EYROLLES, p58.

Une évolution des exigences des occupants avec le temps liée à la généralisation des systèmes de climatisation, souvent générateurs d'inconfort en raison notamment des vitesses d'air ; Une nécessaire corrélation entre métabolisme humain et température opérative pour une activité sédentaire, avec des écarts de ressenti dépendant de la physiologie et de l'âge des occupants. Des écarts importants entre point chauds et points froids dans un même espace (parois froides, infiltrations, différences d'exposition, système de ventilation).

****26°C en été : ⁷⁸**

Le code de la construction et de l'habitat (art.131-29) atteste que dans les locaux dans lesquels est installé un système de refroidissement, celui-ci ne doit être mis en fonctionnement que lorsque la température intérieure des locaux dépasse 26°C. En matière de confort thermique d'été, il est conseillé de ne pas avoir trop d'écart de température entre l'intérieur et l'extérieur, ce qui conduit les thermiciens à concevoir classiquement des installations de climatisation assurant un écart de 6 °C entre ces deux températures (26°C à l'intérieur pour 32 °C à l'extérieur).

D'autre part, les températures sèches ne sont pas suffisantes pour déterminer convenablement les caractéristiques des installations. Il faut se référer aux températures opératives qui intègrent également l'humidité et la vitesse de l'air, celles qui influencent le confort thermique selon le modèle de Givoni qui sert de référence aux bâtiments ayant recours à la ventilation naturelle.

En effet, si le degré de la température ambiante de l'air intérieur est plus élevé que le degré de la température de la peau de l'habitant, la température émise par le corps de celui-ci rencontre des difficultés dans sa transpiration vers l'extérieur. Cette situation pose le problème de l'augmentation du degré de la température de la peau ainsi qu'elle provoque l'apparition de taches mouillées sur la peau ou sur les vêtements de l'occupant. Ces taches mouillées sont dues à l'activité rapide des glandes qui provoquent la sécrétion de sueur. Cependant, dans le cas d'une décroissance remarquable de la température ambiante de l'air du logement en dessous des degrés agréables : $22^{\circ}\text{C} \leq T_a \leq 28^{\circ}\text{C}$ ou $30^{\circ}\text{C} < T_a < 18^{\circ}\text{C}$ la première réaction physiologique dans cette situation serait la contraction des capillaires sous la peau qui

⁷⁸ Richard Franck, Guy Jover, Frank Hovorka, op. cit, p58.

donne une impulsion du sang au niveau de la peau de l'habitant. Cette situation donne une sensation de froid de la peau, surtout au niveau des pieds et des doigts.⁷⁹

D'autre part, il est à noter que l'augmentation de la température ambiante de l'air interne des espaces résidentiels a une forte relation avec la température de l'air externe. En effet, ces variations de la température extérieure influent négativement sur la température de l'air intérieur, si le logement n'est pas bien isolé. Par conséquent, l'état inconfortable de l'habitant le pousse à chercher d'autres solutions pour assurer son confort. Ces variations peuvent devenir une source d'influence négative sur la température radiante moyenne des parois.

a1. température des parois (T_p) :

Moins de 4°C de différence avec l'air ambiant utilisée dans le calcul des échanges radiatifs des grandes longueurs d'onde entre l'individu et l'environnement. La température des parois couplée à la température de l'air donne une idée sur le confort ressentie (appelée aussi température résultante sèche ou température opérative), cette dernière se détermine selon l'équation suivante : $T_{rs} = (T_a + T_p) / 2$.

La température de l'air et la température des parois créent les conditions des échanges thermiques entre le corps humain et l'ambiance. On peut agréger ces deux températures en un seul paramètre, la température opérative (ou température résultante). En première approximation et pour des vitesses faibles, elle peut être calculée comme la demi somme des 2 températures d'air et de paroi.

a2. Température du sol :

La température du sol est plus ressentie au travers des chaussures légères « *Les limites pour les températures du sol sont comprises entre 19 et 29°C, la température du sol dans les pièces prévues pour des séjours prolongés ne doit pas excéder 26°C* »⁸⁰.

⁷⁹ Bassem Moudjaled, Modélisation dynamique du confort thermique dans les bâtiments naturellement ventilés, Thèse de doctorat, 2007, p40.

⁸⁰ Guide technique de la diffusion d'air, p200.

b. la vitesse de l'air :

Le but de l'aération est d'assurer un environnement intérieur confortable et maintenir les occupants en bonne santé. Un air périodiquement renouvelé à l'intérieur des bâtiments est nécessaire, non pour assurer l'apport d'oxygène indispensable à la vie, mais surtout pour éliminer au fur et à mesure les divers polluants générés et qui rendent l'atmosphère malodorante et toxique. En l'absence d'aération, l'oxygène est la dernière chose qui manque ; les occupants seront incommodés en premier lieu par une concentration trop élevée en contaminants divers, dont notamment les odeurs, la vapeur d'eau et la chaleur.⁸¹

***Les moteurs d'aération :**

Le vent ayant pour effet d'augmenter la pression sur la façade exposée au vent, et d'abaisser la pression sur les autres façades et sur le toit, la différence entre les densités d'air intérieur et extérieur qui cause un tirage (effet de cheminée) faisant monter l'air chaud et humide et descendre l'air froid et sec.

En effet, la vitesse de l'air joue un grand rôle dans les échanges convectifs et évaporatoires, elle intervienne dans la sensation de confort thermique de l'occupant dès qu'elle est supérieure à 0,2 m/s⁸². Toutefois, à l'intérieur des bâtiments, ces vitesses demeurent limitées, ne dépassant pas généralement cette vitesse, sauf en cas de mauvaise conception du bâtiment ou du système d'aération.

En revanche, lorsqu'elle est élevée, elle crée des courants d'air et par le fait augmente la perte de chaleur par convection et par évaporation, ce qui peut causer un inconfort à l'occupant. Un courant d'air est acceptable si la vitesse de l'air est moyenne, lorsqu'elle n'est pas contrôlée par les occupants, inférieure à 0,15 m/s pour une température opératoire de moins de 22,5 °C.⁸³

⁸¹ Claude-Alain Roulet, thermique de bâtiment tout le confort avec peu d'énergie, institut de technique du bâtiment, lausanne, août 2000. p 55.

⁸² Liébard, A. et De Herde, A. Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques. Ed. Le Moniteur, Paris, 2005 p. 30a

⁸³ ASHRAE-55, 2013.

c. L'humidité relative :

L'humidité relative représente le rapport exprimé en pourcentage entre la quantité d'eau contenue dans l'air à la température ambiante et la quantité maximale qu'il peut contenir à cette température⁸⁴. Elle influence les échanges évaporatoires cutanés, elle détermine ainsi la capacité évaporatoire de l'air et donc l'efficacité de refroidissement de la sueur. Selon Liébard A, entre 30% et 70%, l'humidité relative influence peu la sensation de confort thermique⁸⁵. Par contre une humidité trop forte dérègle la thermorégulation de l'organisme car l'évaporation à la surface de la peau ne se fait plus, ce qui augmente la transpiration, le corps est la plupart du temps en situation d'inconfort.⁸⁶ Le diagramme ci-dessous, précisant la plage de taux d'humidité ambiante optimale d'un point de vue hygiénique d'après Scofield et Sterling et Doc.Dri-Steem/Pacare

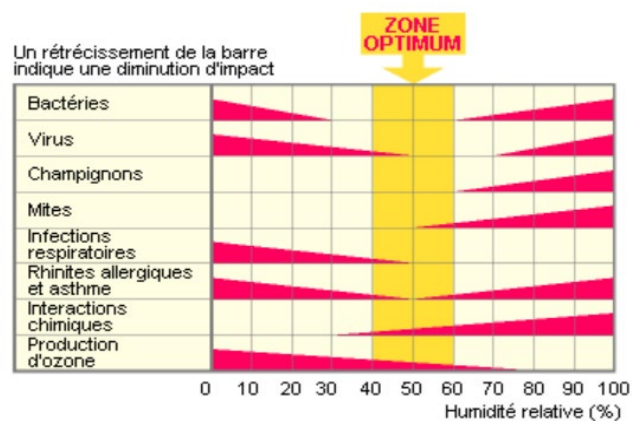


Figure.38 : zone optimale du taux d'humidité relative.⁸⁷

La zone de confort pour les occupants, selon ces critères, est illustrée par la zone hachurée sur un abaque psychrométrique dans l'ASHRAE 55-2013 Figure. 39. Elle est décrite en fonction de la température opératoire et de l'humidité dans les conditions où le taux métabolique est entre 1 et 1,3 met ainsi que l'isolation des vêtements entre 0,5 et 1 Clo. Cette zone de confort correspond à un pourcentage d'acceptabilité des occupants de 80 %.⁸⁸

⁸⁴ De Herde André, Liébard Alain, Traité d'Architecture et d'urbanisme bioclimatiques : concevoir, édifier et aménager avec le développement durable, Éditions du Moniteur, Paris, France, 2005, p16

⁸⁵ Liébard, A. et De Herde, A. 2005. Op.cit. p. 29a.

⁸⁶ Salomon, T. et Bedel, S., La maison des [méga] watts, Le guide malin de l'énergie chez soi. Ed. Terre vivante. Mens 2004. p. 25.

⁸⁷ Site web : <https://energyplus.net/>.

⁸⁸ ASHRAE-55, op. cit, p. 9.

La principale différence entre les conditions estivales et hivernales est la plage de la température opératoire selon l'isolation des vêtements. En résumé, en conditions hivernales, la température opératoire minimum acceptable est d'environ 21,5 °C avec une faible HR et d'environ 19,5 °C avec une HR d'environ 85 % (température de rosée de 16,8 °C). La température opératoire maximum acceptable est d'environ 26,5 °C avec une faible HR et d'environ 24 °C avec une HR d'environ 65 % (température de rosée de 16,8 °C).

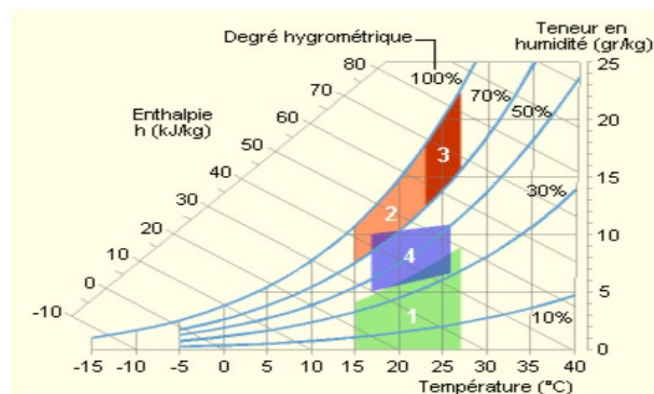


Figure.39 : Zone de confort en fonction de la température opératoire et de l'humidité.⁸⁹

(Extrait de l'article de R. Fauconnier L'action de l'humidité de l'air sur la santé dans les bâtiments tertiaires parut dans le numéro 10/1992 de la revue Chauffage Ventilation Conditionnement).

- 1. Zone à éviter vis-à-vis des problèmes de sécheresse.
- 2 et 3 : Zones à éviter vis-à-vis des développements de bactéries et de microchampignons.
- 3 Zone à éviter vis-à-vis des développements d'acariens.
- 4 Polygone de confort hygrothermique.

3.3.3. Facteurs liés aux gains thermiques internes :

Avec l'essor de la technologie et des besoins électriques (éclairage, électroménager), les apports de chaleur internes ont fortement augmenté. Les appareils électriques transforment en effet quasiment toute l'énergie qu'ils consomment en chaleur, Les postes informatiques sont également de vraies sources de chaleur et les occupants constituent eux aussi une autre source d'apports internes par leur métabolisme. Les apports internes comprennent donc, toute quantité de chaleur générée dans l'espace par des sources internes autres que le système de chauffage.

⁸⁹ l'ASHRAE- 55, Thermal environmental conditions for human occupancy, 2013, p. 9.

D'après Hugues Boivin⁹⁰, le confort de l'espace est directement influencé par le taux de ces gains internes, on peut dire que ces apports sont inévitables dès lors que les locaux sont habités. Il faut noter cependant que ces apports sont variables selon le comportement des occupants, et qu'ils constituent donc un facteur d'aggravation de l'inconfort chaud, sur lequel les moyens d'action architecturaux sont limités. Seuls, une bonne ventilation et un comportement adéquat de l'occupant peuvent réduire ces apports ou leur influence sur la température intérieure.⁹¹

3.4. Les mécanismes de thermorégulation humaine :

L'homme étant homéotherme, il doit assurer en continu son équilibre thermique, pour cela, il dispose d'un système de thermorégulation qui lui permet de régler les échanges de chaleur avec son environnement, en exerçant des réactions conscientes (adaptation comportementale) et inconscientes (vasomotricité, frisson et sudation). Avec un bilan thermique global nul, le corps humain assurera son équilibre thermique ou la neutralité thermique résulte d'un équilibre thermique obtenu par peu (ou aucune) des réactions physiologiques⁹²

3.4.1. L'Aspect physiologique, la thermorégulation humaine :

L'homme régule sa température corporelle, à une valeur avoisinant de 37°C, par échanges thermiques avec son environnement extérieur, pour cela, il dispose d'un ensemble de récepteurs sensoriels cutanés et internes, l'informant à tout moment sur son état thermique. Plusieurs actions, en réaction au déséquilibre thermique provoqué, sont alors envisageables. Certaines sont conscientes et volontaires, comme par exemples la modification du niveau d'activité, de la vêtue, ou dans la mesure du possible, la modification des conditions climatiques intérieures. D'autres⁹³, en revanche, sont issues de phénomènes inconscients, que sont la vasomotricité, agissant sur les échanges internes par modification du débit sanguin, la sudation, augmentant les pertes évaporatoires au travers des pores de la peau par une production d'eau et le frissonnement qui participe à la production de la chaleur par des réactions musculaire.

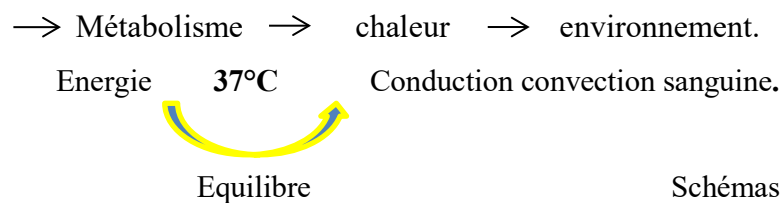
⁹⁰ Hugues Boivin « la ventilation naturelle Développement d'un outil d'évaluation du potentiel de la climatisation passive et d'aide à la conception architecturale », Mémoire de maîtrise, université Laval Québec, 2007, p 115.

⁹¹ Izard-L. Architectures d'été construire : pour le confort d'été, Edition Edisud, 1994, p141.

⁹² BRUANT Marc. Développement et paramétrage de contrôleurs flous multicritères du confort d'ambiance. Thèse de doctorat : INSA de Lyon. 1997, Lyon.

⁹³ Bassam Moudjalel, op. cit, p 29.

Deux types de thermorégulation peuvent être distingués : une thermorégulation physiologique végétative dont le but est de garder la température interne du corps à l'alentour de 37°C, et une thermorégulation comportementale, consciente ou inconsciente, qui permettent d'anticiper les changements rapides dans l'environnement afin de limiter les réactions physiologiques perçues comme désagréables.⁹⁴



Schémas explicatif, auteur.

3.4.2. L'aspect physique, échanges et bilan thermique :

3.4.2.1. Le Bilan thermique :

De nombreuses expressions ont été proposées pour décrire le bilan des échanges thermiques entre l'homme et son environnement ; toutes reprennent, sous des formes ou des décompositions différentes, six paramètres principaux qui caractérisent l'état de confort thermique ceux-ci sont liés non seulement à l'environnement mais aussi à l'individu lui-même :

Givoni décrit l'échange thermique entre le corps et son environnement par la formule générale : ⁹⁵

$$L = (M - W) \pm R \pm C \pm K - E - Resp$$

R : les échanges radiatifs.

C : les échanges convectifs.

K : les échanges conductifs.

E : l'évaporation cutanée.

Resp : Les échanges respiratoires.

Dès lors que le sujet est vêtu, l'échange thermique entre le corps et son environnement est modifié par les propriétés des vêtements qui constituent un environnement secondaire auquel la plus grande partie du corps se trouve exposée. La dépendance entre cet

⁹⁴ Narçon Sandrine. Caractérisation des perceptions thermiques en régime transitoire - Contribution à l'étude de l'influence des interactions sensorielles sur le confort. Thèse Neurosciences et Comportement. Paris : Ecole Pratique des Hautes Etudes, 2001.p 85.

⁹⁵

environnement secondaire et les conditions externes est très complexe ; le régime de ces relations est aussi affecté par d'autres facteurs tels que les propriétés des matériaux des vêtements, leur forme, etc. Givoni divise les facteurs affectant l'échange de chaleur des corps vêtus en facteurs primaires et autres secondaires :

Facteurs primaires	Facteurs secondaires
Métabolisme	Température des vêtements
Température de l'air	Mouvements d'air sous les vêtements
Température moyenne radiante	Température de la peau
Mouvements de l'air	Taux de sudation
Tension de vapeur d'eau	Humidité de la peau et des vêtements
Type de vêtements et matériaux	Capacité de refroidissement de la transpiration

Tableau.05 : facteurs influents le bilan ⁹⁶

3.4.2.2. Echanges de chaleur entre l'organisme et le milieu :

Pour que l'homme soit dans un état de confort thermique, il faut que le débit de stockage de chaleur dans l'organisme soit nul, ⁹⁷ c'est à dire qu'il puisse évacuer l'énergie produite par son activité métabolique ; l'homéothermie conduit ainsi à considérer la neutralité thermique de l'homme en équilibre avec l'ambiance. Les conditions dans lesquelles on obtient cet équilibre, dépendent de la conjugaison de nombreux facteurs. Certains de ces facteurs sont d'ordre individuel comme l'activité, l'acclimatement, le vêtement, et d'autres sont des facteurs environnementaux tels que la température d'air, le rayonnement, l'humidité et les mouvements d'air.

En effet, la chaleur produite par le corps est dissipée dans l'environnement à travers la surface cutanée et par voie respiratoire sous forme de chaleur sensible et latente. ⁹⁸La convection, le rayonnement et la conduction sont les trois modes d'échange de chaleur sensible à la surface cutanée, la chaleur latente est reprise par évaporation de la sueur à la surface de la peau. ⁹⁹

⁹⁶ Denis Manceau, Christian Marenne, Chantal Nicolas. Intégration des paramètres du confort dans un modèle de simulation thermique. *Rapport de recherche* 234/84, Ministère de l'urbanisme et du logement, Secrétariat de la recherche architecturale (SRA) ; Ministère de l'industrie et de la recherche ; Centre de recherches méthodologiques d'architecture (CERMA). 1984. hal-018885515.p26.

⁹⁷ Denis Manceau, Christian Marenne, Chantal Nicolas, op. cit, p26.

⁹⁸ Moujalled Bassem, op. cit, p

⁹⁹ Dubois cité par Candas V. L'homme dans son environnement climatique : facteurs d'influence, thermorégulation, sensibilité et confort thermiques. In : Habitat, confort et énergie. Actes de la 13e Journée du CUEPE, 22 mai 2003, p 05

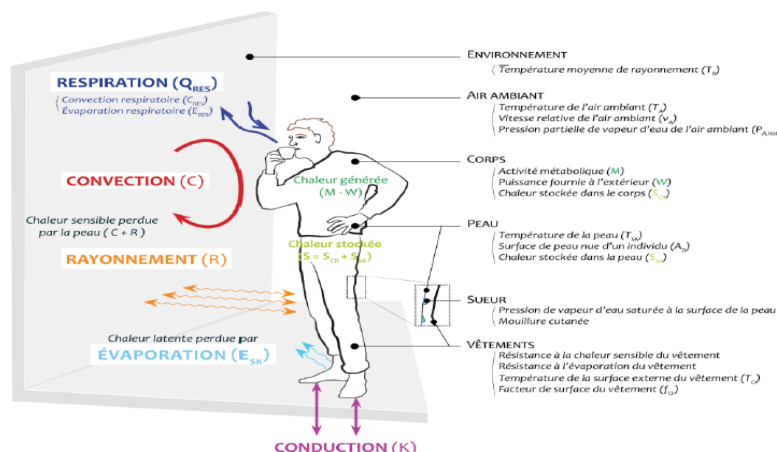


Figure.40 : L'interaction thermique entre le corps humain et son environnement.¹⁰⁰

3.4.2.3. Les échanges de chaleur sensibles :

Lorsque l'être humain se trouve dans une enceinte, le corps échange de la chaleur avec l'air ambiant par convection, et avec les surfaces environnantes par rayonnement de grande longueur d'onde. Il peut perdre ou gagner de la chaleur par des ces voies selon que l'environnement est respectivement plus froid ou plus chaud que la surface du corps.

La conduction :

La conduction concerne l'échange de chaleur par contact direct entre certaines parties du corps et une surface de température différente (le sol, les parois ou le mobilier). Par exemple un matériau effusif plus froid que la peau, par contact de la chaleur du corps humain donne une sensation de froid.¹⁰¹ Les échanges par conduction sont souvent négligés quand les zones corporelles concernées sont petites, et si des parties plus grandes de la surface corporelle sont en contact avec des éléments de mobilier (chaise, fauteuil, canapé, lit) les tissus en contact se mettent rapidement en équilibre et se comportent comme un isolant thermique par rapport à l'ambiance.¹⁰²

¹⁰⁰ Cécile Bâtier, op. cit, p 48.

¹⁰¹ Fernandez, P, et Lavigne, P. Changement d'attitude pour concevoir un cadre bâti bioclimatique : une contribution au développement durable, Techniques de construction, CTQ 013, Éditions du moniteur, 2010.

¹⁰² Moudjaled Bassem, ibid, p27.

**La convection :*

La convection est le transfert de chaleur entre la peau et l'air qui l'entoure, elle dépend de la différence entre la température de l'air et celle de la surface exposée, peau ou vêtement. Si la température de la peau est supérieure à la température de l'air, la peau va se refroidir et dans le cas contraire, elle va se réchauffer, Figure.41.

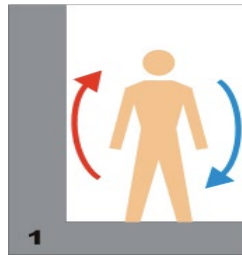


Figure.41 : transfert de chaleur par convection.

Selon la vitesse de l'air, il existe deux types de convection, la convection naturelle ou libre quand la vitesse de l'air est inférieure à 0,2 m/s et la convection forcée pour des vitesses supérieures à 0,2 m/s (c'est le cas des ventilateurs). Lorsque la vitesse de l'air est élevée les échanges convectifs influent d'une façon importante le bilan thermique de l'individu, à ce propos : *les échanges par convection sont réduits par les vêtements et augmentent avec la vitesse de l'air, d'où la recherche de courant d'air et le port de tenue légère en été , avec une humidité de 50%, un courant d'air de 0,5m/s donne sur la peau nue, une sensation d'abaissement de la température de l'air de 3,5°C.*¹⁰³

Il est calculé par l'expression suivante selon l'ASHRAE, 1997.

$$C = fcl * hc * (tcl - ta).$$

Avec :

C = flux de chaleur convectif, W/m²

fcl = facteur d'habillement

hc = coefficient d'échange convectif, W/m².K

tcl = température de la surface externe du vêtement, °C

ta = température d'air, °C.

Le rayonnement :

¹⁰³ www.arena.fr.

C'est le mode d'échange de chaleur à distance entre deux corps par ondes électromagnétiques. Il s'agit principalement d'échanges, entre la surface du corps et les surfaces de la pièce. Ainsi, des inconforts froids peuvent être perçus par rayonnement à proximité des parois froides (exemple : mur mal isolé, fenêtre simple vitrage).

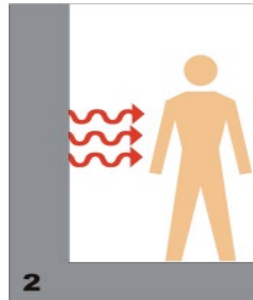


Figure.42 : transfert de chaleur par rayonnement.

Pour simplifier le calcul du flux radiatif, la température moyenne de rayonnement est utilisée à condition que l'environnement thermique soit homogène. Elle est une moyenne pondérée des températures de surface des parois du local en fonction de leur émissivité et de leurs positions relatives par rapport au sujet. En plus, une approximation linéaire est utilisée pour écrire l'équation du flux radiatif en raison des faibles écarts de température.

L'expression est la suivante ¹⁰⁴ :

$$R = fcl \cdot hr \cdot (tcl - tr).$$

hr est calculé comme suit :

$$h_r = 4 \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot f_{eff} \cdot \left[273.2 + \frac{t_{cl} + t_r}{2} \right]^3$$

Avec :

R = flux de chaleur radiatif, W/m²

fcl = facteur d'habillement

hr = coefficient d'échange radiatif linéarisé, W/m².K

tcl = température de la surface externe du vêtement, °C

tr = température radiante moyenne, °C

ε = émissivité moyenne du corps

σ = constante de Stefan-Boltzmann, 5.67×10⁻⁸ W/m²K⁴

f_{eff} = coefficient effectif de surface rayonnante.

¹⁰⁴ ASHRAE -55. Thermal environmental conditions for human occupancy. 1997.

Selon Givoni, il existe d'autre élément intervenant sur l'échange thermique entre l'opérateur et l'ambiance, qui est la texture des vêtements : « *Le régime de ces relations sera aussi affecté par d'autres facteurs tels que les propriétés des matériaux qui constituent les vêtements et la forme de ces vêtements, qui peuvent varier dans une très grande mesure* »¹⁰⁵

***Les transferts Latents :**

L'évaporation :

Deux types d'évaporation cutanée, à savoir perspiration et transpiration.

La perspiration est un phénomène d'évaporation diffusive continue liée à la présence permanente d'eau sur la peau. La quantité d'eau évaporée par perspiration est fonction des conditions hygrométriques de l'air ambiant, mais avoisine 11 g/h par m² de peau¹⁰⁶ La transpiration (sudation) est un processus de régulation qui se déclenche dès lors que le corps n'est plus en équilibre thermique

3.4.3. L'aspect psychologique :

Au-delà des aspects physiques et physiologiques du confort thermique, un certain nombre de phénomènes et de paramètres non thermiques apparaissent dans l'évaluation du confort thermique d'un occupant. La sensation que chacun peut avoir du confort dépend de nombreux paramètres intrinsèques¹⁰⁷ à l'individu tels que l'âge, le sexe, le poids, la fatigue et l'état de santé, auxquelles s'ajoutent les facteurs socioculturels.

L'aspect psychologique concerne la sensation et le comportement de l'individu dans un environnement thermique. Hensel suggère que l'activité thermo-sensorielle qui amène à donner des jugements sensoriels est qualitative, elle dépend de l'expérience sensorielle et ne peut pas être basée uniquement sur la physique et la physiologie.

¹⁰⁵ GIVONI Baruch, L'homme, l'architecture et le climat. Editions du Moniteur ; Paris, 1978, p40

¹⁰⁶ Cordier N, développement et évaluation de stratégies de locaux de grandes dimensions, thèse de doctorat 2007, p 321

¹⁰⁷ Courgey, S et Oliva, J.P., la conception bioclimatique, des maisons confortables et économes, Edition terre vivante, 2010, p 31.

3.5. Les approches du confort thermique et model d'évaluation :

En se rendant compte de l'importance de l'évaluation du confort thermique dans le domaine de construction, de nombreux travaux de recherche ont été menés dans ce domaine dès le début du siècle dernier. Il est d'usage de différencier grossièrement deux principales écoles de pensée, quant aux modèles qui tentent de quantifier l'insatisfaction des occupants par rapport à une ambiance thermique intérieure donnée. Il s'agit de l'école dite « statique » et l'autre dite « adaptative ». Les modèles du confort thermique les plus couramment utilisés sont celui de Fanger et celui de Gagge, Le modèle de Fanger a servi de base pour la norme internationale ISO-7730 qui porte sur les conditions de confort dans les ambiances thermiques modérées, et celui de Gagge pour la norme américaine ASHRAE standard-55 qui lui aussi précise les conditions de confort thermique dans les bâtiments, (température effective standard).

En effet, les modèles physiques qui sont souvent des instruments de mesure dont les réponses physiques à l'ambiance thermique sont semblables à celles du corps humain. Il y a aussi les mannequins thermiques souvent utilisés pour la détermination des caractéristiques thermiques des vêtements. En résumé, il y a les modèles empiriques et les modèles rationnels. Les modèles empiriques établissent à travers les expérimentations, dans les chambres climatiques ou in situ, une régression statistique en combinant les effets de deux ou plusieurs variables physiques et/ou physiologiques en une seule variable. Les modèles rationnels sont fondés sur des estimations des différentes formes d'échanges de chaleur entre le corps humain et les ambiances thermiques, ainsi que du bilan thermique et de la contrainte physiologique résultante. A la suite de ces travaux, plusieurs indices de confort thermique ont été développés en se basant sur des modèles du confort thermique.

3.5.1. L'approche statique :

L'approche statique du confort thermique est basée sur le calcul du bilan thermique du corps humain, par des modèles essentiellement physiques et physiologiques. L'objectif est de prédire la sensation thermique des occupants afin d'identifier les conditions de confort thermique. Pour déterminer les grandeurs physiologiques de l'individu (température cutanée, température interne et mouillure cutanée), des modèles physiologiques du système de thermorégulation ont été développés, des modèles physiques sont aussi utilisés pour calculer les échanges de chaleur entre l'occupant et son environnement (conduction, convection, rayonnement et évaporation).

Ces modèles utilisent comme variables d'entrée les grandeurs physiques de l'ambiance thermique (température d'air, température de rayonnement, humidité d'air et vitesse d'air), ainsi que les caractéristiques de l'individu (taille et poids de l'individu, production de chaleur métabolique, caractéristiques des vêtements). En sortie sont proposés des nombreux indices qui prévoient la sensation thermique ou le niveau de confort pour les conditions étudiées.

Les différents modèles développés se différencient au niveau de la modélisation physiologique de la thermorégulation. Certains modèles ont été déterminés expérimentalement dans des chambres climatiques avec des individus sous des conditions homogènes et stationnaires. D'autres modélisent le corps humain en le découpant en plusieurs compartiments. Ces modèles ont l'avantage d'être applicables sous des conditions instationnaires. Par contre, l'hétérogénéité des conditions dans l'espace est plus ou moins prise en compte selon le nombre de compartiments considérés dans le modèle.

3.5.2. L'approche analytique :

Traite le confort thermique à travers le calcul du bilan thermique du corps humain. Les résultats de recherches publiés jusqu'à ce jour, notamment ceux de Gagge en 1967 aux États unis et de Fanger en 1985 au Danemark permettent d'opérer une sélection des principaux paramètres à prendre en compte. Les paramètres qui influencent le confort sont essentiellement la vitesse et l'hygrométrie de l'air, la température sèche et la température moyenne radiante.

Plusieurs normes européennes parmi les quelles NF-EN-15251 et 7730 aident les concepteurs à définir clairement les attendus en termes de confort thermique. Tous particulièrement pour le calcul des températures opératives,

a.Modèle d'équilibre thermique :

La difficulté de la majorité des modèles réside dans ce qu'ils intègrent de multiples paramètres, à la fois physiques et physiologiques, souvent inaccessibles, du moins pour une utilisation en lignes et une intégration des modèles dans des stratégies de contrôle des systèmes de conditionnement d'air. La relative simplicité du modèle de Fanger, intégrant un nombre limité de paramètres, est une raison sa large utilisation. Cette méthode a été inventé dans les années soixante-dix. Elle a servi pour développer la norme française et internationale (NF EN ISO -7730). Fanger propose une équation pour exprimer la relation entre les 6 aspects du confort thermique en termes physiques, sur la base d'expériences avec un groupe de jeunes

universitaires exposés à un environnement uniforme dans une chambre thermique. Considérant les échanges de manière globale, dans une ambiance thermique stationnaire, et établit les équations de confort définissant la température cutanée T_{peau} et l'énergie sudatoire $Esud$ comme fonction du seul métabolisme.¹⁰⁸

Equation :

$$H - 0.31(57.4 - 0.07H - Pa) - 0.42(H - 58) - 0.0017M(58.07 - Pa) - 0.0014M(34 - ta) = 3.9 \times 10 - 8 \int cl\{(tcl + 273)^4\} - (tr + 273)^4 + \int clhc(tcl - ta).$$

Équation 1. Formule de Fanger en 1970, d'après Sayigh et Marafia.¹⁰⁹

H: Metabolic heat production (w/m²).

Pa: 181nviro pressure of water vapour (mb)

M: metabolic free energy production external work w/m²

Ta: air temperature. C°

Cl: clothing insulation.

Tcl: clothing temperature

Tr: mean radiant temperature C°

Hc: convective transfer coefficient w/m² k

Cependant, cette formule exprime seulement une situation idéale de confort, sans donner d'information pour d'autres situations où les variables ne satisfont pas à l'équation¹¹⁰¹¹¹. Donc pour compléter son modèle, Fanger a proposé une méthode pour prévoir la sensation thermique dans une situation arbitraire où les variables prennent des valeurs différentes. Il s'agit des index vote moyen prévu (PMV – Predicted Mean Vote) et pourcentage prévu d'insatisfaits (PPD – Predicted Percentage of Dissatisfied).

Il s'appuie sur une large étude statistique (population de 1300 individus ayant été placés dans des chambres climatiques avec une ambiance thermique stable) et un modèle de bilan thermique du corps humain mettant en jeu 6 entrées (la température d'air sec, la

¹⁰⁸ Nicolas cordier, op.cit, p 58.

¹⁰⁹ Sayigh, A. et A.H. Marafia. Chapter 1-Thermal comfort and the development of bioclimatic concept in building design. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 1998, 2(1-2), 3-24.

¹¹⁰ Sayigh, A. et A.H. Marafia. Op. cit, 3-24.

¹¹¹ Peeters L. et al. Thermal comfort in residential buildings: Comfort values and scales for building energy simulation. Applied Energy, 2009, 86: 772-780.

température radiative moyenne, la vitesse d'air, l'humidité relative, le métabolisme et l'habillement) et une sortie représentant la différence entre la chaleur produite par le corps humain et la chaleur échangée à la surface des vêtements : Durant les expériences, les individus étaient amenés à noter leur ressenti sur une échelle de -3 (froid) à 3 (chaud), ce qui a permis à Fanger de calibrer la relation prédisant le vote moyen d'un occupant (PMV). Predicted mean vote

Le premier, l'index PMV, prévoit la valeur moyenne des votes d'un grand groupe de personnes à l'aide d'une échelle de sensation thermique de 7 points. Cette échelle a été adaptée par le standard ASHRAE (2004), en utilisant des valeurs de 1 à 7 (tableau.05).

	<i>Froid</i>	<i>Frais</i>	<i>Légèrement frais</i>	<i>Neutre</i>	<i>Légèrement tiède</i>	<i>Tiède</i>	<i>Chaud</i>
Fanger	-3	-2	-1	0	1	2	3
ASHRAE	1	2	3	4	5	6	7

Tableau.05 : Échelle de sensation thermique de Fanger en 1970 et l'échelle modifiée par ASHRAE-2004.¹¹²

Le deuxième index PPD est calculé en fonction du PMV et prédit le pourcentage d'occupants insatisfaits de l'environnement thermique. L'insatisfaction est définie par les votes qui indiquent une sensation froide, fraîche, tiède ou chaude. La figure .43, montre le graphique qui exprime la relation entre le PMV et le PPD. Pour une valeur du PMV de 0 (neutre), la valeur du PPD est de 5%, c'est à dire, on estime qu'il aura quand même 5% des occupants que ne seront pas satisfaits¹¹³.. Cela nous indique l'impossibilité pour satisfaire toutes les personnes dans un grand groupe partageant un même environnement intérieur. Les plaintes ne pouvant être évitées, elles devraient être réduites au minimum

Pour synthétiser, les paramètres à renseigner sont :

Indice d'habillement : *Clo* venant du terme anglais Cloth, Cet indice va de 0 pour une personne nue à 3 pour une personne habillée avec un manteau d'hiver.

¹¹² ASHRAE. Thermal environmental conditions for human occupancy, Vol. 55-2004, Atlanta.

¹¹³ Peeters L. et al. Thermal comfort in residential buildings: Comfort values and scales for building energy simulation. Applied Energy, 2009, 86 : 772-780.

Indice de métabolisme : Met : cet indice va de 0.8 pour une personne allongée à 8 pour une personne qui court :

Les catégories A, B ou C correspondent à un niveau de satisfaction des usagers (avec l'hypothèse qu'ils restent très longtemps dans le volume d'ambiance concerné)

A correspond au meilleur niveau de satisfaction et C au moins bon.

- Cette relation entre les deux indicateurs, montre que même dans le cas d'un PMV optimal compris entre -0.5 et +0.5, le pourcentage de personnes insatisfaites est de l'ordre de 5 à 10 %.

Les catégories A, B et C se définissent ainsi :

A : $-0.2 < \text{PMV} < +0.2$ et $\text{PPD} < 6\%$.

B : $-0.5 < \text{PMV} < +0.5$ et $\text{PPD} < 10\%$.

C : $-0.5 < \text{PMV} < +0.5$ et $\text{PPD} < 15\%$.

La catégorie B est considérée comme une catégorie de bon confort, classiquement adoptée pour une zone de bureaux, par exemple, sur la base de ces trois paramètres, le thermicien doit être en mesure d'évaluer les températures opératives acceptables en suivant l'abaque fournit par la norme. La norme définit des plages de variation autour des valeurs théoriques de température opérative en fonction de la classe de confort. Ces plages reflètent l'acceptabilité des variations de température ressenties du fait des systèmes de régulation thermique, de la diversité de la tenue vestimentaire, des écarts ressentis entre différents points de la zone considérée

Notant que le modèle de Fanger a été critiqué à cause d'une trop grande stabilité des conditions d'expérimentations dans les chambres climatiques, et de données d'entrée trop importantes et difficiles à évaluer.¹¹⁴ Van Hoff en 2008a trouvé d'importantes contradictions entre les résultats du modèle PMV et les votes réels des occupants, ainsi qu'une relation différente entre l'index PVM et PPD que celle décrite par Fanger. Selon Van Hoff, cela démontrerait que la neutralité thermique n'est pas nécessairement l'idéal pour un bon nombre d'individus, et que les préférences pour des sensations thermiques variables sont communes, généralement influencées par la saison. Ainsi, les sensations thermiques hors des trois catégories centrales de l'échelle ASHRAE de 7 points ne refléteraient pas nécessairement une sensation d'inconfort pour un nombre substantiel de personnes.

¹¹⁴ Foundjangan Doma Soro, conception des murs en climat chaud et sec : minimisation de l'inconfort thermique dans les bâtiments à ventilation naturelle construits en brique de terre comprimée, MASTER Laboratoire Eco-Matériaux et Habitat Durable. (LEMHaD). 2020. p 25.

Malgré les limites du modèle de Fanger, il est devenu le plus généralement adopté, ou Les normes ISO 7730, pr EN 15251 et ASHRAE 55 sont basées sur ce modèle. Selon ces normes, un environnement thermiquement acceptable doit être qualifié comme tel par « au moins le 80% des occupants.

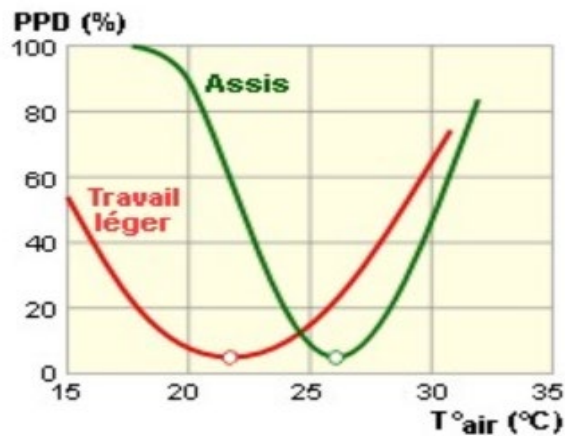


Figure.43 : La figure ci-dessus considère le sentiment de confort thermique exprimé par les sujets eux-mêmes. Il s'agit de pourcentages prévisibles d'insatisfaits (PPD), exprimés sur l'axe vertical, pour des personnes au repos en position assise.

3.5.3. L'approche Adaptatif¹¹⁵

Une critique récurrente des modèles d'équilibre thermique est qu'ils ne tiennent pas compte du contexte climatique ou social du bâtiment et de l'adaptabilité des occupants dans la prédiction du confort thermique¹¹⁶. Le modèle adaptatif reconnaît l'existence d'un équilibre dynamique entre les personnes et leur environnement thermique, de sorte que les changements dans l'environnement peuvent être compensés, par exemple dans l'habillement ou par l'activité physique.

Les expériences en chambres climatiques et les enquêtes in situ constituent les principaux moyens d'investigation sur le confort thermique. Cependant, Les chambres climatiques ¹¹⁷permettent une instrumentation et un contrôle parfait des conditions de l'ambiance. Les valeurs des différentes variables physiques de l'ambiance (températures, vitesse et humidité d'air, éclairage ou niveau sonore) ainsi que celles des sujets expérimentés (activité, vêtue, températures cutanées ou internes, réponses perceptives et affectives) sont toutes identifiables, la plupart sont souvent maintenues à des niveaux constants ou varient dans des intervalles prédéterminés. Les conditions de confort sont ainsi identifiées en analysant les données obtenues.

Néanmoins, ces chambres climatiques présentent certaines limitations en excluant les composantes psychologiques des mécanismes de régulation qui régissent le confort thermique. Les sujets doivent exécuter certaines tâches précises en subissant les conditions d'ambiance, leurs comportements restent limités aux consignes du protocole expérimental. Or le contexte peut biaiser les réponses des sujets dans ces conditions.

D'autre façon, les changements de l'activité ou de l'habillement peuvent être équilibrés par des ajustements à l'environnement thermique.¹¹⁸ Ces ajustements ne sont pas envisagés par l'approche de l'équilibre thermique, laquelle favorise un climat homogène, stable et artificiel ainsi qu'un contrôle restreint, alors que l'approche adaptative privilégie les

¹¹⁵ Foundjangan doma soro, op. cit.

¹¹⁶ Hacker, J. et M.J. Holmes. (2007) Thermal Comfort: Climate Change and the Environmental Design of Buildings in the United Kingdom. Bu/7f Environment, 33(1), 97-114.

¹¹⁷ Bassem Moudjalel, op. cit, p 48.

¹¹⁸ Humphreys, M.A. Thermal comfort temperatures world-wide - the current position. Renewable Energy, 1996, 8(1-4), 139-144.

environnements diversifiés et sensibles aux variations du climat naturel ainsi qu'un contrôle élevé de l'environnement.¹¹⁹

En effet, dans un bâtiment refroidi uniquement par la ventilation naturelle, la température intérieure dépend davantage des conditions météorologiques extérieures. Les critères de confort sont évalués selon un modèle de confort adaptatif. Ce modèle a été instauré dans l'ASHRAE -55 pour la première fois. Il est applicable lorsqu'il n'y a aucun système mécanique de refroidissement et que le système de chauffage n'est pas en fonction. Le taux métabolique de l'occupant doit être entre 1 et 1,3 Met, et cet occupant doit s'adapter à son environnement en portant des vêtements ayant une isolation thermique entre 0,5 et 1 Clo.

La plage de la température moyenne extérieure applicable est entre 10 et 33,5 °C pour les espaces naturellement conditionnés contrôlés par les occupants.

Ce modèle adaptatif aspire à aborder le confort avec une approche empirique basée sur des enquêtes auprès des occupants des bâtiments, sous une vaste gamme de conditions et dans différentes parties du monde. Cette approche est basée sur les analyses réalisées par des chercheurs tels que Humphreys, Auliciems et De Dear, Baker et Standeven et De Dear et Brager¹²⁰. Leurs études sur le confort adaptatif montrent que les températures neutres préférées diffèrent dans les différentes parties du monde, mais elles sont corrélées avec la température extérieure moyenne. Ces résultats ont été généralisés pour déterminer les équations de confort thermique du modèle adaptatif.

Selon Brager et De Dear,¹²¹ l'adaptation thermique est basée sur trois processus inter reliés : la réaction psychologique par thermorégulation spontanée, les réactions comportementales par habillage, l'ouverture des fenêtres, l'ajustement des occultations solaires, et les réactions psychologiques par les attentes des conditions environnementales futures.

¹¹⁹ Celis-Mercier S. La température agréable : Manipulation des fenêtres et dynamique du confort environnemental dans une salle de classe climatisée naturellement. Thèse de maîtrise en sciences de l'architecture. Faculté d'aménagement, architecture et arts visuels, Université Laval : Canada.2009.

¹²⁰ Esteban Emilio Montenegro Iturra, op. cit.

¹²¹ De Dear, R. et G.S. Brager. Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference. ASHRAE Transactions, 1998, 104(1), 3-20.

Cette approche est basée sur des sondages de terrain, et utilise les résultats des études expérimentales in situ pour définir les conditions de confort en fonction des données météorologiques extérieures. Elle suscite actuellement beaucoup d'intérêts. La méthode adaptative, développée dans standard ASHRAE-55 en 2004, permet de calculer la température de confort T_c dans les bâtiments soumis à une ventilation naturelle en fonction de la moyenne mensuelle de la température extérieure T_o .

$$T_c = 0.31T_o + 17.8 \dots \text{Equation 02.}$$

T_c : la température de confort.

T_o : la moyenne mensuelle de la température extérieure.

Cette température de confort est la température opérative dans le bâtiment qui prend en compte le rayonnement des parois ainsi que la vitesse de l'air. Le standard ASHRAE55 définit une bande de $\pm 2,5^\circ\text{C}$ de largeur autour la température de confort pour 90% d'acceptabilité, et de $\pm 3,5^\circ\text{C}$ de largeur pour 80% d'acceptabilité.

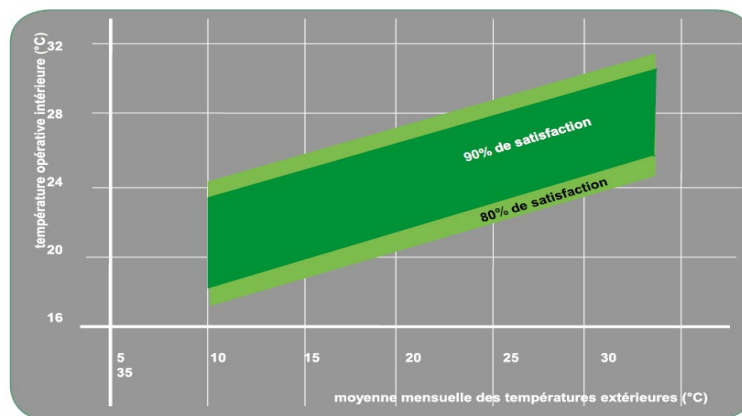


Figure.44 : Graphique des limites d'acceptabilité (80% et 90%) définies par la norme ASHRAE 55-2004.

D'autres principaux contributeurs de l'école adaptative quant à eux, ont différencié les bâtiments ayant des ambiances thermiques conditionnées (climatisation et chauffage) et naturellement ventilées. Il a été observé que les occupants ont une plus grande tolérance dans leur degré de satisfaction du confort thermique dans les bâtiments naturellement ventilés, ce qui impliquerait que les ressorts psychologiques y ont plus d'influence que dans les bâtiments conditionnés.

La norme nord-américaine ASHRAE-55 et la norme européenne prEN-15251 ont reconnu ce fait en incluant l'approche adaptative à leurs standards. Dans les deux cas, les équations pour déterminer la température de confort sont basées sur la température moyenne extérieure. Mais, dans le cas de la norme ASHRAE la base de données des températures est mensuelle, tandis que celle à la norme européenne est une base hebdomadaire ayant un impact majeur sur l'applicabilité du standard.

Équation 2. Formules pour déterminer la température de confort selon l'approche adaptative des normes ASHRAE-55 et prEN 15251.¹²²

ASHRAE 55-2004:	$T_{conf} = 0.31 T_{om} + 17,8$
prEN 15251-2005 :	$T_{conf} = 0.33 T_{om} + 18,8$
	$T_{conf} = 0.09 T_{om} + 22,6$ (période de chauffage)
	T_{conf} = température de confort
	T_{om} = température extérieure moyenne

Figure.45 : équations pour température de confort selon la norme ASHEAE et prEN.

Malgré la similitude des formules et les graphiques utilisés dans les deux normes, il existe d'importantes différences¹²³, Premièrement, il faut indiquer que les bases de données utilisées dans chaque cas sont différentes. Le standard ASHRAE est basé sur les études réalisées par De Dear sous plusieurs climats mondiaux, tandis que la norme prEn 15251 a été développée à partir du projet européen SCATs.

Le standard ASHRAE aurait donc une validation et un champ d'application plus vaste. Deuxièmement, la classification des bâtiments est différente. Le modèle adaptatif de la norme ASHRAE est destiné aux bâtiments ventilés naturellement. Par contre, la norme prEN est adressée à tous les bâtiments en mode libre, ventilés naturellement ou hybrides. De plus, selon Nicol et Humphreys, la méthode de dérivation pour déterminer la relation entre la sensation thermique et la température opérative serait plus exacte dans la norme européenne, car la

¹²² ASHRAE. Advanced Energy Design Guide for K-12 School Buildings. 2008, Atlanta.

¹²³ Nicol et Humphreys, op. cit, 2010.

procédure statistique est appliquée à toutes les données indépendamment, tandis que la norme ASHRAE considère l'analyse par groupes de données.

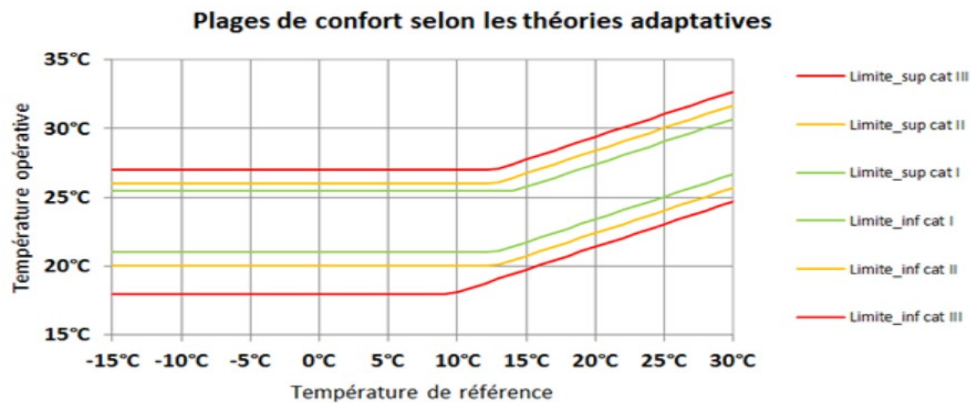


Figure.46 : Températures opératives correspondantes aux différentes plages de confort définies par la norme NBN-EN-15251. Energy-plus.

3.6. Autres critères d'évaluation du confort :

Le confort thermique peut aussi être affecté par des fluctuations brusques de la température opératoire. Ces fluctuations se caractérisent soit par une dérive soit par une rampe de la température. Une dérive est un changement de la température passif tandis qu'une rampe est un changement de la température contrôlé. La variation de la température opératoire avec le temps permise pour une dérive ou une rampe est présentée. Ceci s'applique lorsque l'occupant n'a pas le contrôle sur la température de l'environnement intérieur.

La stratification thermique de l'air peut aussi créer un inconfort supplémentaire pour l'occupant, puisque la température au niveau de la tête est plus élevée qu'aux chevilles. Donc, la différence verticale de la température de l'air, qui est la différence de la température de l'air entre le niveau de la tête et des chevilles, ne doit pas dépasser 3 °C¹²⁴. Au maximum, 5 % des occupants sont incommodés par la différence verticale de la température de l'air. Une surface de plancher trop chaude ou trop froide peut également nuire au confort de l'occupant.

La température de surface de plancher pour des occupants assis dont les pieds chaussés sont en contact avec le plancher doit être entre 19 et 29 °C. Cependant, la température

¹²⁴ ASHRAE 55, 2013, op.cit.

optimale est de 25°C pour des personnes sédentaires¹²⁵. Au maximum, 10 % des occupants sont incommodés par la température de surface de plancher.

Un inconfort peut aussi survenir à cause des surfaces trop froides et trop chaudes, c'est-à-dire une asymétrie de la température radiante. Celle-ci peut être évaluée dans le cas ou :

Le plafond plus chaud que le plancher et le mur plus froid que l'air de la pièce. Les différences doivent être de moins de 5 °C et de 10 °C pour les premiers et deuxième cas respectivement. Au maximum, 5 % des occupants sont incommodés par une asymétrie de la température radiante. Par contre, dans le guide technique¹²⁶ et pratique de la construction, il est mentionné que la différence de température entre la surface intérieure d'un mur extérieur froid et l'air de la pièce ne doit pas dépasser 2,5 °C.

¹²⁵ ASHRAE, 213, op.cit

¹²⁶ Ching, Adams et Saint-Pierre, adaptative approche, 2003.

Conclusion :

A travers ce chapitre nous avons essayé de présenter l'ensemble des concepts liée aux alternatives des constructions performantes, partant du bioclimatique et sa naissance depuis les préceptes du vernaculaire ainsi que la crise pétrolière des années 1972. Basant sur un discours des pionner de domaine, ensuite la présentation des approches d'analyse 'bioclimatique ainsi que les clés de conception notamment dans la zone chaude parait importante car elle nous aide à effectuer l'analyse du cas d'étude dans la phase empirique

Ensuite nous avons dressé un passage par des cas concrets et les expériences réelles nous montrent que ces concepts peuvent être tout le temps appliqué dans des projets existants et nous apprennent que : la performance se présente par une conception architecturale bioclimatique et par l'usage de technologies plus efficaces. Donc, le poste prioritaire d'investissement des potentialités énergétique doit être dédié à la conception architecturale performante. Cette dernière doit prendre en considération l'aspect environnemental en général et l'aspect énergétique en particulier dans les processus de conception architecturale du bâtiment.

Le dernier axe qui a été est consacré à détailler les approches d'évaluations du confort thermique vu qu'elles forment le cœur de notre recherche, pour cela un état de l'art sur les divers facteurs et mécanismes qui interagisse sur le niveau de confort ainsi une description comparative des deux approches montre les différenciations et complémentarités. À travers cette piste de réflexions nous amener à cerner les grandes lignes de la phase empirique ainsi que les outils et approches d'évaluations choisis pour le cas d'étude.

Deuxième partie : phase empirique.

Chapitre 01. : Analyse climatique qualitative de la région d'étude.

La ville au milles coupes, El Oued Souf.

« Le paysage traditionnel du Souf est marqué par la beauté, beauté spécifique, car l'originalité du Souf, établissement humain crée dans un erg est grande...mais sa splendeur n'est pas seulement dans le mouvement des dunes ocre ou blanches de l'erg. Elle est aussi dans une création humaine, inattendue... »



Introduction :

Les formes de peuplement du Sahara ont été toujours liées dans un contexte d'aridité ; à la recherche des méthodes locales et l'utilisation des moyens et ressources disponibles dans la nature environnante. La variété de ses modes d'adaptabilités montre la capacité et l'intelligence du génie humain à modeler cet environnement hostile, tout en produisant des établissements humains réputés adaptables et praticables. Ce produit architectural vernaculaire reflète une originalité et un cachet spécifique, qui se manifestent dans la manière et la façon spécifique et propre à chaque entité en matière d'adaptabilité tant aux facteurs environnementaux liés au climat et géographie de lieux, tant aux croyances et esprit humain attachés aux pratiques locales des individus.

Cette interaction et alliance entre l'homme, l'espace et la nature est toujours prouvée en recourant à différentes manières ; ceci explique un niveau de similitude dans la recherche des moyens d'adaptabilité, et de différenciation liée aux particularités de chaque région, et définit pour chacune une empreinte particulière. La région d'el Oued Souf bien qu'il fasse partie du bas Sahara algérien, elle est particulière par son mode d'occupation du territoire, ainsi que ses techniques spéciales de plantations (le Ghout). Mais cette particularité ne se limite pas à l'aspect et les procédés d'agriculture et à la recherche de l'eau, elle se manifeste aussi à travers son style architectural marqué par la dominance des voutes et des coupoles. Toutes les maisons anciennes sont couvertes de coupoles hémisphériques de diverses tailles, ce qui a donné à la ville un caractère architectural original. **La ville aux mille et milles coupoles** fut le nom donné par l'écrivaine Isabelle Eberhardt au début du XX siècle lors de son séjour à El Oued.

S'ajoute les techniques constructives ancestrales adoptées et les matériaux locaux utilisés ; la rose de sable et le gypse. Cette architecture vernaculaire cache derrière la simplicité des formes et la modestie des techniques et des matériaux utilisés de profondes significations, des interactions complexes ainsi que le métissage de plusieurs facteurs, elle a prouvé à travers le temps sa performance et a mené son rôle physiquement et moralement, dans la capacité de protéger les occupants contre un environnement rude et hostile extérieurement, et être utilisable et praticable intérieurement suivant les impératifs et les obligations de la vie quotidienne.

Dans ce premier chapitre, une analyse bioclimatique de la région d'étude nous permet de comprendre d'une part les relations entretenues entre trois entités déterminantes à savoir : environnement climatique, système agraire, et habitations. Pour ce fait, une description des données climatologiques de la région a été effectuée depuis les sites climatologiques : *météo blue* et *infos climate* vu le fait que les données fournies de la station météo de la région sont insuffisantes pour comprendre la variation des indices influents le climat (température, précipitation et taux d'humidité, vent), ensuite on a essayé de faire une lecture analytique des liens entretenues entre particularité territoriale et système oasien ainsi que la typologie architecturale, d'une vision d'adaptabilité climatique. La somme des informations obtenues prouve qu'il y a des articulations et des justifications déterminantes quel que soit dans le mode d'occupation du territoire ou bien dans la typologie architecturale.

1. Présentation géo-climatique de la région d'El Oued Souf :

1.1. Situation géographique

Sur la partie Nord-Est du grand Erg oriental du bas Sahara Algérien et sous un climat saharien (hyper aride) qui règne sur toute la région du Sud, se situe la vallée d'El-Oued, Elle se trouve à 81m d'altitude. Entre : Le géographe Claude bataillon délimite la vallée du Souf comme suit : Aux confins septentrionaux de l'Erg oriental jusqu'aux abords du Chott *Melghir* s'étire une masse de palmeraie limitée à l'Est par la frontière tunisienne et à l'ouest par l'immense oasis de l'oued- Righ, du Nord-Est de Touggourt et a presque même distance de *Nefza*, en Tunisie. Traditionnellement ces limites de cette immensité sablonneuse atteignent les frontières libyennes au sud et voisinent avec les monts des *Nememchas*, suivant une ligne passant par *Négrine* et aboutissant non loin du Zab oriental. **Figure1.**

Pour l'appellation, l'Oued Souf depuis les hommes le fréquentent n'a sans doute jamais été un grand fleuve saharien, ni peut être même un oued au sens classique de ce terme. Mais une simple dépression où naturellement l'eau se trouvait plus proche que sur les *remlas* (dunes) voisines, et où la végétation était plus serrée.¹

¹ Claude bataillon. Le Souf étude de géographie humaine. Mémoire n° 2, institut de recherche saharienne, Alger. Situation générale, 1995, p11.

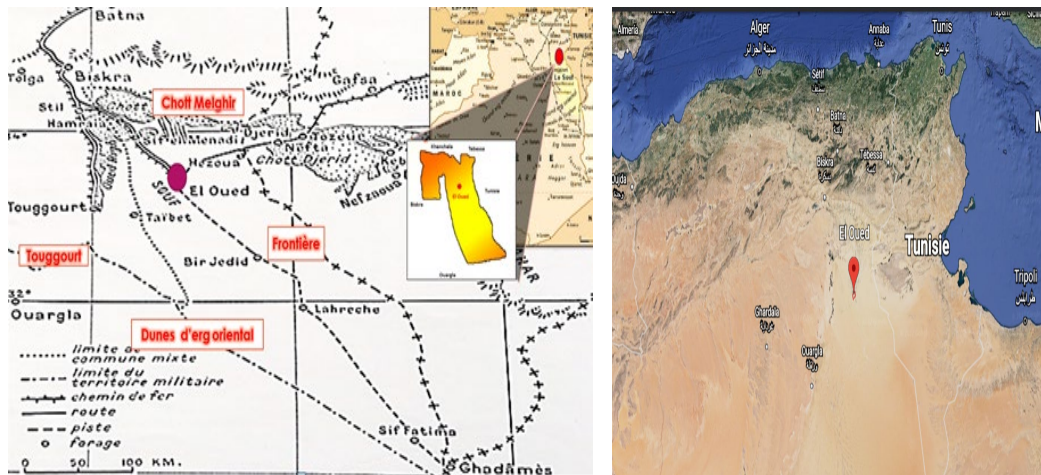


Figure.01 : situation et délimitation de la région d'étude.

a- Délimitation du territoire du Souf². b-Situation géographique.³

b-

1.2. Environnement climatique :

Le climat dominant est de type désertique. Il n'y a pratiquement aucune précipitation toute l'année dans El Oued avec une moyenne de (65 mm/an), selon la classification de Köppen-Geiger, le climat est de type BWh (climat aride). Voir le premier axe du chapitre 02. La carte des zones climatiques de la figure, indique que la région d'étude fait partie de la zone E3. Qui se caractérise par un climat sec et aride avec : sécheresse de l'atmosphère, température élevée, rareté des pluies et vents de sable violents.⁴ **Figure 02.**

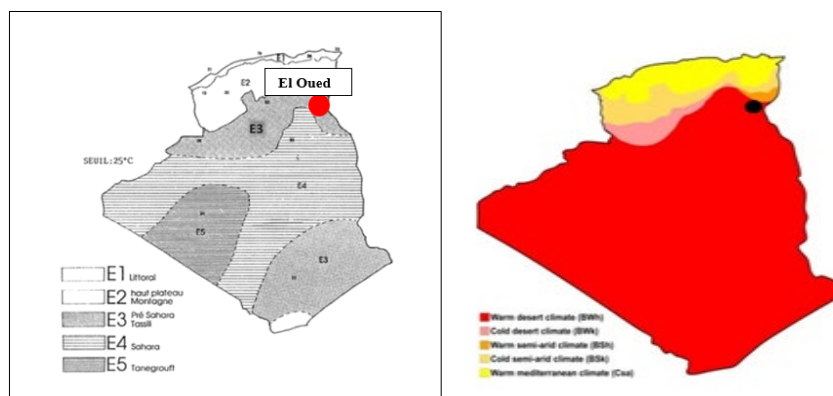


Figure.02 : zonage climatique (a) : Carte des zones climatiques. (b) : classification climatique selon Köppen-Geiger⁵.

² Claude bataillon. op. cit, 1995, p8

³ <https://www.google.com/intl/fr/earth/>.

⁴ DIB, Michel Nadia, 1993, Recommandations architecturales, ENAG-Edition, Alger, p09.

⁵ <http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/present.htm>.

1.2.1. Calcul d'indice d'aridité (d'après E.D Martonne) :

$$Im = P / (T + 10)$$

Im : indice d'aridité.

P : précipitations annuelles.

T : température moyenne annuelle.

$$Im = 120.64 / (28.65 + 10) = 3,12$$

La lecture caractéristique de cet indice se fait de la manière suivante

Lorsque : $Im < 05$ climat hyper aride.

$05 < Im < 10$ climat aride.

$10 < Im < 20$ climat semi -aride.

$20 < Im < 30$ climat semi humide.

$30 < Im < 55$ climat humide.

Donc ; $Im = 3,12$ donc $Im < 05$ Climat hyper aride.

La zone d'étude fait partie de la région saharienne dont l'indice d'aridité (D'après De Martonne), pour la dernière décennie égale à $I = 4.44$) indiquant une aridité absolue. Il existe pratiquement deux saisons, une froide et l'autre chaude.

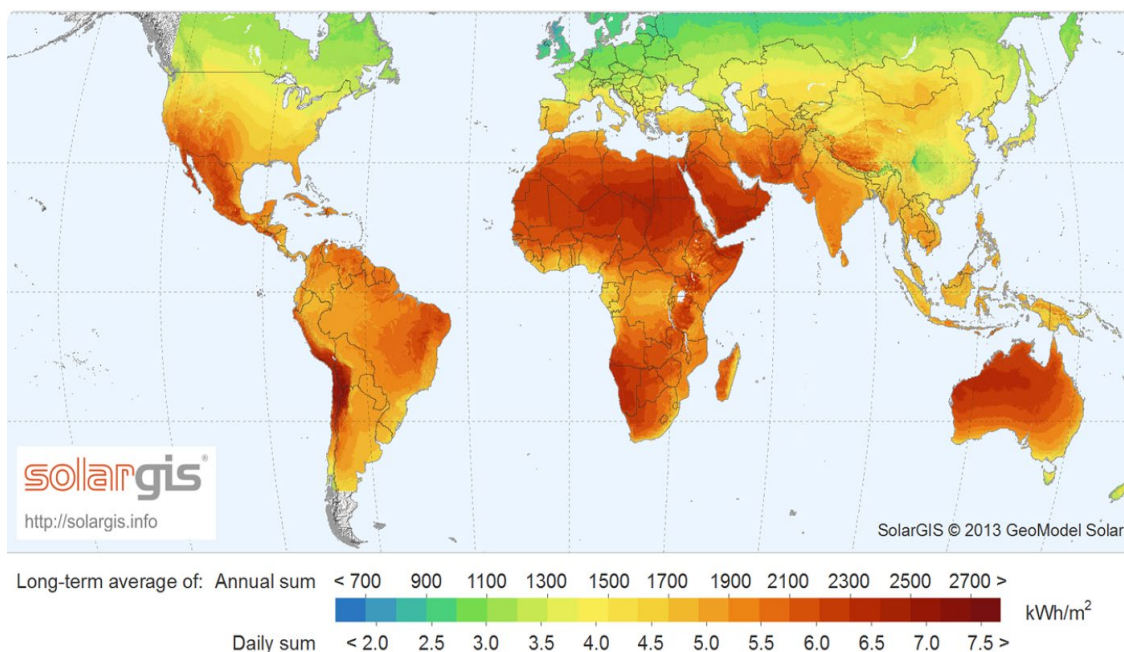


Figure.03 : Carte mondiale de l'irradiation solaire globale (annuelle et journalière moyenne).⁶

⁶<http://Solargis.info>

1.2.2. La température de l'air :

Globalement, les températures varient au cours de l'année de 5 à 45 °C, comme le montre la figure 05, la saison très chaude dure environ 3 mois, de juin à août, avec une température maximale moyenne de 42 °C et une minimale de 27 °C, tandis que la saison froide s'étend de novembre à mars, avec une température moyenne minimale de 5 °C et maximale de 16 °C, **Figure.04, 05**. Le graphe sur figure montre l'historique des variations maximales et minimales des températures durant la période de 1980-2022, les amplitudes de température enregistrée durant cette période sont presque régulières sauf quelques exceptions, les valeurs maximales sont d'ordre de 45 à 50C° avec des moyennes de 35C° et les valeurs des températures minimales de 0 à 5C°.

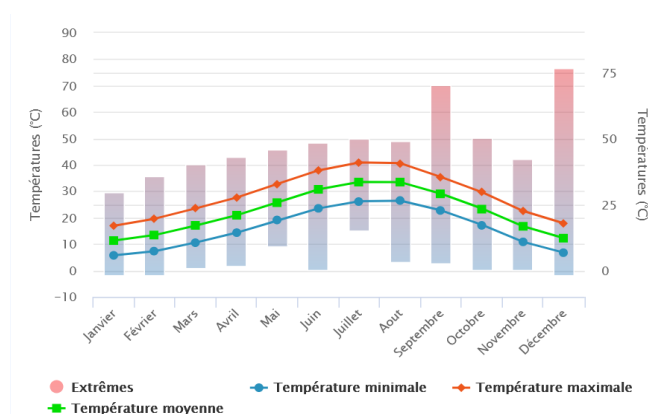


Figure.04 : variation des températures maximale et minimale ⁷.1971-2017.

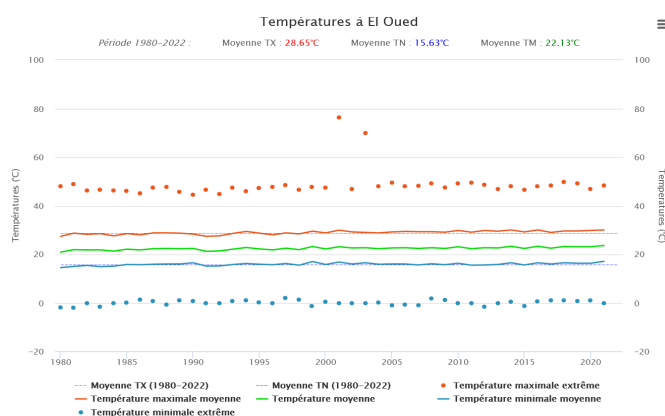


Figure.05 : historique des variations des températures maximales et minimales (1980-2022)

Source : infos climat.

⁷ <https://www.meteo.dz/>

1.2.3. Précipitation et humidité relative :

Par ailleurs, la précipitation annuelle moyenne dans cette ville est très faible, elle atteint sa valeur maximale durant le mois d'Avril avec 20 mm. Durant la période hivernale, le nombre moyen des jours avec précipitation est de deux (2) à trois (3) jours avec une précipitation moyenne de 10 mm. Tandis que, la précipitation moyenne de la période estivale est presque nulle elle n'atteint que 2 mm, **figure.06**.

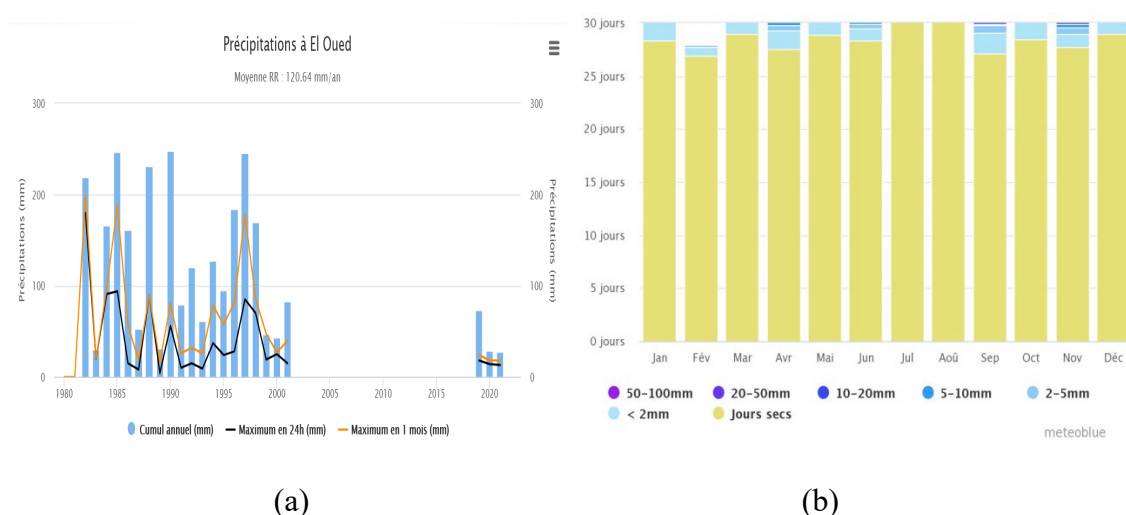


Figure.06 : taux de précipitation (a) précipitation durant la période (1980-2022).
(b) Diagramme des précipitations annuelles.

1.2.4. Les vents :

La région est exposée à un mouvement de vent actif, le plus violent est appelé le Sirocco qui est très chaud et sec, il souffle du côté Sud et provoque des dégâts très importants (dessèchement, déshydratation). Historiquement les habitants du Souf ont leurs idées sur les vents chacun à son nom, *el gharbi* d'ouest, est de peu d'intérêt au contraire *el bahri* vent d'est qu'il faudrait appeler le marin possède une forte personnalité : c'est lui qui souffle le plus fort et détruit les troupeaux en été, il apporte de la fraîcheur il est peu apprécié. En printemps c'est le vent de sable ; ralenti et retard car il est très froid. *El chehili* est le vent brulant parfois violent, il souffle du sud et plus encore sud-ouest.⁸ Figure .07.

⁸ Claude bataillons, op, cit, p26.

*Lorsqu'on prend le temps de ressortir ces rapports, on peut décrypter la société qui la crée ainsi que ses adaptations spécifiques.*⁹

Donc évidemment la structure naturelle préexiste à tout établissement humain, il est fortement influencé par ce milieu naturel dans lequel il s'implante, guidée par l'ensemble des données géographique, topographiques et climatiques, Marc Côté voit que le paysage est reflet d'une société, or nulle part mieux qu'au désert les paysages ne peuvent se lire à livre ouvert, le cas du Souf est exemplaire à plus d'un titre, longuement façonné par la société locale peaufiné jusqu' 'en ses détail'.¹⁰

Donc pour une meilleure compréhension de la nature d'établissement humain du Souf et ses transformations au cours du temps, il est indispensable de faire un retour sur les particularités du milieu physiques, ses composants ainsi que son caractère géo-climatique.

2.1. Caractère géographique de la région :

***Reliefs et atouts souterraines :**

Le territoire du Souf, cette étendue de sable qui fait partie de l'immense géographique du grand Erg oriental, constituée par des alluvions des oueds qui avec le temps ont désagrégué les reliefs d'aujourd'hui, les massifs sahariens situés au sud de la région, et ont épandue leurs matériaux sur le grand pan incliné qui s'ouvrait en direction des grands chotts.

Les milieux sahariens se différencient suivant des particularités spécifiques, entre contraintes et aptitudes, les regs se prêtent à la circulation, les dépressions aux cultures, les montagnes aux parcours. Pour le saharien, l'Erg est le territoire le moins attractif. Dans un Sahara très peu peuplé, l'erg est un territoire vide. Les contraintes de l'erg sont grandes : pas d'eaux superficielles, pas de sources, pas de sol, difficultés de circulation.). Dans ce territoire s'opposent deux principaux types de reliefs, le premier se présente par un secteur des hautes dunes vives qui peuvent atteindre des centaines de mètres d'hauteur, appelées localement *ramla*, le deuxième c'est des dépressions à fond plat tapissées d'encroutement appelées *sahane*. Les vents mettent constamment en mouvement le sable, mais ne comblent jamais les sahanes avec les dunes vives.

⁹ Atek Amina, évaluation du confort thermique du période ottoman, mémoire de magister, Constantine, 2008.p11.

¹⁰ Marc Côté, si le Souf m'était conté, comment se fait et se défait un paysage, Said hannachi media plus, p07.

Géographiquement, l'erg est l'endroit le plus difficile pour vivre¹¹, au dépit d'un environnement hostile et aride, la sécheresse et la pénurie d'eau en surface. Une question qui se pose comment l'homme soufi a pu s'adapter à ces contraintes et s'habiter. Si on prend l'hypothèse que les tribus réfugiées dans le Souf s'organisent en société pastorale, exploitant les parcours et vivant des troupeaux, ce système a effectivement fonctionné pour les nomades de la région. Mais la question qui se pose comment les sédentaires ont été s'installer et développer ce mode de vie particulier ? La réponse est liée aux richesses souterraines, le territoire de Souf présente un matelas providentiel d'eau souterraine. Sous forme d'une nappe aquifère, cette nappe qui a permis la vie humaine dans le Souf.

Toute l'eau utilisée dans le Souf provient de la nappe phréatique contenue dans les sables dunaires quaternaires. Dans l'ensemble le toit de la nappe s'abaisse vers le nord : il est vers El Oglà à la cote 94 m et vers Ghamra à la cote 56m.¹² Cependant, la définition de Souf comme oasis saharienne, complétée de palmier, ne rend pas compte des traits particuliers à la région. Les paysages comme les conditions d'existence qui ne se retrouvent pas ailleurs, dérivant d'un système de techniques spéciale qui donnera l'originalité du souf. *Le Sahara est le domaine des pasteurs tandis que le Souf est celui des cultivateurs ; et la particularité réside dans la solution adoptée par les Soufi dans leur culture de palmier.*¹³

2.2 Le Souf, est un pays isolé mais vivant et peuplé, est Un cas qui échappe au reste des pays bas Sahara :

L'oasis saharienne classique fonctionne comme un agrosystème, reposant sur la trilogie eau, habitat, palmeraie. Ces oasis sahariennes étaient au moyen âge des relais, des points d'appui, sur les grands itinéraires caravaniers qui marquaient les territoires sahariens, dans le cadre des échanges transsahariens qui pendant dix siècles ont relié rive nord et rive sud du Sahara. Les oasis sont nées des besoins créés par ces échanges, elles se sont simplement localisées là où existait les potentialités en eau.¹⁴

¹¹ Marc cote, op. cit, 2006, p10.

¹² Claude bataillon, géographie humaine de Souf, 1955, p 11.

¹³ LEebsir abdelouhab, culture constructive traditionnelle cas d'étude des aures, oued mya, oued souf, magister, université de biskra, 2016

¹⁴ Marc cote, la ville et le désert, Karthala et Iramen, 2006

En revanche d'importantes régions du bas Sahara Algérien qui ont depuis longtemps joué le rôle de relais au long d'un itinéraire, animé par les échanges commerciaux transsahariens, la région du Souf est autre. Ce territoire pour lequel le grand Erg était une entrave à la circulation caravanière, constitua longtemps un angle mort et un lieu de rencontre de groupes qui cherchent un endroit de refuge.

Marc Cote décrit la région comme suit : L'espace oasien du Souf est autre, Le Souf est implanté dans le grand erg oriental, entouré par des hautes dunes du sable, l'Erg est l'antithèse d'un espace de relation, du Sahara occidental à l'Egypte les implantations humaines en erg sont très rares.

Ainsi que Jean Brunhes : Le Souf cette étendue de sable échappe à cette logique d'occupation, pour lequel l'erg été un obstacle caravanier, constitua longtemps un angle mort, et en endroit de refuge des groupes qui cherche de refuge et ne comporta qu'une urbanité très limitée. « *Perdues au milieu des sables, et séparées de tous les autres groupes d'oasis par plusieurs journées de marche, elles constituent un petit monde à part* ». ¹⁵ figure.08

Pendant des générations les habitants de cette région ont lutté, ont réfléchi au meilleur mode de vie, en dépit d'un environnement caractérisé par la pauvreté de la végétation, par la sécheresse de l'air et par le manque considérable d'eaux de surface. La solution adoptée est, non de monter l'eau à la surface du sol et d'en irriguer les palmes, mais d'abaisser le niveau du sol, donc de creuser une grande excavation au sol dans laquelle les palmiers seront plantées et dont les racines sont en contact directe avec la nappe aquifère. L'invention de ce système créé au moyen du mode d'implantation en cratères a rendu la vie possible dans la région, les Souafas ont creusé de profondes excavations au fond desquelles ils plantent leurs palmiers, les racines des arbres sont ainsi directement en contact avec la nappe aquifère.

Il résulte de ce système une unité technique, une cellule de culture liée à cette méthode de plantation et spécifique à la région de Souf appelé localement : el *Gout*, plu : *Ghitane*. Le mot désigne selon la description de Claude bataillon dans sans livre géographie humaine de Souf : La cuvette, l'entonnoir, le trou creusé de main d'homme, complanté de palmiers, défendu contre le vent soumis à des règles techniques et juridiques qui lui sont spéciales, au

¹⁵ Jean Brunhes, le Souf, monographie d'une région saharienne, El Walid, 1985, p07.

lieu de dire : jardin creusé en cuvette planté de palmiers ou palmerais située au fond d'un entonnoir ; nous dirons *Ghout* « *Le paysage de Souf est marqué par la beauté. Beauté spécifique, car l'originalité de Souf, établissement humain crée dans un erg est grande, mais sa splendeur n'est pas seulement dans le mouvement des dunes ocre ou blanches de l'erg mais, elle est aussi dans une création humaine inattendue* »¹⁶. Cette technique originale a façonné le paysage sous forme d'un ensemble d'entonnoirs, figure.09



Figure.08 : position de refuge.¹⁷

2.2.1. Système oasien :

L'agro- système soufi est un choix de société, mais cette société a su adapter étroitement ce modèle aux différents milieux physiques de L'erg, qui s'avèrent plus différenciés qu'il n'y paraît de prime abord. Schématiquement, Marc cote distingue 4 micro milieux, 4 types d'aménagement, et donc 4 paysages, encore bien visibles dans le Souf d'aujourd'hui. L'analyse de ces paysages montre comment les populations ont su tirer parti des différences de micro milieux. Il y a là une leçon étonnante sur les rapports entre l'homme et le milieu.

À travers ces différentes formes, on est en présence d'un sens étonnant des milieux physiques, de leurs contraintes et virtualités. Les populations se sont adaptées à chacun, et en même temps elles ont transformé profondément la nature créant une nouvelle topographie : vue d'avion, le Souf apparaît comme troué de milliers d'alvéoles, la topographie de l'erg est bouleversée. **Figure.09**

¹⁶ Cote Marc, 2006, op, cit p.07.

¹⁷ Marc cote, op. cit, 2006, p 10.

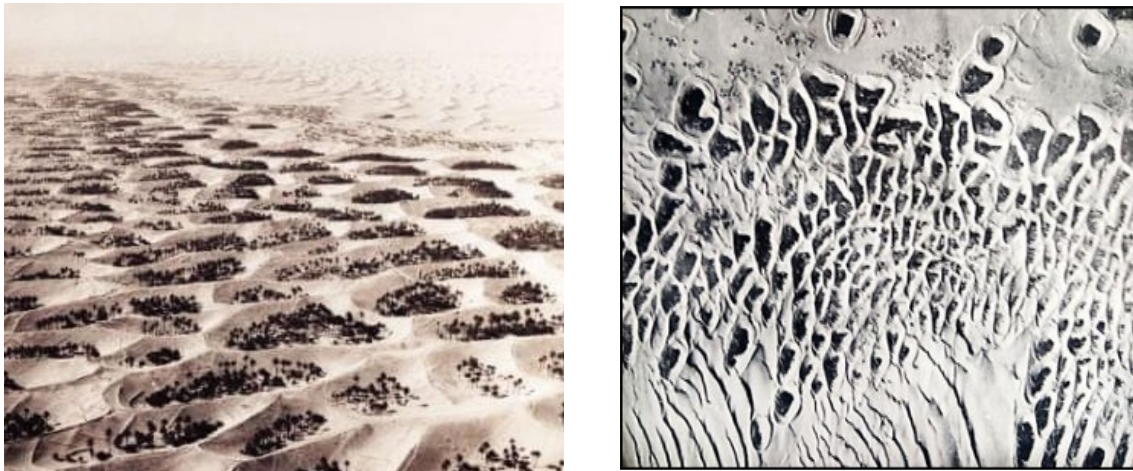


Figure.09 : système agraire.¹⁸

Les cratères profonds en terrain sablonneux : il les trouve dans la partie sud du Souf, ou les encroutements sont minces et friables, ou le sable est relativement homogène. La contrepartie est la profondeur de la nappe : elle est là à 10m, voir 12m de profondeur ; le soufi choisit une zone de sable libre en position basse dans la topographie pour limiter le volume de sable à excaver, et durant des mois à l'aide de la houe, de couffins et d'un âne il creuse et transporte.

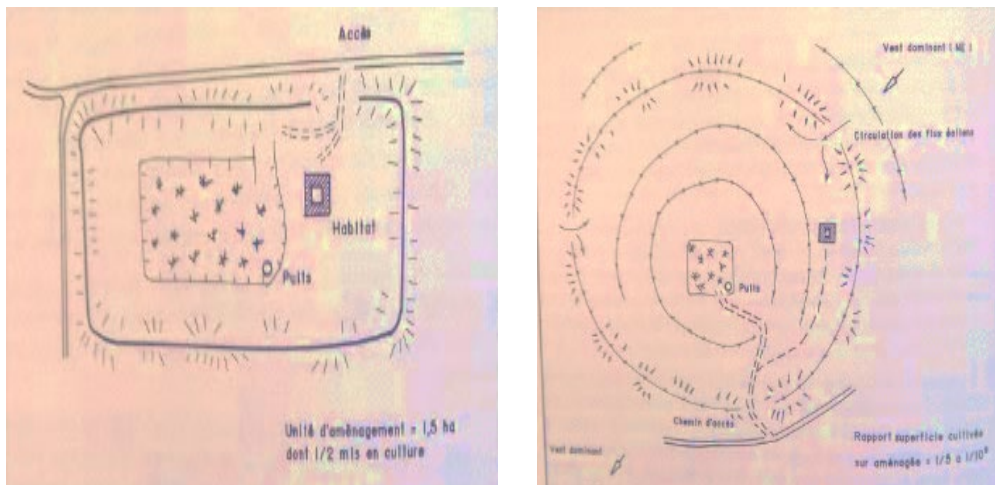


Figure.10 : différentes positions de l'habitat par rapport aux secteurs agricoles, Ghout et jardins.¹⁹

¹⁸ Cote marc, op. cit, 2006, p 117.

¹⁹ Ibid., p22, 24.

2.2.2. Rôle de l'oasis dans la morphologie du territoire :

La présence de trois entités orographiques caractéristiques : dunes de sable, terrains plats et *Ghout*. Entraîne une attitude différente dans la gestion de l'espace. Si le bâti se dispose de façon parcimonieuse sur les franges étroites des terrains stables et peu sableux, les dunes forment une limite naturelle et en même temps un élément structurant linéaire régulant et dirigeant le sens de l'évolution urbaine. Les *Ghout* quant à eux accueillent les palmiers, ²⁰ sont considérées comme des unités d'aménagement du territoire. Figure.11.

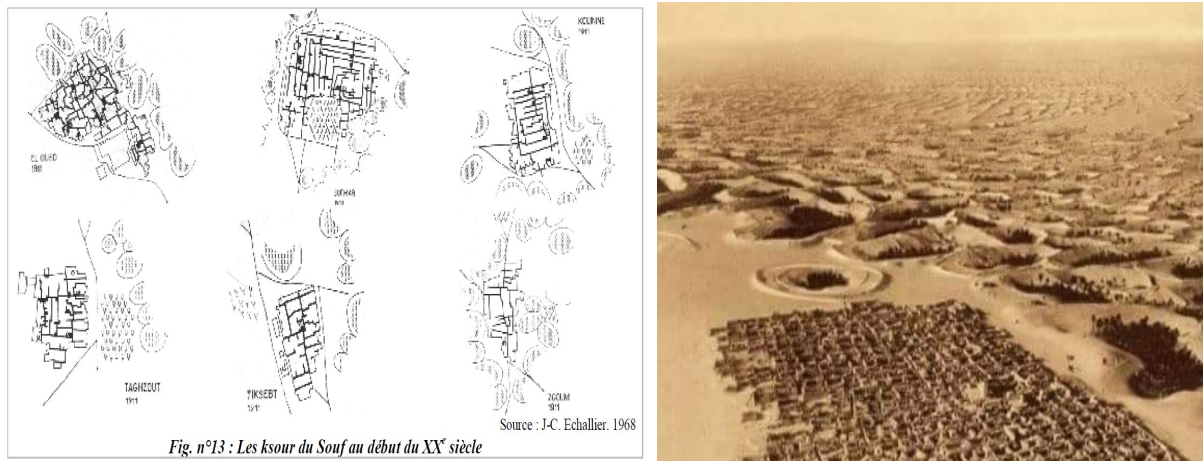


Figure.11 : la topographie particulière du terrain impose une autre dialectique au rapport bâti-palmeraie-eau.

La population choisit les zones de *sahanes* pour le fondements des villages et les zones de sable libre pour la culture du palmier²¹, l'*aacheche* est parmi les anciens villages, qui remonte au 16^{ème} siècle, actuellement présente le noyau central de la ville ; son appellation est liée à une tribu de nomade l'ayant habité après avoir construit la mosquée de *sidi salem* et par la suite d'autre tribus ont rejoint la cité, ont construit d'autre mosquées et se sont organisée autour du souk qui représente pour tout l'espace de rencontre.

²⁰ Mazoue said, mémoire et traces, le patrimoine ksourien in la ville et le désert, p 125.

²¹ Marc cote, op. Cit,2006, p

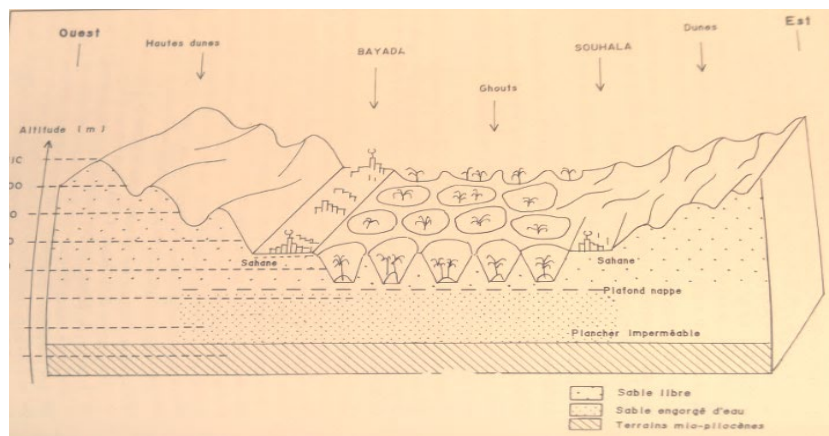


Figure.12 : position d'habitation par rapport aux *ghout*

A ce propos : Claude bataillons décrit cette morphologie comme suit : Cependant, tout permet de penser qu'on trouverait des phénomènes semblables à ceux que nous avons trouvés pour *kouinine*. Le plan est toujours régulier, avec des rues disposées à angle droit à peu près nord- sud et est –ouest ce qui suppose l'occupation par un groupe organisé et non un peuplement constitué au hasard ; avec un marché situé à l'intérieur du village, près de la mosquée principale, dans un endroit central qui est en même temps la partie la plus ancienne.



Figure.13 : l'habitat rural posé à plat en bordure de ghout. ²²

²² Marc cote, op. cit, 2006, p 34.

*Fichiers thermiques :

Les figures suivantes présentent la simulation thermique des données relative à la température ainsi que la radiation solaire. Simulées à l'aide de : *climate consultant* interface.

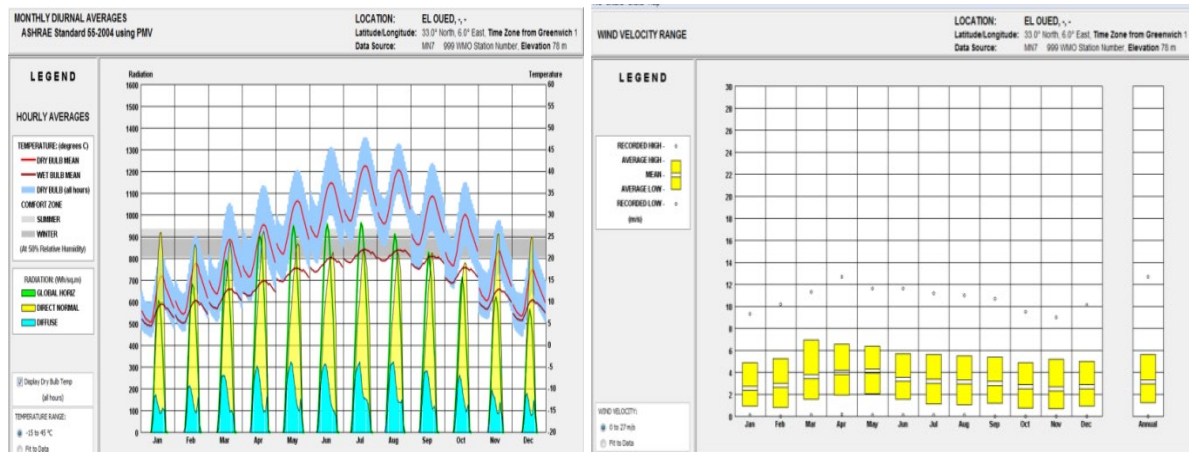


Figure.14 : monthly durnal averages

3. Analyse thermique psychométrique :

3.1. Diagramme de Givoni :

La figure.15, montre le diagramme psychométrique de la région, fourni par Climate Consultant 6.0. Il était basé sur trois attributs climatiques différents qui peuvent être affichés simultanément pour montrer si les humains seront confortables dans des espaces présentant ces caractéristiques (température annuelle moyenne et humidité relative de l'air), le modèle climatique a été développé à partir du manuel ASHRAE Basic Comfort Model, 2005. Ce logiciel a permis d'identifier le nombre d'heures et le pourcentage de temps qui se situe dans la fourchette de 13 stratégies de conception de bâtiment différentes (représentées par des zones de couleur différente sur le graphique). Il montre que 19,7 % des heures par an se situent dans la plage de confort.

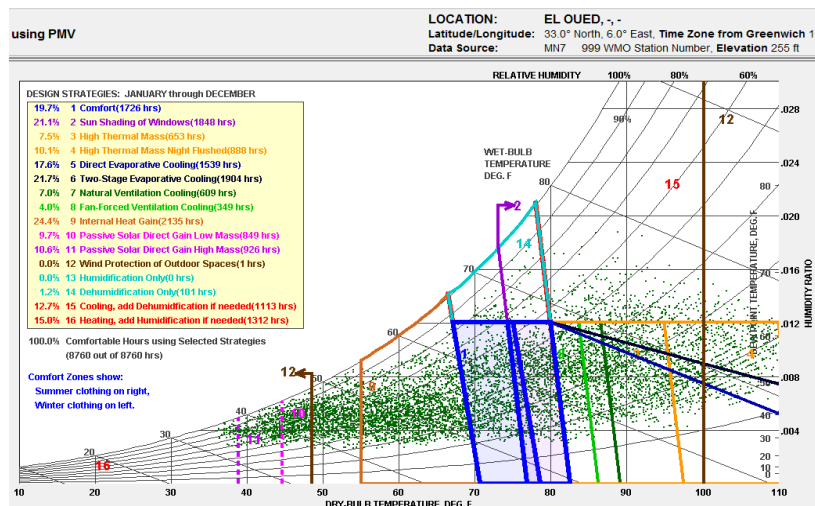


Figure.15 : Diagramme psychométrique de la région de Souf. (Janvier à Décembre).²³

3.2. Tableau de Mahoney :

Nous tirons des tableaux de Mahoney appliqués à la région d'el Oued Souf, (voir Annexe), les recommandations suivantes :

*Analyse et comparaison :

A partir d'une analyse de ces différentes méthodes adoptées pour la région d'el oued, des outils ont été déterminés afin d'établir le confort thermique dans cette région. Dans la figure, on observe que la stratégie du refroidissement passif représentant de l'année pour Givoni (contre % pour Mahoney) est considérée comme l'outil le plus efficace pour évaluer le confort thermique dans les bâtiments. Par contre selon Mahoney l'outil le plus efficace est l'appui du chauffage passif qui représente 37.5% de l'année (contre 29.9% pour Givoni).

De plus, le pourcentage de la zone de confort selon la méthode de Mahoney (33.4%) est plus élevé que celui présenté dans le diagramme de Givoni (19,7%). De cette comparaison, on constate des résultats contradictoires entre les méthodes de Givoni et Mahoney. Mais comme la ville d'el Oued Souf se situe dans une zone chaude et de radiation solaire intense, alors les problèmes environnementaux se concentrent plus en été qu'en hiver. Ainsi, l'utilisation des outils qui jouent sur les conditions chaudes pendant l'année sera plus efficace pour rétablir le confort interne. Elle représente environ 41% de l'année.

²³ Climat consultant (version 06).

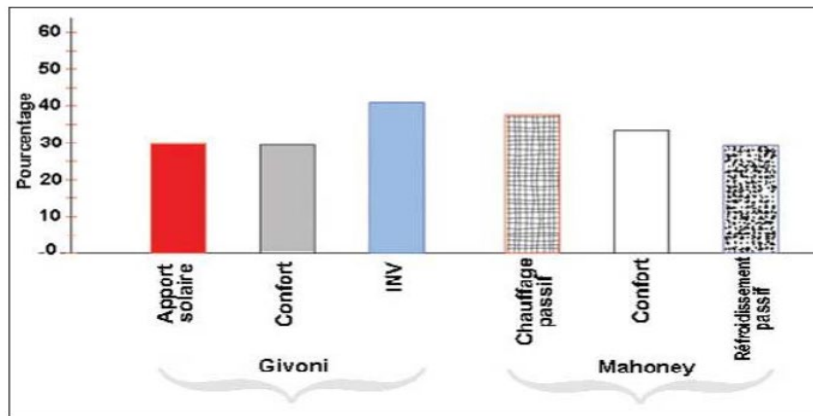


Figure.16 : comparaison des deux approches

3.4. Etude de l'ensoleillement :

*Période d'ensoleillement et d'ombre :

Le diagramme de la Course du soleil simulé à l'aide de Sun-Earth tools, montre que :

La zone d'étude est exposée au rayonnement intense notamment dans la période de surchauffe avec une élévation de 80 à 90°

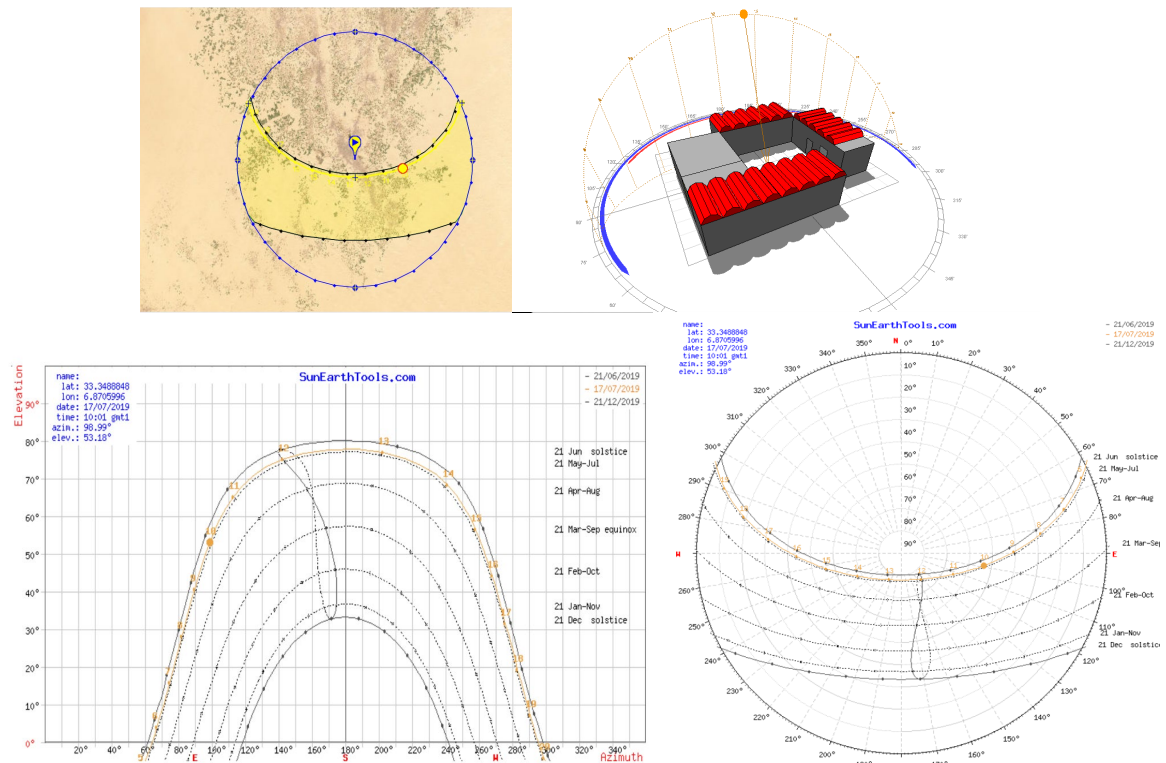


Figure .17 : tache solaire en juillet 2019 et graphes sécométrique de la région.

4. Les unités d'habitations vernaculaires dans la région :

4.1. Typologie architecturale :

La région est connue par l'originalité de son architecture particulière, au lieu des terrasses, ce sont des voutes et des coupoles qui coiffent les maisons, qui ailleurs au Sahara ne concernent pas les habitations mais seulement les équipements religieux, cette particularité architecturale est liée à la nature géomorphologique du pays en tant que pays des sables et ainsi qu'aux matériaux disponibles. *« Il semble que là où l'homme apporte un soin minutieux au travail de la terre, le même souci de bien faire se manifeste ailleurs, et notamment dans l'art de la construction. Il est certain que s'il y a peu d'oasis sahariennes où la culture exige un labeur aussi assidu qu'au Souf, il n'y a pas de villes et de villages en pays saharien où les maisons soient aussi soigneusement et nous dirons même aussi élégamment construites qu'à El-Oued ».*²⁴

4.2. Adaptation à l'échelle urbaine :

Bien que la première adaptation aux contraintes climatique se commence par la morphologie urbaine, comme nous l'avons mentionné dans le deuxième axe du chapitre 02. La compacité urbaine a un rôle important dans l'amélioration de l'ambiance thermique. La configuration rétrécis et étroites se manifeste aussi à la région d'étude mais le fait marque qu'il n'existe pas de vieux ksour semblables à ceux de Mzab et Oued Righ, l'élément le plus ancien se manifeste à travers l'existence des trois villages historiques fondateur de la ville Zgoum, Guemar et l'aachech , figure.18.

²⁴ Jean Brunhes, Les Oasis du Souf et du Mzab comme types d'établissements humain, Paris : Masson et Cie éditeurs,.1902, p.13

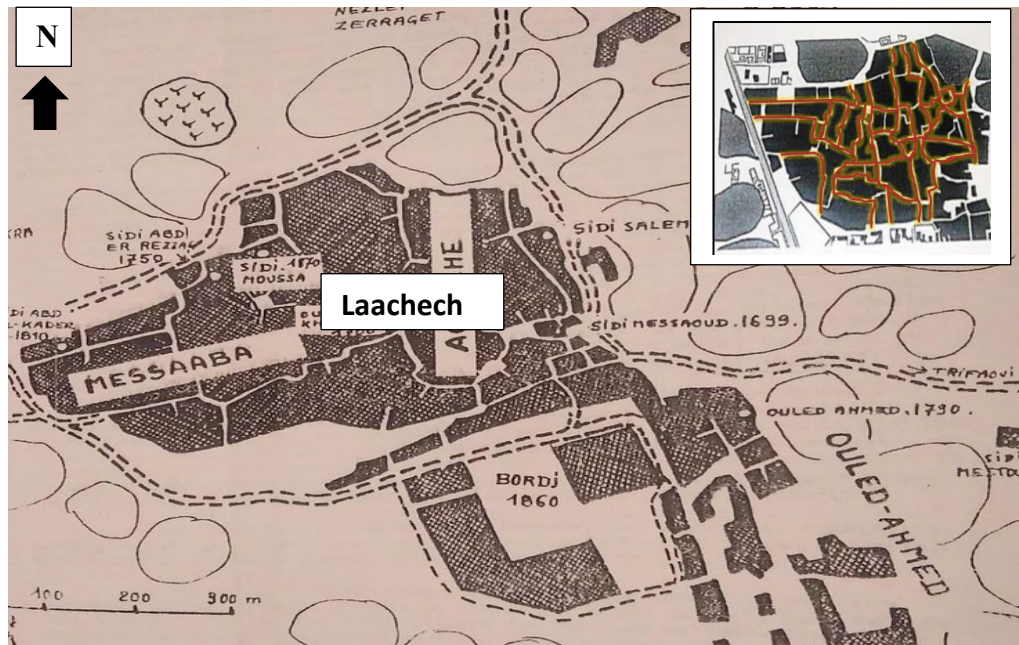


Figure.18 : Configuration urbaine du vieux quartier *Laacheche*.²⁵

Globalement la morphologie globale des vieux villages ne s'éloigne pas à l'organisation arabo musulmane avec le principe de centralité ou la mosquée et le souk forme le centre et à partir desquels se développée le village. La compacité et l'introvertie s'exprime par la position juxtaposée des maisons construites les unes à côtés des autres, en s'ouvrant sur des ruelles rétrécies, hiérarchisées jusqu'au la rue principale ; cette sinuosité sert à casser les vents et évites l'accumulation du sable. La plupart de ces ruelles sont couvertes par des voutains allongés pour créer le maximum d'ombrage pendant la saison chaude. figure.19.20



Figure.19 : Ruelle voutée, ruelle couverte et semi couverte du vieux quartier, Auteur, 2019.

²⁵ Cote Marc, la ville et le désert, karthala et Iramen, 2005, p141.

Actuellement ce vieux quartier subit une transformation profonde dans sa configuration morphologique globale, en effet les populations poussées par le souci commercial, a entrepris sa propre rénovation du quartier, une rénovation sans grand rapport avec les textes fondamentaux régissant ce type d'opération mais qui a le mérite d'être une émanation directe de la population ce qui lui assure une certaine pérennité. Néanmoins, selon l'analyse de Marc Cote, la manière dont s'est déroulée l'opération laisse augurer le lendemain de ce quartier.

Car l'alignement et le respect d'un certain aspect architectural et urbain sont étonnamment présents. Mais de point de vue constructive ces opérations utilisent les matériaux de construction récents ce ci pose un problème de l'abondance des performances bioclimatiques de ces vieilles constructions.



Figure.20 : Ombre projetée sur les ruelles, Auteur *Guemar* vieux village.2019.

4.3. A l'échelle de L'unité vernaculaire :

4.3.1. Progression de l'unité d'habitation :

L'unité d'habitation vernaculaire a été améliorée au fil du temps en fonction des besoins et de la disponibilité du site. La première forme est présentée par des tentes pour les nomades de la région, progressivement avec l'apparition de « Ghout » comme système agricole, cet ensemble se transforme en deux salles construites et couvertes de coupoles, le reste de l'espace est entouré d'un mur en palmier *Djerid*. Puis l'ensemble a pris un aspect définitif avec la maîtrise de la construction en matériaux locaux dont le gypse, avec une assise centrale et des pièces à la périphérie, **Figure.21**.

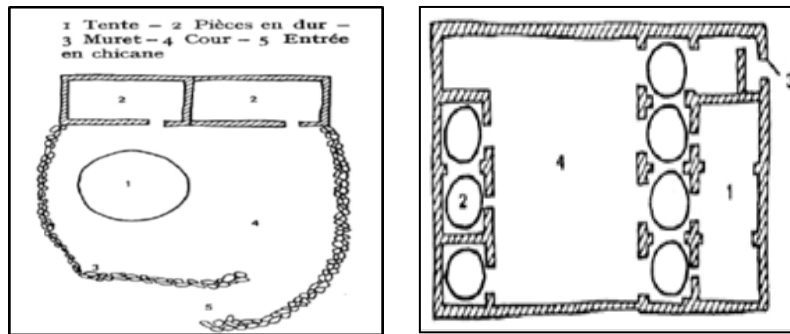


Figure.21 : Progression de l'unité d'habitation.²⁶

-a- Tente des nomades. -b- Unité d'habitation de semis nomades -c- Aspect définitif.

4.3.2. La maison typique :

Elle se présente avec des murs aveugles, la continuité de ces murs n'est interrompue que par des petites ouvertures assez hautes perchées et une porte unique très discrète. Globalement les éléments d'ensemble de la construction reprennent le modèle classique de la maison Maghrébine, avec une cour centrale assez large et les autres pièces au pourtour, pour bien comprendre le rôle de chaque pièce il faut reprendre la toponymie en usage car elle nous renseigne d'une part sur la culture locale et l'appropriation de l'espace, et d'autre part le rôle climatique de chaque pièce de cette unité vernaculaire.

Cette entité est appelée *haouch*, elle abrite autour d'un même espace des familles parentes. Elle est dotée d'une *skiffa*, espace en chicane de grande valeur symbolique, servant à soustraire la cour des regards extérieurs ; le seuil est la frontière entre deux mondes le dedans et le dehors, le sacré et le profane. Elle est dotée d'une cour appelée *wast el haouch*, un espace généralement vaste et dans lequel la femme évolue à son aise, autour de cet espace viennent s'articuler les chambres appelées *Diar* pluriel de *dar*, le terme *dar* est utilisé pour désigner un espace dont la fonction primordiale est déterminée à l'avance, telle que *dar eddiaf*, signifiant la chambre des invités ou bien *dar el khazine* qui signifie l'espace de stockage.

Figure. 22.

²⁶ Christian Zara. Le souf, 1975, p90.

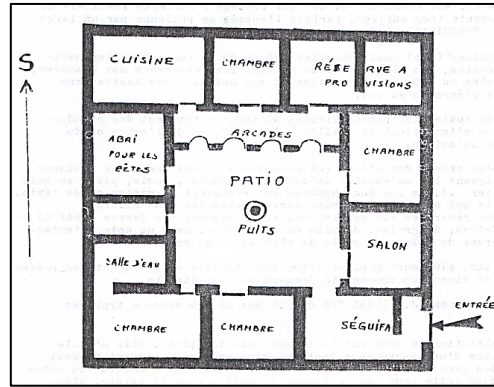


Figure.22 : Plan type de la maison Soufi²⁷

Cependant on distingue deux typologies de la maison typique, selon la forme d'alignement des parcelles dans les vieux quartiers, une organisation régulière et autre irrégulière comme indiqué sur la **figure.23**.

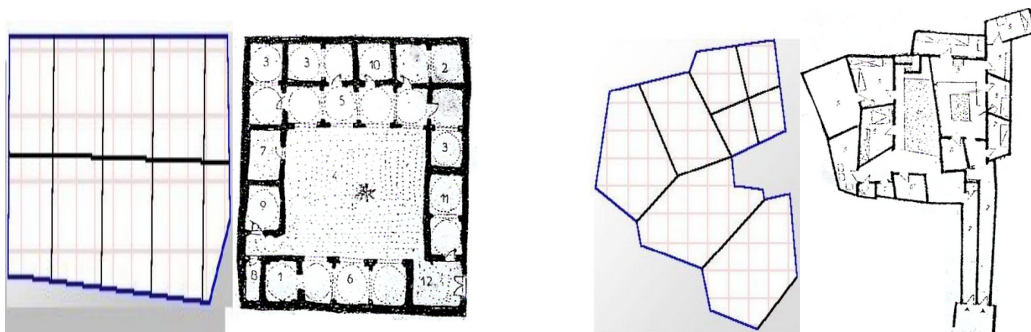


Figure.23 : forme de parcelle et plan approprié.

Le mobilier est très simple se réduit à des nattes de sol, parfois des tapis et des couvertures de laine. Il existe dans le Souf un espace caractéristique qui s'appelle le sabbat, ce dernier est un espace couvert mais ouvert latéralement sur la cour. Il ressemble aux iwans de l'orient. L'analyse de la maison laisse apparaître une seule enveloppe, le volume habitable étant constitué d'un seul niveau.

Deux types de surface la composent, des surfaces verticales dont les mitoyennes sont opaques, et des surfaces hémisphériques qui compose la toiture en voutes et coupoles ; généralement les espaces sont un peu profonds, dépassant rarement la largeur tolérée pour une coupole mais la longueur varie et on peut construire le nombre de coupoles que l'on veut. Ce

²⁷ André voisin, monographie du souf, El wald, 1985.p113.

système constructif semble régir toute la logique de l'architecture soufie. Ainsi une sorte de modularité caractérise ces espaces, dont le module est d'à peu près six mètres.

5. Adaptation climatique :

Une lecture analytique des interrelations entre les espaces et les contraintes climatiques, à travers une décomposition de l'unité d'habitation nous a permis de faire une lecture systématique entre chaque pièce et les contraintes climatique.

5.1.L'orientation :

Une importance primordiale est donnée à l'orientation des espaces, pour bénéficier des rayons du soleil en hiver et les éviter en été, ce qui donne un caractère saisonnier des espaces, les *diars* par exemple ont un caractère multifonctionnel servant à dormir et à manger, suivant leurs orientations en fonction des saisons, en été ce sont les chambres orientées au nord qui sont utilisées, en hiver c'est le contraire.

La galerie au côté sud : une galerie est souvent existée dans le côté sud de la maison en face du *sabat dahraoui*, favorisant l'ombrage de cet espace qui forme l'espace préféré pour les habitants pendant la saison chaude.

5.2.Le rôle de la cour intérieur :

Située au centre de l'habitation, le patio est le lieu de séjour familial, il assure les relations horizontales qui existent entre les différents espaces qui composent la maison. Cette cour intérieure est assez large favorisant un maximum d'éclairage et d'aération des espaces aux pourtours. Elle est équipée d'une fontaine et d'un palmier qui favorise la fraîcheur tout au long de la journée ; il est recouvert d'une épaisse couche de sable car il devient un endroit où dormir la nuit. Comme il est expliqué dans le chapitre (voir page) La maison à cour centrale répond mieux aux contraintes climatiques dans un contexte chaud, car sa configuration centrale génère un microclimat, elle fonctionne comme un régulateur thermique, pendant la nuit l'air froid pousse l'air chaud vers le haut, contrairement à la jour où la partie supérieure de la maison est plutôt ensoleillée, il fait donc plus chaud que le reste de la maison car les masses d'air froid restent dans les espaces inférieurs en raison de la différence de pression.

Les chambres organisées autour de la cour se trouvent en relation directe avec lui et constituent l'espace fermé le plus intime de la maison. La compacité et la mitoyenneté du plan font qu'elles soient complètement isolées de l'extérieur et donc des radiations solaires directes. De ce fait, elles conservent la fraîcheur de la nuit et peuvent être considérées comme

l'espace diurne en été grâce au mouvement d'air horizontal. La ventilation est provoquée par les mouvements de pression des masses d'air chaud et froid qui naissent entre l'extérieur et l'intérieur à travers la cour, les ouvertures et les orifices des coupoles, ainsi que la porte d'entrée maintenue ouverte toute la journée.

5.2.1. Puits et palmeraie : élément hydrique :

La cour est ornée dans la majorité des maisons d'un puits et un palmier à usage décoratif mais qui fonctionne également comme système de refroidissement par évaporation d'eau en été.figure.22.



Figure.22 : intégration végétale au centre de la maison, auteur2019. Village *zgoum*.Auteur.2018.

5.2.2. Le pavage de la cour en sable :

Généralement la totalité du sol de l'unité vernaculaire est couvert par une épaisse couche de sable, ce qui favorise la fraîcheur en été avec l'humidification périodique.figure.23



Figure.23 : traitement de sol avec du sable. **Auteur.**

5.3. La toiture en voutes et coupoles :

La forme du toit en voutes et couples sert à briser les rayons du soleil et à les répartir sur toute la surface sphérique, ainsi la moitié du toit est toujours ombragée, De l'intérieur, par différence de pression l'air chaud monte vers le haut, puis il est acheminé à travers les orifices en haut vers l'extérieur, ce qui favorise le renouvellement régulier de l'air à l'intérieur de l'espace et par conséquent la stabilité de la température. Figure.24.



Figure.23 : toiture en voute, auteur.

Etant donné que la ventilation par le toit est la plus efficace, car la surface du toit est la plus chaude vue son exposition et par conséquent l'effet de convection entre air ex et int . Bien que la région est frappé par des vents de sables presque durant toutes l'année et notamment dans la période de printemps, Cette forme aussi joues un rôle important pour éviter le cumule de sable au niveau des terrasses.



Figure.24 : coupoles des habitations, auteur.

Les recherches affirment que : Les dômes présentent à la voûte céleste une surface de déperdition thermique très grande $2 R^2$ (R le rayon du dôme) Par contre dans la journée, seule une partie de ce rayon reçoit les rayons solaires, c'est-à-dire une surface inférieure à $2 R^2$. Les échauffements du dôme sont ainsi limités. Ces échauffements sont responsables des mouvements convectifs de l'air à l'intérieur du dôme.

Le jour, lorsque le sommet du dôme est chaud, l'air intérieur au contact avec le dôme s'échauffe, si les fenêtres et les portes du bâtiment ainsi que la fenêtre du dôme sont ouvertes, l'air intérieur du bâtiment a tendance à monter ; ce mouvement ascendant est favorisé par l'air plus froid donc plus dense autour du bâtiment, qui pénètre à l'intérieur. L'air chaud est alors entraîné et évacué par effet de cheminée à l'extérieur par la fenêtre du dôme.

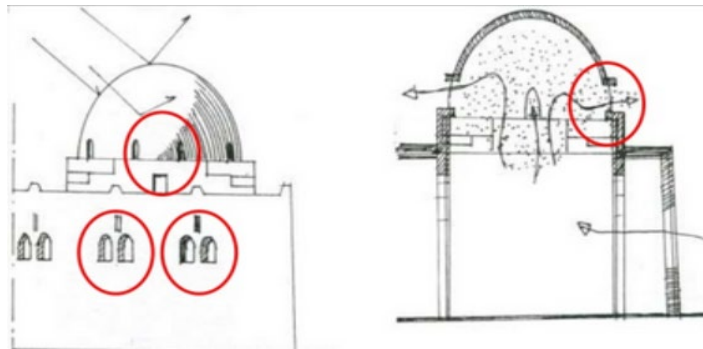


Figure.25 : renouvellement d'air dans la coupole.

La nuit, la chaleur accumulée pendant la journée par le dôme est échangée radiativement par convection avec l'air extérieur. Dans le cas où l'orifice supérieure étant fermée, l'air à l'intérieur du bâtiment monte dans la partie centrale, se refroidit au contact du mur de dôme, devient plus dense, et redescend à nouveau par les parties latérales, voir figure (26 b). Si par contre dans une nuit sans vent, ainsi que tous les volets sont ouverts, l'air à l'intérieur du bâtiment étant plus chaud, l'air froid de l'extérieur a tendance à descendre, se pénètre alors à l'intérieur par le sommet du dôme, y crée une forte pression et évacue l'air chaud intérieur à travers les volets du bâtiment, pendant les nuits où le vent souffle, l'évacuation de l'air chaud s'effectue dans le sens inverse. Sous l'effet de la pression de l'air extérieur, froid, très dense, accumulé au pied du bâtiment, le vent qui souffle, évacue l'air chaud du bâtiment par la fenêtre du dôme. Figure.26

Donc la coupole favorise un renouvellement d'air continu, soit par tirage thermique ou bien par échange convectif, . Elle contribue fortement à l'amélioration de la qualité d'air notamment pour la ventilation nocturne.

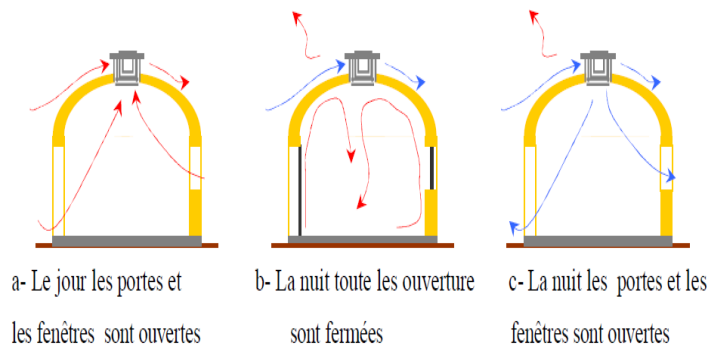


Figure.26 : ventilation par coupole.

La multi exposition de la coupole a pour conséquence la génération d'une zone froide associée à une zone chaude sous la coupole, ce contraste chaud-froid sous la coupole provoque un effet de tirage, provoquant une aspiration d'air intérieur des pièces d'habitation.

5.4.Le nomadisme intérieur et extérieur :

Pendant la nuit, et particulièrement en saison chaude, les pièces intérieures se réchauffent ; les murs massifs commencent à restituer la chaleur emmagasinée pendant toute la journée ; donc la solution des habitants est de quitter les chambres pour se dormir dans la cour centrale plus fraîche.

On distingue aussi le nomadisme extérieur entre les habitations permanentes et saisonnières d'où l'existence des habitations à proximité des palmeraies destinée pour la période chaude d'été. **Figure.27** les habitations de Souf ne comportent pas des terrasses, et en période chaudes d'été ne faut pas songer au repos dans les pièces ou bien les cours surchauffées pendant la journée et ne se refroidit que longuement pendant la nuit, un déplacement saisonnier, un estivage dans les palmiers, le sable se refroidissent très rapidement et procurent des nuits fraîches, mais cet estivage n'est pas recommandé que pour besoin de confort mais aussi pour avoir de l'eau potable.

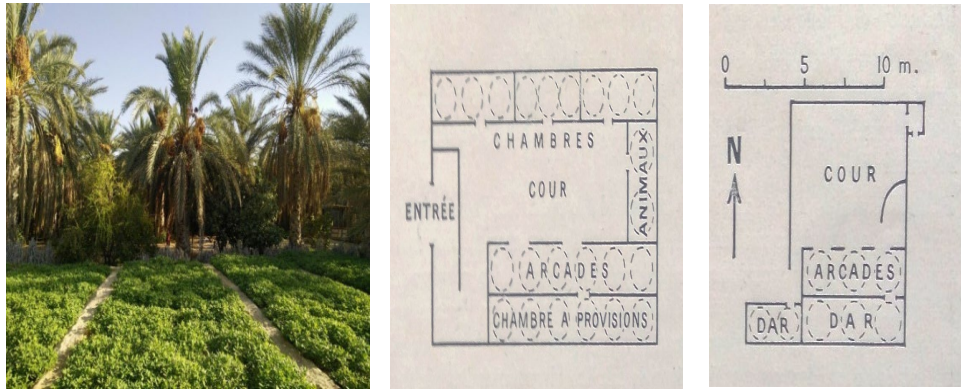


Figure.27 : Maisons saisonnière et permanente.

*** Sabbat espace marquant :**

La maison soufie se caractérise par l'espace marquant sabbat comme expliqué précédemment, en effet il existe deux types de *sabat* selon la saison, le premier est appelé sabbat el *dahraoui* orienté au nord et utilisé en été, et le *sabat* el *guebli* orienté au sud et utilisé en hiver. Un élément de confort assez courant est la présence d'arcade au moins sur le côté sud lieu d'ombre et de fraîcheur relative pour la saison chaude, il peut se trouver ainsi dans le côté nord pour l'hiver.²⁸

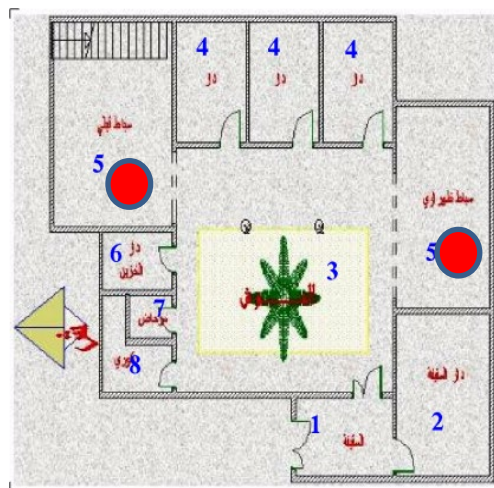


Figure.28 : emplacement des espaces sabbat selon l'orientation.

²⁸ Claude Battaillon, *op. cit*, p 12.

5.5.Façades aveugle avec traitement en gypse :

Généralement les façades extérieures sont toutes aveugles, sauf à l'intérieur on trouve des ouvertures de taille réduite qui donne à la cour, placé en haut pour faire circuler l'air. Le traitement des façades en mortier de gypse avec un crépissage fait aux doigts donne un effet d'ombre. Ceci favorise le principe d'introvertie à l'intérieur et réduit l'exposition aux rayons de soleil en été et les courants d'airs froids en hiver. Figure.29

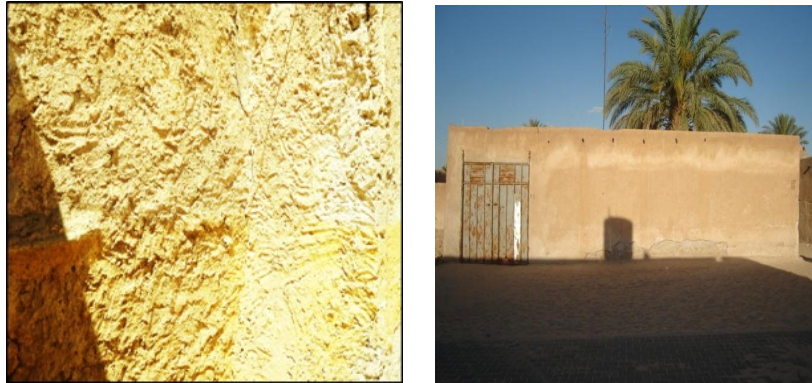


Figure.29 : détail des façades. Source : Auteur.2019.

La taille des ouvertures :

Généralement les ouvertures s'ouvrent sur la cour centrale, elles sont de petites tailles et placées en haut, la porte aussi est un peu réduite selon la taille moyenne de l'individu.figure.30



Figure.30 : taille des ouvertures intérieures.

5.6. Les mur massif et Matériaux de construction locaux :

5.6.1. Matériaux locaux :

Vu la nature du sol et du sous-sol qui exclut l'utilisation de bois, de la pierre de taille et de l'argile, ils ne restent que les matériaux locaux pleinement valorisés : le *Louss* et le *Tafza*. Le premier est une concrétisation gypseuse très dure, qui en forme libre donne des roses de sables, mais en sédimentation continue donne une dalle résistante, ce matériau constitue les pierres de construction des murs et des soubassements, figure.31



Figure.31 : Fleur de sable²⁹

Le deuxième c'est un encroutement plus léger et plus fiable qui une fois cuit, donne un bon plâtre, une fois séché il constitue un liant très résistant, trouvé enfoui sous le sable sous forme de pièces ou bien de de plaques dans la partie nord de la région, cette pierre est enlevée puis brûlée dans des incinérateurs. Le développement de cette industrie à favoriser la création des fours traditionnels qui s'appellent (*koucha*). Ces pierres brûlées sont frappées à l'aide d'une sorte de pilon (*khabat*) jusqu'à elles deviennent une poudre. **Figure.32**



Fig.32. Poudre de gypse et Four à plâtre. Koucha

²⁹ Brunhes J, op. cit, 1902, p12.

La pierre du Souf a non seulement permis de construire des murs très solides, mais elle a encore permis d'édifier au-dessus des quatre murs des coupoles hémisphériques qui couvrent ainsi toutes les maisons, même les plus humbles, par de vraies formes architecturales. Utilisant les matériaux cités précédemment, les habitants sont en effet passés maîtres en l'art de bâtir, au-dessus de leurs quatre murs, ils font des pendentifs puis ils élèvent directement leurs coupoles sans se donner la peine de construire des cintres. De plus, le processus de construction de maisons reflète un aspect social identifié par la coopération des habitants dans une atmosphère d'aide et d'union, ce qui renforce le rapport et la cohérence entre l'individu. Dans cette contribution, nous avons basé sur la technique de l'élévation du dôme comme caractéristique frappante de cette architecture vernaculaire.



Figure.32 : mur extérieur en matériaux locaux.

La technique consiste à planter un mat provisoirement au centre du carré, un clou fiché au sommet, tenant une ficelle, l'autre extrémité de cette ficelle passant entre le majeur et l'annuaire de la main de Mu'allam (maitre d'œuvre), cette dernière tendue donnera le rayon d'une demie-sphère et un nœud évitant le glissement entre les doigts du maitre d'œuvre. Son travail consiste à déposer les boulettes de mortier de gypse mêlé sur place et à lisser de la paume en conservant la corde tendue. La coupole est vite montée sans aucun secours de cintrage, intérieurement elle est parfaite ; extérieurement elle présente toutes les aspérités d'un nid d'hirondelle. Un badigeon de plâtre blanc sur l'intérieur achèvera le travail. Ces coupoles construites sans charpente, ne peuvent pas dépasser un diamètre de 2 ,50 m, les gabarits des pièces sont donc étroitement liés au gabarit des toitures. Un ensemble de deux, trois ou quatre coupoles correspondent à une seule maison ; les petites pièces correspondant à chaque coupole communiquent ensemble. Un arc en plein-cintre très régulier fait le passage d'une des chambres à coupole à une autre. La plupart du temps une petite couche superficielle de plâtre cache les irrégularités de la pierre qui est considérée comme cellule constitutive de cette maçonnerie.

5.6.2. Inertie thermique des murs massifs :

*Les matériaux locaux: une efficacité prouvée :

Pour choisir les matériaux de construction adaptés au climat chaud, deux caractères d'ambiance revêtent une grande importance : la température maximale et l'amplitude diurne (liées à la tension de vapeur d'eau), lesquels dépendent du rayonnement solaire absorbé en relation avec l'orientation et la couleur externe du bâtiment. Les propriétés thermo-physiques les plus importantes sont la résistance thermique et la capacité calorifique.

Au niveau de la masse d'enveloppe, les parois verticales sont constituées de ces deux matériaux dont l'épaisseur varie entre 45 et 50 cm selon la position intérieure ou extérieure, quant à la toiture qui joue un rôle prépondérant dans la performance thermique de l'enveloppe elle est aussi constituée avec ce mélange de pierre et gypse avec une épaisseur de 60 cm. La technique de construction est indiquée précédemment.



Figure.33 : mur massif en pierre de lous, Auteur 2018.

6. Les typologies post vernaculaire :

6.1. L'Auto construit :

Le gros de l'habitat construit à el oued entre 1962 et 1977 appartient à la catégorie de l'auto construit informel, il représente en fait un pourcentage élevé : près de 70% du parc immobilier de la ville, sachant que le planifier étatique, toutes catégories confondues, ne dépasse pas 25%. C'est-à-dire que le parc de l'auto constructeur reste important. Ce type d'habitat possède une histoire plus profonde et a commencé plus tôt. Il est localisé dans différents endroits de la ville, on en trouve à côté de l'ancien noyau de la ville *laacheche* et *Messaba*, ou il présente la première génération de ce type d'habitat. La seconde est constituée par les tissus des quartiers *sidi mastour*, l'indépendance et autres. ³⁰figure.34.

Globalement ce type d'habitat conserve dans une part importante la configuration vernaculaire originale, on peut le configurer comme l'évolution du vernaculaire par le truchement de génie populaire, les permanences sont nombreuses ; car malgré la simplification de la géométrie du tracé, les contours des îlots restent difficiles à délimiter et se rapprochent sur les plans morphologiques des îlots de l'ancien tracé. Les axes de circulation restent hiérarchisés avec la présence de la totalité des éléments urbains traditionnels, la rue, la ruelle et la placette ; le rapport entre plein et vide reste proche du tracé traditionnel, ce type d'habitat a été passé par trois générations de production.



Figure.34 : habitation auto construit.

³⁰ Said mazouz, l'habitat des 19 et 20 siècles, in la ville et le désert, karthala et iramen , 2005, p167.

6.2.Habitat planifié contemporain :

Le fait marquant que c'est le type semi-collectif qui est le choix dominant dans la ville, selon l'opinion de pr :said mazouz, ce type d'habitat paraît mieux s'intégrer au paysage urbain que le collectif, dont la hauteur est souvent disproportionnée par rapport aux autres formes urbaines

Sur le plan typologique, l'intégration des éléments architectoniques issus des traditions constructives locales confère à ce genre d'opération un caractère proche des configurations traditionnelles. Cependant un regard plus posé permet de déceler de nombreuses incohérences, qui s'exprime par la stratégie d'appropriation de l'espace ainsi que dans la cellule d'habitation, certains aspects formels sont réutilisé sans aucun souci et avantage fonctionnel.figure.35.

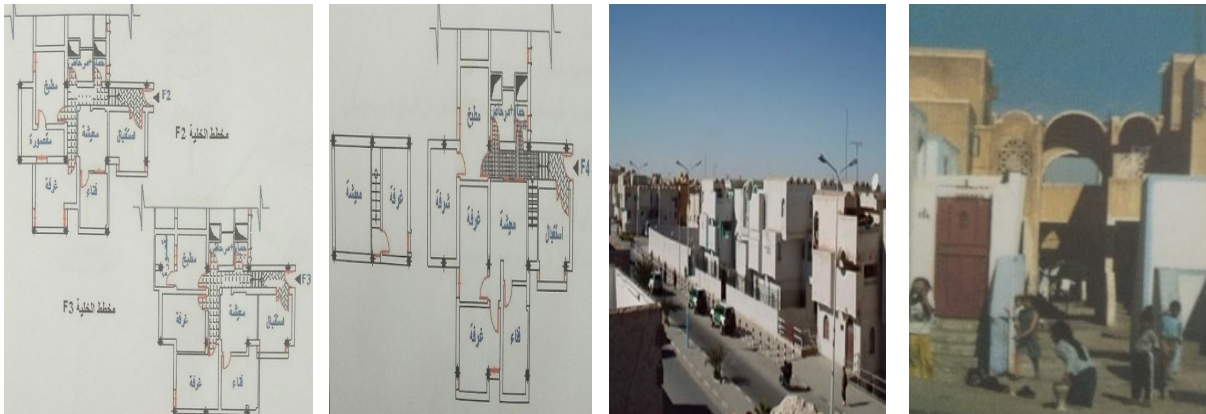


Figure.35 : Habitats étatiques planifiés

Sur le volet bioclimatique, les concepteurs en évacuant les leçons en profondeur de l'habitat vernaculaire, tombe dans le pastiche et le mimétisme superficiel, les coupoles couvertes de matière étanche brillantes n'ont pas le même caractère que les coupoles employées dans l'architecture vernaculaire. D'un autre côté, l'exagération dans l'emploi de certains détails architectonique comme les faux contrefort, acrotères...) considérés comme étant de type saharien accentue le caractère folklorique de ces productions récentes.



Figure.36 : Toiture en coupole pour logement contemporain, auteur.

Conclusion :

L'architecture vernaculaire fait preuve, quelle que soit la période et le lieu de construction, d'une approche intuitive des notions de durabilité et de respect des lieux, elle représente tout un savoir-faire, acquis grâce à une expérience séculaire. De cette analyse nous concluons qu'un ensemble de renseignements a été constaté autour de cet héritage vernaculaire et qui se résume comme suit :

Malgré les obstacles naturels et les rudes conditions climatiques, la rareté des ressources en eau, l'indisponibilité des variétés des matériaux, le besoin d'habitation et de stabilisation a conduit l'homme soufi à acquérir et perfectionner un savoir-faire et des gestes subtils adaptés au contexte local. Cet acquit manifesté à travers différents aspects : accès à l'eau et exploration du territoire, mode d'agriculture, typologie architecturale ainsi que les techniques de constructions ancestrales. Tous ces éléments ont contribué à donner un cachet spécifique et une identité particulière à la région. L'adaptation du génie humain avec les ingrédients de la nature environnante depuis le choix du site et sa configuration urbaine jusqu'à la distribution intérieure des espaces a abouti à un processus hiérarchisé dicté par les besoins de la société et les critères de l'environnement naturel.

L'application de stratégies passives est essentielle pour atteindre les conditions de confort souhaitées à l'intérieur des bâtiments résidentiels, en particulier pendant les mois les plus chauds de juillet et août. Avec une architecture appropriée prenant en compte les données précitées, la situation de l'occupant le confort pourrait être amélioré tout en réalisant une réduction considérable de la consommation d'énergie par utilisant des méthodes purement architecturales et des technologies actives. Donc, Les études sur l'architecture traditionnelle et leur adaptation au climat chaud sont jusqu'à présent nécessaire pour répertorier l'ensemble des techniques traditionnelles passives de régulation thermique.³¹

Cette analyse quantitative permet de découvrir que le confort dans un climat chaud et sec ne se limite pas aux dispositifs mécaniques ; c'est possible d'y parvenir avec une bonne conception architecturale qui prend en compte les techniques, le choix précieux de l'implantation et l'orientation optimale tout en tenant compte des facteurs climatiques environnementaux.

³¹ M'Sellem, H., Alkama, D. Le confort thermique entre perception et évaluation par les techniques d'analyse bioclimatique- Cas des lieux de travail dans les milieux arides à climat chaud et sec-». Revue des Energies Renouvelables, 2009, Vol. 12 N°3, p 474.

Bien que les diagrammes bioclimatiques et les indices thermiques s'appuient sur des bases de données et des structures de calcul, ils ne sont pas utilisés comme des instruments de mesure, car leur degré de mesure n'est pas détaillé afin de réaliser des conceptions thermiquement performantes.³²

De même, ces derniers diagrammes bioclimatiques et indices thermiques ne sont pas exploités par les architectes et designers dans la réalisation de leur conception architecturale, par manque d'outils complémentaires, qui tient compte de performance thermique, d'aide à la conception, la façon de concevoir : un cadre procédural destiné aux architectes pour concrétiser architecturalement les stratégies et les principes générés par ces derniers outils.³³

Situation confirmée par Susannne, Werner, et Johannes,³⁴ une bonne conception des bâtiments thermiquement efficaces en zones aride nécessite des outils d'aide à la conception avec pour objectif de converger vers un optimum global. En d'autres termes, ces diagrammes bioclimatiques et indices thermiques permettent d'évaluer le confort thermique à une échelle globale, de synthétiser l'information pour donner des orientations générales, dans les phases initiales du processus de conception. Néanmoins, ceci reste encore insuffisantes, car les solutions générées par l'analyse bioclimatique sont souvent sommaires et permettent d'identifier les stratégies pertinentes sans quantifier leurs impacts. Dans cette mesure, le rôle des outils d'aide régional à la conception pourrait être clairement justifié, afin d'offrir des choix judicieux et des solutions adéquates relatives à l'efficacité énergétique et au confort thermique du bâtiment. Pour cela cette analyse bioclimatique est complétée par une autre quantitative plus focalisé sur des cas réels et avec des mesures in situ.

³² M'Sellem, H., et Alkama, D. op.cit, p475.

³³ Kemajou, A., Mba, L. Matériaux de construction et confort thermique en zone chaude Application au cas des régions climatiques camerounaises, ENSET. Revue des Energies Renouvelables, 2011, 14. N°2, 239 – 248.

³⁴ Susannne, B., Werner, L., Johannes, H. Climate responsive building design strategies of vernacular architecture in Nepal, building and environment, 2014, Revue n°81, p.227-242.

Chapitre. 02.

Investigation sur les ambiances thermiques des habitations.

Les enquêtes subjectives et objectives.

Introduction :

A travers ce qui a été expliqué dans le chapitre03 ; axe 03 consacré au confort thermique, il paraît que l'étude des performances thermiques dans les bâtiments est un sujet soulève un nombre important d'indices issus de deux grandes approches différentes et complémentaires. Pour cela cette partie empirique a été planifiée sur la base d'intersection entre l'approche statique et adaptative, à travers une investigation sur des échantillons d'habitation de typologie vernaculaire et contemporaine. Cette investigation est à la fois objective à l'aide des mesures in situ des paramètres physiques ; et subjective par des questionnaires d'appoint et en ligne, le premier est adressé aux occupants au moment de la prise de mesure ainsi que le deuxième est élargi à travers un sondage déposé en ligne. Ce processus d'investigation nous a permis de tester en conditions habitable, l'impact réel des dispositifs de ventilation et composantes de l'enveloppe architecturale pour les deux typologies sur le confort thermique intérieur. De plus d'évaluer la capacité des indices issus des deux approches à améliorer le confort thermique ressenti ; de permettre également de déterminer le rôle des aspects adaptatifs dans l'amélioration des ambiances thermiques intérieurs. Globalement, ce présent chapitre décrit les étapes de processus d'investigation, «présentation des échantillons d'habitations enquêtés et l'instrument utilisé durant les campagnes, les conditions de prises de mesures (protocole).» L'outillage et montage expérimental pour la caractérisation thermo-physique des matériaux ainsi que la présentation du logiciel utilisé pour simulation numérique.

1. Méthodologie d'investigation :

Se structure selon le schéma représentatif :

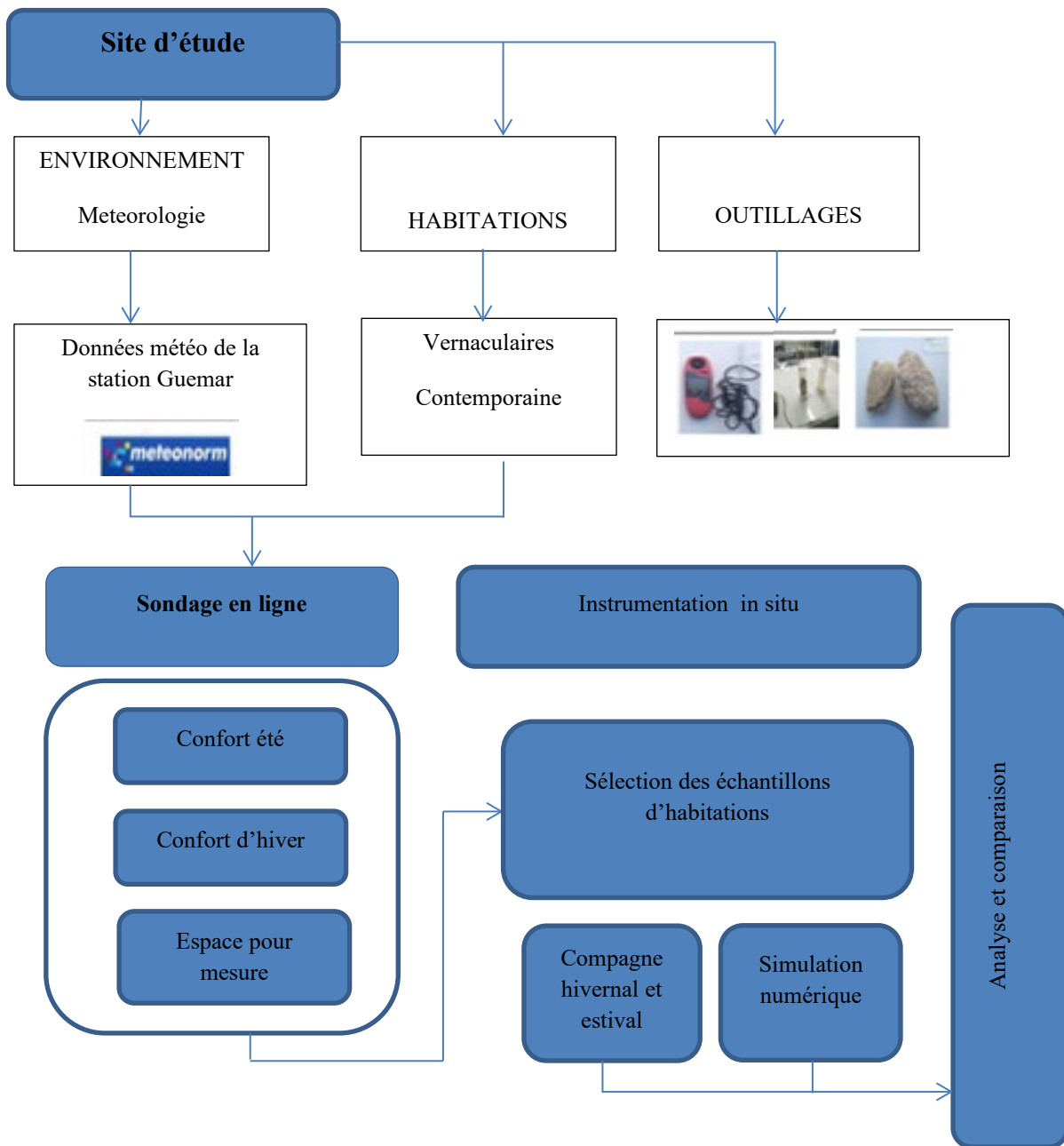


Figure. 01 : Processus méthodologique.

1.1.Critères de choix de type d'enquête :

Les études in situ sur le confort thermique ont constitué une étape importante pour ouvrir la voie devant l'approche adaptative du confort thermique dans les bâtiments. Depuis le travail pionnier de Bedford en 1936 et Humphreys en 1998, les enquêtes se sont multipliées sous les différents climats (sec, humide, tropical, méditerranéen) avec comme cibles principales les bâtiments résidentiels et les bureaux.

Les méthodes d'enquête utilisées ont été aussi variées suivant leurs objectifs, certaines enquêtes sont exploratoires, elles cherchent à déterminer les conditions du confort thermique dans différents types de bâtiment sous différents climats comme réalisé par Oseland en 1995. D'autres enquêtes visent en plus à évaluer les différents indices et normes sur le confort thermique (Busch en 1990, De Dear en 1985, 1994, Schiller en 1990). Il y a aussi des enquêtes qui étudient l'influence d'un élément particulier sur le confort thermique (l'utilisation de la climatisation, du contrôle individualisé,). Enfin, nous retrouvons les enquêtes réalisées dans le but de développer un nouvel indice ou une nouvelle loi pour le confort thermique, ce qui est le cas de l'approche adaptative qui a mobilisé plusieurs enquêtes réalisées ces dernières années (exemple : Bouden, 2005, De Dear, 1998, Nicol, 2001).

Les enquêtes se présente soit par des études in situ comportant des simples mesures physiques de la température et de l'humidité, et d'autres qui englobent des mesures physiques détaillées de l'ambiance thermique accompagnée à l'évaluation perceptive par les différents sujets, sur la base des observations sur leurs vêtements et leurs activités.

Nicol en 1993 propose de classer les enquêtes in situ en trois niveaux selon l'étendue et la précision des mesures réalisées. Il s'agit des mesures physiques et subjectives ¹. De plus, il distingue deux types d'enquête selon le mode d'échantillonnage : enquête transversale et enquête longitudinale, ces trois niveaux des enquêtes in situ :

***Niveau I :** des mesures physiques de la température d'air, avec ou sans l'humidité de l'air sont effectuées à un seul endroit dans le local, ces mesures peuvent être ponctuelles ou continues. Elles peuvent être accompagnées d'une description succincte des sujets et de certaines caractéristiques du bâtiment ainsi que d'une évaluation asynchrone de l'ambiance thermique par les sujets. Ce type d'enquête permet d'avoir des informations sur l'ambiance

¹ Nicol F. Thermal comfort, a handbook for field studies toward an adaptive model. London : University of East London, 1993.

thermique sans beaucoup impliquer les occupants. Notant que les enquêtes utilisées par Humphreys et Auliciems pour développer le modèle primitif du confort adaptatif sont considérées de ce type.

***Niveau II** : ce niveau correspond à l'enquête classique sur le confort thermique pendant laquelle les différentes grandeurs physiques de l'ambiance thermique (température de l'air, température radiante, vitesse de l'air et humidité de l'air) sont mesurées conformément aux normes ISO-7730 et ISO-7726, et parallèlement à l'évaluation subjective de l'ambiance thermique à l'aide d'échelles de jugements subjectifs (vote de perception, vote d'évaluation et Vote de préférence).

Niveau III : par rapport au niveau précédent, les enquêtes doivent inclure en plus les informations sur les vêtements et les activités des sujets pour permettre de calculer les différents indices de confort, notamment le PMV/PPD et le SET. Le confort déduit des indices calculés peut ainsi être comparé à celui perçu par les sujets in situ. Les différentes mesures doivent être conformes aux normes ISO 7730 et ISO 7726 ; ces enquêtes peuvent être complétées par des observations sur le comportement des sujets (l'utilisation des moyens de contrôle de l'ambiance thermique) selon l'étendue et l'objectif de l'enquête. Notant que les enquêtes réalisées par Schiller, Busch ou de Dear sont de niveau III.

1.1.1. Le mode d'échantillonnage :

Les trois niveaux cités dans le paragraphe précédent correspondent à la majorité des enquêtes rencontrées sur terrain, mais les enquêtes in situ sont aussi divisées en deux catégories selon la méthode d'échantillonnage : les enquêtes transversales et les enquêtes longitudinales. Les enquêtes transversales sont réalisées avec une large population où chaque individu contribue à un seul ou un nombre limité de votes, tandis que dans les enquêtes longitudinales, la population est limitée, mais le nombre de contribution de chaque individu est beaucoup plus important permettant ainsi de suivre l'évolution du confort thermique sur une séquence de temps.

1.1.2. Les enquêtes transversales :

En utilisant une large population, ce type d'enquête permet d'éviter un échantillonnage biaisé et d'avoir une précision acceptable pour les résultats ; de plus elle limite la perturbation du quotidien des sujets participants en minimisant le nombre d'interventions. Même si ce type d'enquête ne permet pas un suivi de près du confort thermique sur une séquence de temps, il permet d'explorer les conditions thermiques typiques dans les différents types de bâtiment et les comparer aux perceptions et aux attentes des occupants afin d'en dégager les conditions de confort thermique pour les différents cas. Pour cela, il faut construire une base de données tout en tenant compte du contexte climatique, architectural et social.

1.1.3. Les enquêtes longitudinales :

Les enquêtes transversales sont préférables pour explorer la qualité des ambiances thermiques dans les bâtiments, mais elles contribuent peu à la compréhension des processus d'adaptation qui nécessitent de suivre l'évolution de l'état thermique de l'ambiance et des sujets sur une période de quelques jours, ou quelques mois selon le processus observé. Les enquêtes longitudinales s'intéressent à un nombre limité d'individus suivis sur une période prolongée. Une large base de données s'offre ainsi pour une étude sur l'aspect dynamique du confort thermique (à travers une analyse de séries chronologiques) ainsi que sur les différences interindividuelles. Mais la limite pour ce genre d'enquête consiste à trouver des personnes disponibles pour y participer vue l'importance du temps qu'ils doivent y consacrer (le sujet doit remplir un questionnaire plusieurs fois par jour), surtout si l'enquête est prolongée hors l'horaire du travail. De plus, le nombre faible des participants peut biaiser les résultats ; les participants doivent constituer un échantillon représentatif de la population.

2. Description de la méthodologie utilisée :

Basant sur les objectifs visés par ce travail de recherche, nous avons choisi de procéder à une enquête longitudinale de niveau. II. Les échantillons d'habitation ont été sélectionnés suivant des critères liés principalement à la typologie architecturale et les matériaux utilisés, disponibilité des occupants pour faciliter le déroulement des deux enquêtes subjectives et objective. Concernant les unités vernaculaires, le choix pour celles qui conservent en pourcentage acceptable son aspect vernaculaire original en tant que facteur déterminant de recherche, notamment en matière d'organisation spatiales et la forme de toiture.

2.1. Les mesures physiques :

Ces mesures visent à quantifier l'environnement intérieur global et en particulier l'ambiance thermique. Comme nous l'avons vu au chapitre précédent, l'ambiance thermique est caractérisée par quatre grandeurs physiques : la température de l'air, la température de rayonnement, l'humidité de l'air et la vitesse de l'air. Dans l'enquête, ces quatre grandeurs doivent être mesurées à chaque visite. Le matériel de mesure utilisé doit être conforme aux exigences des normes.

2.1.1. Fichier climatique :

***Choix d'une station météorologique :**

Nous avons vu dans le chapitre (confort thermique et l'analyse bioclimatique) que le confort thermique et les actions adaptatives qui en découlent sont fortement liés aux conditions climatiques extérieures. Les mesure in situ des paramètres climatiques extérieurs est complexe. En effet, la prise de mesure doit se faire dans des conditions particulières (secteur dégagé, sol herbeux, sous abri,...) et les données que nous souhaitons obtenir pour pouvoir faire des simulations thermiques sont plutôt complexes à obtenir. Pour cela nous avons basés sur les données générales fournies par la station météorologique de la commune de *Guemar* (en tant que la station la plus proche à la zone d'étude) pour une période de dix ans ; ainsi que les données en détails disponibles sur les sites des simulations et données climatiques : (météo blue- infos climat) pour les jours les plus chauds et froids sélectionnées pour faire les mesures.

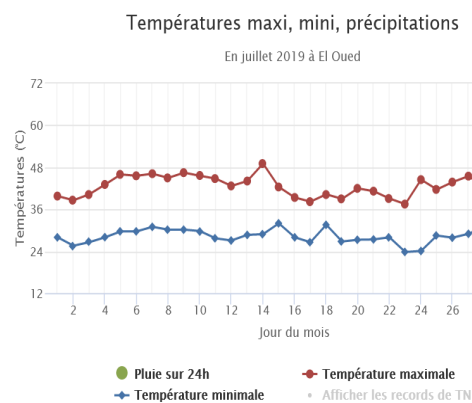


Figure.02 : Graphe des jours les plus chauds.

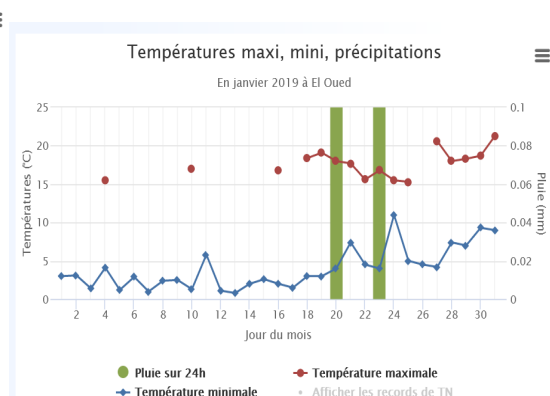


Figure.03 : Graphe les jours les plus froids.

2.1.2. Description des échantillons d'habitation sélectionnés pour le travail d'expérimentation ; typologie vernaculaire et contemporaine.

Dans le but de parvenir à l'objectif visé et suivant une approche comparative, des échantillons d'habitations de typologie vernaculaire et contemporaine ont été sélectionnés en se basant sur des critères d'ordre typologiques (organisation spatiale) et constructifs (système de couverture et matériaux de construction). S'ajoute ainsi la disponibilité et la volonté des occupants à participer à l'enquête et leur mode de traitement de l'ambiance thermique.

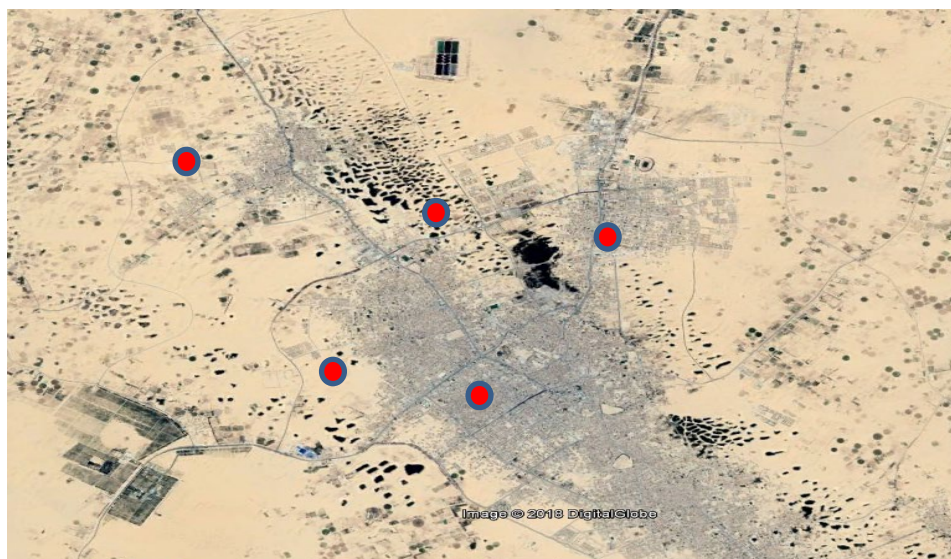


Figure.04 : localisation des échantillons d'habitation vernaculaires et contemporaine.

a. Echantillons de typologie vernaculaire :

Models.01 : habitation individuelle dans un tissu serré avec couverture en voutains.

Le premier échantillon se présente par une habitation individuelle de typologie vernaculaire sélectionnée depuis l'ancien quartier le noyau de la ville appelé *l'Aachech* ; qui se caractérise par une morphologie compacte, des ruelles étroites et couvertes. Comme indiqué sur la figure.05, l'habitation est limitée à un seul niveau, composée de deux chambres, cuisine, coin d'eau et une *squifa* à l'entrée ; le tout est organisé autour d'une cour centrale. Les murs extérieurs et intérieurs ainsi que les voutains des toitures sont construits avec les matériaux locaux : la pierre de rose de sable et le mortier de gypse avec une épaisseur d'environ 55cm, **Figure.05**. la pièce concernée par mesure est la chambre d'invité, *dar Edhiaf* mesurant environs 4m de longueur et 3m de largeur avec une hauteur sous voute d'environ 2.8m. La pièce est orientée en Sud-Est, comportant une seule ouverture de taille réduite et une porte sur la cour centrale

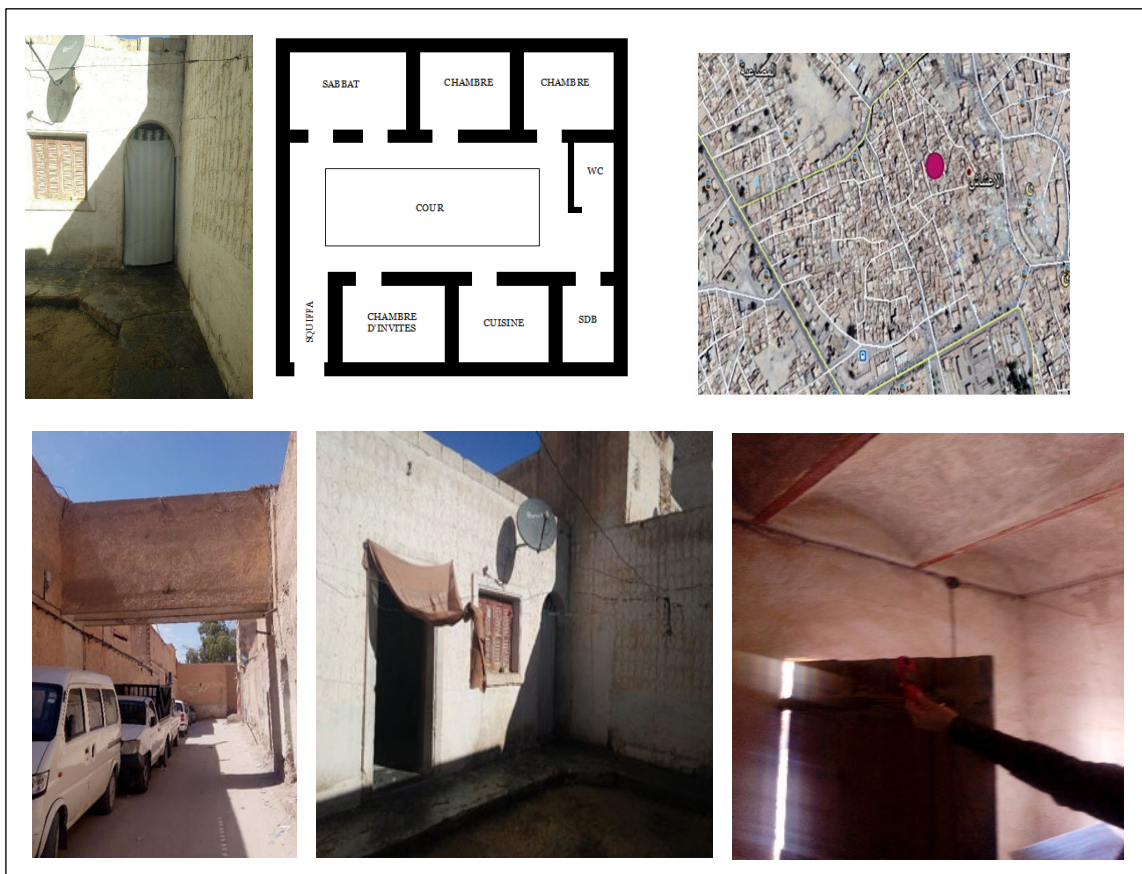


Figure.05 : vue générale sur l'échantillon vernaculaire HV1.

Model.02 : typologie vernaculaire, habitation située à la périphérie avec une toiture en voutes,HV2.

Le deuxième échantillon est aussi de typologie vernaculaire construit avec des matériaux locaux située à côté d'une palmeraie *Ghout* à la périphérie de la ville, sa surface est un peu large par rapport au premier échantillon, composé de : chambre d'invité et chambres ordinaires, séjour, cuisine, coin d'eau, doté de l'espace de détente appelé *sabbat*. L'ensemble est organisé autour d'une vaste cours central couvertes en une épaisse couche de sable.

Comme indiqué sur la **figure.06** l'échantillon est un monobloc de 10.3m /12.8m de dimensions, situé dans un village historique à côté d'une palmeraie aux alentours de la ville. Limité à un seul niveau, composé de trois chambres ordinaires et d'un espace semi-ouvert appelé (*Sabbat*), cuisine et un coin d'eau, l'ensemble s'organise autour d'une vaste cour centrale couverte en sable. Le toit est composé de voûtes allongées de 0,8m de hauteur avec des orifices de ventilation. Les murs intérieurs et extérieurs sont d'environ 55cm d'épaisseur construits avec de la pierre rose de sable et du mortier de gypse. L'espace choisi pour les mesures in situ et la simulation est la chambre de séjours ou bien *dar eddiqf* mesurant: 4/3.5m de dimension, comportant une fenêtre à simple vitrage de 4mm d'épaisseur et de dimension de 0.8/0.8m, avec un cadre en bois épais. L'espace est doté d'une lourde porte en bois de dimension de : 1/1.2m ; ces ouvertures sont situées sur le côté Sud-Est qui donne sur la cour centrale.



Figure.06 : vue générale sur le deuxième échantillon vernaculaire : model HV2, auteur.

Model.03 : typologie vernaculaire, habitation située à la périphérie avec toiture en coupole, HV3.

Ce modèle d'habitation est aussi de typologie vernaculaire doté d'une cours centrale et pièces entourée, avec espace réservé pour l'étable, les espaces concernées par les mesures mesurés sont la chambre de séjour *dar-eddiyf* ainsi que l'espace de détente *sabbat*, la différence entre ce modèle et les deux premiers réside dans la forme la toiture formé en coupoles de taille réduite d'environ 80 cm de diamètre , **figure. 07.**



Figure .07. Vue générale sur le model HV3

*** Matériaux de construction pour typologie vernaculaire :** Le premier matériau sur la figure est la pierre de rose de sable, le deuxième est pierre de gypse utilisé comme mortier d'articulation et de traitement.

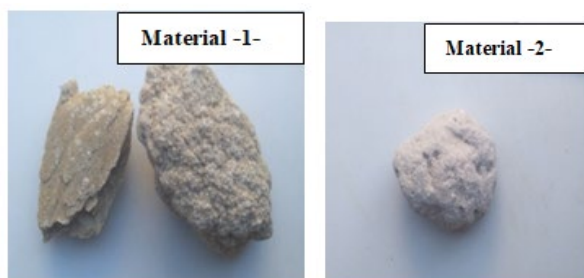


Figure.07 : matériaux locaux.

b. Echantillons de typologie contemporaine :

Model.04. habitation contemporaine individuelle

Le premier échantillon de typologie contemporaine se présente par une habitation individuelle limitée à un seul niveau, choisie depuis un quartier récent, composée d'une salle de séjour, deux chambres et une cuisine et salle d'eau, construite en brique creuse et mortier de ciment, la toiture est en dalle ordinaire, **figure.08**.

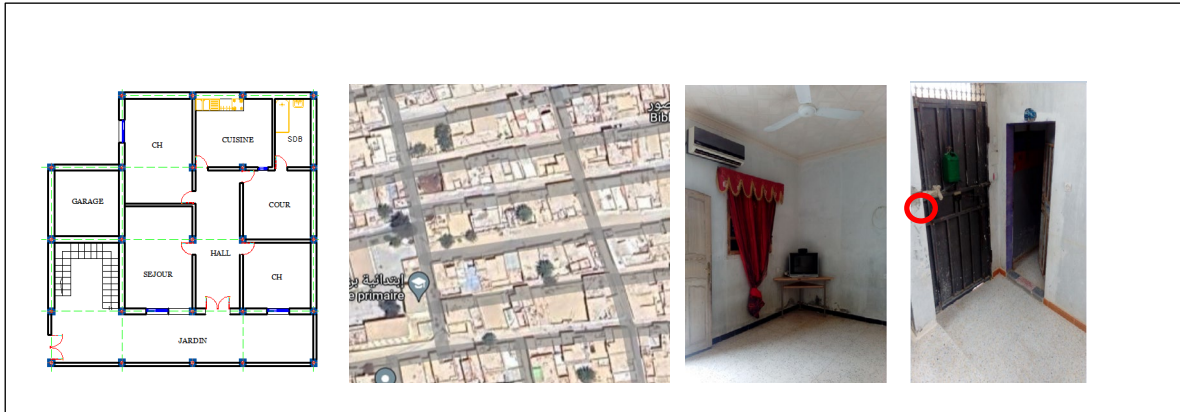


Figure.08 : vue générale sur le troisième échantillon, model 03 habitation individuelle contemporaine.HC1

Model 05. Logement semi collectif : Comme indiqué sur la **figure.09**, le deuxième échantillon de typologie contemporaine est un logement semi-collectif construit en matériaux ordinaire, brique et mortier de ciment, situé dans un lotissement étatique, composée de pièces ordinaires : deux chambres, une salle de séjour, une cuisine et un coin d'eau l'ensemble s'organise autour d'un couloir, elle comprend également un véranda. Doté d'ouvertures un peu larges que le type vernaculaire protégé par occultation fixe (Moucharabiehs). Le bâtiment a été principalement construit en structure en béton armé avec des dalles en corps-croix (16+4). La maçonnerie est faite de briques creuses et de mortier de ciment, les murs extérieurs se composent en doubles murs de 10 et 15 cm d'épaisseur séparés avec une lame d'air de 5 cm ; Avec des enduits de ciment de 2 cm à l'extérieur et à l'intérieur. L'espace concerné par les mesures et la simulation est la salle de séjour, avec les dimensions suivantes : 4,5/3,5m et 2,8m, 2,8m d'hauteur sous plafond, comporte deux murs donnant à l'extérieur, dotée d'une fenêtre de 0,9/1m de dimensions sur la façade Sud, construite en bois et un simple vitrage de 0,02/0,05mm. Il comprend également une porte-fenêtre de 1,2/2,2m qui donne sur une véranda semi couverte, une porte d'entrée simple de 0,9/2,2m qui donne sur le couloir.

Cet appartement est couvert d'une dalle ordinaire de 0.16m d'épaisseur construite en briques creuses et de 0.04m de béton plein avec un dôme décoratif de 1.2m de diamètre.

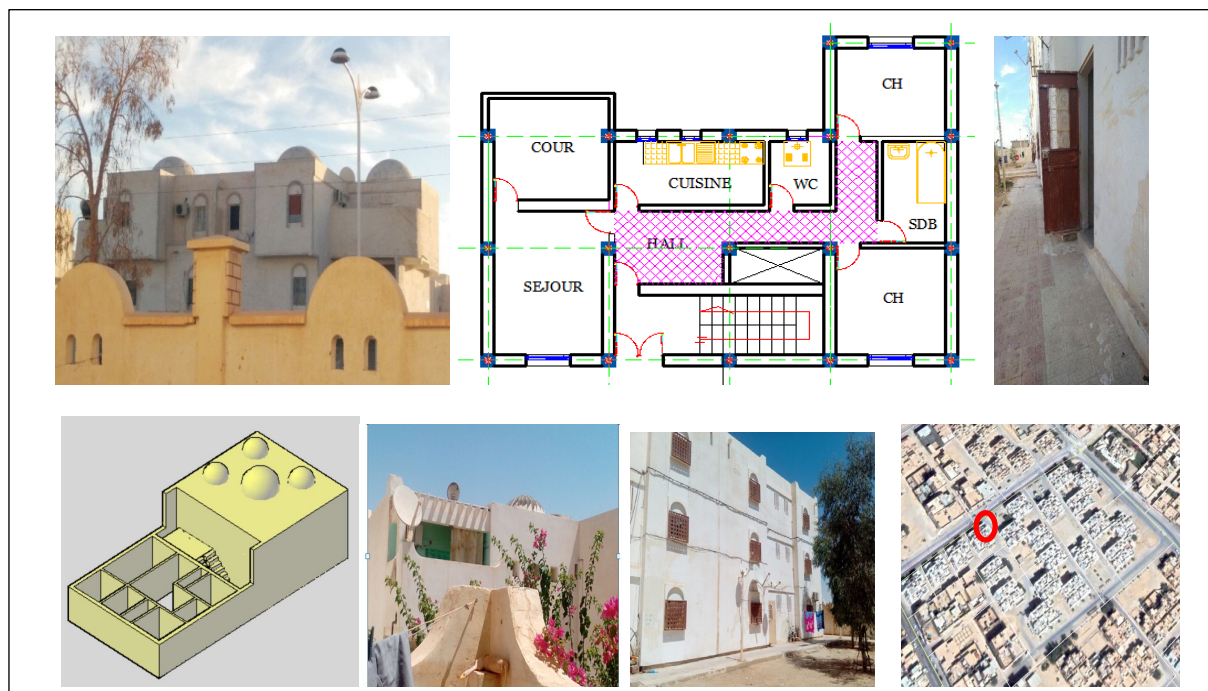


Figure.09 : vue générale sur le l'échantillon contemporain, model 04 : logement semi collectif.LC2

Tableau : Abréviations des modèles d'habitations mesurées

Model d'habitation	Typologie	Code de model	Orientation
Model 1	Habitation Vernaculaire	HV 1	Sud-est
Model 2	Habitation Vernaculaire	HV 2	Nord-est
Model 3	Habitation vernaculaire	HV3	Sud
Model 4	Habitation individuelle contemporaine	HC1	Sud-Est
Model 5	Logement semi –collectif	LC2	Sud

2.2. Instrument utilisé durant la campagne :

Comme indiqué sur la **figure.10**, l'instrument utilisé pour la mesure est de type anémomètre : Amprobe TMA5 équipé d'un capteur d'humidité capacitif et un autre avec une thermistance de précision, un capteur de température externe pour mesurer la température des murs et du plancher, il comprend également un ventilateur mesurant la vitesse de l'air.

Spécifications :

- Plage de température de l'air : 0°C à 50°C (32F à 122F).
- Plage d'humidité : 5% à 95%.
- Plage de vitesse du vent : 0,5 – 44,7 MPH, 60 – 3937 FT/M, 0,4-38,8KNT, 1,1-20,0 M/S, 0,7-72,0KMH, 1-8 BF.

*Pose d'instrument :

L'instrument de mesure est posé au centre de l'espace à une hauteur de 1.5m sous plafond,² dont le ventilo est orienté vers la porte ;la sonde extérieure est branchée directement avec l'instrument pour mesurer la température des murs et des plafonds.

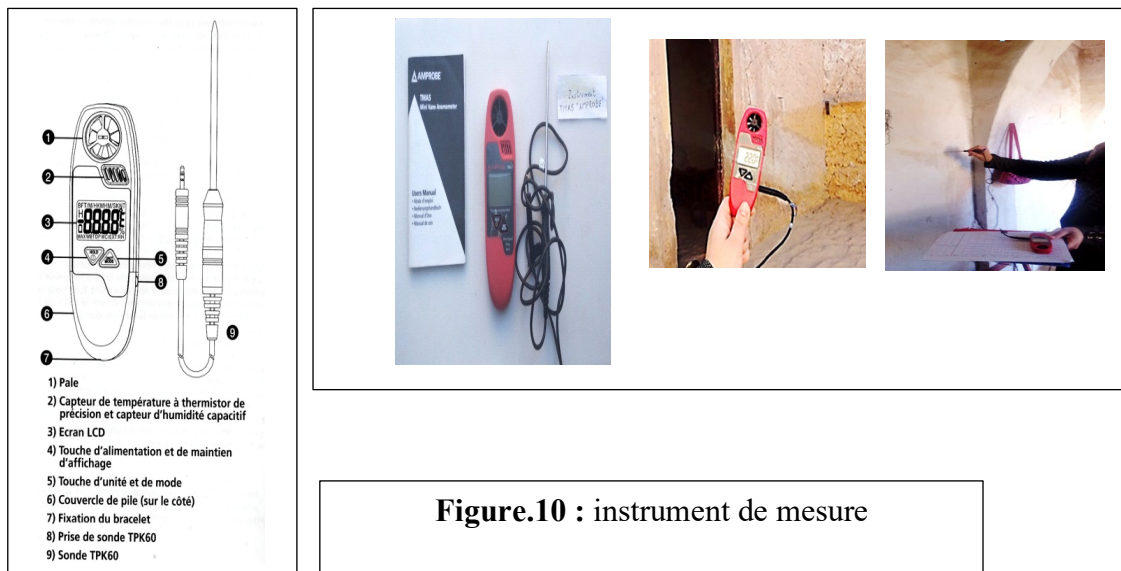


Figure.10 : instrument de mesure

² Recommandations pour mesure depuis le travail d'Ammar Bennadji, Adaptation climatique ou culturelles dans les zones arides, thèse de doctorat, 2006.

2.3. Mesure in situ :

Processus de travail et scénario d'expérimentation (Protocole expérimental).

Les habitations choisies ont été enquêtées pendant des visites sur les jours des semaines froides de l'année 2018 ainsi que les semaines chaudes de l'année 2019. Chaque visite est effectuée en une journée. A chaque visite, les différents participants des échantillons choisis ont été enquêtés pour une durée moyenne de 10 minutes par participant et selon les étapes suivantes :

1. Demander aux habitants qu'ils sont disponibles pour commencer les mesures et remplir le questionnaire.
2. Adresser le questionnaire aux habitants.
3. Parallèlement, préparer la fiche de mesure et commencer les mesures avec l'instrument.
4. A la fin des dix minutes, le questionnaire est récupéré et les mesures physiques extérieures et intérieures sont remplies sur la fiche pour chaque heure de mesure.

Dans le but de parvenir aux objectifs visés, une série de mesures ont été effectuées dans les espaces indiquées dans le tableau, les conditions de ventilation ont été fixées à l'état passif. La résistance thermique des vêtements a été fixée à 1.5 *clo* avec un pourcentage de couverture corporelle qui atteint le 58%, avec un habillement léger. Vêtements d'été L'énergie métabolique a été fixée théoriquement à 1 met, où les participants étaient en position assise et en état de repos (ISO9920, 1995) durant toute la durée de mesure.

Les mesures ont été commencées à partir de 6h du matin jusqu'à minuit avec un intervalle d'une heure entre mesures pour une journée complète pour chaque exemple choisi. Les températures des murs et des plafonds ont été prises à l'aide d'une sonde externe attachée à l'instrument de mesure.

2.2.3. Périodes des mesures :

Sur la base de l'analyse bioclimatique établie sur la région d'étude par l'interface ainsi que les données climatiques nous avons envisagé de faire les mesures estivales pendant le mois de juillet pour l'été des années 2018- 2019. Durant la semaine la plus chaude à partir de 6h du matin jusqu'à 00.00 h avec un intervalle d'une heure entre mesures. Tandis que pour la période hivernale les mesures ont été prises le mois de janvier et décembre de la même année

a. Fiches de mesure :

Les fiches de mesure ont été élaborées sous forme des tableaux, incluant le numéro de model d'habitation et l'espace concerné, la date et l'heure de mesure ainsi que les paramètres physiques à mesurer.

HEURE	Vitesse de l'air	T ambiante	Humidite Int	WBT	DP rosée	WBT mouillé	T de sol	T de mur	T de plafond	Vitesse air	T Ext	H Ext
Chambre1 Clim	0.00	27.3	68	30.1	20.9	22.8	29.9	29.4				
H/6,20/7,54	0.3	30.1	59.3	31.8	21.3	23.8	32.7	32.1				
Chambre 2 Télé	0.1	27.6	66.6	30.3	20.9	22.8	28.8	28.8				
H/6.25/7.54	0.8	30.4	58.6	32.1	21.3	23.8	31.7	32.1				
SABAT	0.1	28.1	67.2	30.6	21.4	23.3	29.6	30.1				
H/6.20/7.59	0.5	29.4	58.3	31.6	20.3	22.9	30.6	31.0				
Dar khazine	0.2	28.6	64.3	30.9	21.2	23.3	28.1	28.2				
H/6.25/8.04	0.2	29.9	60.6	31.7	21.6	23.9	31.0	30.9				

Figure.11 : fiche de mesure.

2.3.2. L'espace choisit pour mesure : lié principalement aux deux facteurs :

a. Facteur occupation :

Le choix de l'espace approprié est considéré comme essentiel dans l'étape de prise de mesures, à ce propos, les chercheurs attestent que l'espace domestique est considéré comme le lieu des pratiques par excellence, des émotions et du vécu quotidien (Sriti et Tabet-Aoul 2013). Pratiquement, et à partir des résultats obtenus du sondage en ligne, il paraît que les occupants passent beaucoup du temps dans la chambre de séjour pour les logements semi collectif et *dar skiffa* pour les échantillons vernaculaires.

b. Facteur forme de toiture :

On à assister que la forme de toiture soit en coupoles ou bien en voute, comme élément de base de recherche.

2.3.3. Les Conditions de ventilation :

Pour toutes les habitations mesurées les conditions de ventilation sont maintenues à l'état passif réglé comme suit :

a. Pendant la campagne estivale :

**Pour les modèles vernaculaires :*

Le portail de la maison est maintenu ouvert.

Le sable de la cour et de l'entrée (*squiffa*) est aspergé d'eau.

Les portes des espaces mesurés sont ouvertes et protégées par des rideaux.

Les fenêtres sont fermées de 12h00 à 15h00.

Aucun système de refroidissement mécanique n'est activé.

**Pour les modèles contemporains :*

La porte du salon reste ouverte toute la journée.

La fenêtre et la porte qui donnent sur la véranda sont fermées de 12h00 à 15h00.

Aucun système de refroidissement mécanique n'est activé.

b. Pendant la période hivernale :

Pour les Modèles Vernaculaires et contemporaines :

Contrairement aux mesures estivales, durant les mesures hivernales le système de chauffage est activé et maintenu à une basse température durant toute la journée, et ceci dans le respect du désir des résidents. La porte est fermée durant la nuit et ouverte depuis 8h du matin.

2.3.4. Paramètres climatiques mesurés :

a. Mesures à l'intérieur de l'espace :

- La température ambiante de l'air intérieur, mesurée au centre de la pièce à une hauteur de 1.5m

La température de point de rosé.

La température de surface du plancher et des murs, mesurée à l'aide de la sonde extérieure attachée à l'instrument.

Humidité relative intérieure et la vitesse de l'air : Mesurée au centre de la pièce dont le ventilateur est orienté vers la porte.

b. Les Mesures à l'extérieur au niveau de la rue :

La température de l'air extérieure : Mesurée au niveau de la cour centrale ainsi que la rue extérieure

Humidité relative extérieure et vitesse de l'air.

2.3. Le questionnaire au temps de mesure :

Ce questionnaire est rempli au moment des mesures, ce qui permet d'évaluer l'état thermique personnel ainsi que la qualité de l'environnement intérieur des habitations testées vise à évaluer l'ambiance thermique à l'aide des échelles de jugement perceptif, évaluatif et préférentiel préconisés par la norme ISO-10551³. La partie infos générales est remplie une seule fois par les habitants indépendamment des mesures physiques.

- **Estimation de l'activité.** Cette partie vise à déterminer l'activité du sujet pendant l'heure précédente aux mesures à partir d'une liste de huit activités types rencontrées. Les activités types ont été déterminées à partir de la norme adaptative ASHRAE qui propose la valeur du métabolisme pour chacune des activités.
- **Estimation de la vêtue :** enregistrement de type de vêtue pour les occupants de l'habitation testée, pour être par la suite interprétée selon les normes adaptatives.
- **La sensation thermique des occupants :** estimer selon l'échelle de l'ASHRAE comme indiqué sur tableau.

L'échelle de Bedford		L'échelle de l'ASHRAE	
7	Très chaud	7 (+3)	Très chaud
6	Chaud	6 (+2)	Chaud
5	Confortablement chaud	5 (+1)	Légèrement chaud
4	Confortable	4 (0)	Neutre
3	Confortablement froid	3 (-1)	Légèrement froid
2	Froid	2 (-2)	Froid
1	Très froid	1 (-3)	Très froid

Figure.12 : échelle de sensation thermique.⁴

2.5. Le questionnaire en ligne *sondage*

2.5.1. Support pour la réalisation des questions :

Il existe dans la littérature, notamment en sociologie de l'énergie, de nombreux sondages réalisés par l'intermédiaire d'enquêtes quantitatives qui peuvent éventuellement être complétées par des enquêtes semi-directives. Sur la base de ces études et de livres spécialisés dans les enquêtes (DE SINGLY, 2012 ; MARTIN et DE SINGLY, 2012), nous avons réalisé

³ AFNOR, 2001

⁴ Moudjalled, 2007.op, cit.

un questionnaire permettant de comprendre le comportement des occupants sur la période hivernale et sur la période estivale.

Globalement le sondage en ligne comprend les axes suivants :

a. Première partie : nommé Qui êtes-vous ? le questionnaire général :

Composée d'un ensemble de questions permettant de situer et de connaître les caractéristiques principales des participants, un exemplaire est présenté en annexe. Cette partie comprend les sous parties suivantes :

- Informations personnelles : Cette partie vise à identifier le sexe, l'âge, des informations sur les membres de famille.
- Contrôle individualisé : Cette partie permet de déterminer les moyens de chauffage et climatisation disponibles dans l'habitation ainsi que leurs importances et la fréquence d'utilisation.
- Qualité de l'ambiance climatique : Dans cette partie, le sujet doit évaluer globalement l'ambiance thermique, la qualité de l'air, le confort en moyenne.

b. La deuxième partie, nommée : « Chez vous il fait combien ? » : est divisée en deux sous-parties : « L'ÉTÉ et votre habitation... » « L'HIVER et votre appartement... » Cette partie nous permet de connaître les caractéristiques thermiques d'habitation ainsi que les habitudes d'usages et de comportements dans les deux saisons hiver et été.

c. La troisième partie : Nommée cette partie est à vous : elle permet aux participants de faire des commentaires sur des thèmes qui n'auraient pas été abordés lors du questionnaire et qui leur sembleraient importants pour comprendre les caractéristiques thermiques de leur logement.

2.6. Les outils de simulation et analyse numérique :

2.6.1. Les Expérimentation sur matériaux : la rose de sable

Les essais de caractérisation physique et thermique réalisés sur le matériau local pour connaître l'indice de conductivité thermique et la valeur de la masse volumique qui sont nécessaires pour le travail de simulation numérique. Bien que les valeurs de conductivité thermique (λ) soient fournies pour les matériaux récents, elles sont basées sur le matériau d'origine de l'échantillon traditionnel : la pierre rose de sable. Ainsi, sur la base des recherches de caractérisation thermique des matériaux locaux ; en zone saharienne ⁵⁻⁶. Un essai expérimental est réalisé par la méthode du flux thermique sur un échantillon de pierre prélevé dans une maison en ruine.



Figure.13 : matériaux locaux préparés pour l'essai.

2.6.1. Caractérisation matériaux : densité + conductivité.

a. La densité :

La densité d'une substance est égale à sa densité divisée par la densité du corps de référence à la même température. Pour les liquides et les solides, l'eau est utilisée comme référence.

$$P_s = M / V_2 - V_1. \quad ^7$$

Le test est réalisé à l'aide de deux éprouvettes graduées, remplies du même volume d'eau, l'échantillon est placé dans l'une des éprouvettes et par différence de volume, et on

⁵ Chelghoum Z, Belhamri A. Analysis of the thermal properties of building materials used in the city of Tamanrasset. Sci Technol 2011; 47–56.

⁶ Mansour MB, Cherif AS, Jabrallah SB, Benhamou B. Thermal characterization of a gypsum plaster used as a building material. Energy Procedia 2013;42:680–688.

⁷ Fies JC, Stengel P, Bourlet M, Horoyan J, Jeandet C. Densité texturale de sols naturels-Méthode de mesure. Agronomie 1981;1:651–658.

obtient le volume de la pierre. Figure.05. Ainsi, la masse volumique est calculée par rapport : poids/volume, la valeur obtenue est : 2,51 g/cm³.



Figure.14 : essais de caractérisation thermique.

b. La conductivité thermique :

***Principe d'essai :**

Comme indiqué sur la figure 3(a), le test est réalisé en appliquant un flux thermique qui traverse l'échantillon de pierre, un gradient de température est appliqué sur la face avant (T1), tandis que la température de l'autre face (T2) est maintenue constante par refroidissement ⁸⁻⁹. Pour cela, l'échantillon de pierre est découpé en forme rectangulaire de 10/8cm de dimensions et d'une épaisseur de 6cm, placé entre deux milieux : une des extrémités est exposée à une source de chaleur présentée par une résistance électrique qui émet un flux de chaleur (Q), produisant ainsi un gradient thermique selon l'épaisseur de l'échantillon, tandis que l'autre extrémité est exposée à un circuit d'eau froide.

Deux capteurs thermocouples sont fixés aux extrémités de l'échantillon et séparés par la distance (d) de l'épaisseur de l'échantillon, mesurant la variation de température pendant la période de test. De plus, les extrémités de l'échantillon de pierre sont isolées avec du téflon pour éliminer la perte de chaleur. En raison de la faible épaisseur et de l'isolation des côtés de l'échantillon, nous avons considéré que la propagation de la chaleur est unidimensionnelle, de l'avant vers l'arrière, uniquement en fonction de la distance (d).

⁸ Chelghoum Z, Belhamri A, op.cit.

⁹ Thermoconcept. 15 years of expertise in the thermal study of materials. Available at: <https://www.thermoconcept-sarl.com>. Accessed on January 12, 2023.

Selon Furrier, la valeur de la conductivité thermique est donnée par la formule suivante ¹⁰⁻¹¹:

$$\lambda = \frac{Q * d}{S * (T1 - T2)}$$

Q : flux de chaleur (w/m²).

d : épaisseur (m).

T1 : température de la face avant (°C).

T2 : température de la face arrière (°C).

Le graphique de la figure 3 (b), montre l'évolution de la température aux interfaces des matériaux (T1,T2). En appliquant un flux thermique de 40w la température T1 augmente graduellement jusqu'à atteindre la valeur de 120°C ; elle se stabilise alors que T2 sur l'interface inverse augmente mais elle garde un intervalle important causé par la capacité thermique des matériaux à stocker la chaleur pendant un temps donné. Ainsi, par l'application de l'équation (7) nous obtenons une valeur de conductivité thermique de :

0,87 w/(m.k). Par la suite, la résistance thermique de chaque type de mur est calculée comme suit : ¹²

$$R = \frac{d}{\lambda}$$

Where d (m) is the thickness of building walls and (λ) is the thermal conductivity w/(m. k)

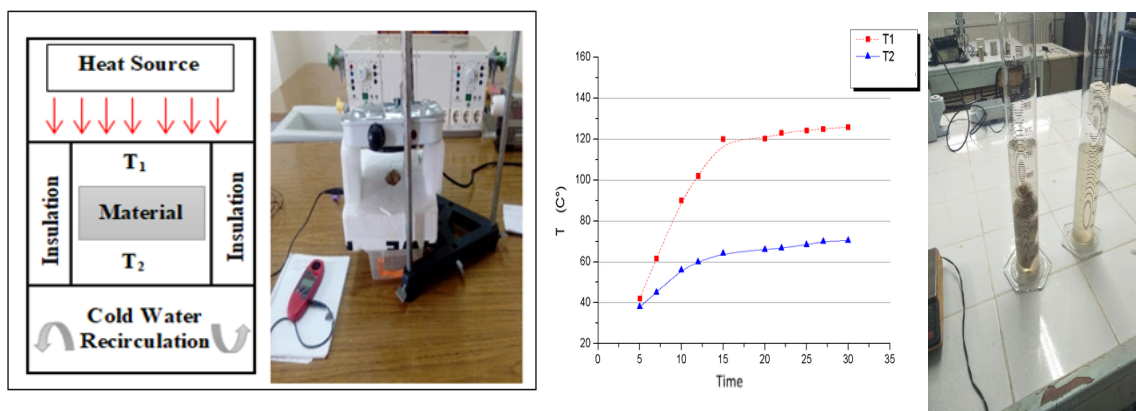


Figure 15 : montage expérimental et évaluation de température dans les extrémités de la pierre.

¹⁰ Gina P. La thermique du bâtiment. 2nd edition. Paris: Dunod; 2015.

¹¹ Claude Alain R. tout le confort avec peu d'énergie. Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, 2000.

¹² Gina P.op,cit.

Parois/ planchers	Materiaux	Conductivité thermique (W/m.C)	Épaisseur (m)
Paroi exterieur	Enduit en Ciment	1.4	0.015
	Brique creuse	0.5	0.15
	Lame d'air	0.31	0.05
	Brique creuse	0.5	0.1
	Enduit en platre	0.35	0.015
Paroi interieur	Enduit en platre	0.35	0.015
	Brique creuse	0.5	0.1
	Enduit en platre	0.35	0.015
Planchers bas et intermédiaire	Enduit en platre	0.35	0.015
	Corps creux+ dalle de compression	1.45	0.2
	Mortier	1.4	0.04
	Revêtement de sol	2.1	0.06
Plancher terrasse	Enduit en plâtre	0.35	0.015
	Corps creux + dalle de compression	1.45	0.2
	Isolation	0.1	0.04
	Forme de pente	1.15	0.04
	Etanchéité	0.04	0.03

Tableau.07 : Matériaux constituant l'enveloppe contemporaine et leur caractéristiques thermique (Kadri et mokhtari 2011).

2.7. Simulation numérique :

Durant les dernières années, la simulation informatique est devenue un outil inévitable d'évaluation quantitative et qualitative du confort thermique parallèlement aux expérimentations basées sur les mesures in situ. En outre, plusieurs chercheurs ont utilisé le logiciel Energy –plus pour simuler la température de l'air et la température opérative afin d'évaluer le confort thermique dans les espaces architecturaux.

L'utilisation de la simulation est décisive dans le processus de conception d'un bâtiment. Elle permet d'évaluer différentes alternatives en termes de performance énergétique et de confort des occupants et constitue donc un outil essentiel d'aide à la décision. Cette simulation suppose que les résultats représentent correctement le comportement réel des bâtiments. Pour confirmer ce principe, une étude comparative entre les mesures sur site et les résultats de la simulation numérique est nécessaire. Cette tâche est réalisée à l'aide d'energy plus, un logiciel libre et gratuit qui est en train de devenir l'un des outils de référence dans le domaine de la simulation des bâtiments.

2.7.1. Choix d'outils de simulation :

Apparues pendant les années soixante, les techniques de simulation de la performance du bâtiment constituent aujourd'hui des outils incontournables dans le champ de la recherche et le design architectural. Grâce aux avancements informatiques et à la conscience environnementale croissante, le recourt aux logiciels de simulations est aujourd'hui un devoir plus qu'une nécessité.¹³

L'ASHRAE¹⁴ suggère des facteurs associés aux choix du logiciels tels que la précision, sensibilité, vitesse et coût, reproductibilité, facilité d'usage, complexité d'entrée, qualité des données livrées, et la disponibilité des données météorologiques.

Diverses études ont été menées sur les caractéristiques des logiciels de simulation. L'une des plus complètes est celle de Crawley en 2008 qui compare les 20 logiciels les plus utilisés : BLAST, Bsim, DeST, DOE-2.1, Ecotect, Ener-Win, Energy Express, Energy-10, EnergyPlus, EQUEST, ESP-r, IDA-ICE, IESA/ES, HAP, HEED, Power Domus, SUNREL, Tas, TRACE and TRNSYS.

¹³ Hong, T. et al. Building simulation: an overview of developments and information sources. Building and Environment, 2000.35(4), 347-361.

¹⁴ASHRAE. Chapter 8: Thermal Comfort. In: ASHRAE handbook of fundamentals. SI Edition. Atlanta: ASHRAE, 1997, p. 8.1-8.28.

2.7.2. Energy-plus : ¹⁵

Créé en 2001 par le Département d'énergie des É-U, il rassemble les caractéristiques les plus populaires d'autres logiciels de simulation, BLAST et DOE-2. Energy –Plus inclut des fonctionnalités innovantes telles que le calcul à intervalles de moins d'une heure, modules de simulation des systèmes qui sont intégrés à la simulation de bilan thermique par zone, simulation des flux d'air multizone, simulation d'énergie électrique, y compris les piles à combustible et autres systèmes d'énergie renouvelable, et le « water manager » qui contrôle et mesure l'utilisation de l'eau des systèmes du bâtiment, les précipitations et les eaux souterraines (US Department of Energy, 2010). À ce jour, plus de 85000 copies de ce logiciel ont été téléchargées.

2.7.3.Processus du travail de simulation :

Dans une première étape, la réalisation des modèles à simuler a été effectuée en 2D à l'aide du logiciel Autocad afin de définir les zones pour chaque échantillon d'habitation. Et faciliter la tâche de modélisation au niveau de l'interface Ep-launch par système de vertex.

a. Fichier climatique :

***Création d'un fichier météorologique ; sous logiciel Méteonorme version 7 :**

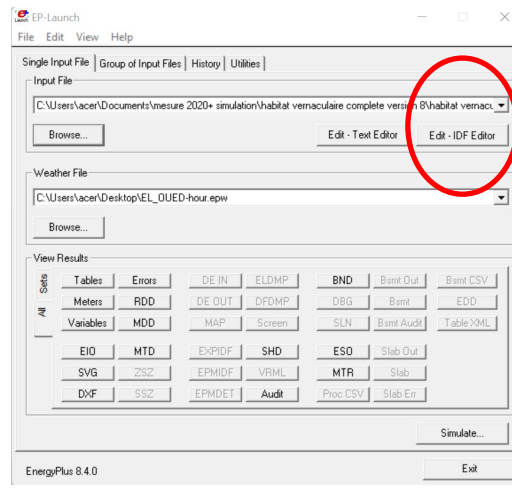
Les données climatiques relative à la température moyenne sont issues de l'interface meteonorme-7 au format EPW.



¹⁵ U.S. Department of Energy - Energy Efficiency et Renewable Energy. (2010). Building Energy Software Tools Directory. . http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/.

* l'interface Ep-lunch :

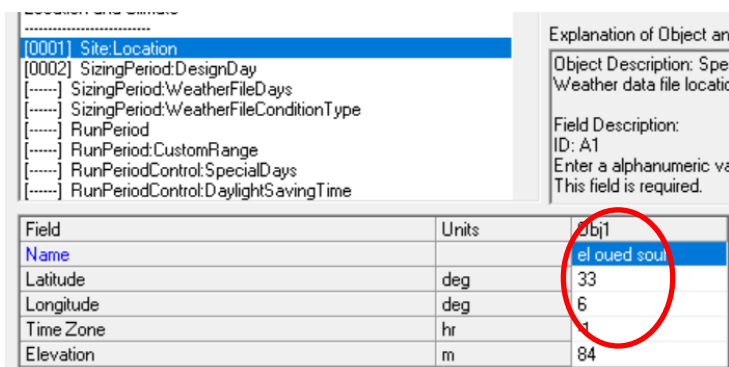
Les modifications ont été faites par forme idf édition.



* Données de base, données d'entrées : input

** Site et localisation :

Coordonnées géographiques : Longitude : 6°51'47" Est, Attitude : 33°21'21" Nord, Altitude : 84m.



** Matériaux utilisés, insertion des caractéristique thermo-physiques :

La pierre rose des sables qui a fait l'objet d'expérimentation thermique et physique présente les valeurs suivantes : conductivité thermique de : 0,87w/ (m.k), résistance totale de 0,82 (m².k)/w et la densité de : 2,5g/cm³. Pour les matériaux récents, les valeurs sont issues de la réglementation thermique des bâtiments¹⁶, **tableau. 08**

	Material	Thermal conductivity $w/(m.k)$	Thickness (cm)	Thermal resistance (m².k)/w	Total Thermal resistance (m².k)/w

¹⁶ DTR C3-2: Thermal regulation of buildings. Rules of calculation of thermal losses, fascicle 1, Annex 03.2003.

External wall traditional	Sand pink	0.87	50	0.57	0.82
	Gypsum	0.4	5	0.25	
External wall contemporary sample	hollow-block	1.15	20	0.23	0.51
	air gap	0.27	5	0.18	
	outside coating	0.4	2	0.1	

Tableau.08 : propriété thermiques des matériaux.

10004 Material MaterialNoMass MaterialInfraredTransparent MaterialAirGap MaterialRoofVegetation WindowMaterialSimpleGlazingSystem 10001 WindowMaterialGlazing WindowMaterialGlazingGroupThermochromic WindowMaterialGlazingRetractionExtinctionMethod WindowMaterialGas WindowGapSupportPillar		Explanation of Object and Current Field Object Description: Regular materials described with full set of thermal properties Field Description: ID: A1 Enter a alphanumeric value This field is required.			
Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4
Name		rose de sable	gypse	bois	sable
Roughness		Rough	MediumSmooth	MediumRough	VerySmooth
Thickness	m	0,5	0,05	0,07	0,2
Conductivity	W/m-K	0,98	0,4	0,043	0,043
Density	kg/m3	2300	2320	1600	1600
Specific Heat	J/kg-K	1000	1090	1000	1000

****Modélisation du projet selon la typologie architecturale :**

La modélisation est réalisée par le système de vertex. Selon le zoning détaillé en annexe

10067 BuildingSurfaceDetailed WallDetailed RoofCeilingDetailed FloorDetailed WallExterior WallAdiabatic WallUnderground WallInterzone Roof CeilingAdiabatic CeilingInterzone		Explanation of Object and Current Field Object Description: Allows for detailed entry of building heat transfer surfaces. Does not include subsurfaces such as... Field Description: ID: A1 Enter a alphanumeric value This field is required.					
Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6
Outside Boundary Condition Object		SunExposed	SunExposed	SunExposed	SunExposed	NoSun	Sun
Sun Exposure		WindExposed	WindExposed	WindExposed	WindExposed	NoWind	Win
Wind Exposure		autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate
View Factor to Ground		autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate
Number of Vertices		4	8	8	4	4	0
Vertex 1 X-coordinate	m	7,3	7,3	10,3	10,3	7,3	0
Vertex 1 Y-coordinate	m	0	0	0	0	0	0
Vertex 1 Z-coordinate	m	8	8	4	4	8	12,8
Vertex 2 X-coordinate	m	7,3	10,3	10,3	7,3	7,3	0
Vertex 2 Y-coordinate	m	0	0	0	0	0	0

***Données de sortie Output :**

Output:Variable

[-----] Output:Meter

[0001] Output:Meter:MeterFileOnly

[-----] Output:Meter:Cumulative

[-----] Output:Meter:Cumulative:MeterFileOnly

[-----] Meter:Custom

[-----] Meter:CustomDecrement

[-----] Output:SQLite

[-----] Output:EnvironmentalImpactFactors

[-----] EnvironmentalImpactFactors

[-----] FuelFactors

[-----] Output:Diagnostics

[-----] Output:DebuggingData

[-----] Output:PreprocessorMessage

Explanation of Object and Current Field

Object Description: each Output:Variable contains some variables that may not be reported for every simulation. A list of variables that can be reported are available in the report dictionary file (.rdd) if the Output:Variable is set to "All".

Field Description: use "" (without quotes) to a field ID: A1

Field	Units	Obj1	Obj2
Key Value			
Variable Name		Zone Air Temperature	Site Outdoor Air Drybulb Temperature
Reporting Frequency		Timestep	Timestep
Schedule Name			

Chapitre 03 :
Résultat et évaluation.

Introduction :

L'analyse de l'environnement climatique de la région d'étude nous permis à déterminer des typologies d'habitations différentes qui se regroupent en deux majeures catégories, la première est la typologie vernaculaire qui se présente par une conception soucieuse des contraintes du milieu. Et l'autre illustre la pratique architecturale courante. Le présent chapitre aborde l'analyse subjective et objective des typologies d'habitations sélectionnées. Il est consacré à évaluer les gestes d'adaptation ainsi que l'impact des stratégies passives utilisées au niveau de l'enveloppe architecturale, en termes d'adaptabilité climatique et de confort thermique. Cependant, ce chapitre s'articule en trois axes :

Le premier axe se présente par une évaluation subjective du confort thermique dans la région d'el Oued Souf à travers un questionnaire déposé en ligne. Où les questions ont été élaborées en langue arabe, en tant que langue maternelle pour la majorité de la société pour éviter que les questions posées soient incompréhensibles.

Tandis que le deuxième axe est consacré aux mesures des paramètres physiques in situ, se basant sur les périodes de surchauffe en été et les froides en hiver, ainsi que la plage de confort.

Comme troisième axe nous allons effectuer une simulation numérique par le logiciel énergie plus, bien que les caractéristiques thermo-physique des matériaux sont indispensables pour le travail de simulation, cette tâche est accompagnée par une expérimentation sur matériaux locaux pour ressortir les indices de conductivités thermique et de la densité. La modélisation des échantillons est effectuée par le système vertex et les conditions de ventilation naturelle sont prises à l'état passif.

1. Évaluation subjective du confort thermique.

Le questionnaire établi en ligne se compose de trois volets, le premier volet concerne les informations générales sur les participants ainsi que leurs logements, les deux autres axes se focalisent sur le confort thermique en été et en hiver, et finalement un espace libre laissé pour les participants pour donner des propositions et des commentaires concernant le sujet.

1.1. Volet 01 : Qui êtes-vous ? Il comprend les axes suivants :

a. Typologie des habitations :

Comme indiqué sur la figure.01, le pourcentage de la typologie des habitations vernaculaires forme 22,4% avec 24 habitations de la totalité des réponses, tandis que le pourcentage de la typologie contemporaine forme 77,6 % partagé respectivement en 35% semi-collectif avec un nombre total de 37 logements est de 43% de type individuels avec 46 habitations.

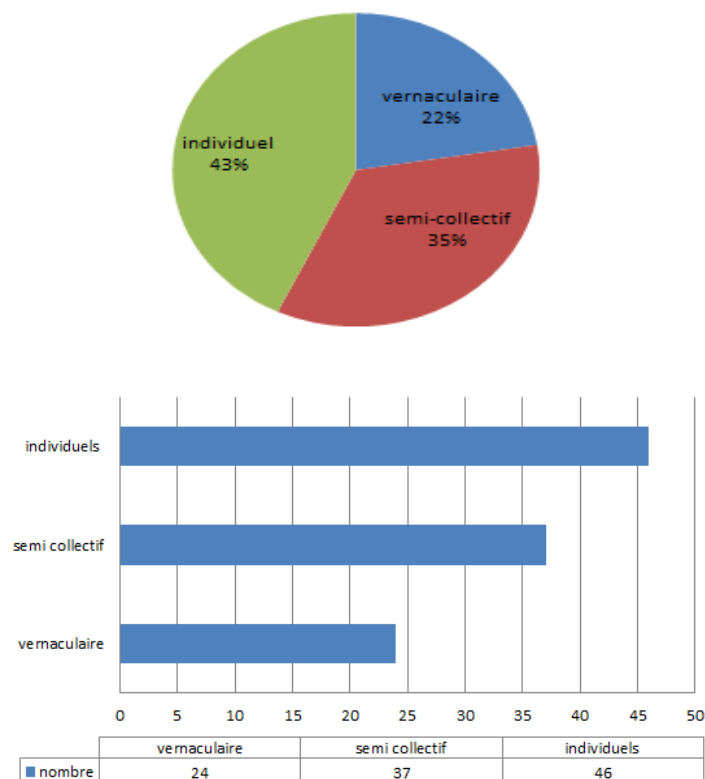


Figure.01 : pourcentage et nombre des participants selon type d'habitation.

b. Caractéristiques du ménage :

Le nombre total des réponses collectées depuis le sondage en ligne est d'environ 107 réponses répartie entre : 42.1% femmes et 57,9% hommes. Comme indiqué sur la **figure.01**.

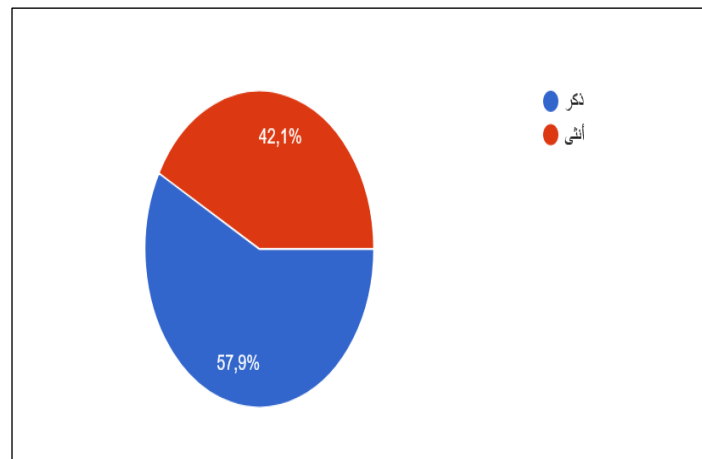


Figure.02 : pourcentage de genre (sexe) des participants.

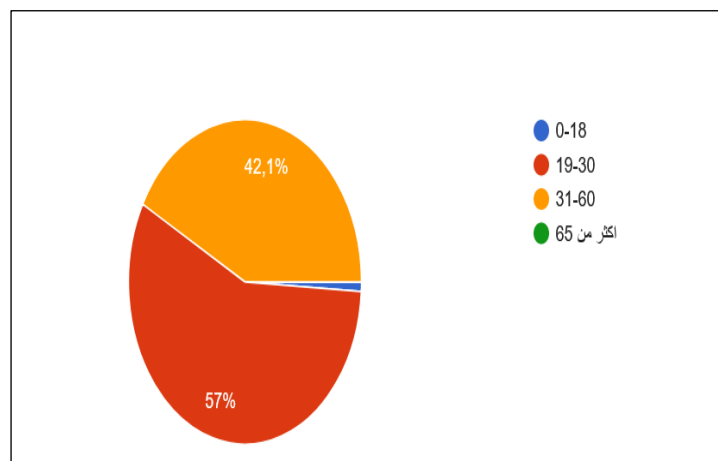


Figure.03 : les tranches d'Age des participants.

La figure.03, présente le pourcentage des catégories d'âge des habitants participants au questionnaire. En effet, les participants sont principalement de la catégorie des jeunes ayant de 19-30 et 31-60 ans, partagée respectivement en 42.1% homme et 57,9 femmes et, la catégorie des vieux est presque nulle.

c. Nombre de personnes par logement :

Le nombre de personne par logement est considéré comme une information importante dans le but de collecter une gamme importante des avis, ainsi que leur influence sur le niveau de confort ressenti. À ce propos, la **figure05** montre que dans les trois catégories des habitations ; le nombre des occupants par logement dépasse 4- et plus de 5, ceci indique un taux élevé d'occupation. Ce qui influe sur l'ambiance thermique interne ; car chaque personne contribue avec 2-3 °C selon son activité et son habillement.

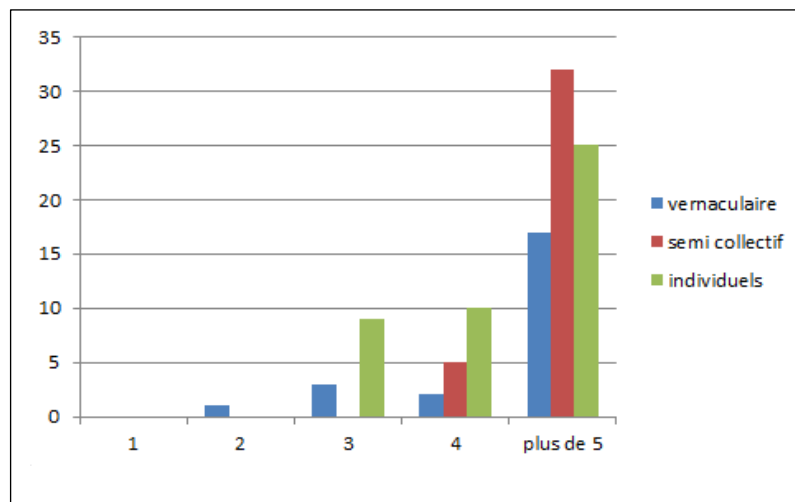


Figure.04 : nombre d'occupants par logement.

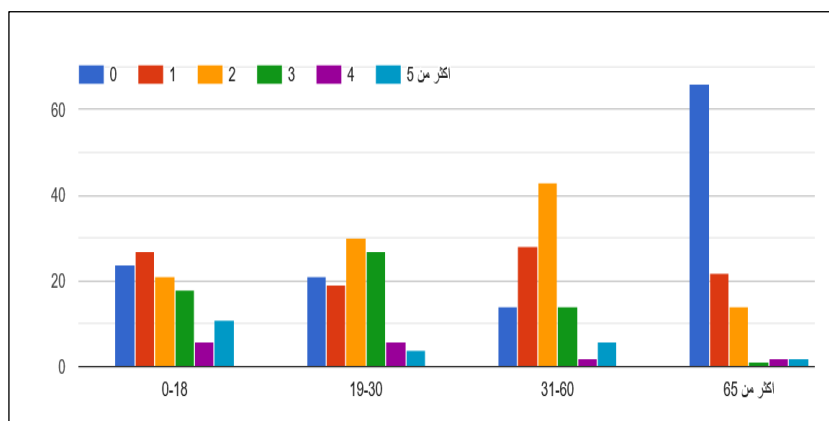


Figure.05 : nombre de personne par famille et tranches d'âge.

d. Numéro d'étage et orientation :

Par rapport aux particularités spécifiques : le numéro d'étage, la majorité des réponses pour les trois typologies des habitations enquêtées ont été pour le rez de chaussée et un faible pourcentage pour le premier étage, **figure.06**. Les réponses sont logiques car toutes constructions dans la région englobant les logements étatiques ne dépassent pas ce niveau,

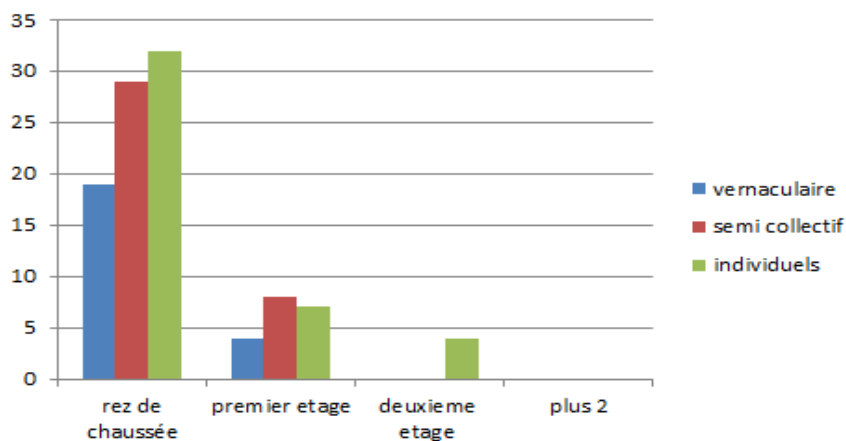


Figure. 06 : numéro d'étage par logement.

Par rapport au facteur orientation, les orientations dominantes des habitations vernaculaires, sont le nord et l'est ainsi que le nord –est et sud-est, pour les logements semi collectifs figure le nord-est et pour les habitations individuelles le pourcentage dominantes sont rapprochés pour les orientations : le Nord, l'est, sud, et sud est **figure.07**. De ces chiffres on ne peut pas généraliser une orientation fixe pour chaque typologie, ceci est due peut-être à une mauvaise compréhension de la question. Rappelons que pour la typologie vernaculaire les pièces sont utilisées saisonnièrement selon leurs orientations.

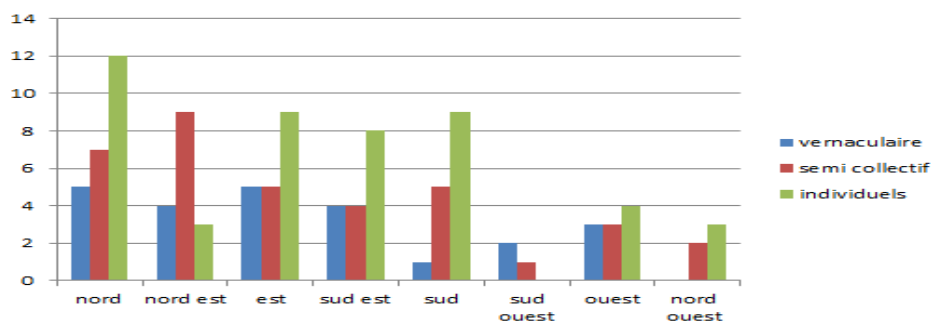


figure.07 : orientation des logements.

e. Type de chauffe à bain utilisé :

Pour le type de chauffage utilisé la majorité des occupants des trois typologies utilise l'eau chaude sanitaire avec système électrique avec 20.5 % pour les habitations vernaculaires, 22.4% pour le semi collectif et 28.03% pour l'individuel. **Figure.08.**

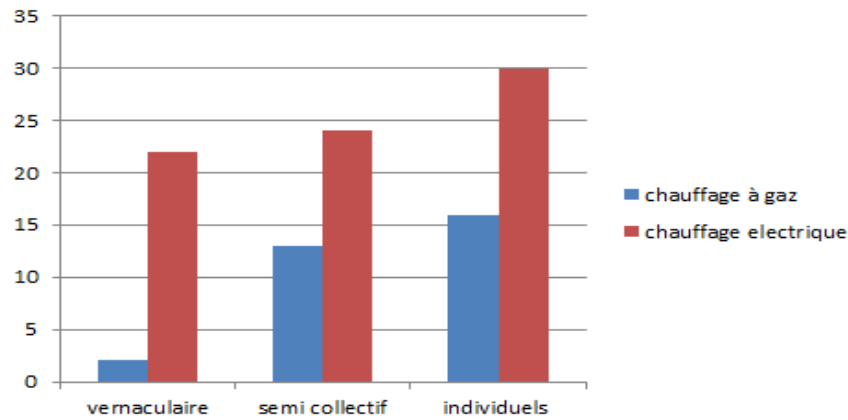


Figure.08 : Type d'eau chaude

f. Temps passé par logement :

Les **figure.09**, présente la réponse à la question : à quel moment de la journée êtes-vous dans votre logement ? : Du pourcentage on observe que le temps d'occupation des trois catégories des habitations est élevé pendant la nuit durant tous les jours de la semaine, suivie par les jours de weekend presque tout le temps. Le facteur de temps contribue à focaliser les conditions de confort nocturne et diurne.

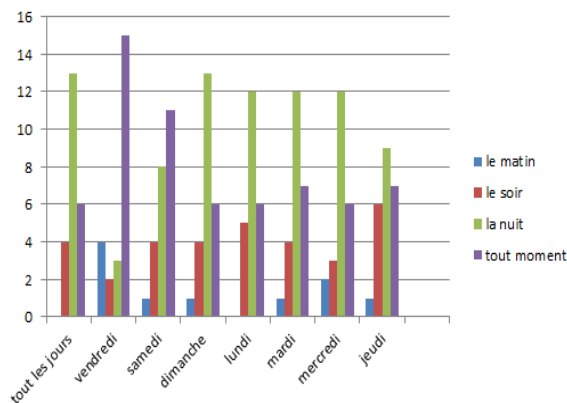


Figure.09.a : temps d'occupation des habitations vernaculaires par jour.

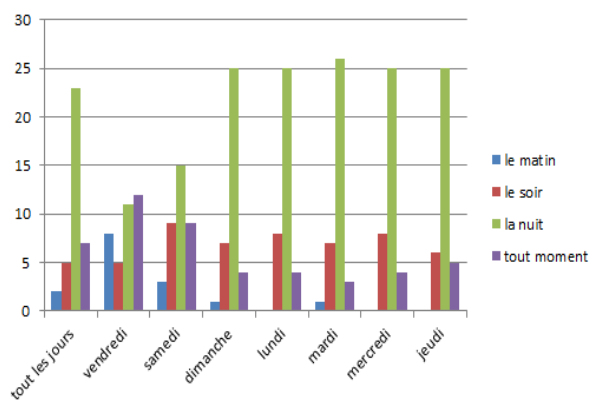


Figure.09.b : temps d'occupation des logements semi collectifs par jour.

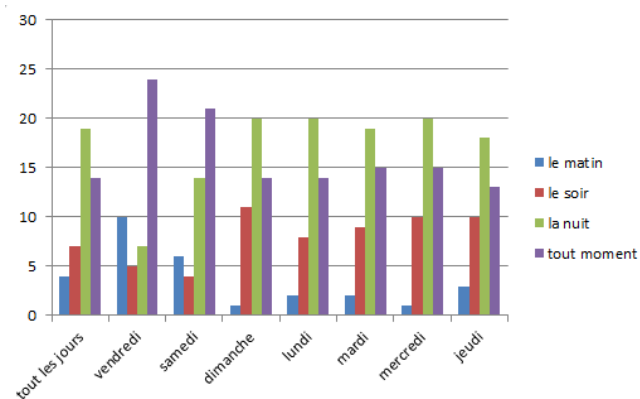


Figure.09.c : temps d'occupation des habitations individuelles par jour.

i. Avis de l'occupant sur son environnement physique : chez vous il fait combien ?

***Le confort en moyenne :**

À la question « *Thermiquement, trouvez-vous votre habitation confortable ?* », selon le graphe la majorité des réponses indique un confort moyen dans toutes les saisons et un confort sauf le mois d'été. En effet, 9,34 % des personnes interrogées de la typologie vernaculaire, 8.41% des logements semi collectif et 19.62 des habitations individuelles déclarent que leur maison est confortable en toute saison. Tandis que pour le choix d'un confort sauf en été les réponses ont été respectivement : 6.5%, 18.69% et 15.88% pour les typologies : vernaculaire, semi collectif et individuels. **Figure.10.**

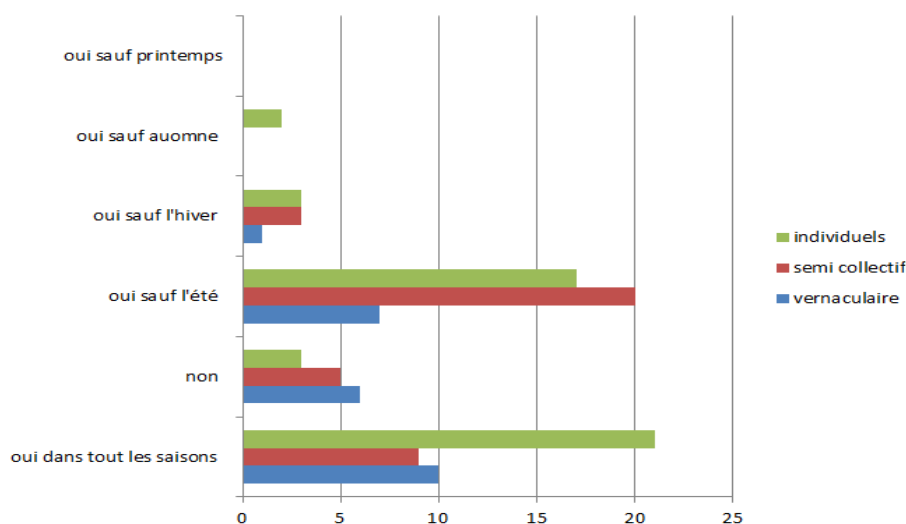


Figure.10 : Avis du confort/inconfort en fonction des saisons.

1.2.Volet. 02 : L'été et votre logement ?

La réponse à la question : D'après votre expérience la pièce la plus chaude en été, les pourcentages sont sensiblement identiques pour Les pièces de vie, sauf la chambre des enfants la **figure.11**, l'ensemble des pièces semble être à la même température. Séjour, chambres de nuit et hall.

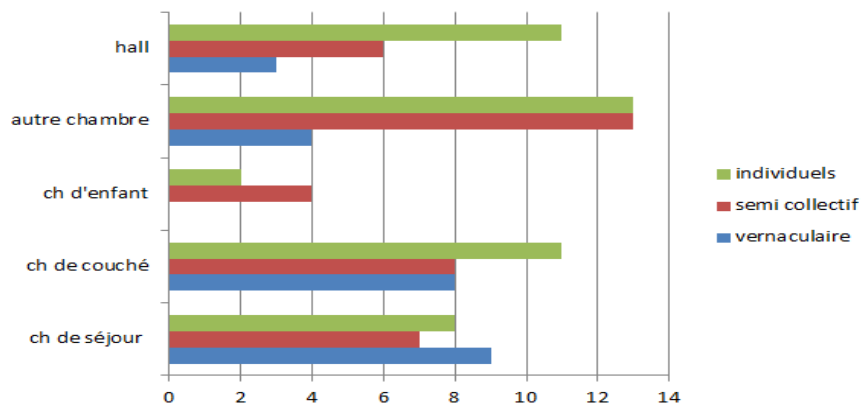


Figure.11 : la pièce la plus chaude

Tandis que pour la pièce la plus froide la majorité des participants des deux catégories contemporaines choisissent la chambre de séjour avec un pourcentage de 16.8 % des logements semi collectifs et 14.95 % des habitations individuelles. **Figure.12**. Ceci est due à l'effet de l'emplacement des systèmes de climatisation ainsi que l'effet d'orientation ou la plupart des logements le séjour est orienté au nord et nord-est Ces constatations sont classiques lors de l'étude thermique des logements. En effet, en été, les pièces orientées plein Sud ou Ouest ont des expositions défavorables.

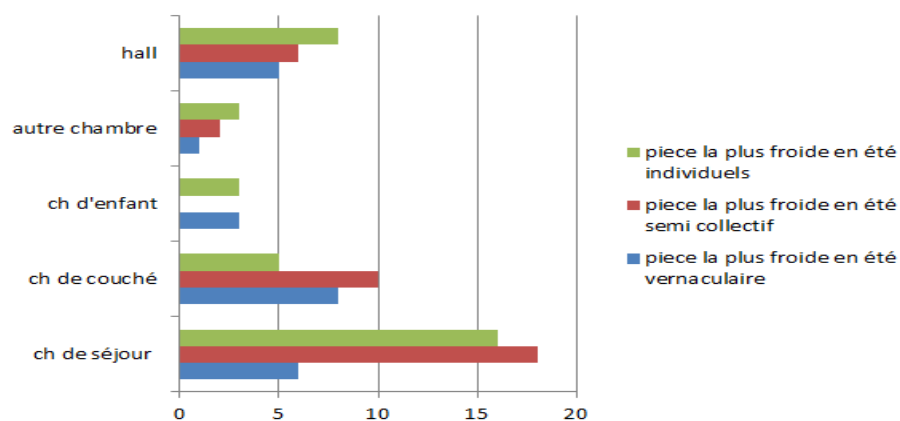


Figure.12 : Pièce la plus froide

Nous cherchons à définir l'espace le plus confortable et fréquent selon les occupants pour effectuer les mesures in situ, la chambre de séjour figure avec 38,3 pour la pièce la plus froide en été. Dans la partie qui se suit les questions posées sont consacrées à cet espace de vie.

a. L'orientation :

Nous avons mentionnés dans la recherche documentaire l'importance attribuée à l'orientation en ce qui concerne la qualité d'un lieu, soit en qualité psychologique et qualité physique (environnementale) car elle influence sensiblement les conditions de confort. Cependant le pourcentage important pour la typologie vernaculaire est pour l'Est avec 12.14% **figure.13**, 9.34% pour le semi collectif et 12.14 pour l'individuels. Suivie par l'orientation Nord – Est, pratiquement cette orientation est favorable pour une chambre de séjour en été pour bénéficier de la lumière de jour et les apports douce du soleil du matin, mais en hiver, l'espace reste presque froid.

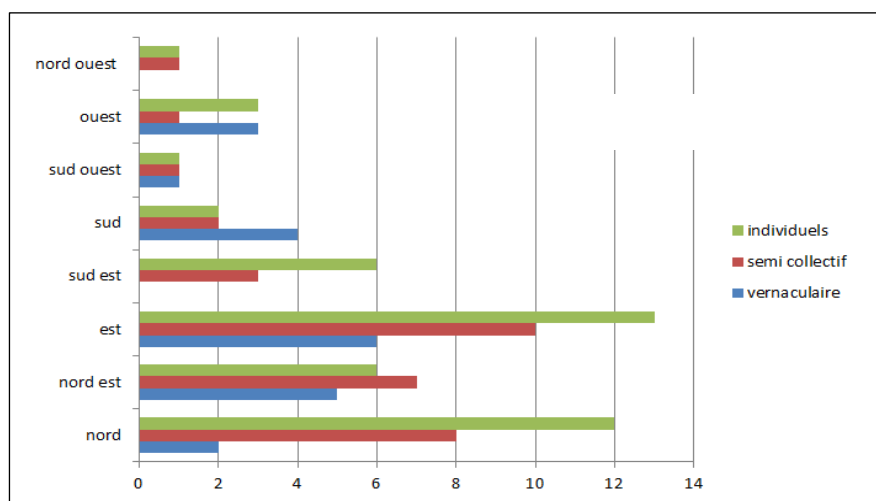


Figure.13 : orientation principale de la chambre de séjour.

Par rapport à la sensation sur l'échelle thermique dans la chambre de séjour, les réponses sont sensiblement rapprochées, moyenne pour le semi collectif avec 9,34%, légèrement froide pour l'individuel avec 13.08% et légèrement chaude pour le vernaculaire avec 9.34%. Comme illustré dans la **figure.14**.

Deux hypothèses peuvent être avancées quant à cette sensation, le premier facteur est lié à l'orientation dominante, les séjours bénéficient de la lumière du jour et les apports solaires de midi, cette orientation garde l'espace à l'abri de l'exposition directe de soleil. Le deuxième facteur est lié à l'emplacement des outils de climatisation, la plupart des occupants place le climatiseur ou le ventilo dans la chambre de séjour bien qu'il est l'espace fréquent pour toute la famille. **Figure.14**

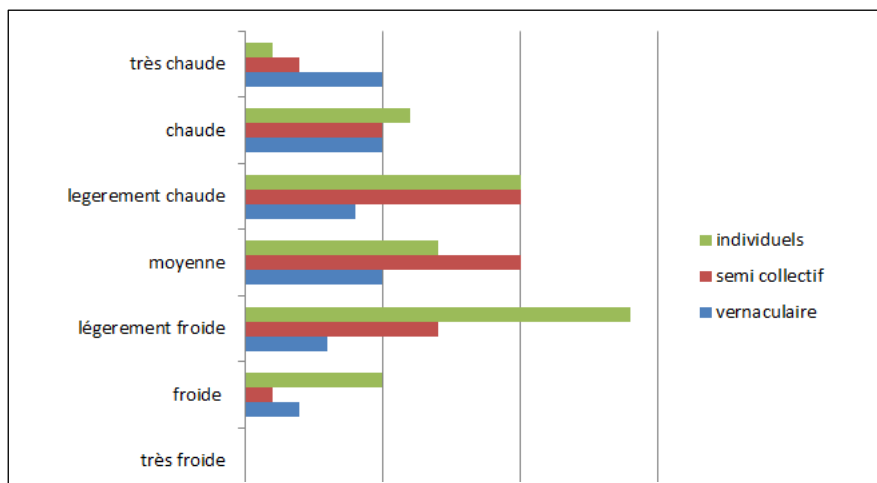


Figure.14 : sensation thermique dans la chambre de séjour.

b. Les gestes adaptatifs : Cette partie concerne les réponses à la question : en été pour rafraichir votre appartement vous faite quoi ? C'est le rapport aux ouvertures et gestes de rafraichissement.

c. Le rapport aux ouvertures :

La réponse à la question : Ouvrez-vous la fenêtre pour rafraichir et si oui à quel moment ? La majorité des occupants disent oui pendant le matin avec les pourcentages suivants : 19.62% pour le vernaculaire et 30.8% pour le semi collectif et 35.5 %pour l'individuel.

Particulièrement le matin comme indiqué sur les **figures .16**.

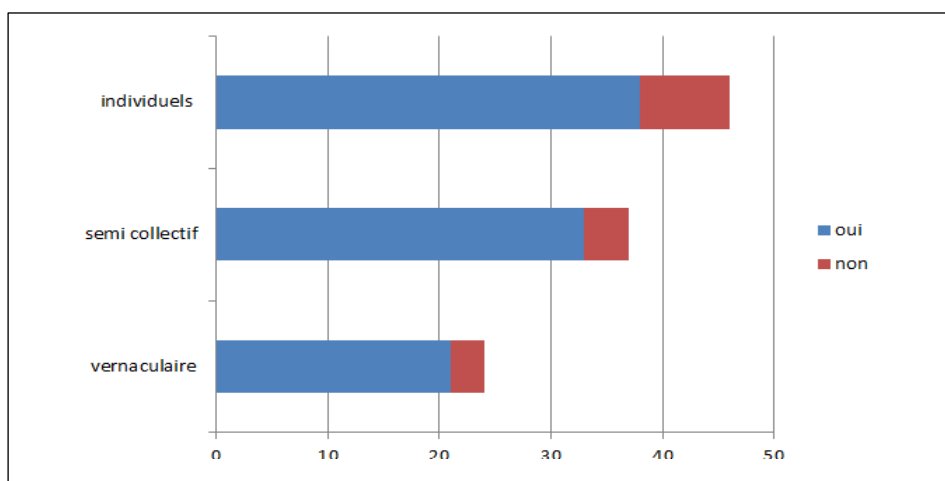


Figure.15 : pourcentage d'utilisation des ouvertures pour ventilation

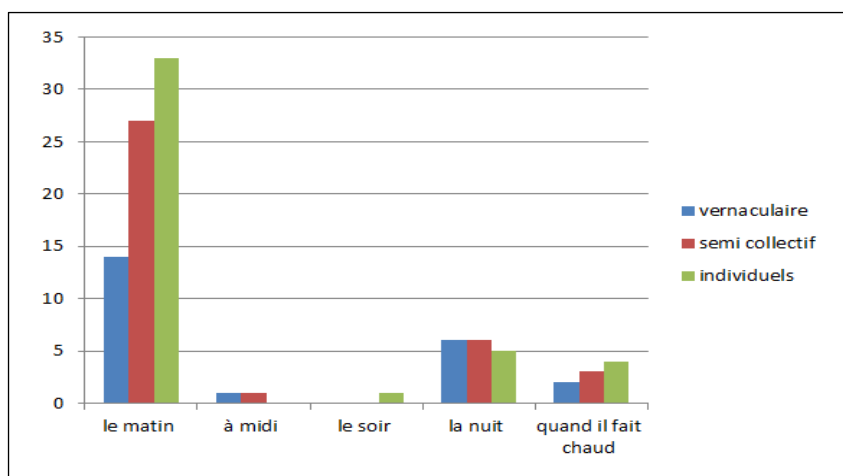


Figure.16 : temps d'ouverture des fenêtres.

d. Le débit d'air :

Un autre facteur déterminant qui influence le confort d'été est la vitesse de l'air, il influence directement m'ambiance thermique, la majorité des réponses indiquent un taux moyen de débit d'air avec l'ouverture des fenêtres. Avec les pourcentages indiqués sur la figure 17.

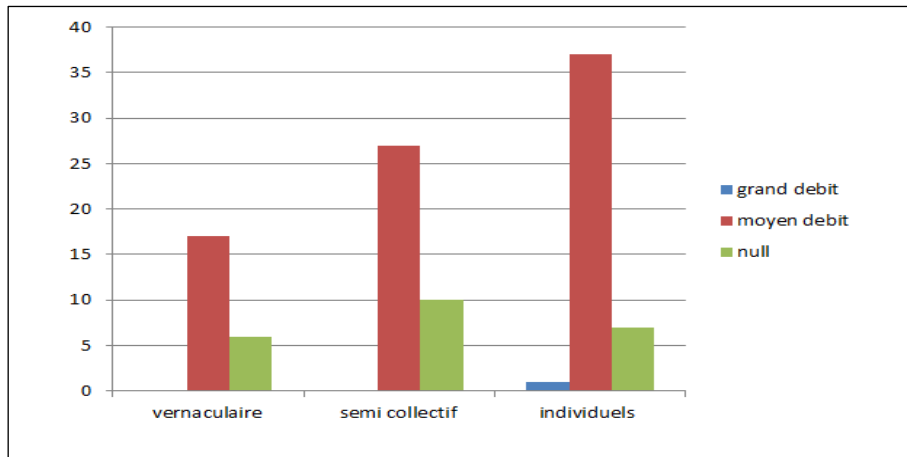


Figure.17 : débit d'air lors d'ouverture des fenêtres.

e. Protection solaire par les occultations fixes et mobiles :

Un autre élément des solutions adaptatives dans la saison estivale est le recours aux occultations mobile comme les bâches ou rideau opaque, ou bien fixe encastrées dans les ouvertures. A la question concernée la majorité des participants disent oui avec les pourcentages illustrés dans le graphe sur la figure.18. Notant que pour la typologie vernaculaire dans la plupart des pièces, les portes restent ouvertes durant toute la journée et protégées seulement par des rideaux. Ceci favorise le renouvellement et le circuit continu d'air entre la cour intérieur et les pièces de vie.

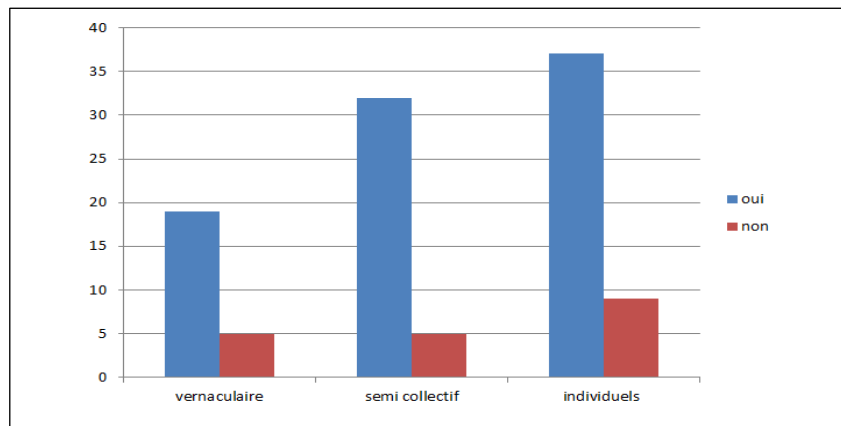


Figure.18 : utilisation des protections solaires.

f. Systèmes de ventilation utilisés :

Le graphe sur la figure.18, présente la réponse à : possédez-vous à un système de ventilation mécanique ? les réponses ont été majoritairement pour un climatiseur pour les deux typologies contemporaine (individuelle, et semi collectifs). Notant un faible pourcentage de 1.86% utilisant le ventilo pour la typologie vernaculaire.

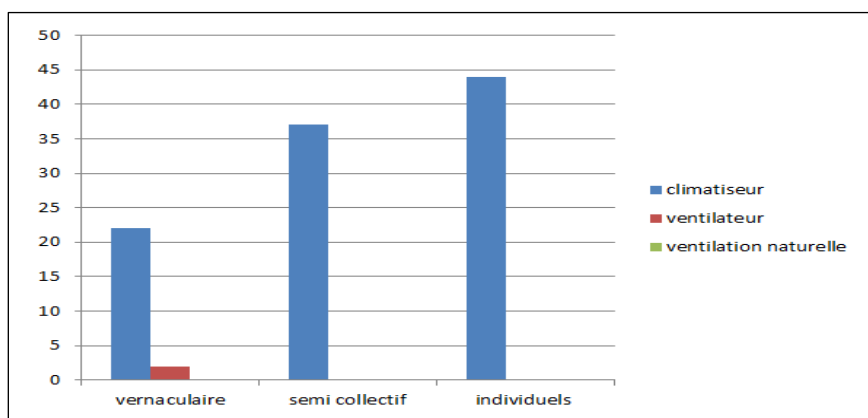


Figure.19: type de ventilation mécanique utilisé.

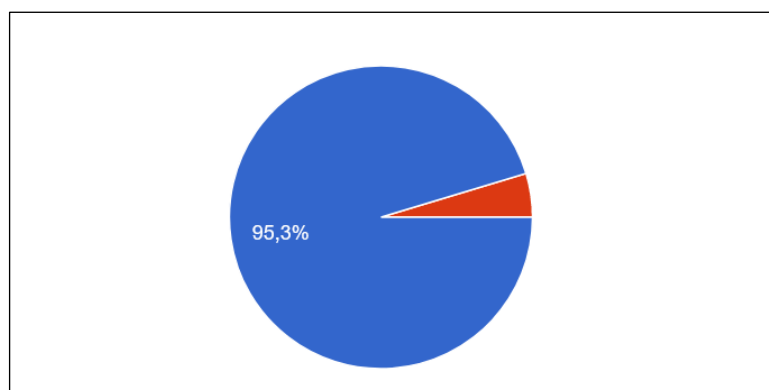


Figure.20 : éteignement des climatiseurs lorsque vous êtes hors demeures

Des deux graphes précédents on constate que les habitants utilisent un système de refroidissement dans leur logement pendant l'été, du fait de conditions climatiques caniculaires caractérisant les mois d'été dans cette la région d'étude. Notant un pourcentage important qui garde les systèmes de refroidissement actives même en sortant des logements.

i. Emplacement des climatiseurs :

Le graphe sur la figure.21, montre un pourcentage important pour l'emplacement des climatiseurs dans toutes les pièces de vie, notamment pour les deux typologies contemporaines avec les pourcentages suivant. 13.08% pour le semi collectif et 10.28 % pour l'individuelle. Tandis que pour la typologie vernaculaire la majorité des participants utilise un climatiseur dans la chambre de séjour avec un pourcentage de 9.34%.

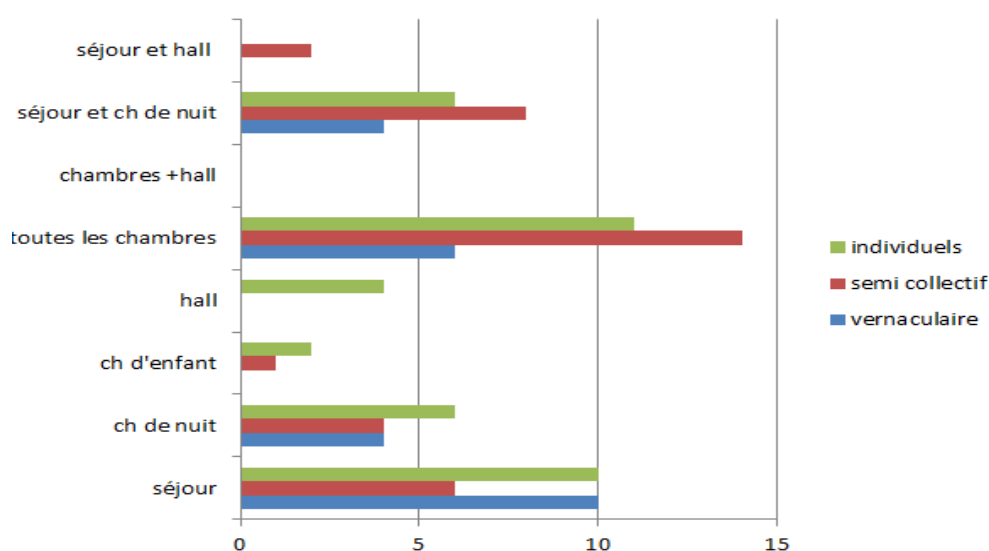


Figure.21 : emplacement des climatiseurs au niveau des habitations.

j. Nombre des climatiseurs par habitation :

Par rapport au nombre total des systèmes de refroidissements utilisés par logement, la figure montre un moyen de deux climatiseurs pour le pourcentage dominant pour les trois typologies.

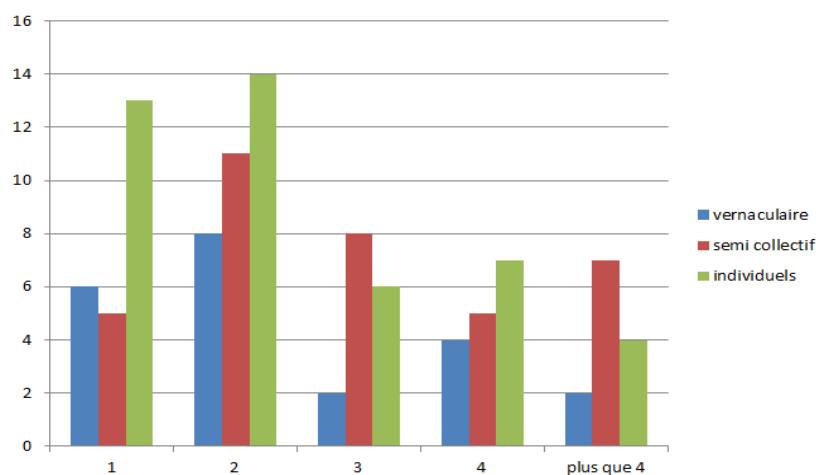


Figure.22 : nombre totale des systèmes de refroidissement par type d'habitat.

k. Consommation et facturation d'énergie :

Par rapport à la Consommation et le cout d'énergie totale, 24.29% des occupants des logements semi collectifs 19.62 % de l'individuelle voient que la facture est trop élevée et Pour la typologie vernaculaire 16.82 %

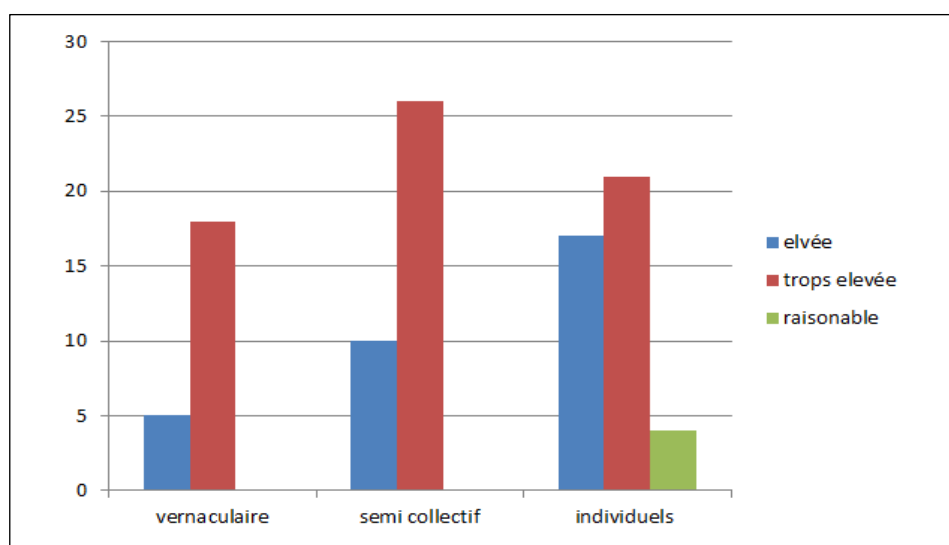


Figure.23 : facture d'électricité en été.

1.3.Volet 03. Le confort en hiver :

Concernant la saison hivernale, comme indiqué sur le graphe de la figure .24. La réponse à l'espace le plus confortable est majoritairement pour la chambre de nuit pour les trois typologies avec les pourcentages suivants : 14.95% pour le vernaculaire, 13.08% pour le semi collectif et 22.42% pour l'individuel. **Figure.24.**

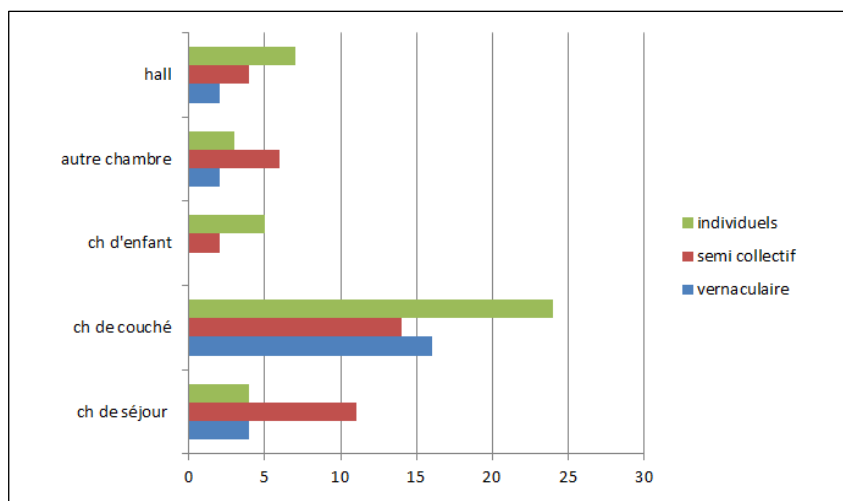


Figure.24 : la pièce confortable.

Tandis que la réponse à la pièce la plus froide a été pour la chambre de séjour pour les trois typologies avec **Figure.25.**

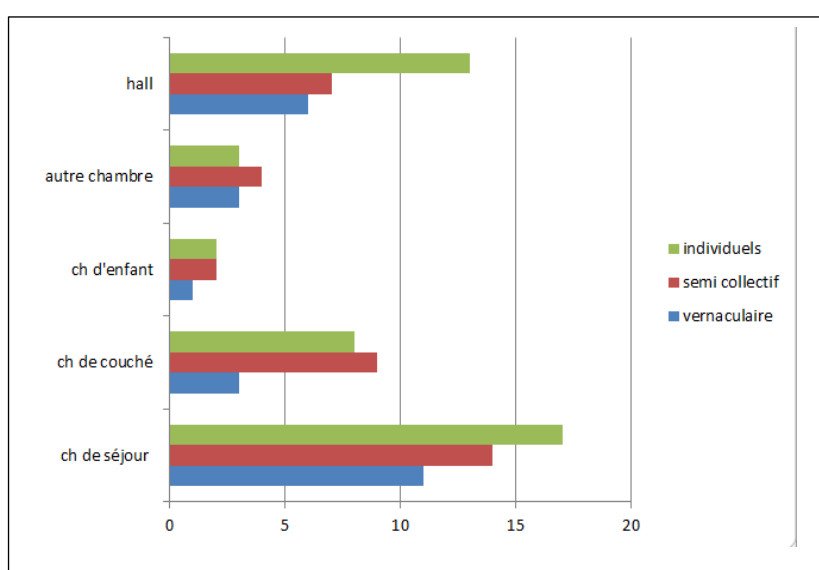


Figure.25 : la pièce la plus froide.

Par rapport à la sensation thermique dans la chambre de séjour, les réponses se rapproche entre froides et très froid et moyenne pour les trois catégories d'habitations comme illustré dans le graphe sur la figure.26. Notant que pour la typologie vernaculaire le pourcentage important représente la sensation froide avec 9.34%, et 12.14% pour le semi collectif l'individuelle. L'organisation spatiale des constructions vernaculaires est plus ouverte que les autres typologies, ce qui implique le regroupement dans un ou deux espaces pour dormir car il est difficile de chauffer la maison complète. En hiver l'espace utilisé est le *sabbat Guebli* qui est orienté spécialement au sud pour bénéficier des rayons de soleil, la nuit les murs restitue la chaleur emmagasiner pendant toute journée donc il contribue à réchauffer l'espace avec une source de chaleur.

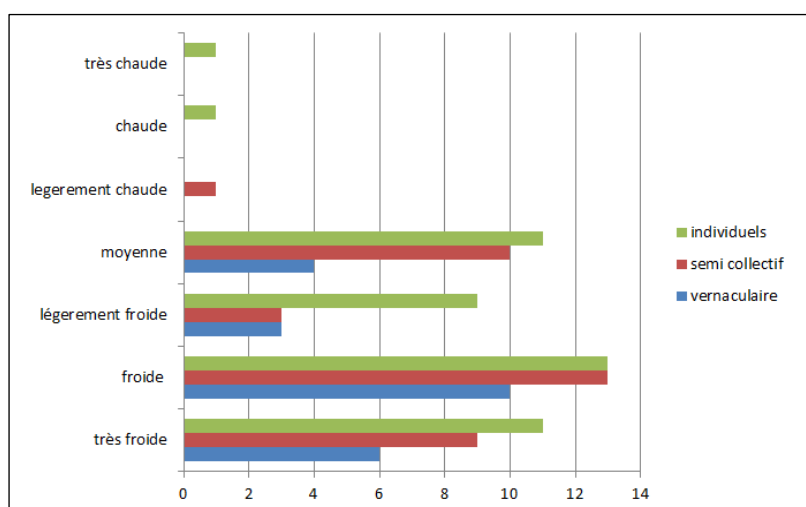


Figure.26 : sensation thermique dans le séjour.

La réponse à la question : Pour chauffer votre logement, possédez-vous un chauffage d'appoint si oui de quel type : la majorité des occupants utilise les deux types de chauffage : à gaz et chauffage électrique avec pourcentage presque égale. **Figure.27.** Cependant, on constate certains possèdent encore des radiateurs et le chauffage des climatiseurs. Ainsi on remarque aussi que parmi eux faisant le recours aux couvertures comme solution naturelle notamment pour la typologie vernaculaire.

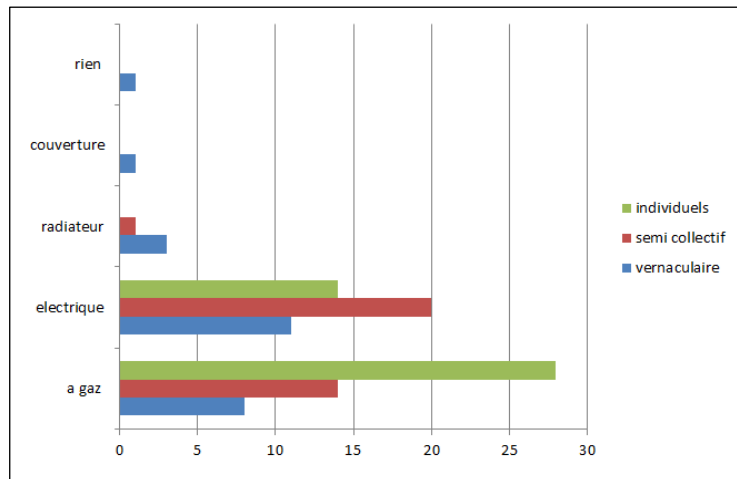


Figure.27 : type de chauffage utilisé

Par rapport aux nombres des chauffages utilisés, la totalité des réponses est de 1 à 2 chauffages au maximum par habitation, **figure.28**. Ce chiffre est raisonnable pour la saison hivernal dans une région chaude et aride, notamment que le fonctionnement de ses systèmes est réduit seulement pendant la nuit.

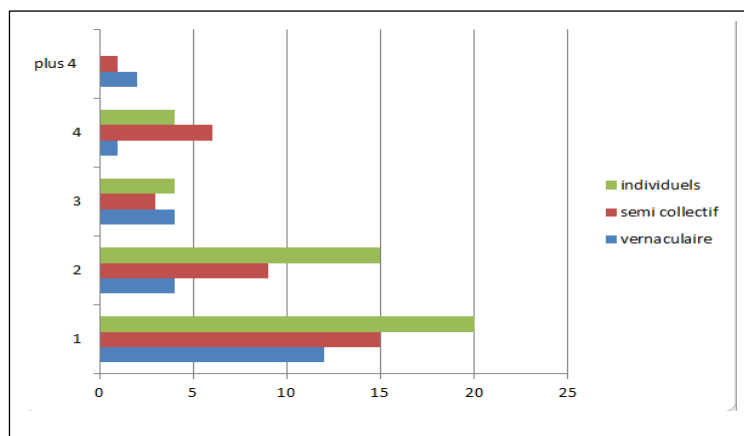


Figure.28 : nombre de chauffage utilisé

Par rapport à la question. Ouvrez-vous les volets le matin pour profiter des apports solaires ainsi que pour l'aération. Comme indiqué sur la figure.29 -30, les réponses ont été oui pour la totalité des typologies d'habitations avec les pourcentages suivant :

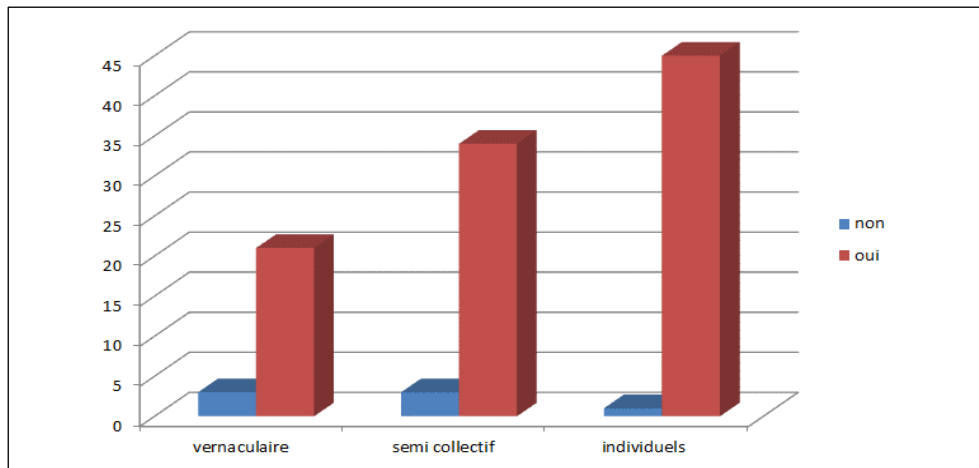


Figure.29: ouverture des fenêtres le matin pour bénéficier des apports solaires.

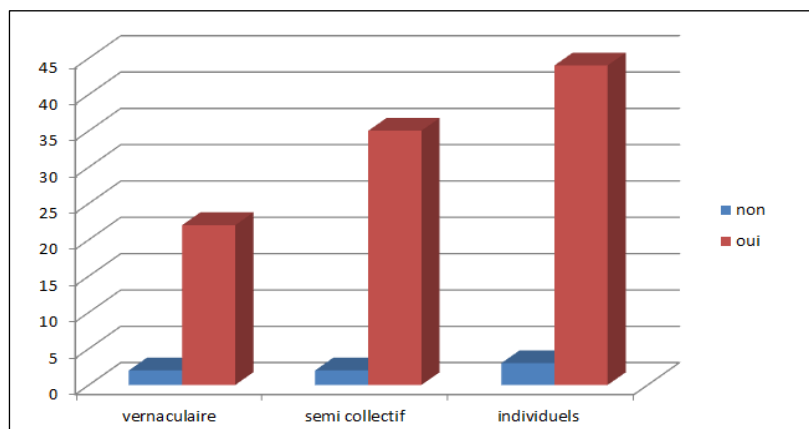


Figure.30 : ouverture pour aération.

Parmi les solutions adaptatives en hiver, la tenue vestimentaire .à ce propos la réponse à la question : à l'intérieur adapter vous votre habillement à la saison ? a été *oui* pour la majorité des occupants des trois typologies comme indiqué sur la **figure.31**. Notant ainsi que les occupants des habitations vernaculaires recouvrent les murs intérieurs avec des tissus en laines comme geste adaptative d'isolation contre le froid.

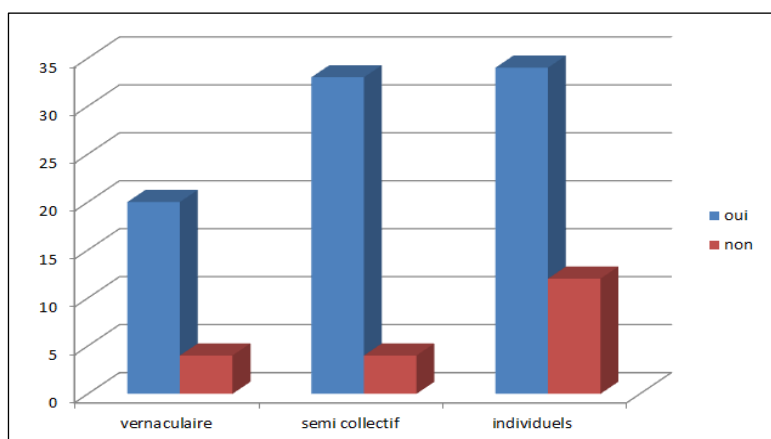


Figure.31 : tenus vestimentaire en hiver

Concernant les questions en rapport à la réduction d'énergie : Quelle serait votre motivation pour réduire votre consommation d'énergie ? Baissez-vous le degré le thermostat de votre chauffage principal quand vous n'êtes pas chez vous : La majorité des occupants disent oui **figure.32**. Ceci reflète une certaine sensibilisation envers la consommation d'énergie.

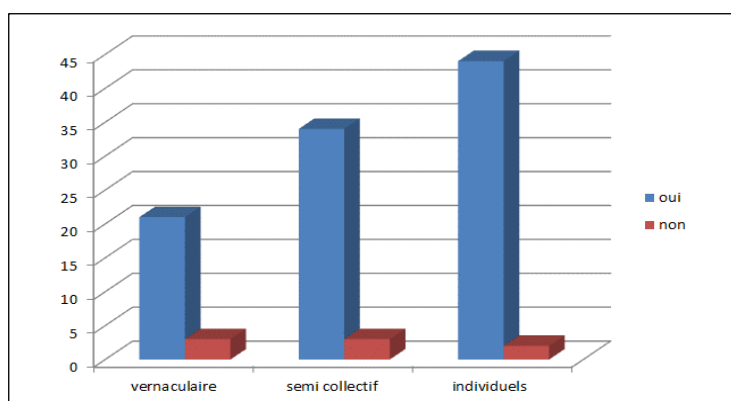


Figure.32 : éteignement de chauffage lors de sortie du logement.

Par rapport à la facturation d'énergie en saison hivernale, au contraire de la période d'été les réponses ont été beaucoup plus pour une facture raisonnable comme indique sur le graphe de la **figure.33**.

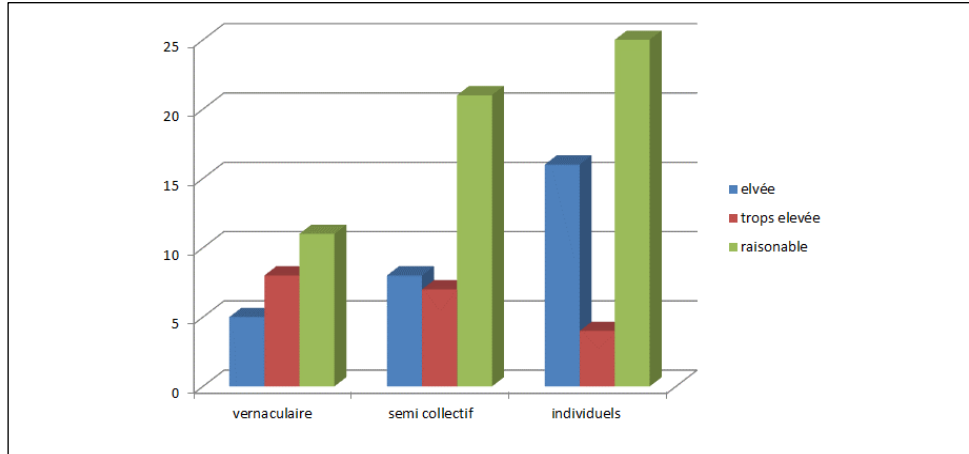


Figure.33: Avis sur la facturation globale de gaz et électricité en hiver

Avis et propositions des participants au questionnaire : cette partie est à vous ?

La majorité des avis propose d'intégrer des solutions passives pour réduire le coût énergétique notamment dans la saison estivale, certains ont proposé d'intégrer les systèmes passifs de ventilation naturelle et les matériaux avec capacité thermique efficace, la figure présente quelques avis des participants.

تخفيض فاتورة الكهرباء للمناطق الجنوبية في فصل الصيف

زيادة عدد المحولات الكهربائية لتفادي انقطاع الكهرباء على السكان خاصة في فصل الصيف مما يؤدي إلى إتلاف الأجهزة الكهربائية ومعاناة السكان من درجات الحرارة المرتفعة

يجب بناء الجدار مزدوج الحجارة حتى يساهم في التقليل من الحرارة والبرد

تعميم معايير النجاعة الطاقوية في برامج السكن مستقبلاً، اتخاذ بعض التدابير لتقليل استهلاك الطاقة كاستخدام الإنارة العمومية بالطاقة الشمسية وتثديد الرقابة على استيراد وإنتاج أجهزة التدفئة والتسخين وغيرها، التي تتسبب في تبذير الطاقة.

تمنياتي لكم بالتوفيق، فقط تغير الشكل السكاني للولاية وقلت المنازل التقليدية لذا زاد استهلاك الغاز والكهرباء واستعمال التكييف صيفا للتغلب على الحرارة لأنه في السابق كانت المنازل بمادة الحبس تساهم في خفض درجة الحرارة، كذا لم نعد نستعمل الغرف الخاصة تسمى عندنا قديما السباط الشرقي والغربي واحد للصيف والآخر للشتاء، كما أدى استعمال البلاط والرخام في رفع درجة حرارة المنزل صيفا وبرودته شتاء.

اقترح احتواء كل منزل على منافذ تهوية متعددة لكي يتكون تيار هواء داخل المنزل اضافة الى ذلك اقترح لمن يريد تشييد منزل الاخذ بعين الاعتبار مشرق الشمس و مغربها للتاقلم معودرجات الحرارة كما انصح بالنباتات والاشجار داخل المنزل والله انها تعطي هواء نقي وتخفض من درجة الحرارة ... اخيرا

أعتقد أنه يجب علينا كمواطنين صحراويين أن نلجأ لذوي الاختصاص عند بناء منازلنا وذلك لدراسة كل من التهوية والعزل الحراري والاضاءة لتقليل من تكاليف التبريد والتدفئة في الفصلين ، أو اعتماد نموذج موحد في البناء تنشره الهيئة المختصة

شكرا

بالتوفيق

2. Evaluation du confort thermique avec les critères mesurés

2.1. Enquête porte à porte, accompagnée aux mesures :

Rencontrer une somme d'occupants des habitations testées nous a permis de faciliter la lecture et la compréhension des questions posés, sachant que la plupart du temps nous avons besoin de reformuler quelque question notamment celle qui concerne la sensation thermique. Globalement le taux de participation a été acceptable et les occupants dans la majorité des bâtiments ont été très accueillants, notant que cette enquête subjective concerne les échantillons d'habitation testés, Sauf que pour les échantillons semi-collectifs on a opté pour un ensemble de bâtiment composé de quatre blocs.

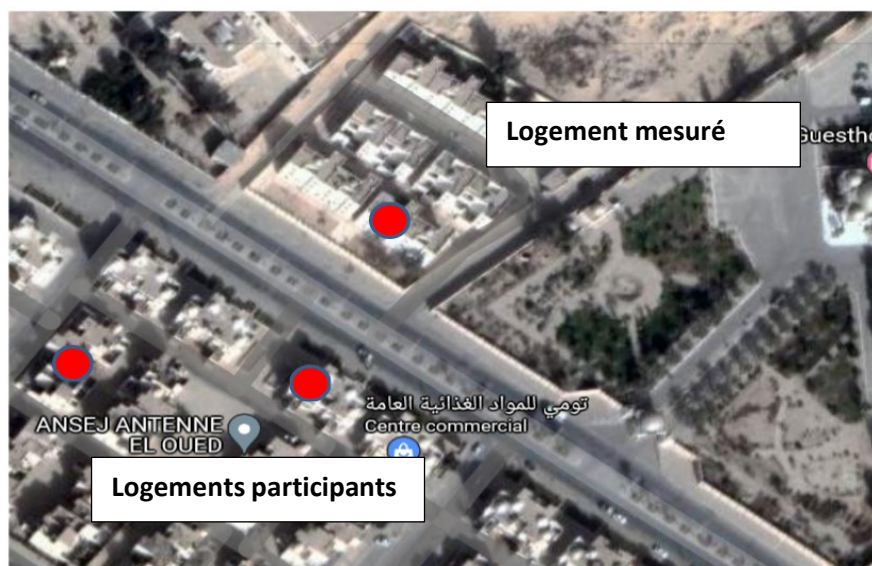


Figure.01 : emplacement des logements semis collectif. Auteur

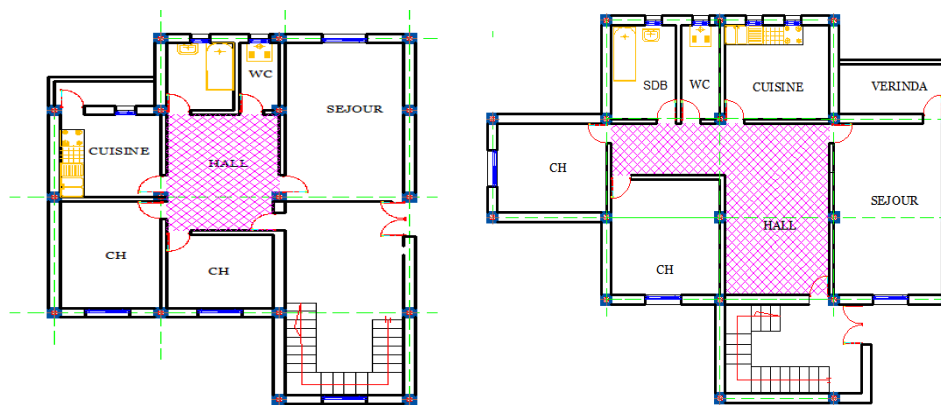


Figure.02 : les deux types de logement ajoutés pour l'enquête subjective. Auteur.

2.1.1 Pourcentage de participation :

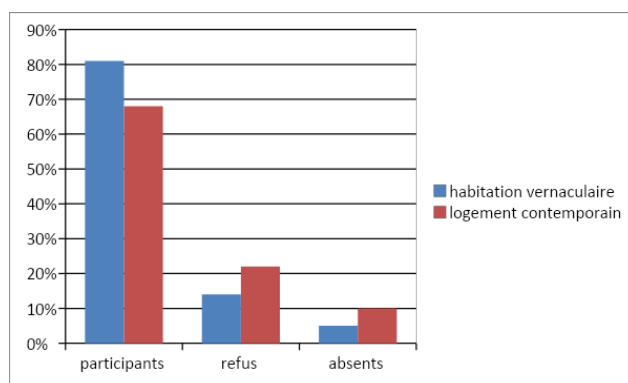


Figure.03 : Nombre de participants en pourcentage pour chacune des habitations testées.

2.1.2. Caractéristiques du ménage :

La figure présente le pourcentage des catégories d'âge des habitants participants au questionnaire en fonction de chaque typologie. À ce niveau, les personnes interrogées sont principalement des femmes avec 51%, les hommes avec 40% ainsi que la catégorie des vieux ayant plus de 66 ans représentent 9%. La tranche d'âge entre 30-60 ans est la catégorie prédominante pour les deux typologies enquêtées. Par ailleurs, la figure illustre les pourcentages de genre (sexe) de notre échantillon. D'après la lecture de cette figure nous constatons que l'échantillon se compose de % de sexe masculin et % de sexe féminin.

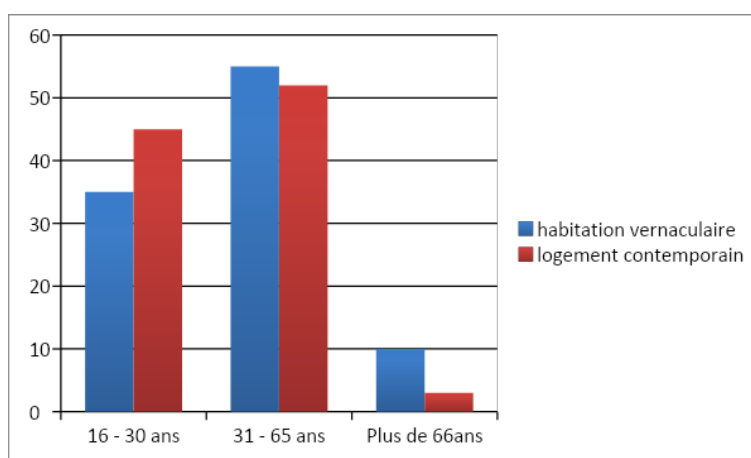


Figure.04 : répartition des participants selon les tranches d'Age.
L'auteur.

2.1.3. Nombre de personnes par logement :

Le nombre des occupants par logements est considéré comme une information très importante dans le but de collecter une gamme importante des avis, À ce sujet, la figure montre que % et % des réponses des participants des logements Contemporains et habitations vernaculaires, soulignent respectivement que le nombre moyen de personnes par logement est plus que 3 (3). Ce résultat est proche de celui de (<3).

2.2. Avis de l'occupant sur son environnement physique :

2.3.5. Le confort en moyenne :

À la question « Thermiquement, trouvez-vous votre habitation confortable ? », dans les habitations vernaculaires, 52 % des personnes interrogées déclarent trouver leur maison confortable en toute saison alors que dans les logements semi collectif ce chiffre tombe à 42%. Les occupants des logements semi collectifs contemporains ne se plaignent pas d'un inconfort en hiver mais plutôt en saison chaude et peu du confort en général. Par contre les occupants des habitations vernaculaires plaignent du confort d'hiver plus qu'en été.

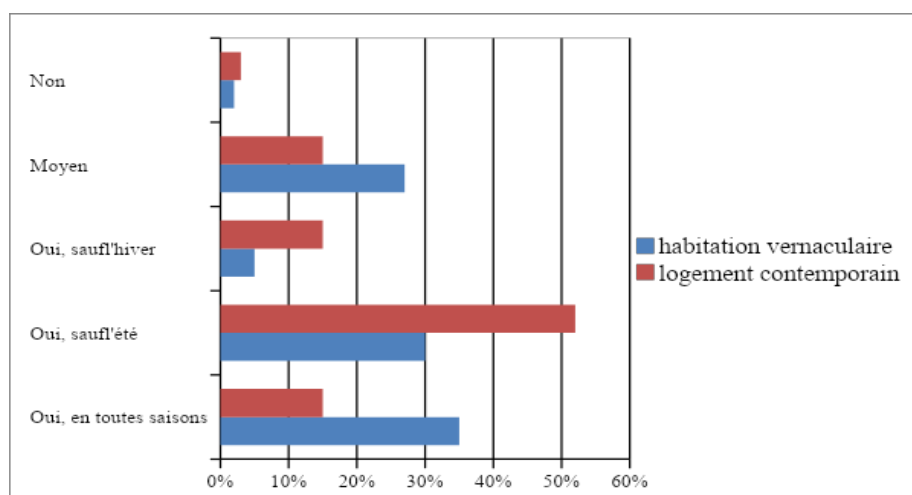


Figure.05 : Répartition du confort/inconfort en fonction des saisons et des habitations.

Auteur.

2.3.6. Le confort en été :

La figure présente les réponses des participants aux questions du confort d'été, pour les habitations vernaculaires la majorité des participants se sent un peu chaud avec un pourcentage de 40% et 30% chaud tandis que 10% à 15% se sent bien et un peu chaud. Par rapport aux logements contemporains la majorité des occupants se sentent chaud avec un pourcentage de 50% et très chaud avec 25% et un peu chaud avec 12% et le reste des habitants se sent bien.

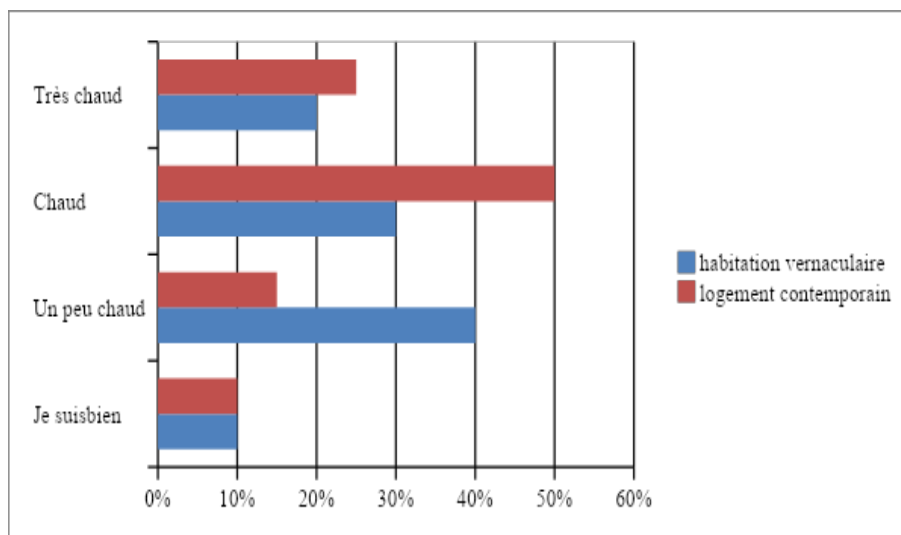


Figure.06 : répartition des réponses à question thermiquement trouvez-vous votre appartement confortable en été. Auteur.

2.3.7. Le confort en hiver :

En outre pour la saison d'hiver on distingue que la majorité des occupants des logements contemporains se sent alaise et un peu froid avec 30% et 43% tandis que le grand pourcentage pour les habitations vernaculaires est pour la réponse très froid 45%, et le reste est partagé entre froid et un peu froid.

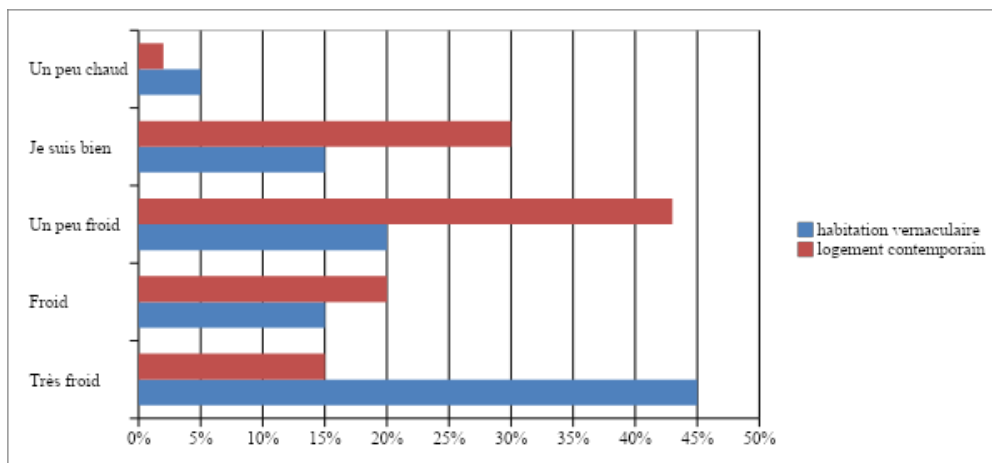


Figure.07 : répartition des réponses à question thermiquement trouvez-vous votre appartement confortable en hiver. Auteur.

Les pourcentages de vote des participants par rapport à la température ambiante de l'air se présentent dans les figures si dessus.

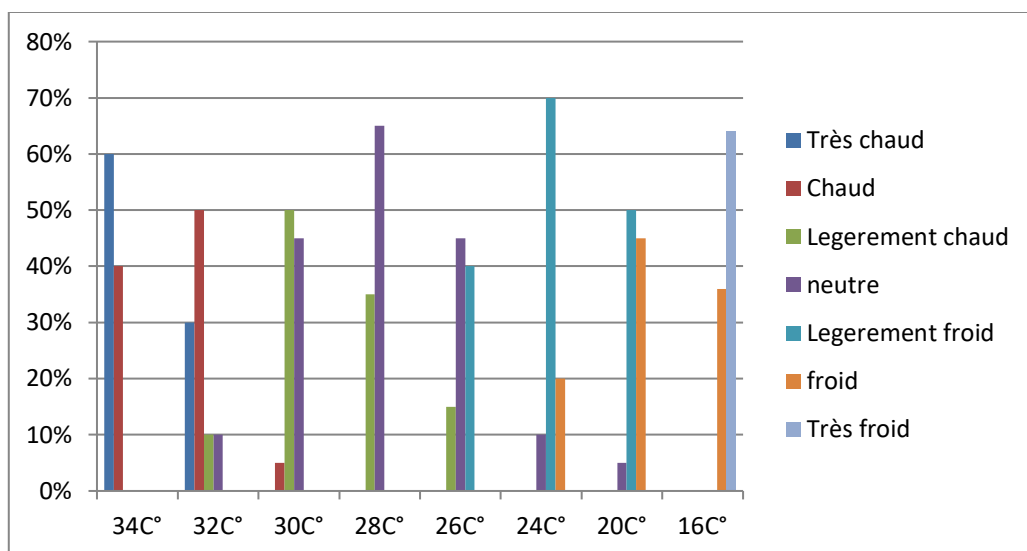


Figure .08 : Pourcentage de vote des participants des habitations vernaculaires testées par rapport à leurs sensations envers leur environnement thermique. Auteur

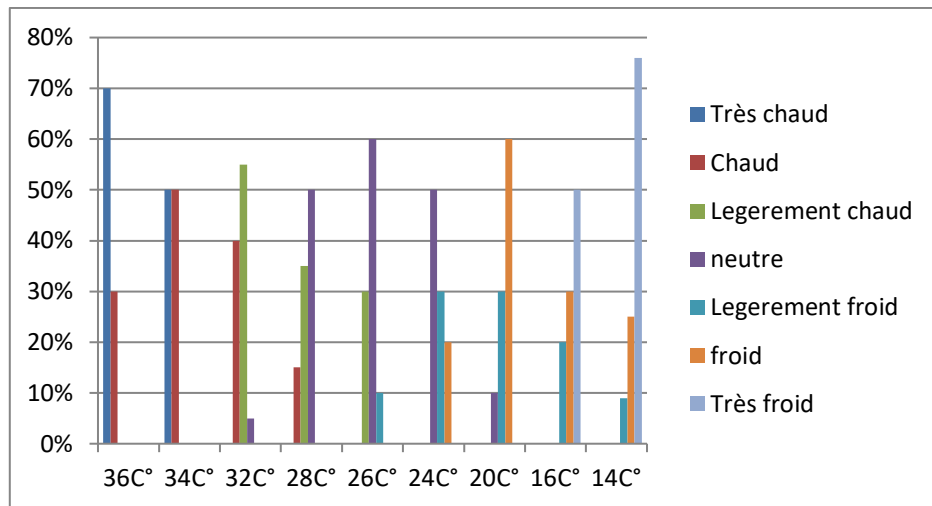


Figure.09 : Pourcentage de vote des participants des habitations contemporaines testées par rapport à leurs sensations envers leur environnement thermique. Auteur.

A la base des pourcentages de vote indiqués dans les figures on peut déduire que :

Les occupants des échantillons vernaculaires :

Le pourcentage de vote pour les participants des échantillons d'habitation vernaculaire, figure.08, indique que la température idéale est dans les alentours de 30 à 28°C avec un pourcentage de 65% neutre et pour la température extrême mesurée 34°C le pourcentage a été 60% des participants se sent très chaud et 40% se sent chaud. Concernant la saison hivernale, la température extrême est dans les alentours de 16°C pour cette valeur la majorité des participants se sent froid avec 65% et 35% se sent très froid, entre autres les pourcentages se répartit en légèrement froid avec 70% pour une température de 24°C et 45% neutre pour une température de 26 °C.

Tandis que pour les occupants des échantillons contemporains les pourcentages de participation ont été répartie comme suit :

Pour une température maximale mesurée d'environ 36 °C, 70% des participants se sent très chaud et pour une température moyenne de 26 °C 60% ont voté pour état neutre et le reste reparti entre légèrement chaud et froid, pour la température minimale mesurée de 14°C, 75% se sent très froid. De ce qui précède on constate que les températures –neutre, extrême et moyenne- se diffèrent selon le type le logement, on peut définir une température neutre de 28°C pour les habitations de typologie vernaculaire, ainsi que pour les logements contemporains est de 26°C.

3. Mesures in situ,

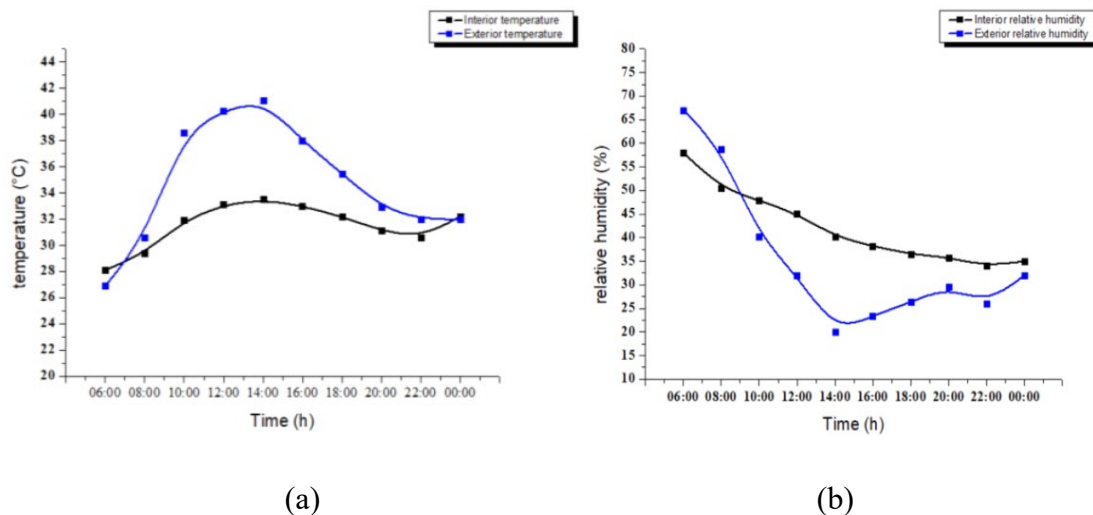
3.1. Variations des paramètres d'ambiance thermique :

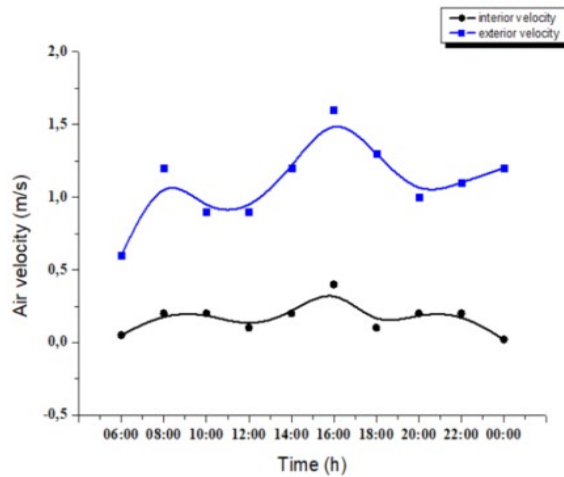
Après avoir effectué l'analyse subjective et collecter un ensemble d'information sur la sensation thermique globale des occupants envers leurs habitations, l'étape qui se suit se présente par l'investigation in situ pour tester quantitativement le niveau du confort thermique intérieur, pour cela et sur la base des questionnaire, l'espace choisit pour mesure est la chambre de séjour dans les paramètres mesurées et les conditions d'occupation sont expliqué dans le deuxième chapitre de la partie empirique.

3.3.1. Variation des paramètres de l'ambiance thermique pour l'échantillon vernaculaire, model HV1.

La figure. 10 présente les courbes de variation de température ambiante et d'humidité relative ainsi que la vitesse de l'air mesurée dans le premier échantillon de typologie vernaculaire, pendant les 24 h d'une journée de la deuxième moitié du mois de juillet de l'été 2019 codé sous le nom HV1, les mesures ont été pris dans la chambre de séjour orienté vers le sud-est et couverte en voutains hémisphériques.

**Compagne estivale :*





(c)

● Paramètres intérieurs

● Paramètres extérieurs

Figure.10 : Variation des paramètres climatiques intérieurs et extérieurs de l'habitation vernaculaire model *HV1* pour la campagne estivale. (a) la température ambiante (b) Taux d'humidité relative (c) : la vitesse de l'air.

*Interprétation :

Par rapport à la température ambiante : t_a

Le graphe de la figure.10 (a) présente la variation de la température ambiante intérieure mesurée dans la chambre de séjour par rapport à la température extérieure pendant les 24 h avec un intervalle d'une heure entre les mesures. On observe que la température minimale intérieure enregistrée à 6h de matin est de 28 °C, à partir duquel elle commence à augmenter légèrement ou elle arrive à une valeur maximale d'environ 32, 8 °C à midi jusqu'à 16h du soir, de cette valeur elle commence à diminuer légèrement, notant que l'amplitude moyenne intérieur est d'environ 4.5°C et, entre la valeur maximale et minimale, tandis que la température mesurée à l'extérieur au niveau de la rue augmente avec une amplitude de 15°C entre la valeur maximale de 41°C et valeur minimale de 26°C.

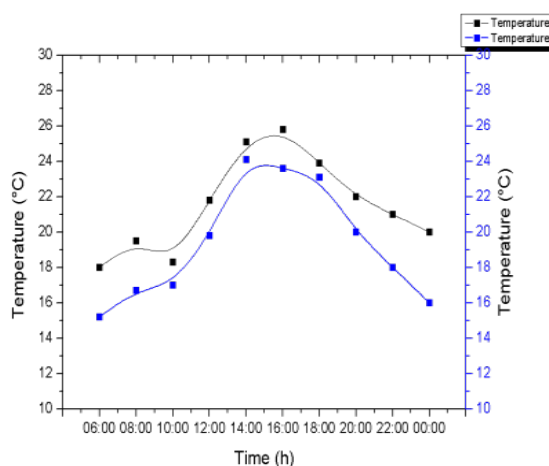
Par rapport aux taux d'humidité relative : RH

En ce qui concerne le facteur d'humidité, les mesures sur le graphe de la figure 3(b), indiquent un taux élevé mesuré pendant les premières heures du matin d'environ 60%, de ce pic le taux d'humidité interne commence à diminuer progressivement pour atteindre une valeur minimale de 35°C de 20h de soir à minuit. Tandis que l'humidité relative extérieure mesurée commence avec un taux maximal de 70% à 6h de matin et diminue rapidement pour atteindre une valeur minimale de 20% à midi et elle recommence de s'élever progressivement.

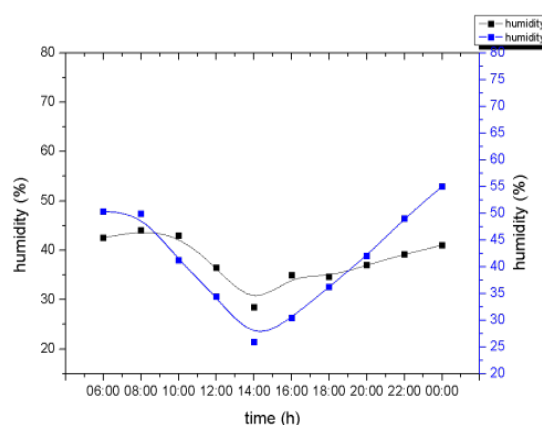
Par rapport à la vitesse de l'air : Va

En ce qui concerne la vitesse de l'air, comme représenté dans la figure.03(c), les valeurs mesurées à l'intérieur de la pièce varient dans l'intervalle de 0,1m/s au minimum à 0,3m/s au maximum alors qu'à l'extérieur les mesures enregistrées atteignent une valeur de 1.5 m/s au maximum et 0.5 m/s au minimum.

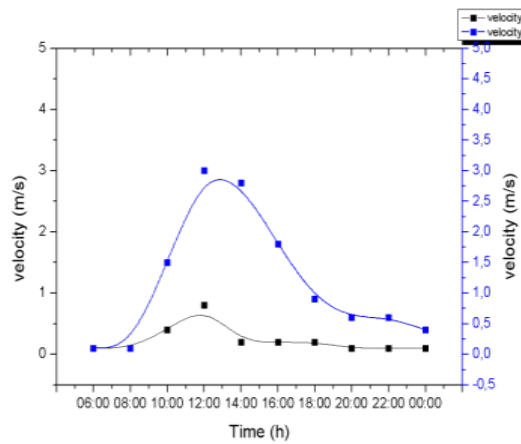
**Compagne Hivernal :*



(a)



(b)



(c)

- Paramètres intérieurs
- Paramètres extérieurs

Figure.11 : Variation des paramètres climatiques intérieurs et extérieurs de l’habitation vernaculaire model *HV1* pour la campagne hivernale. (a) la température ambiante (b), Taux d’humidité relative (c), la vitesse de l’air.

Par rapport à la température ambiante : t_a

La figure .04(a), présente la variation de la température ambiante intérieure mesurée pendant les 24 h dans une journée hivernale de la deuxième moitié de moi de décembre 2019. On observe que la température minimale mesurée pendant les premières heures du matin est d’environ 18°C, commence à s’élever progressivement pour attendre une valeur maximale de 26 °C à midi, pour commencer à diminuer jusqu’à 20°C à minuit. L’amplitude enregistrée est

Par rapport aux taux d’humidité relative : RH

Concernant le facteur humidité, la valeur enregistrée à l’intérieur de la pièce varie dans l’intervalle de 40% à 46% avec une diminution remarquée à midi où l’humidité atteint 30%. A l’extérieure le taux d’humidité relative diminue de sa valeur maximale 50% plus rapidement pour attendre 20% à midi et il recommence à s’élever de nouveau.

Par rapport à la vitesse de l'air : V_a

Les valeurs de la vitesse de l'air enregistrée pendant la saison hivernale sont plus importantes en comparant avec l'été, extérieurement, le taux maximal enregistré est de 3m/s

De l'intérieur les valeurs sont stables relativement avec un pic enregistré de 0.6m/s de 10 h de matin à midi *les ouvertures fermées pendant mesures, travail ménagère /mouvement d'air).

3.3.2. Variation des paramètres de l'ambiance thermique pour l'échantillon vernaculaire, model HV2.

Compagne Estivale :

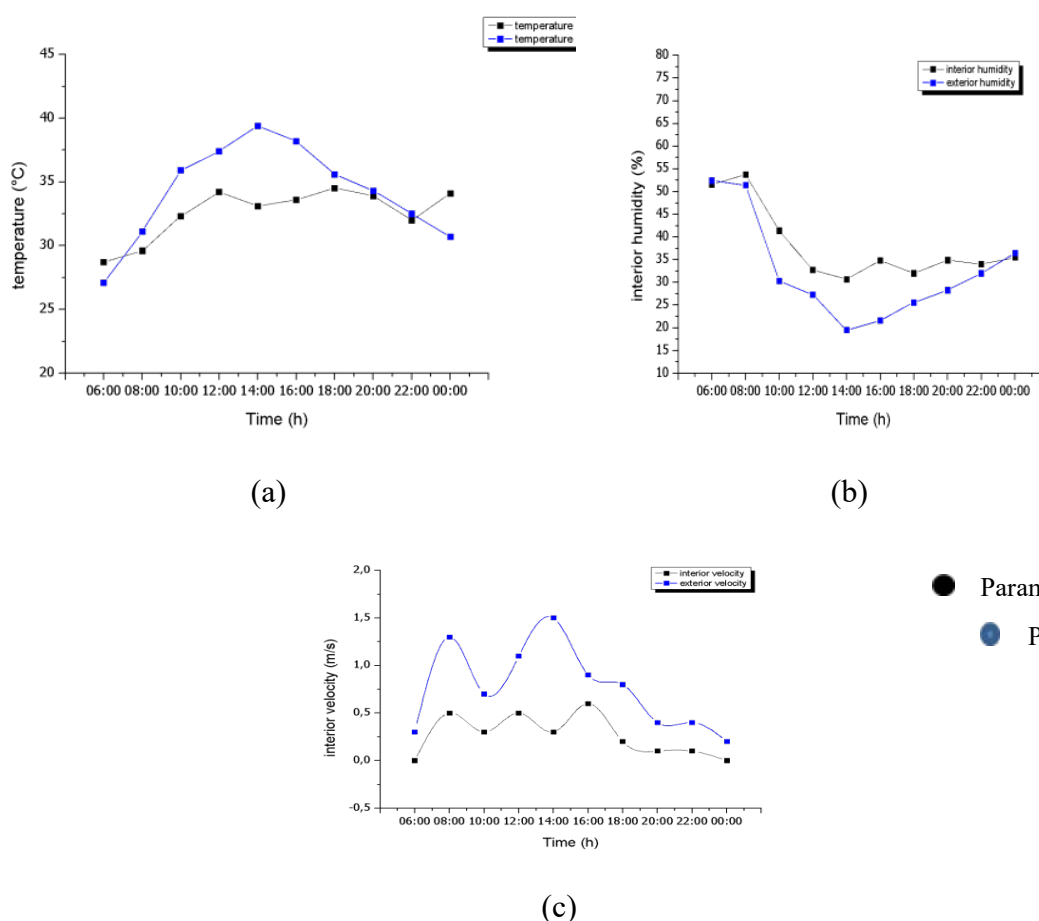


Figure.12 : Variation des paramètres climatiques intérieurs et extérieurs de l'habitation vernaculaire model *HV2* pour la campagne estivale. (a) la température ambiante (b), Taux d'humidité relative (c), la vitesse de l'air.

*Interprétation :

Par rapport à la température ambiante : t_a

La figure 5(a), présente la variation de la température ambiante mesurée dans la chambre de séjour du model HV2, pendant les 24 heures d'une journée estivale de la deuxième moitié de moi de juillet, la particularité de l'espace de détente sabbat de ce modèle est couverte en coupole. La température ambiante intérieur s'élève légèrement pendant les intervalles de mesure avec une amplitude moyenne de, la valeur maximale intérieur enregistré est d'environ 33, 9°C.tandis qu'a l'extérieur est de 40°C. La différence entre les deux graphes des deux modèles réside dans la vitesse de fluctuation de la température.

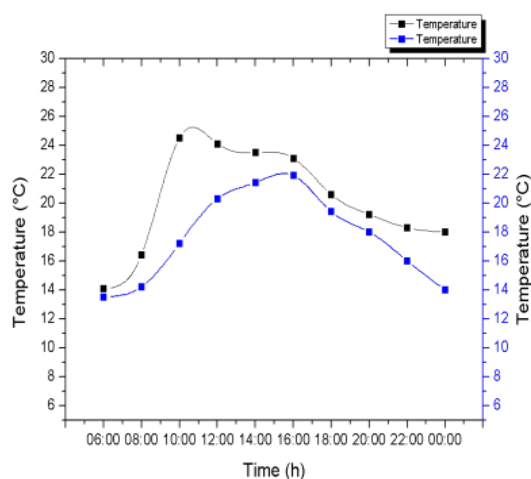
Par rapport aux taux d'humidité relative : RH.

Les valeurs d'humidité sont presque semblables au premier model, elles commencent avec un taux élevé pendant les premières heures de matin pour se diminuer progressivement durant la journée, et elle atteint une valeur minimale de 35%. Notant des élévations légères de temps en temps notamment pendant les heures de soir.

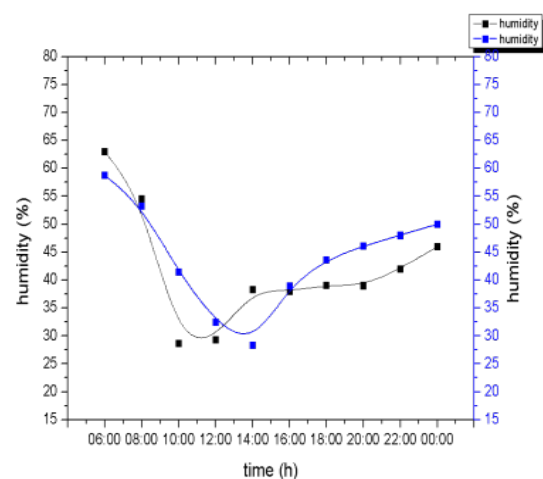
Par rapport à la vitesse de l'air : V_a

Les valeurs de la vitesse de l'air enregistrées à l'intérieur de l'espace sont en moyenne de 0.1 à 0.5m/s. tandis qu'a l'extérieur la valeur maximale est de 1.5 m/s, notant que l'espace est semi ouvert à la cours centrale, séparé par des occultations en textures.

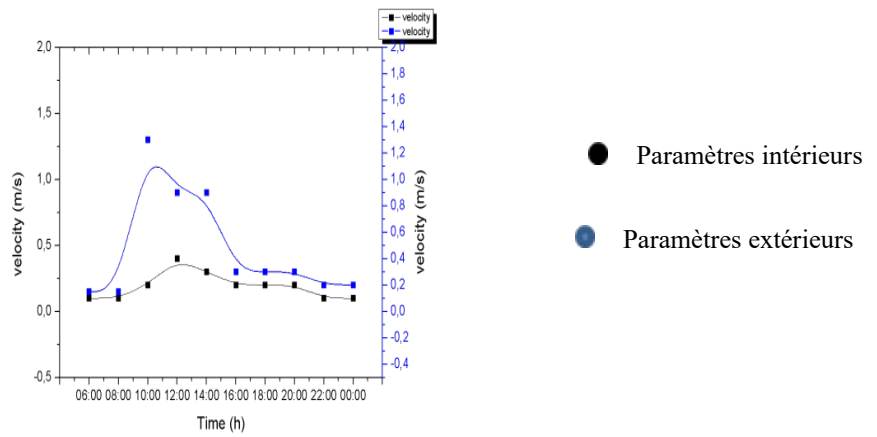
Compagne Hivernal :



(a)



(b)

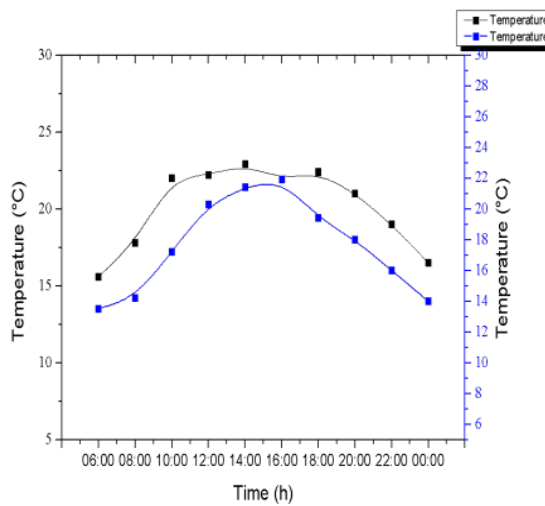


(c)

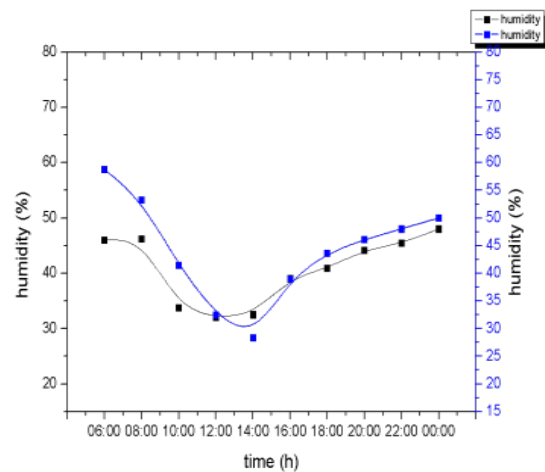
Figure.13 : Variation des paramètres climatiques intérieurs et extérieurs de l'habitation vernaculaire model *HV2* pour la campagne hivernale. (a) la température ambiante (b), Taux d'humidité relative (c), la vitesse de l'air.

3.3.3. Variation des paramètres de l'ambiance thermique pour l'échantillon vernaculaire, model HV3.

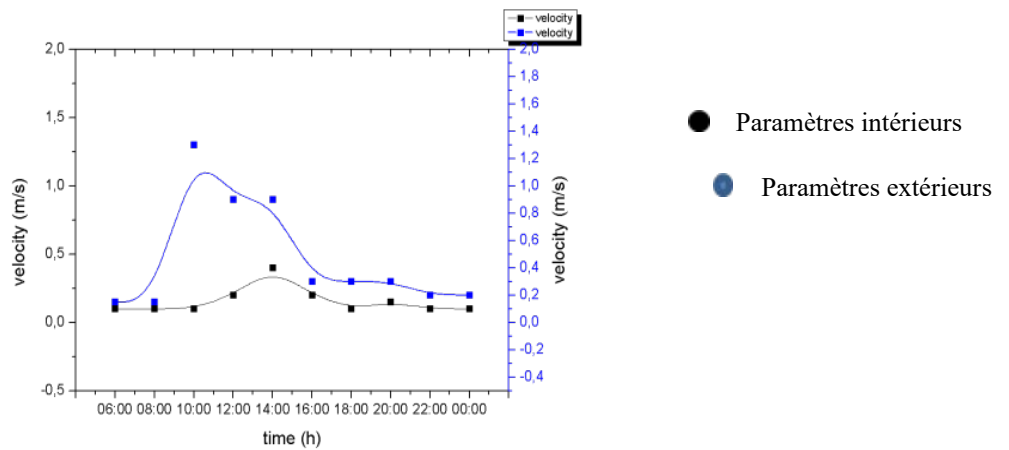
Campagne Hivernal :



(a)



(b)



(c) .

Figure.14 : Variation des paramètres climatiques intérieurs et extérieurs de l'habitation vernaculaire model *HV3, espace chambre *pour la compagne estivale. (a) la température ambiante (b), Taux d'humidité relative (c), la vitesse de l'air

Interprétation :

Par rapport à la température ambiante :

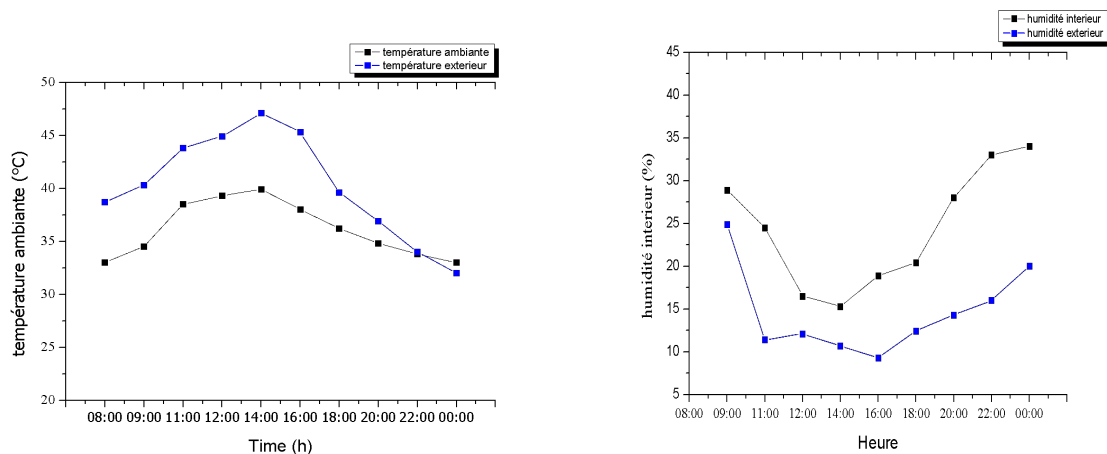
Le comportement hivernal de cet espace ne se diffèrent beaucoup par rapport au premier modèle, notant une amplitude intérieure de de, avec une température maximale de 22,5°C, et une température minimale de 15 °C.

Par rapport aux taux d'humidité relative : RH.

Les valeurs d'humidité enregistrées à l'intérieur de la pièce mesurée varient dans l'intervalle de 45 à 30 au minimum, tandis que les valeurs à l'extérieur varient entre 60 % à 25 %.

Compagne estivale :

Espace Chambre :



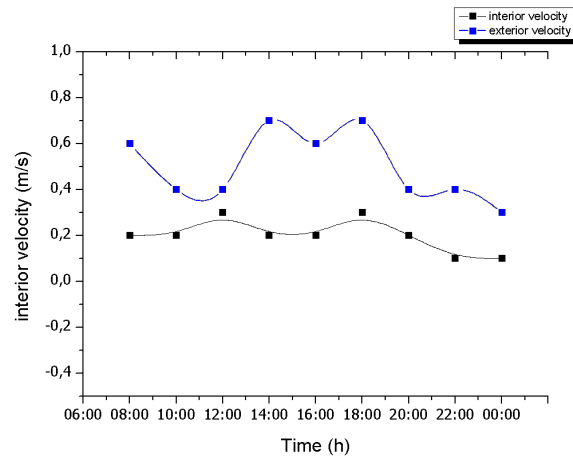


Figure.15 : Variation des paramètres climatiques intérieurs et extérieurs de l'habitation vernaculaire model *HV3, espace chambre *pour la campagne estivale. (a) la température ambiante (b), Taux d'humidité relative (c), la vitesse de l'air.

Espace Sabbat :

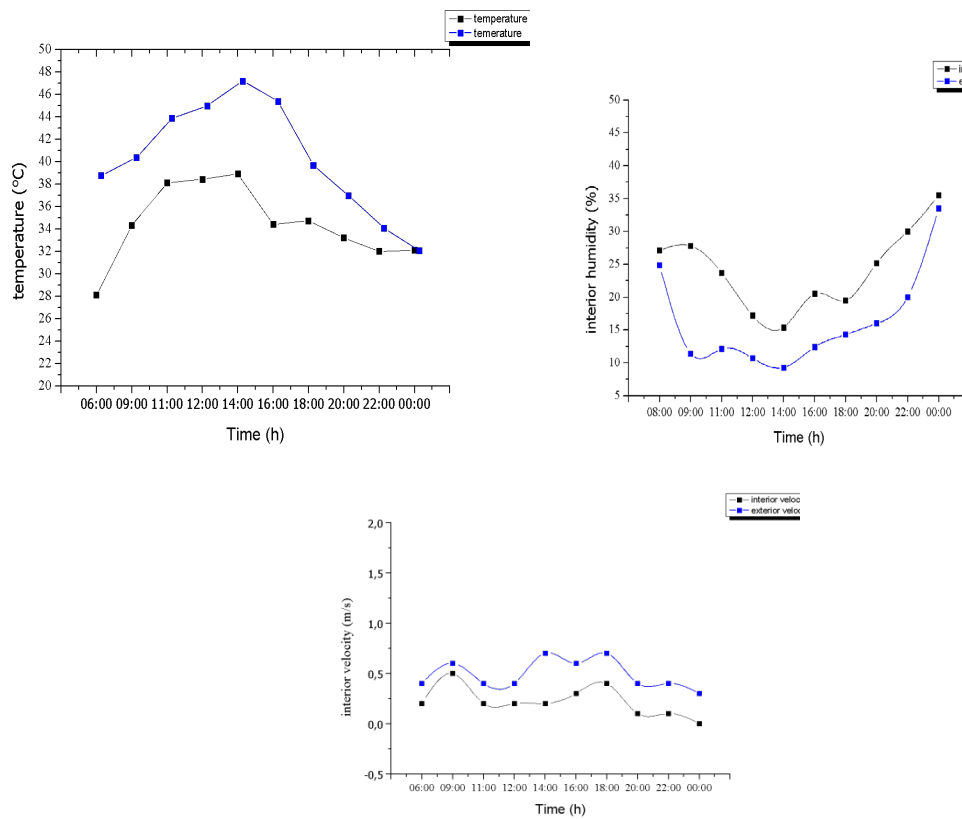
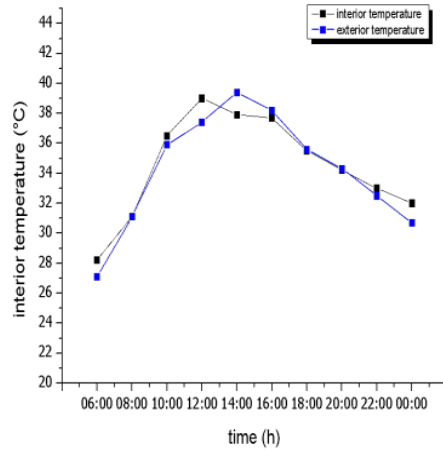


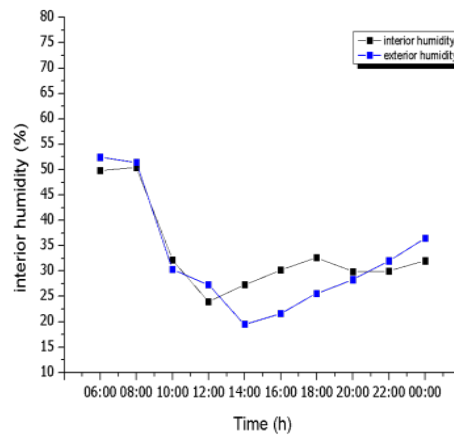
Figure.16 : Variation des paramètres climatiques intérieurs et extérieurs de l'habitation vernaculaire model *HV3, espace sabbat* pour la campagne estivale. (a) la température ambiante (b), Taux d'humidité relative (c), la vitesse de l'air

3.3.4. Variation des paramètres de l'ambiance thermique pour l'habitation individuelle contemporaine model HC1.

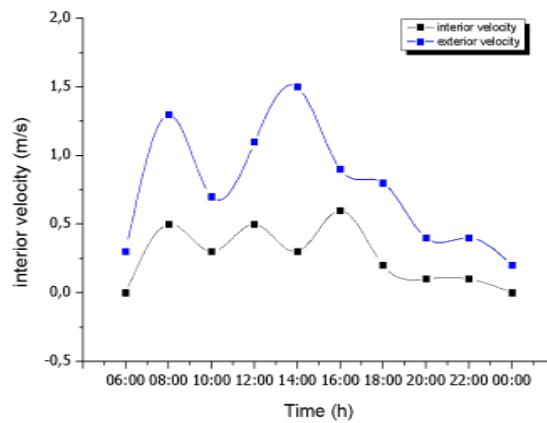
Compagne estivale :



(a)



(b)



(c) .

- Paramètres intérieurs
- Paramètres extérieurs

Figure.17 : Variation des paramètres climatiques intérieurs et extérieurs de l'habitation vernaculaire model *HV1* pour la compagne hivernale. (a) la température ambiante (b), Taux d'humidité relative (c), la vitesse de l'air.

Interprétation :

Par rapport à la température ambiante, (t_a) :

La figure .7(a) présente la variation des températures extérieures et intérieur dans le model d'habitation individuelle de typologie contemporaine, de la lecture des deux graphes indique un rapprochement distingué des valeurs enregistrées pendant les 24 heures de mesure. Ceci est provoqué par la faible amplitude intérieur qui est aux alentours de :

Par rapport à l'humidité relative, (RH) :

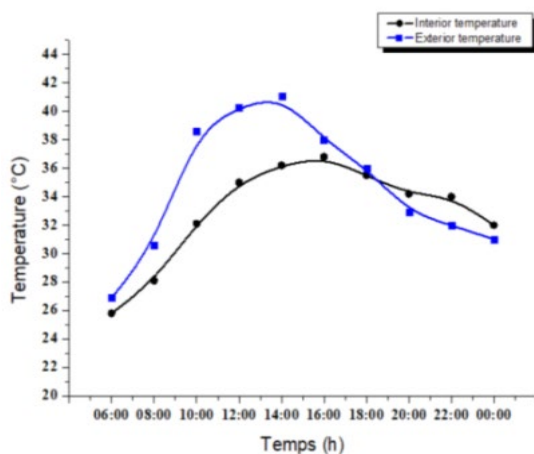
Aux contraires pour le taux d'humidité on distingue une certaine différence entre l'intérieur et l'extérieur, ou les valeurs commence par un taux maximal de 55% et commence à diminuer jusqu'à 25% à l'intérieur et 15% à l'extérieur de midi à 14 :00h de soir et elle recommence à s'élever de nouveau avec un intervalle d'environ 20% entre les deux milieux.

Par rapport à la vitesse de l'air : V_a

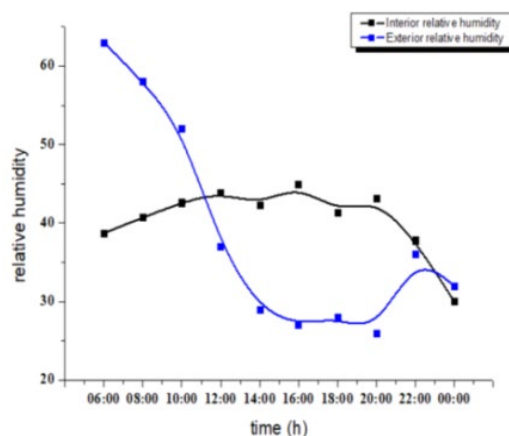
Concernant la vitesse de l'air présentée dans la figure.07, c, les valeurs internes mesurées est dans l'intervalle de 0.1à 0.5 aux maximums et à l'extérieur est de 0.3 à 1.5 m/s.

3.3.5. Variation des paramètres de l'ambiance thermique pour le logement semi collectif model LC2

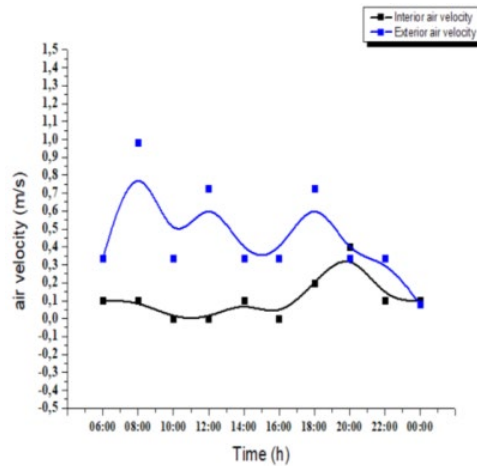
Compagne estivale:



(a)



(b)



(c)

- Paramètres intérieurs
- Paramètres extérieurs

Figure. 18 : Variation des paramètres climatiques intérieure et extérieure du logement semi collectif pour une journée d'été (a) température ambiante (b) humidité relative (c) vitesse de l'air.

Interprétation :

Par rapport à la température ambiante, (ta) :

La figure.08(a), présente la variation de la température intérieure et extérieure dans le logement semi collectif de typologie contemporaine, mesurée dans une journée chaude. De la lecture des graphes on remarque que : L'amplitude est acceptable pendant les premières heures du matin, mais à partir de 14 :00 de soir, la température ambiante intérieure se rapproche de la température extérieure avec un faible écart d'environ 3°C.

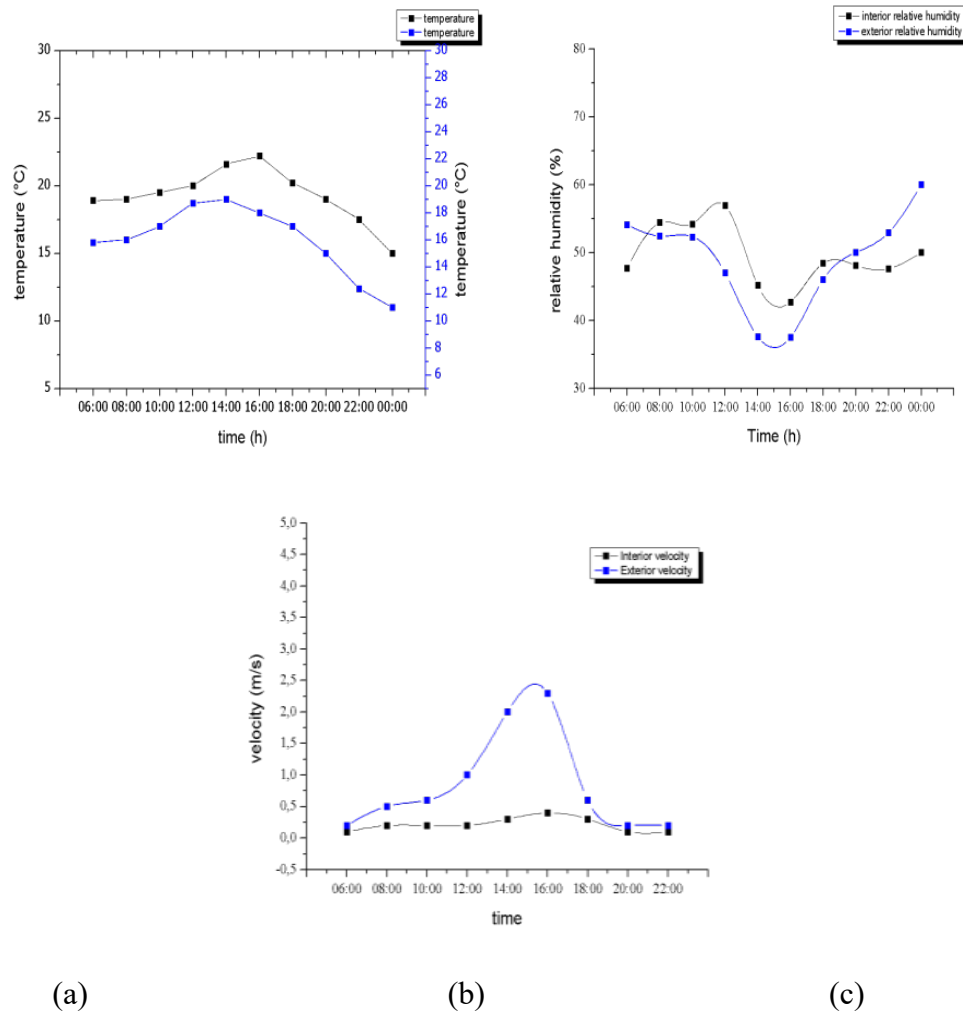
Par rapport à l'humidité relative, (RH) :

Les valeurs d'humidité internes présentée dans la figure 08(b), figurent avec un taux moyennement stable dans les alentours de 40- 42% tandis qu'à l'extérieur elle commence avec un taux maximal de 68% et elle se diminue progressivement jusqu'à sa stabilisation à 25 % dans la période de midi à 18 :00h ou elle recommence à s'élever de nouveau.

Par rapport à la vitesse de l'air : Va

Par rapport à la variation de vitesse de l'air, comme indiqué sur la figure 08(c) les valeurs maximales à l'intérieur du logement ne dépassent pas 0,2m/s, tandis qu'à l'extérieur est dans l'intervalle de 0.4à 0.7m/s.

Compagne hivernale :



- Paramètres intérieurs
- Paramètres extérieurs

Figure .19 : Variation des paramètres climatiques du logement semi –collectif pour une journée d’hiver, (a) température ambiante (b) humidité relative (c) vitesse de l’air.

***Interprétation :**

Par rapport à la température ambiante, (t_a) :

La température intérieure dans la saison hivernale se présente avec une moyenne amplitude de, ou la valeur maximale intérieur enregistrée à midi est de 24°C et minimale est de 15 °C, tandis qu'à l'extérieur, la valeur maximale est 17 °C et minimale de 10 °C.

Par rapport à l'humidité relative, (RH) :

Comme indiquée sur la figure 09(c) Le taux d'humidité interne est un peu élevé et se rapproche aux valeurs extérieures. Sa valeur maximale est de 60% et minimale de 40%.

Par rapport à la vitesse de l'air : V_a

Concernant la vitesse de l'air, le graphe sur la figure.09(c) indique des valeurs intérieures presque stables ne dépasse pas 0,2m/s durant toute la journée, aux contraires à l'extérieur la valeur maximale enregistrée est de 2.5m/s.

4. Discussion et comparaison :

4.1.Par rapport au facteur température ambiante : ta

La comparaison des amplitudes thermiques des modèles d'habitations vernaculaire HV1et HV2 et HV3 ainsi que les autres modèles de typologie contemporaine indique des différences remarquables. Théoriquement et sur la base des concepts bioclimatique on peut justifier ce comportement thermique des deux modèles de typologie vernaculaire aux critères suivantes :

***.Forme de toi et tirage thermique :**

Tout d'abord, la forme du toit joue un rôle important en tant que le toit est le premier élément responsable à stocker la grande quantité de chaleur, sachant que la forme de toit dans l'espace testé dans les modèles (HV1 /HV2) sont en voutains et en coupoles pour le modèle HV3. Cette configuration sert à briser les rayons du soleil et à les répartir sur toute la surface sphérique, ainsi la moitié du toit est toujours ombragée, De l'intérieur, par différence de pression l'air chaud monte vers le haut, puis il est acheminé par les ouvertures de ventilation vers l'extérieur, ce qui favorise le renouvellement régulier de l'air à l'intérieur de l'espace et par conséquent la stabilité de la température. Un circuit continu entre orifice de coupole et ouverture de la pièce ainsi que la cour.

D'autre part l'importante accordée à l'inertie thermique des murs massifs, construits en pierre rose de sable et mortier de gypse avec une épaisseur de 55 cm, garantit l'isolation de l'enveloppe tout au long de la journée, en ralentissant la pénétration de la chaleur et en laissant toujours un grand écart entre la température intérieure et extérieure, cette épaisseur favorise un bon déphasage thermique en stockant la chaleur tout au long de la journée et en la restituant pendant la nuit ; ceci est clairement testé aux premières heures du matin avec une mesure de température élevée.

Le déphasage thermique est lié à l'inertie thermique, qui est le temps que met un matériau à atteindre la température de son environnement. Concrètement, plus un matériau est dense, plus il met du temps à atteindre la température de son environnement, et moins il isole du froid. A l'inverse, plus un matériau est léger, plus il se réchauffe rapidement et plus il est isolant du froid¹⁷.

¹⁷ Loyal C. Evaluation of thermal inertia for the energy performance of buildings. Université de Grenoble, 2011.

Sur la base d'essais de caractérisation physique et thermique, réalisés sur de la pierre rose de sable, ce matériau présente une conductivité thermique de : 0,87w/ (m.k). Donc, une résistance thermique de : ajoute également que le mortier de gypse utilisé comme liant et enduit extérieur et intérieur agit également comme un bon isolant thermique¹⁸.

En accord avec l'opinion d'Izard, dans les régions chaudes et arides, il est nécessaire de créer des murs à forte inertie thermique ayant la capacité de stocker la chaleur pendant le jour et de la restituer la nuit, afin de réduire les fluctuations de température qui provoquent la sensation d'inconfort¹⁹.

Si en Revenant aux facteurs d'implantation qui contribue de sa part à réduire l'exposition directe des constructions aux apports solaires. Par comparaison des graphes on distingue qu'il y a une différence d'ordre de 1,2 à 2 °Centre le modèle HV1 ET HV2. Sachant que le model HV1 fait partie du noyau central de la ville *laachech* et le model HV2 se situe dans les périphériques de la ville à côté d'une palmeraie

D'autres facteurs contribuent à cette variance, liés à la localisation et à l'organisation spatiale :

L'emplacement des deux modèles vernaculaires dans des vieux quartier l'ancien, avec une morphologie compacte et des rues irrégulières et étroites, toutes les maisons sont réunies pour former une masse compacte qui réduit l'ensoleillement périphérique des surfaces extérieures, en outre, la majorité de ces rues sont couvertes par des voûtes, ce qui fournit de l'ombre pendant la saison chaude et crée un microclimat confortable. Dans un environnement dense et compact, il y a peu d'espace pour les tourbillons de sable et le rayonnement solaire direct ou diffus, qui sont les deux contraintes majeures des contextes chauds et arides²⁰.

L'organisation spatiale centrée sur une grande cour centrale, qui est proportionnellement large par rapport aux autres espaces de la maison, assurant ainsi une ventilation et un éclairage maximum des espaces environnants. Elle est équipée d'une fontaine et d'un palmier qui favorise la fraîcheur tout au long de la journée ; elle est recouverte d'une épaisse couche de sable car elle devient un lieu de sommeil la nuit. La maison avec une cour centrale répond mieux aux contraintes climatiques dans un contexte

¹⁸ Hamida M. Effet de l'humidité sur les caractéristiques thermiques et mécaniques des matériaux utilisés dans la construction. University of Constantine, 2010.

¹⁹ Izard J. L. Summer architecture, building for summer comfort. Edisud, Aix-en-Provence; 1993.

²⁰ Echalié J C. Architecture in the Sahara, in Le Saharien, n°46, Paris, 1966

chaud, car sa configuration centrale génère un microclimat ^{21,22} elle fonctionne comme un régulateur thermique, pendant la nuit l'air froid pousse l'air chaud vers le haut, contrairement à la journée où la partie supérieure de la maison est plutôt ensoleillée, elle est donc plus chaude que le reste de la maison car les masses d'air froid restent dans les espaces inférieurs à cause de la différence de pression.

4.2.Par rapport au facteur d'humidité relative :

Le taux élevé mesuré pendant les premières heures du matin est justifié principalement par l'accumulation de la chaleur libérée pendant la nuit par les murs, et par le manque de ventilation naturelle car toutes les ouvertures sont fermées et les habitants quittent les pièces pour dormir dans la cour centrale recouverte de sable (Nomadisme la nuit). A partir de ce moment, ce taux d'humidité commence à diminuer progressivement avec l'ouverture des portes et fenêtres et la ventilation de la cour et des ouvertures des dômes. Notant que l'arrosage de sable de la cour intérieur et l'intérieur du sabbat influent ce qui justifie les pics de taux dans les graphes durant la période d'après-midi au soir.

Revenant au diagramme psychométrique ; la zone de confort est limitée par un taux d'humidité de 45 et 60%, l'humidité à l'intérieur de la pièce est globalement stabilisée à un intervalle compris entre 47,5 et 37,5%, ceci est dû à l'effet du plâtre utilisé qui laisse passer la vapeur, il absorbe l'humidité de l'air tout au long de la journée et la restitue la nuit ; par conséquent, il régule le degré d'humidité en cas de fortes fluctuations. ²³

4.3.Par rapport au facteur vitesse de l'air :

Conformément à l'approche de Givoni,²⁴ ainsi qu'aux recherches effectuées par Dear et Bragger,²⁵ dans le domaine de la ventilation montre qu'en général on peut déterminer que pour les conditions hivernales la vitesse à ne pas dépasser est d'environ : $V_{air} = 0,15\text{m/s}$, alors qu'en été elle peut aller jusqu'à $0,25\text{m/s}$. On peut noter que pour la cour central en saison hivernale, la vitesse maximale mesurée est de $0,6\text{ m/s}$ ce point négative en période de surchauffe mais depuis 14h elle favorise le circuit d'air notamment avec l'existence d'un point d'eau et l'arrosage périodique du sable.

²¹ Liébrard A, De herde A. A treatise on bioclimatic architecture and urban planning. Designing, building and developing with sustainable development. The monitor, Paris; 2005.

²² H Fathy. Building with the people: History of a village in Egypt Gournah. Sindbad, Paris: Actes Sud Martineau; 1970.

²³ Hamida M. Effet de l'humidité sur les caractéristiques thermiques et mécaniques des matériaux utilisés dans la construction. University of Constantine, 2010.

²⁴ Baruch G. Man architecture and climate. The monitor, Paris; 1978.

²⁵ De Dear R, Brager G S, Reardon J, Nicol F. Developing an adaptive model of thermal comfort and preference. ASHRAE Transaction 1998 ; 104-145.

Dans le logement semi collectif, l'amplitude est acceptable pendant les premières heures du matin, mais à partir de 14 heures, la température ambiante intérieure se rapproche de la température extérieure, ce qui signifie que les matériaux composant les murs ainsi que la faible épaisseur (30cm) ne sont pas en mesure de stocker la quantité de chaleur absorbée et que l'espace se réchauffe rapidement. Comme indiqué dans le tableau, la résistance thermique des murs est inférieure à celle de l'échantillon traditionnel, donc le parpaing et le plâtre de ciment est un mauvais choix qui devrait être évité dans les zones à climat chaud. De plus, avec l'existence d'un dôme artificiel au-dessus du plafond, la quantité de chaleur stockée à l'intérieur du dôme pénètre à travers le plafond et contribue au chauffage de l'espace.

En effet, l'inertie thermique permet de réduire le pic de température atteint dans l'après-midi où l'écart de température entre les deux locaux peut atteindre 2°C. Cela résulte par des sensations thermiques moins chaudes dans l'après-midi et permet de réduire ainsi la période d'inconfort. L'inertie thermique est particulièrement importante lorsqu'on utilise certaines techniques de rafraîchissement comme la ventilation nocturne. Elle permet de stocker la fraîcheur la nuit puis la restituer pendant les moments chauds de la journée.

L'état critique est pour l'habitation contemporaine individuelle, où l'amplitude de température est presque nulle, ceci est due à l'absence d'isolation dans les murs extérieurs et la mal répartition intérieure des espaces ce qui empêche la circulation de l'air pendant la nuit et les premières heures de matin. Par conséquent l'air chaud reste prisonnier dans les pièces intérieures. La seule solution adoptée par les occupants est le laisser le climatiseur en fonctionnement toutes les 24h.

Par rapport aux valeurs extérieures d'humidité, les valeurs mesurées sont presque stables à l'intérieur de la pièce avec un taux de 40-50% pendant toutes les heures de mesure sauf qu'à partir de : 20 heures, on remarque une légère diminution, cette stabilité est due au renouvellement de l'air dans le salon et à la nature des matériaux constituant les parois internes.

Dans le logement semi collectif, la vitesse d'air intérieur du séjour ne dépasse pas 0,2 m/s au maximum, car les ouvertures ont été fermées pendant les mesures, sauf un pic durant le soir causée par l'ouverture des portes et fenêtres après-midi, ce qui produit un mouvement de l'air entre la porte de la véranda et la fenêtre en façade.

En effet, la vitesse de l'air a un effet à la fois sur les déperditions par convection et par évaporation, elle influe les conditions de confort thermique. Les méthodes de confort stable acceptent une vitesse relativement basse de l'air intérieur. Cependant, des études récentes menées principalement dans des climats tropicaux (de Dear 1991, Mallick 1996, Hien et Tanamas 2002), confirment que l'accélération des vitesses de l'air augmente les conditions de confort thermique, surtout lorsque la température est plus élevée.

5. Discussion :

5.1. Les températures intérieures et la zone de confort :

L'interprétation des températures mesurées dans les modèles d'habitation vernaculaire montre que les valeurs de celles-ci sont généralement plus proches de la limite supérieure de la zone de confort pour le mois de juillet (mois de la campagne de mesure). Par ailleurs, un écart minimal de 3°C est enregistré entre les températures intérieures et la température extérieure de la station météo enregistrée à la même heure (de 12h00 – 13h00).

5.2. Température opérative :

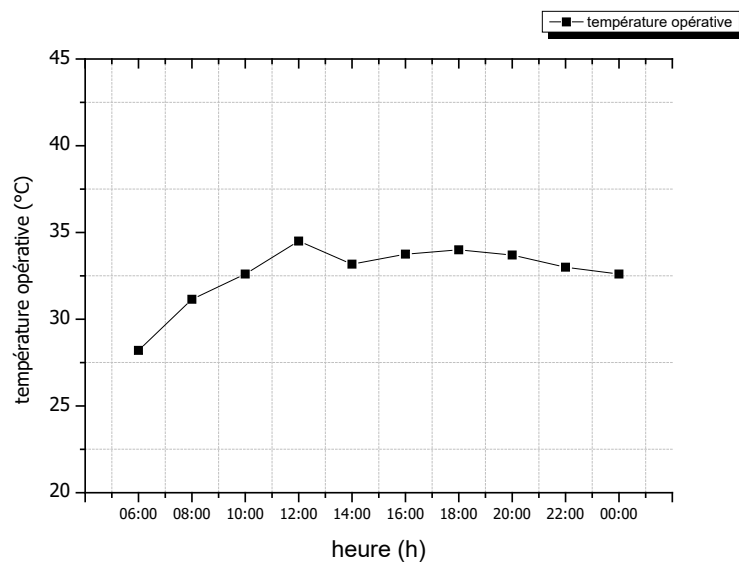


Figure.20 : variation de température opérative en période estivale pour le modèle, HV1.

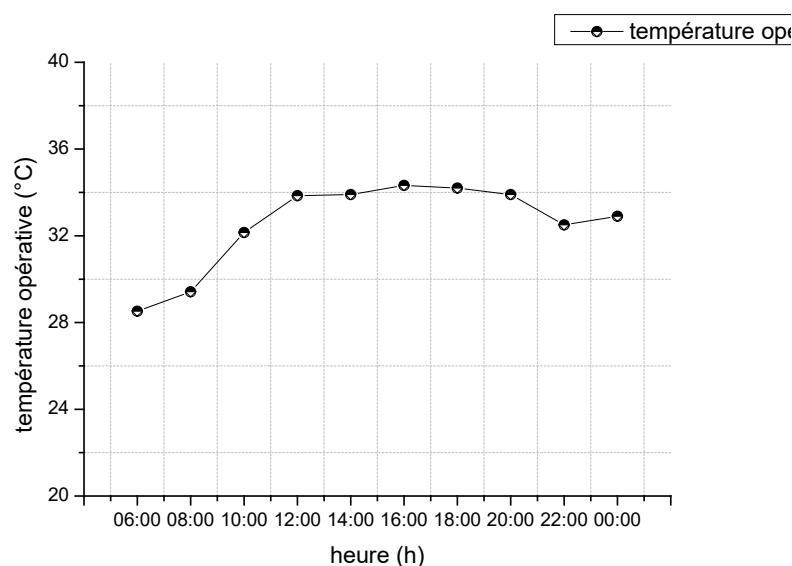


Figure.21 : variation de température opérative en période estivale pour le modèle, HV2.

5.3.Effet de la ventilation nocturne :

La ventilation naturelle se produit dans l'environnement bâti sous l'effet de deux phénomènes : le premier est celui de la différence de pression (effet du vent) entre deux points du bâtiment alors que le second correspond à l'effet d'une différence de température couplée de thermosiphon (tirage thermique). L'air possède une très faible capacité thermique, lorsque le bâtiment est ventilé, l'air pénétrant dans l'espace intérieur ou il est encore à la température extérieure d'origine, en traversant cet espace, il se mélange avec l'air intérieur et échange de la chaleur avec les surfaces intérieures par convection en fonction du gradient de température intérieure et extérieure²⁶. Il est communément admis qu'une vitesse de l'air comprise entre (0.05 – 0.3 m/s) est considérée comme étant la limite confortable dans les espaces intérieurs²⁷.

Selon Givoni ²⁸ dans les climats chauds et secs, la ventilation diurne n'est pas nécessaire pour le refroidissement par évaporation elle est indésirable pour les échanges de chaleur convective et la vitesse de l'air ambiant dans des conditions calme ne doit pas dépasser 15m/s ce faible déplacement d'air est le résultat des courant d'air connectifs provoqué par des température de surface divergente entre des murs d'orientation différente et l'infiltration d'air à travers les profits de menuiserie.

Donc la ventilation diurne présente une source supplémentaire de chaleur non souhaitable à l'intérieur de l'habitat. En revanche, la ventilation nocturne a un effet très efficace sur la restauration du confort dans les bâtiments quand l'air extérieur devient moins chaud que l'air intérieur, figure.22.

Par contre la ventilation nocturne est très efficace car avec la chute de température pendant la soirée de l'air extérieur au-dessous de celles de l'air intérieur et des surfaces de parois la ventilation provoque un rapide refroidissement de l'intérieur. On ouvrant les fenêtres pendant le soir les mouvements d'air intérieur dépendent de la vitesse de vent extérieur et la qualité de la ventilation transversale provoqué durant les périodes sans vent, les courants convectifs intérieurs cessent avec la tendance des températures de surface s'égale par échange de chaleur radiatif et si les ouvertures sont fermés pour des raisons d'isolement la vitesse d'air intérieur atteint un minimum tard dans la nuit d'à peu près 5 à 7 cm/s.

²⁶ Givoni, B. l'homme, L'architecture et le climat, Paris : le moniteur, 1978, p 284

²⁷ Miller-Chaggas. Ambiances ; le climat et la lumière dans le projet ,2002, p59.

²⁸ Givoni, op.cit. p290.

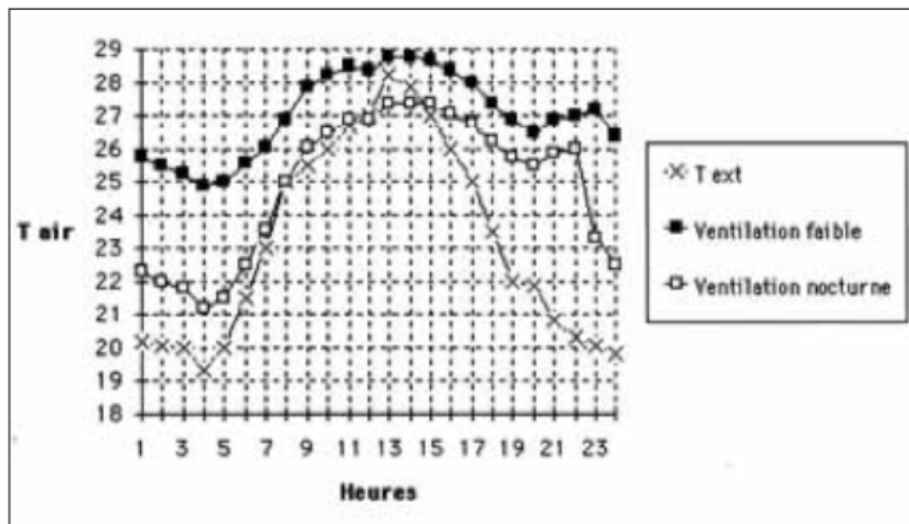


Figure.22 : effet de la ventilation nocturne, ²⁹

Pour les échantillons de typologie vernaculaire mesurés, dès 21h de soir les murs massives intérieurs commence à dégager la quantité d'inertie et de chaleur emmagasinée pendant toute la journée à l'intérieur de l'espace, une augmentation de 2 à 3 est remarquée depuis ce temps la solution donc est d'ouvrir les ouvertures pour crée un circuit et un tirage thermique avec la cour extérieur. L'air frais qui se trouve dans la cour pénètre à l'intérieur et pousse l'air chaud dans les chambres vers l'extérieur ce qui crée un circuit continu de ventilation entre l'intérieur et l'extérieur, de sa part les murs extérieurs commence à se refroidit progressivement par l'effet de convection car la température extérieure est moindre que l'intérieur. Dans le cas où les portes sont fermées ou bien les nuits sans ventilation, le refroidissement s'effectue uniquement par les murs ce qui provoque l'accumulation de l'humidité à l'intérieur et ceci est bien remarqué dans des jours de mesures ou le taux d'humidité mesuré le matin est trop élevé.

²⁹ Givoni, op.cit. p290.

5.4.Effet de la forme de toiture.

Dans les conditions d'ambiance chaudes, la température intérieure est affectée par le toit dans une proportion qui dépend de certains détails tels que la forme et les composants. La surface externe de toi est souvent soumise aux fluctuations de température les plus larges en fonction de son type et couleur. Pendant la saison chaude le confort n'est pas accessible sans système de refroidissement mécanique cependant on peut obtenir une ambiance supportable pendant la période la plus chaude en choisissant avec soin les matériaux et les détails de conception.

L'effet de l'épaisseur et la résistance thermique de toits massifs sur l'ambiance intérieure se produisent en inter relation avec la couleur externe et dépendent des variations diurnes de la température d'air extérieure, par rapport aux fluctuations de la température de surface externe, celle de la surface interne sont modérées par la surface de toit, et cet effet modérateur augmente avec l'épaisseur et la résistance thermique.

En effet, des tests ont été faits avec divers moyens de protection des toits contre la chaleur excessive, tel que la réflexion du rayonnement solaire par badigeon à la chaux, augmentation de la résistance thermique au moyen d'épaisseur des matériaux isolants et ou bien par l'utilisation des occultations au-dessus de la surface toi. Les résultats montrent que les systèmes de protection peuvent réduire d'environ 5°C.

Par rapport aux échantillons de typologie vernaculaire la forme de toiture en voutains et coupoles ainsi que la massivité joue un rôle important pour réduire l'augmentation de température à l'intérieur, comme expliqué précédemment la pierre de rose de sable avec la couche extérieure en mortier de chaux résiste aux fluctuations de température extérieure ceci est bien testé dans une journée très chaude de juillet 2018 où la température extérieure à midi a été 47 °C. mais l'intérieur il y a toujours l'écart de 6 °C à 7 °C.

En vue d'évaluer l'importance de la présence de personnes, il faut considérer qu'une personne en activité dans une position assise dégage approximativement 115W, avec une température de plafond de 35°C, la réduction de 1.20m de la hauteur du plafond se traduit par un accroissement du rayonnement de 2 à 3W, soit une diminution de 2 % de refroidissement total nécessaire du sol.³⁰

³⁰ Givoni, op, cit.p 267.

Donc le facteur forme et hauteur influe sur la température intérieure, sachant que pour les habitations vernaculaires les voutains offrent une hauteur supplémentaire de 60 à 80 m à l'espace.

5.5.L'enveloppe et l'inertie thermique :

Les choix spécifiques de conception et des matériaux de construction affectent la réponse d'un bâtiment face aux éléments du climat : la qualité de rayonnement solaire absorbée et pénétrant dans le bâtiment, les températures d'air et des surfaces, la vitesse de l'air et la tension de vapeur d'eau.³¹

Avant le lever de soleil, l'air ambiant extérieur et les surfaces extérieures de l'enveloppe de bâtiment sont à leur minimum, de température après le lever de soleil la température de l'air ambiant extérieur se met à croître atteignant son maximum au début d'après-midi, cette augmentation de la température de l'air extérieur provoque un flux de chaleur sur les surfaces externes de l'enveloppe du bâtiment et élève leur température. Cet effet est à peu près identique pour toutes les surfaces en regard de leur position. Au même temps le rayonnement solaire qu'il soit direct diffusé par le ciel ou réfléchi par des surfaces environnantes arrive sur le bâtiment une partie de ce rayonnement est réfléchi mais le reste est absorbé par la surface élevant encore plus sa température jusqu'à un niveau supérieur à celui de l'air ambiant. La position de la surface détermine l'intensité du rayonnement solaire incident ce qui traduit par différentes valeurs de température de toit et des murs.

³¹ Givoni, op.cit, p 321.

6. Evaluation par rapport à la norme adaptative : l'ASHRAE 55-2013.

Les données mesurées in situ obtenues lors des essais ont été évaluées en fonction des critères de confort thermique de l'ASHRAE 55-2013.

6.1.Approche adaptative du confort thermique :

Selon Nikolopoulou et Steemers, la notion d'adaptation peut être définie comme la diminution progressive de la réponse de l'organisme à une exposition répétée à un stimulus, impliquant toutes les actions qui le rendent plus apte à survivre dans un environnement donné. En ce qui concerne Brager et De Dear ; Humphreys et Nicol, l'approche adaptative est basée sur les résultats des études de confort thermique réalisées in situ visant à analyser l'acceptabilité réelle de l'environnement thermique, qui dépend fortement du contexte, du comportement des occupants et de leurs attentes.

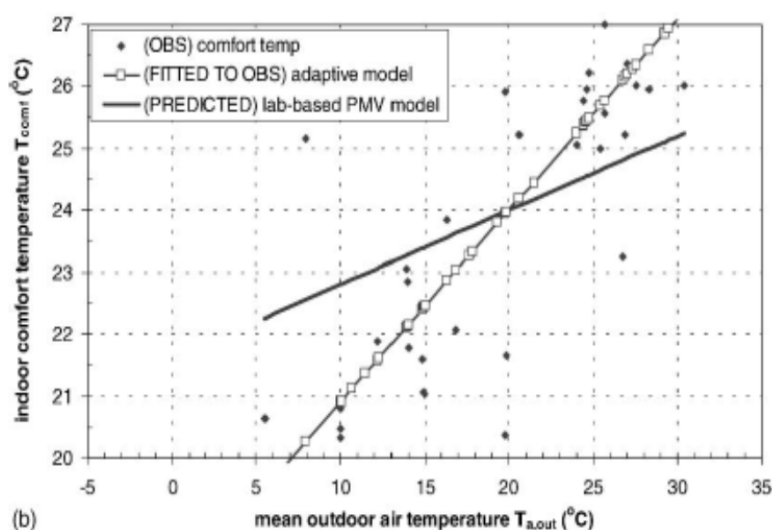


Figure.23 : Températures intérieures de confort observées (OBS) et prédites tirées de la base de données RP-884, pour les bâtiments à ventilation naturelle, tirer de De Dear and Brager .³²

Dans la même réflexion, Attia et Carlucci, indiquent que les occupants adaptent l'environnement à leurs attentes en utilisant les fenêtres, les stores, le plafond et les portes ou en modifiant le taux métabolique, le taux de perte de chaleur des vêtements et les contrôles de

³² De Dear, R.J. and Brager G.S., 2002. Thermal comfort in naturally ventilated buildings. Revisions to ASHRAE Standard 55. Energy and Buildings 34, 549–561

l'environnement thermique³³. Ainsi, dans le bâtiment refroidi uniquement par ventilation naturelle, la température intérieure est plus dépendante des conditions climatiques extérieures.

Les critères de confort sont évalués selon la norme de confort adaptatif développée par l'American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), connue sous le nom de Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy handbook (ASHRAE Standard-55) introduite pour la première fois en 2004³⁴³⁵

Comme détaillé dans le chapitre 3 de la partie théorique, cette norme adaptative a été élaborée grâce à plusieurs recherches empiriques et expérimentales ; elle peut calculer avec succès la température de l'air intérieur en tenant compte de plusieurs facteurs tels que l'interaction des habitants avec leur environnement, notamment lorsqu'ils changent de vêtements, ouvrent et ferment les fenêtres, et l'utilisation de ventilateurs à faible consommation d'énergie, d'eau potable et de stores. Globalement, elle est liée aux deux facteurs :

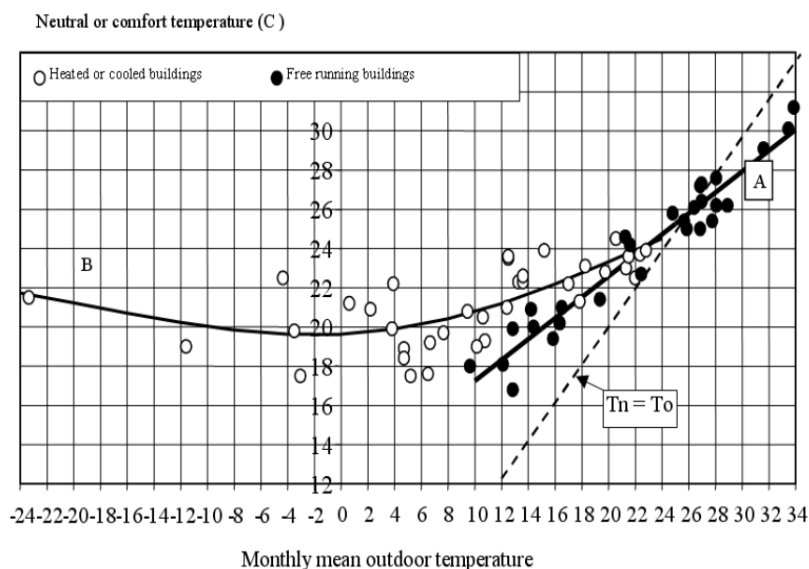


Figure.24 : Le changement de la température de confort avec la température extérieure moyenne mensuelle pour les bâtiments non climatisés et les bâtiments climatisés, (tiré de Nicols 2003).

³³ Attia S, Carlucci S. Impact of different thermal comfort models on zero energy residential buildings in hot climate. Energy and Buildings 2015; 102: 117–128. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.05.017>.

³⁴ ASHRAE standard 55-2004. Thermal comfort condition for human occupancy, American Society of Heating Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, 2004.

³⁵ ASHRAE standard 55-2013. ASHRAE handbook- fundamentals, American Society of Heating.

Facteurs liés aux conditions thermiques intérieures :

$$T_c = a \cdot T_o + b \quad (1)$$

Où :

T_c : Température de confort (°C).

T_o : La moyenne de la température de l'air extérieur des 30 jours précédents (°C). a et b sont les coefficients de l'équation.

Selon l'interprétation de Brager et Dear³⁶ :

$$T_c = 0.31 \cdot T_o + 17.8 \quad (2).$$

Comme interprété par Nicol et Humphrey³⁷ :

$$T_c = 0.53 \cdot T_o + 11.9 \quad (3)$$

Selon l'ASHRAE -55-2010, la zone de confort standard est la zone autour de la ligne de confort de neutralité et représente la température de confort supérieure et inférieure. Les limites d'acceptabilité de 90 % et 80 % limitent la zone de confort, la température idéale de confort thermique étant de 2 à 3 °C de part et d'autre de la ligne de confort, ce qui est considéré comme une limite acceptable. Si des ventilateurs sont disponibles, on peut ajouter 2°C de plus de part et d'autre pour calculer la valeur de la zone de confort pour des conditions climatiques très chaudes et sèches.

La plage de températures identifiée correspond aux limites d'acceptabilité de 90 % et de 80 %, et pourrait atteindre environ 30 °C selon le modèle adaptatif de la norme ASHRAE - 55-2010^{38 39}. Pour trouver le confort thermique adaptatif de 80% de la limite d'acceptabilité à l'intérieur du bâtiment, l'équation suivante est utilisée :⁴⁰

$$80\% \text{ acceptability higher limits} = T_c + 3.5 \text{ °C} \quad (4)$$

$$80\% \text{ acceptability lower limits} = T_c - 3.5 \text{ °C} \quad (5)$$

³⁶ De Dear R, Brager G, Cooper D. Developing an adaptive model of thermal comfort and preference. ASHRAE Trans 1998;104:145.

³⁷ Humphreys MA, Nicol JF. Understanding the adaptive approach to thermal comfort. ASHRAE Trans 1998;104:991–1004.

³⁸ Albatayneh A, Alterman D, Page A, Moghtaderi B. The impact of the thermal comfort models on the prediction of building energy consumption. Sustainability 2018;10:3609.

³⁹ Nikolopoulou M, Steemers K. Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces. Energy Build 2003;35:95–101.

⁴⁰ Albatayneh A, Alterman D, op.cit.

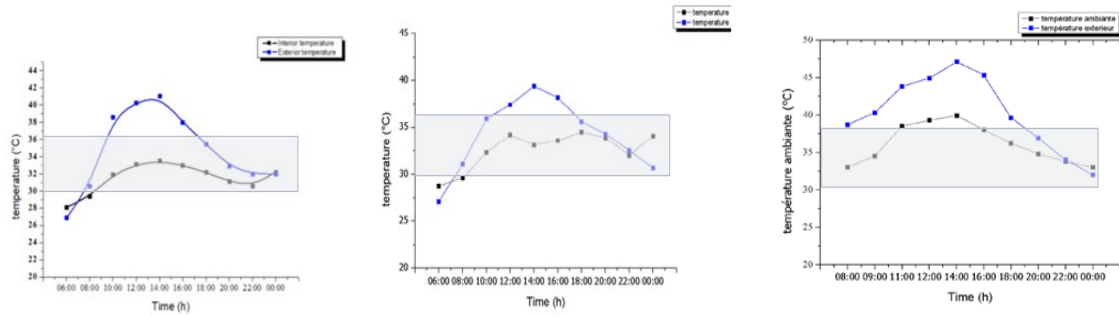


Figure.25 : projection de la zone de confort sur le graphe des habitations de typologie vernaculaire.

6.2.La température opérative : la température résultante sèche : elle se définit dans la norme NF EN 7726 comme la température d'une enceinte isotherme dans laquelle un occupant échange la même quantité de chaleur par rayonnement et convection que dans l'enceinte dans laquelle il se trouve réellement ⁴¹, mathématiquement, elle est la moyenne de la température radiative moyenne et de la température ambiante température sèche, pondérée respectivement

Par les coefficients de transfert thermique :

$$A = \pi r^2$$

Pour simplifier cette définition et pour les vitesses d'air inférieure à 20 cm/s hypothèse valable pour l'inférieur d'un bâtiment la température opérative peut être correctement estimée par la formule simplifiée suivante :

the indoor operating temperature is calculated as follows:⁴²

$$T_{op} = (T_{air} + T_{walls}) / 2 \quad (6)$$

Où :

T_{op} : température de fonctionnement (°C).

T_{air} : température ambiante intérieure (°C).

T_{walls} : température du mur (°C).

⁴¹Aiman A, Dariusz A, Adrian P, Behdad M. The Impact of the Thermal Comfort Models on the Prediction of Building Energy Consumption Sustainability 2018; 10:3609. doi: 10.3390/su10103609.

⁴² Albatayneh A, Alterman D, op.cit.

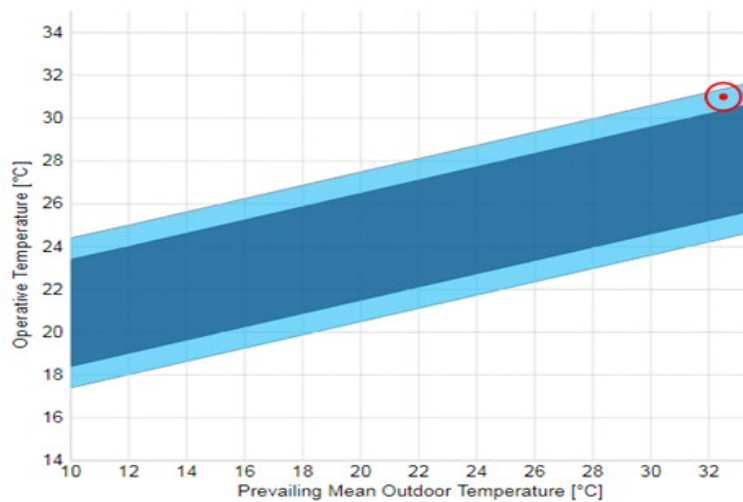


Figure.26: simulation sur le diagramme adaptatif des échantillons vernaculaires⁴³

Cette méthode est applicable uniquement aux espaces climatisés naturellement contrôlés par les occupants qui répondent à tous les critères suivants⁴⁴ :

- Il n'y a pas de système de refroidissement mécanique installé.
- Des taux métaboliques compris entre 1,0 et 1,3 sont rencontrés.
- Les occupants sont libres d'adapter leurs vêtements aux conditions thermiques intérieures ou extérieures dans une plage au moins aussi large que 0,5 à 1,0 Clo.

*l'usage des techniques d'adaptation :

-Dans tous les cas, les combinaisons des usages de la fenêtre et du volet ont un impact différencié sur le confort des occupants. Cependant, en fonction des caractéristiques météorologiques, certaines actions peuvent être pénalisantes une année et avantageuses l'année suivante.

-La plus efficace est la ventilation nocturne ou en continu. Enfin, si la sur-ventilation nocturne n'est pas possible (nuisances sonores, nuisibles, nuisances lumineuses, intimité...) la mise en place des protections solaires toute la journée est nécessaire pour se protéger des apports solaires quel que soit l'usage de la fenêtre.

⁴³ <http://www.energy-design-tools.edu/>.

⁴⁴ Pamela N. Évaluation du confort thermique à la suite d'abaissements de la température de consigne des thermostats en mode chauffage à l'aide de données mesurées in situ et de simulations. École de technologie supérieure université du Québec, 2018.

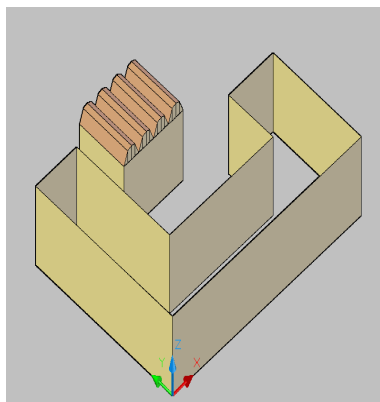
7. Résultats de simulation :

7.1.Comparaison avec la simulation :

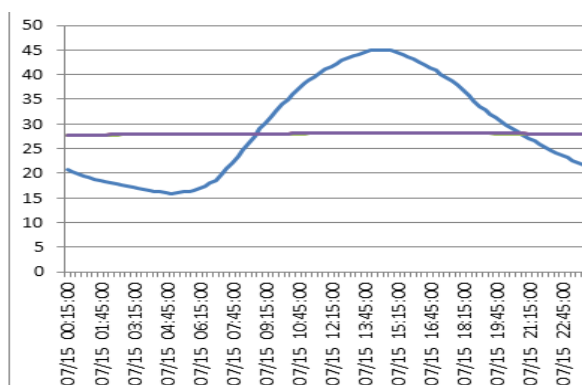
Les figures 22,23 et 24 (a) montrent les résultats de la modélisation des logements testés sur l'interface Energy-plus par coordonnées de vertex. Les résultats de la simulation présentés sur les figures concordent partiellement avec les graphiques des mesures ; à l'exception des différences de valeurs, ceci est dû à la précision de l'instrument de mesure. On remarque que l'amplitude estivale de température des deux modèles vernaculaires reste stable tout au long de la journée simulée avec une température ambiante estivale de : 28°C et hivernale de 12 °C figure 22(b), Alors que la température ambiante de l'échantillon contemporain au cours de la journée est de 30°C, Figure 25(b).

Les conditions de ventilation pour les deux échantillons sont maintenues à l'état passif, les propriétés physiques des matériaux de construction sont évaluées à partir des réglementations thermiques et pour les matériaux locaux à partir de tests de conductivité et de densité. La plage de température dans l'échantillon traditionnel prouve l'efficacité des dispositifs passifs utilisés dans la maison vernaculaire et correspond aux valeurs de température mesurées sur site ainsi qu'aux calculs effectués en relation avec l'approche adaptative du confort thermique.

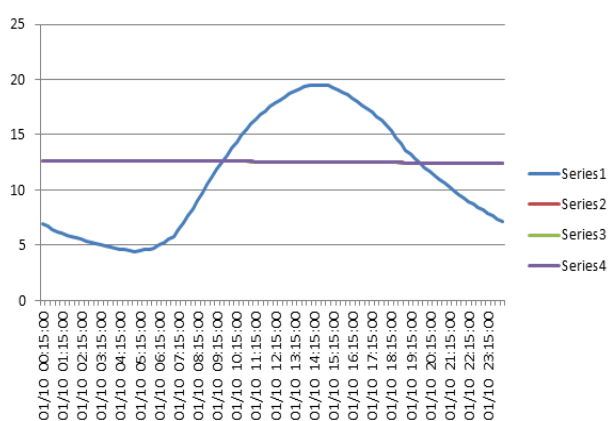
7.1.1.Habitation vernaculaire modèle HV1 :



(a)



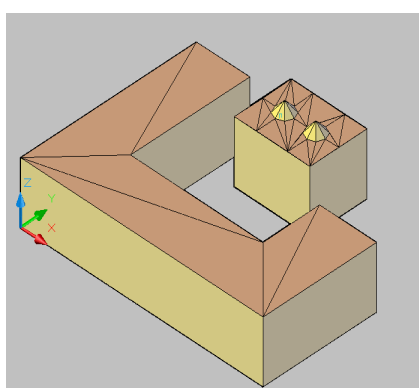
(b)



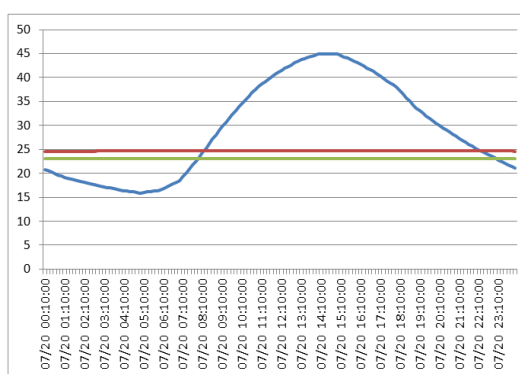
(c)

Figure.27 : simulation du model HV1. (a) modélisation du model, (b) Variation de la température intérieure et extérieure pendant le jour chaude, (c) Variation de la température intérieure et extérieure pendant le jour le plus froid.

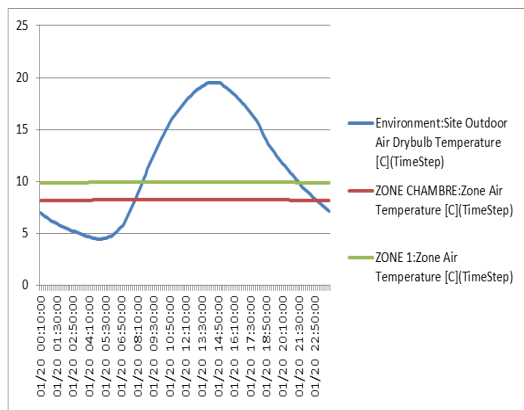
7.1.1.2.Habitation vernaculaire modèle HV3 :



(a)



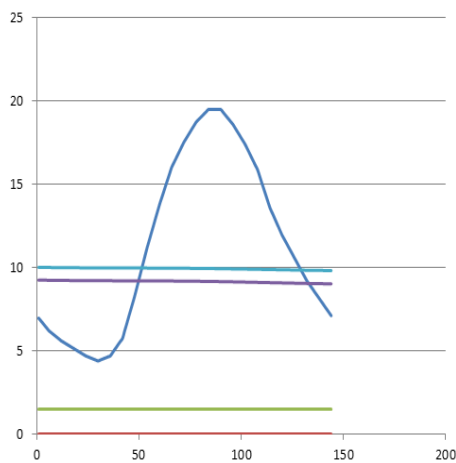
(b)



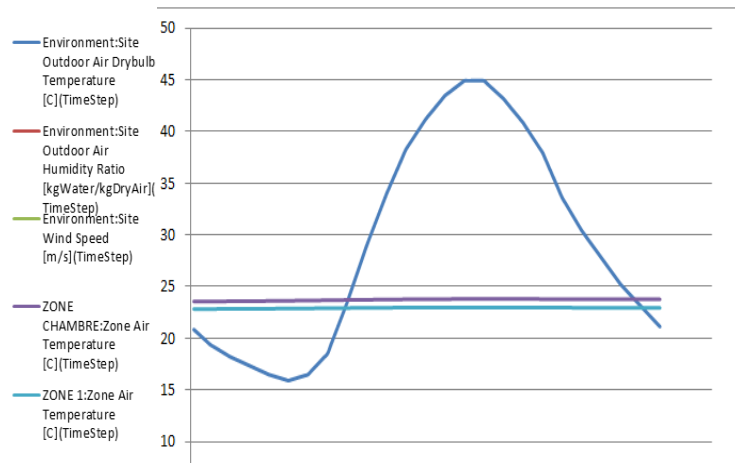
(c)

Figure.23 : simulation de l'habitation vernaculaire. (a) Modélisation du logement, (b) Variation de la température intérieure et extérieure pendant le jour le plus chaud (c) Variation de la température intérieure et extérieure pendant le jour le plus froid.

Modèle : HV2.



(a)

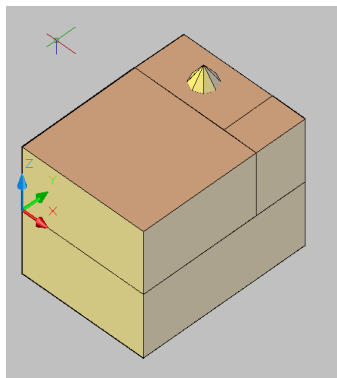


(b)

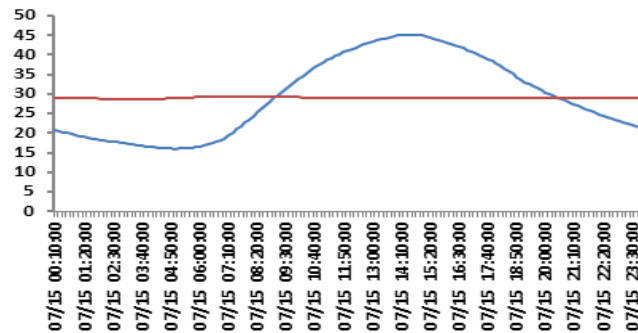
Figure.28 : a. variation des facteurs climatiques à l'intérieur et l'extérieure dans l'exemple vernaculaire, chambre de séjour pour une journée froide.

b. variation des facteurs climatiques à l'intérieur et l'extérieure dans l'exemple vernaculaire, chambre de séjour pour une journée d'été.

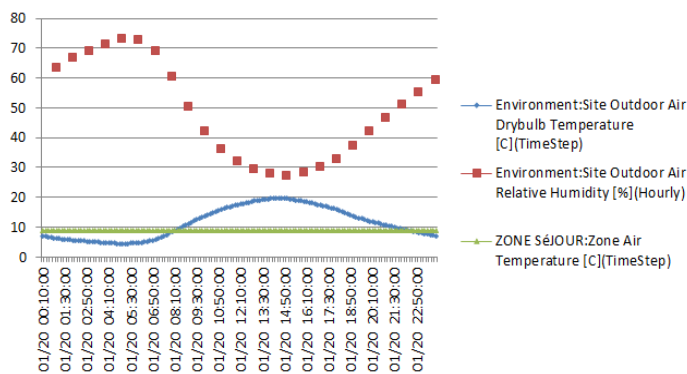
7.1.3. Le logement semi collectif :



(a)



(b)



(c)

Figure.29 : simulation du logement semi collective. (a) modélisation de logement (b). Variation de la température intérieure et extérieure pendant le jour le plus chaud (c) Variation de la température intérieure et extérieure pendant le jour le plus froid.

De ce qui précède, nous pouvons déduire que les conditions de confort pour les deux saisons sont variables, la saison d'été paraît un peu rude pour les habitations de typologie contemporaine tandis que pour la saison d'hiver c'est le contraire. Ceci peut être justifié par deux facteurs importants : la typologie et les matériaux de construction, pour les habitations vernaculaires les matériaux massifs et l'épaisseur importantes (un bon déphasage isolement) durant la saison d'été donc les habitations restent toujours à l'abri des fluctuations des températures extérieures, mais les dimensions larges de la cour intérieure forment un point négatif pendant la saison hivernale, notamment le mois de janvier – la circulation des occupants se réduit aux chambres, il faut toujours garder une source de chaleur activée (chauffage d'appoint, ou de bois). C'est le contraire pour les logements contemporains construits en parpaing et enduit de ciment, ces deux matériaux présentent un déphasage moyen par rapport aux matériaux locaux.

8. Comparaison avec l'évaluation subjective : sondage en ligne

De la comparaison des résultats des mesures in situ et les résultats de l'enquête subjective, il paraît que le comportement thermique des habitations testées est influencé d'un pourcentage important par des facteurs liés principalement à l'orientation de l'espace ainsi que le comportement humain des usagers.

Du fait, à travers le sondage en ligne il paraît que l'orientation dominante de la chambre de séjour pour les logements semi-collectifs est le Sud –Est, ce qui résulte que les séjours bénéficient de la lumière du jour et les apports solaires de midi en saison hivernale, par contre en saison estivale la solution est de garder le climatiseur en fonctionnement pendant les 24h.

L'ajustement comportementale et les gestes adaptatives à l'intérieur de l'espace, contribue à l'amélioration du confort thermique, l'exemple des habitations vernaculaire, l'arrosage de temps en temps de sable qui couvre le sol de la maison amène une fraîcheur et diminue partiellement la température ambiante.

Les occultations mobiles notamment dont l'espace semi ouvert sabbat, amène de l'ombre et favorise la circulation de l'air et l'espace reste à l'abri du soleil
Pour les logements semi collectif, les gestes se réduit au tenu vestimentaire adaptées par saison.

9. Perspectives et recommandations

Les réglementations thermiques disponibles localement se basent sur un ensemble d'hypothèses communes permettant d'estimer le comportement thermique des bâtiments, elle prévoit des décrets basés sur des contextes climatiques en zones. Le problème réside sur le fait des écarts importants entre les différents climats régionaux. C'est pour cela de nombreux thermiciens trouvent des difficultés dans l'application des réglementations sur les futurs projets et obtenir des résultats plus proches de la réalité. Afin de mettre en place des modèles conceptuels comportementaux reflétant la variabilité des comportements des individus avec la prise en compte des données climatiques locales de chaque région avec l'utilisation des performances thermiques des matériaux disponibles.

D'après le sondage en lignes nous avons constaté que le comportement constitue un élément important conduisant à un écart de consommation énergétique et variation de température au sein des logements et habitations testés. L'expérimentation menée in situ et son analyse nous ont permis de mettre en évidence une forte variabilité des écarts de température intérieurs et extérieurs liées à chaque typologie architecturale. Par la combinaison et la comparaison des deux enquêtes subjective et objective nous a permis de souligner les différents facteurs contribuant à l'amélioration de l'ambiance thermique à l'intérieur des habitations à la fois conceptuel et formels ou bien comportementale, liées aux pratiques des occupants en fonction des saisons. Les synthèses requises nous ont amené à proposer un ensemble des recommandations avec des solutions architecturales en vue d'améliorer le niveau de confort thermique au sein des futurs logements dans la zone d'étude.

Dans l'ensemble, les recommandations doivent répondre aux besoins socio-spatiaux des habitants, en même temps, bien que les bâtiments résidentiels soient une partie intégrée au contexte urbain. Le choix des hauteurs, les volumes ainsi que les couleurs des murs extérieurs se fait en relation avec le paysage naturel de la région, de telle sorte que les formes architecturales ne devaient pas entrer en concurrence avec l'environnement naturel mais plutôt le compléter.

Ainsi, pour assurer le confort physiologique sous les climats chauds et sec, les bâtiments doivent être adaptés aux conditions d'été, en partant du principe que les exigences d'hiver seront satisfaites par un bâtiment où le confort est assuré en été.

A la lumière des synthèses accueillies, un ensemble de recommandations ont été proposées :

***Propositions et recommandations :**

✓ **Le choix de la forme et de la volumétrie :**

Le fait de savoir exactement comment le soleil se propage sur un bâtiment permet de calculer avec précision l'ombre portée par les bâtiments voisins ou l'environnement, et d'utiliser la forme physique d'un bâtiment pour contrôler l'énergie solaire. De plus, il est confirmé que l'ombrage peut réduire les besoins de refroidissement des bâtiments de 23% à 89%, ce qui suppose une amélioration conséquente des conditions de confort thermique intérieures. Considérant que la forme cubique carrée et simple n'est pas la forme optimale pour atteindre l'objectif des architectes ils ont donc remédié à cette situation en assemblant les masses des unités d'habitation et en projetant les pièces aux étages supérieurs afin de maximiser l'ombrage. En addition, L'effet d'étagement des volumes (l'imbrication des volumes et son impact sur l'ombre et la lumière). L'articulation minimale des façades, et réduction des surfaces exposées par rapport au volume totale habitable (effet de la compacité).

✓ **L'orientation :**

Concernant le choix d'une orientation adéquate et optimale des constructions dans la zone d'étude, l'objet étant de réduire les températures intérieures diurnes, on cherchera d'abord à minimiser l'échauffement solaire. Une orientation nord-sud est donc préférable à une orientation est-ouest. Cependant bien qu'il ne soit pas nécessaire de prendre en considération l'orientation par rapport au vent du point de vue des conditions diurnes, puisque les fenêtres devront rester fermées à ce moment-là, si une légère déviation par rapport à la direction nord-sud devait apporter une ventilation pendant la fin de journée et la nuit, il serait opportun d'en tenir compte.

Les scénarios d'usages :

Les scénarios d'usages concernent l'ensemble des éléments qui permettent de définir la présence et les actions des occupants au sein des logements à savoir : l'occupation, les consignes de température, les apports internes et la gestion des volets et celle des fenêtres. Distinguant ainsi plusieurs types de scénarios dont les données et les hypothèses des occupants sont liés aux deux éléments suivants :

- Les scénarios réels : issus des pratiques réelles mesurées in situ avec l'utilisation des données météorologiques réelles.
- Les scénarios comportementaux : définis grâce aux réactions comportementales qui ont été synthétisé depuis le sondage.

***Conception et zonage thermique :**

Nous avons constaté à travers l'analyse de l'unité vernaculaire que l'espace intérieur de l'habitat est structuré sur la base de séparations fonctionnelles et sexuée des espaces, cette séparation des espaces permet de tenir les étrangers à l'écart de la vie quotidienne domestique. Cette recherche de séparation des espaces privés par rapport aux autres est traditionnellement concrétisée par un investissement important dans la salle des invités (*bit El Diaf*). Par ailleurs, les usages dans l'habitat vernaculaire étaient caractérisés par une occupation variable des espaces de l'habitat et par la polyvalence de certaines pièces, permettant ainsi une occupation souple et différente selon les moments de l'année, de la journée ou des besoins.

Néanmoins, tous ces principes d'usage et de répartition spatiale des espaces de l'habitat sont aujourd'hui plus ou moins affectés par la modernité, le changement de mode de vie mais aussi les transformations que subit la conception architecturale de l'habitat. En fait, des nouveaux concepts (ex. le plan ouvert) et des nouveaux espaces à usage spécialisé (ex. la salle à manger) sont apparus. Donc, la vie privée semble être l'un des déterminants les plus importants de la conception, Il est également conseillé de faire une isolation horizontale des espaces de vie et de la chambre de séjour dans des zones séparées, avec des chambres familiales dans l'autre. En effet, les données obtenues ne nous permettant pas d'obtenir un modèle définitif prenant en compte les apports (ou les déperditions) des pièces voisines. Mais globalement la simplification à trois zones thermiques nous a alors paru efficace. Zone de réception/zone Dar El dhiyaf, zone des espaces de vie et la zone des chambres de nuits pour enfants et parents. Ainsi que l'espace semi ouvert comme la cour et la véranda.

***Stratégie de chauffage et refroidissement :**

Les différentes stratégies peuvent être menées en place afin de se protéger des surchauffes ou pour avoir une consommation énergétique réduite.

- En hiver, mettre en place une stratégie de chauffage : limiter les infiltrations et la ventilation en profitant des apports solaires.
- En été, mettre en place une stratégie de rafraîchissement : augmenter la ventilation nocturne et limiter l'exposition aux apports solaires.

***L'Axe matériel :**

Les caractéristiques thermiques des matériaux ont été définies par rapport aux expérimentations et les écarts obtenus des mesures in situ.

Développement des matériaux locaux à base de la pierre de gypse :

La prise en compte des matériaux faisant partie intégrante du système constructif traditionnel. C'est ainsi qu'il faut comprendre la préférence de l'emploi des matériaux locaux tels que pierre de *louss* et le gypse de *tafza* améliorer avec des récentes technologies. Cette intégration donne une impression d'appartenance à la tradition tout en reflétant la technologie de l'époque.

Tout étant conçu avec des matériaux lourds, les murs ont un potentiel de stocker la chaleur (capacité thermique) qui peut être utilisé pour améliorer le confort d'un bâtiment tout en diminuant sa consommation d'énergie. La possibilité de décaler la phase de transfert de chaleur à travers un mur en maçonnerie, par exemple, peut retarder jusqu'au soir l'effet des températures maximales de la journée. C'est une technique particulièrement précieuse dans les climats chauds et secs, où il existe de grandes variations de température entre le jour et la nuit.

L'intégration ou bien le rajout des composants des matériaux locaux notamment au niveau des murs extérieurs et la toiture avec des épaisseurs convenables contribue ainsi efficacement à isoler l'enveloppe et réduire leur réchauffement, elle assure également pour les futurs habitants un sentiment d'appartenance au lieu et à la culture locale.

Citant à titre d'exemple, parmi les expériences, un nouveau matériau, aux caractéristiques proches de la pierre, est obtenu par moulage d'un mélange de gypse et de

résidus de pierre qui subit un cycle de compression-hydratation. La « pierre de roches » a été présentée au salon *Batimat* par les Pierreries de France. Ce matériau, qui présente le même aspect et le même comportement qu'une pierre naturelle, est fabriqué industriellement. Son inventeur Edouard Serras, fondateur de la société *Serrastone*, a mis au point et breveté un procédé qui, à partir d'un mélange de gypse et de résidus nobles de carrières, reproduit mécaniquement un processus accéléré de cristallisation. Il met en œuvre par moulage un cycle de compression-hydratation complexe provoquant une cristallisation bien plus fine que celle du plâtre, sans cuisson ni étuvage. L'aspect et la texture des blocs de pierre dépendent de la carrière d'où sont extraites les fines de pierre naturelle. Chaque région a ainsi sa « pierre de roches ».

Donc il est possible d'investir sur les potentialités thermiques de la pierre la rose de sable caractéristique à l'Oued Souf pour être utilisée dans les habitations vue sa capacité thermique à stocker la chaleur et diminuer le transfert de chaleur. On se réfère aux tests thermiques effectués cette pierre possède une résistance de. Elle peut être employé brute sous forme de bloc de pierre collés à l'aide de gypse de *Tafza* notamment pour la protection des murs extérieurs ainsi que les coupoles des toitures.

✓ **Forme de Toiture et terrasse :**

Le toit plat est le type de toiture le plus utilisé dans les régions chaudes et arides en raison de la rareté des précipitations, et le besoin d'un espace ouvert par les habitants car la majorité des terrasses sont pratiqués pour passer les nuits chaudes d'été ou pour d'autres tâches ménagères. Cependant, ce type de toiture pourrait être déconseillé dans ces régions car la plupart des apports solaires pendant la journée sont le résultat du rayonnement solaire direct, de sorte que lorsque le soleil se lève, l'angle d'incidence est proche de la verticale et toute la surface est soumise à un rayonnement solaire intense. Ses toits plats sont généralement composés avec des matériaux lourds et de très petites ouvertures. On trouve par exemple dans les régions rurales que les toits sont composés d'une épaisse couche de limon séché recouverte par une seconde couche imperméable.

L'ajout des coupoles (dômes) au niveau des terrasses des constructions ; a un double rôle à savoir : un rôle de protection solaire et amélioration de l'ambiance thermique interne, notamment lorsque celle-ci sont accompagnée avec des petites orifices d'aération aux alentours, ainsi la dimension symbolique de cet élément qui a été utilisée dans l'architecture

vernaculaire de la région et qui contribue à préserver l'image identitaire de la ville. Les formes convexes et, plus généralement courbes soit en voutains ou bien coupoles, présentent une grande capacité de réflexion du rayonnement solaire. Pour leur qualité thermique, ces éléments peuvent être utilisés et développés par les concepteurs.



Figure.30 : apports solaires et forme de toiture.

Donc, Les toits et les murs extérieurs épais amortissent les fluctuations de température et stabilisent les températures intérieures à un niveau proche de la température de surface externe moyenne. L'enveloppe des bâtiments et leur structure se présentent sous une forme compacte pour exposer le minimum de surface au rayonnement et à l'air chaud.

En addition, les éléments composites fournissent une solution plus satisfaisante si on combine une couche lourde avec une couche extérieure d'un matériau isolation efficace revêtu elle-même d'une couverture étanche de couleur claire, le flux de chaleur diurne entre la couche externe et la couche interne est réduit par l'isolant et seule une faible proportion de cette chaleur parvient à se faire absorber par l'élément, et même cette chaleur peut ensuite être évacuée par une ventilation intérieure pendant la soirée et la nuit maintenant ainsi les conditions de relative fraîcheur pendant la journée.

✓ **L'intégration des techniques passives :**

Dans les milieux arides à climat chaud et sec, le souci majeur d'une architecture solaire passive est le rafraîchissement passif contrairement au cas des milieux à climat tempérés et froids où le chauffage solaire passif est la principale quête. Ainsi pour l'amélioration de ventilation nocturne.

Le confort des habitants n'exige pas de circulation particulière d'air, étant donné le caractère sec du climat. Ainsi la protection contre l'ensoleillement prime sur la ventilation. Il convient à toutes les saisons de disposer les habitations en groupes compacte autour de cours intérieures et de les répartir dans de nombreuses ruelles. Cette disposition peu favorable à la ventilation permet de protéger au mieux les bâtiments grâce aux ombres portées qu'ils projettent les uns sur les autres, l'objet étant ici de créer le plus d'ombre possible. Les écarts de température étant importants entre la nuit et le jour, l'architecture locale privilégie des murs massifs et des toitures lourdes afin de conserver la chaleur du jour et de pouvoir la restituer aux heures les plus fraîches de la nuit.

En effet, Il est recommandé de rajouter des cheminées d'air aux dans l'espace commun entre les logements avec des orifices d'aération qui donne sur le hall de chaque unité d'habitation. Givoni montre que la ventilation nocturne permet de descendre les températures d'une habitation de façon significative en comparaison à une situation sans ventilation nocturne, solution vérifiée par des mesures réelles, il propose des systèmes ou la structure pourrait être refroidie le soir sans que l'air entre à l'intérieur de l'habitation, comme s'il s'agissait d'un refroidissement par convection indirecte.¹

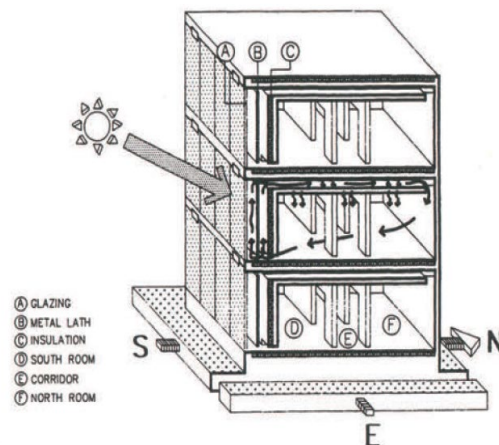


Figure.31 : le système Barra, (cheminée) avec des canaux de ventilation intégrés dans la structure pour rafraichissement sans courant d'air intérieur.

¹ Baruch Givoni, l'homme l'architecture et le climat, Edition le moniteur paris, 1980, p353.

L'utilisation d'un espace semis ouvert qui ressemble à une cour intérieure, cet espace de préférence est lié à la zone des espaces de vie. De même l'utilisation des protections solaire aux niveaux des ouvertures extérieurs sous forme de moucharabieh.

✓ Consignes pour le type de vitrage :

La capacité d'un matériau à émettre de la chaleur de manière radiative est appelée son émissivité ce coefficient d'émissivité varie en fonction de la longueur d'onde du signal émis. Les fenêtres ainsi que les matériaux que l'on trouve à l'intérieur du bâtiment, émettent typiquement des radiations sous forme d'infrarouge de très grande d'onde. Les vitrages standard ont une émissivité de 0.84 cela signifie qu'ils émettent 84% de l'énergie possible pour un objet à cette température et cela signifie également qu'en ce qui concerne les rayonnements à grande longueur d'onde qui frappe la surface de verre 84% est absorbé et seulement 16 % est réfléchi. Un vitrage optimal dans un climat chaud et sec devrait être : un triple vitrage avec un remplissage à l'argon.²

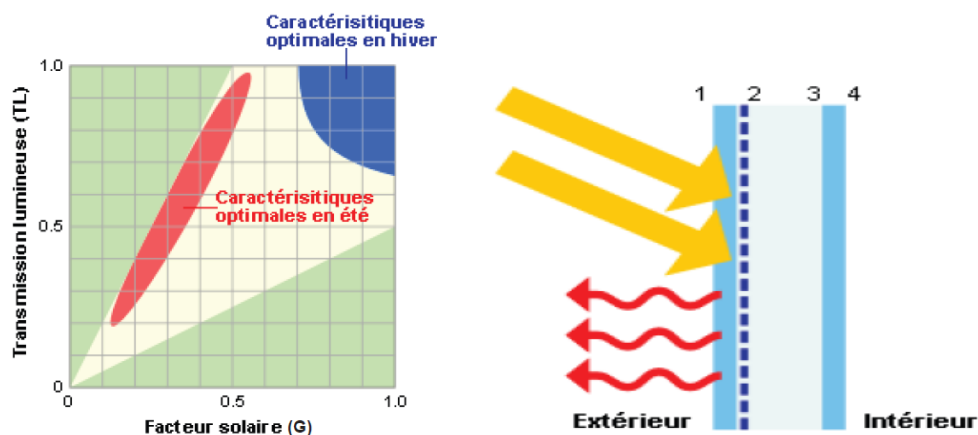


Figure.32 : rapport entre le facteur solaire g et la transmission Lumineuse TL.³

✓ La ventilation nocturne :

Il est conseillé de réduire la ventilation au maximum pendant la journée, pour ne pas introduire l'air extérieur chaud et chargé de la poussière. L'utilisation des matériaux isolants modernes en conjonction avec des matériaux de haute capacité calorifique, permet d'avoir des ouvertures plus larges tandis qu'elle maintient, et même améliore les conditions thermiques obtenue dans les bâtiments traditionnels.

² Ferran Yusta Garcia. La méthode des saisons climatiques : stratégie passive de conception architecturale de bâtiments basse consommation énergétique en climat très chaud. Mécanique. Université de Bordeaux, 2018. Français.p

³ Www. Energyplus.com

Donc il est possible d'améliorer la ventilation par, ⁴Humidifier l'air et le rafraichir par phénomène d'évaporation, par le rajout des plans d'eau et surfaces plantée à l'intérieurs des constructions ou bien dans l'espace semi privé qui sert d'articulation entre les diverses unités d'habitations. Ainsi Profiter du rafraichissement nocturne par l'inertie du bâtiment.

De fait que la ventilation participe au confort thermique des occupants par deux moyens :

*Elle favorise la perte de chaleur du corps par convection (vitesse d'air) et par évaporation de la sueur (environ 640 Wh de chaleur évacuée pour un litre d'eau évaporée).⁵

*elle joue aussi un rôle essentiel de renouvellement de l'air intérieur pour apporter de l'air neuf aux occupants et pour lutter contre différentes pollutions (CO₂, composés organiques volatiles COV, moisissures, humidité), facteur primordial pour la santé des occupants évitant aussi les pathologies de l'enveloppe du bâtiment.

Pour le contexte d'étude, cette fonction de ventilation sera mise à profit, au moyen d'une ventilation nocturne et non d'une ventilation diurne. Ventiler la journée dans un tel climat lorsque la température dépasse la zone de confort contribuerait non seulement à surchauffer les occupants mais aussi à emmagasiner la chaleur dans la structure du bâtiment pour la restituer la nuit sur les occupants. La nuit, lorsque la différence entre température intérieure et extérieure est supérieure à 2°C, la ventilation nocturne permet de refroidir la structure du bâtiment. Un bâtiment possédant une forte inertie thermique dans ce type de climat pourra différer l'onde de chaleur qui entre dans le bâtiment (après avoir réduit l'apport par la protection solaire) tandis que la ventilation nocturne permettra d'évacuer cette chaleur la nuit.

✓ **Refroidissement radiatif nocturne :**

Cet aspect est l'un le plus important des recherches de Givoni dans le climat chaud, ayant donné comme résultat de nombreux prototypes construits et des idées innovants dans les années 70. Le principe est très simple : la voûte céleste des ciels clairs des climats chauds et secs est à une température radiative de 4°C° environ, ceci veut dire que tout corps sur la surface de la terre qui peut être en contact radiative direct avec le ciel nocturne est capable de décharger une quantité importante de chaleur par radiation. Par un petit schéma d'une maison

⁴ Traité d'architecture, Liébard, A. et De Herde, A. « Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques ». Ed. Le Moniteur. Paris 2005 p135a.

⁵ Thierry Joffroy, Arnaud Misse, Robert Celaire, Lalaina Rakotomalala. Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal. 2017.

à toiture isolante déplié, il développe toute une série de scénario basée sur le principe de faciliter la décharge nocturne la nuit des parties chaudes de la maison. La nuit, les éléments isolants sont dépliés et par la suite la dalle en béton peut décharger une somme importante de sa chaleur emmagasinée, le lendemain les éléments sont à nouveau déployés pour empêcher un rayonnement inverse et une recharge de chaleur. L'autre prototype est une maison avec de l'eau sous les éléments isolés comme élément radiatif et une masse de stockage de fraîcheur.

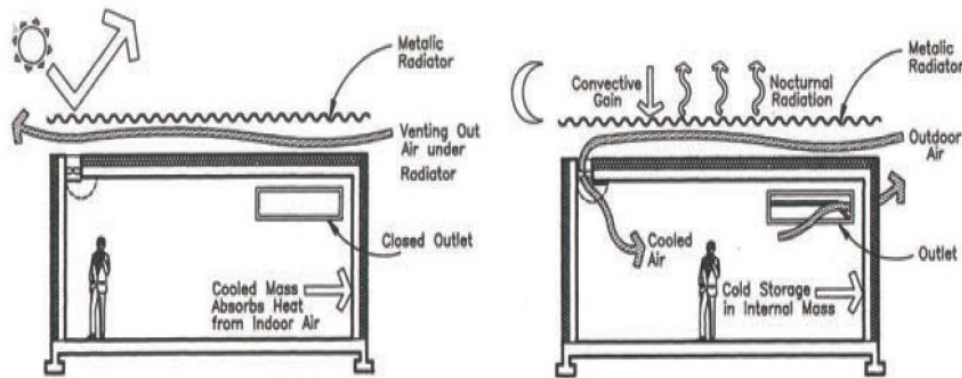


Figure.33 : récupération de l'air frais sous toiture pendant la nuit, le jour le système est condamné.

Un autre prototype est celle de la tôle métallique comme élément radiatif, une toiture froide avec une tôle de protection extérieur, un plafond isolé et une lame d'air ventilée entre les deux permettant de récupérer l'air frais sous la tôle pendant la nuit grâce une trappe qui s'ouvre lorsque la tôle commence à refroidir l'air enfermé entre la surface métallique et le plafond isolé.

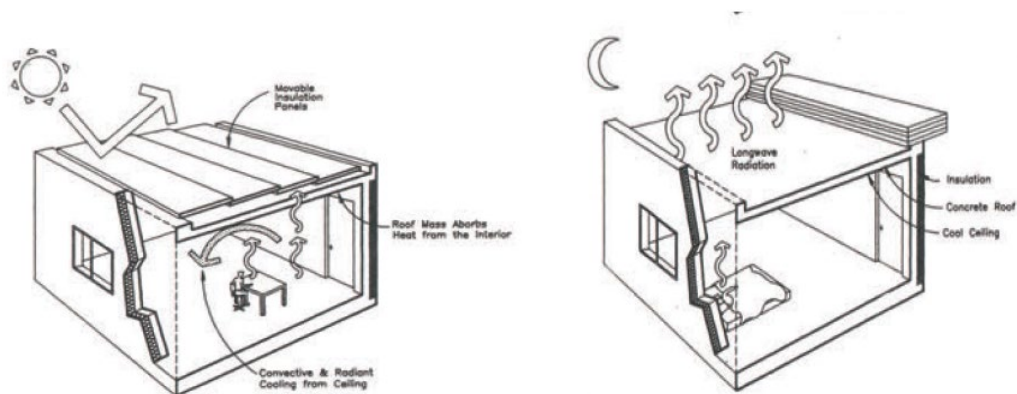


Figure.34 : système de toiture isolée dépliable

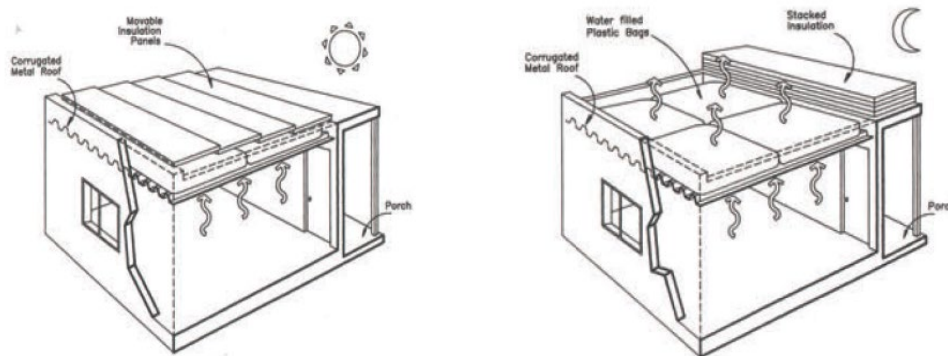


Figure.35 : toiture dépliable avec des bacs d'eau.

✓ **Disposition des fenêtres :**

La faible résistance des fenêtres constitue le chemin privilégié des flux de chaleur vers l'intérieur, même lorsqu'elles sont soustraites au rayonnement solaire et protégées contre les flux d'air extérieur. La proportion du flux de chaleur pénétrant et l'échauffement intérieur en résultant sont proportionnels à la dimension des fenêtres. La ventilation transversale nécessaire pendant la soirée et la nuit requièrent l'utilisation des ouvertures.

Les fenêtres doivent être conçue et disposées de façon que les surfaces d'ouvrants soient approximativement les mêmes sur les côtés exposés au vent et sous le vent du bâtiment et que le flux d'air soit dirigé vers l'aire et la hauteur d'occupation. Ceci est particulièrement important dans les chambres où ce sont deux bandes horizontales d'ouvertures placées dans les murs différents qui offrent la disposition la plus intéressante ; l'une étant à la hauteur des lits et l'autre se trouvant sous le plafond, elles provoquent alors un mouvement d'air dans la pièce par voie thermique pendant les heures sans vent. La nuit le flux d'air entre au niveau le plus bas et sort par les ouvertures supérieures. Des ouvertures horizontales donnent généralement une meilleure distribution d'air dans la zone occupée que celle que donnent les ouvertures verticales.

La couleur extérieure :⁶

Par rapport au rayonnement solaire direct et réfléchi qui constitue la source de chaleur la plus importante, l'efficacité d'une couleur externe claire dans la diminution de températures intérieures diurnes est beaucoup plus grande qu'une augmentation de la résistance thermique

⁶ Givoni, op. cit, p 356.

ou de la capacité calorifique, avec l'avantage supplémentaire que le confort de nuit est également amélioré. Mais si elle n'est pas fréquemment reblanchie, l'enveloppe du bâtiment fini par absorber d'énorme quantité d'énergie solaire.

Notant que l'influence stabilisante d'une enveloppe épaisse se traduit par des températures superficielles intérieures relativement constantes et proches des valeurs moyennes sur les surfaces extérieures. Ces valeurs sont particulièrement élevées pour un toit lorsqu'il n'est pas blanchi et par conséquent l'élévation de température du plafond constitue pratiquement une source permanente d'échauffement de la maison. Donc il est recommandé pour la peinture en chaud avec des crépissages forme une altérative efficace pour les façades extérieures.

Conclusion générale :

Rendre nos logements plus performants sur le plan thermique et environnemental est un enjeu important et un objectif réaliste ; la recherche des techniques et les nouveaux matériaux pour construire nos futures habitations, afin qu'ils deviennent moins dépendants d'énergies fossiles, et plus respectueux de notre environnement et santé. En effet, la conception en neuf des bâtiments performants se base aujourd'hui sur des hypothèses liées principalement à l'interrelation entre la typologie de bâtiment et les données microclimatiques ainsi que le comportement des occupants selon les saisons.

Cette recherche qui s'intéresse à la performance thermique des constructions en zones chaudes et arides, s'inscrire au cœur des préoccupations actuelles sur la nécessité de réduire les consommations d'énergie, et contribuer à la réalisation des constructions économes et confortable. Le processus suivi soulève la réflexion aux pratiques architecturales vernaculaires par ses qualités intrinsèques d'adaptation au climat qui peuvent fortement contribuer à une stratégie d'économie d'énergie.

Rappelons que la question de recherche qui a été proposée au début est comme suit :

Comment l'adoption des technicités passives vernaculaires dans la conception de l'habitat en zones chaudes et aride peut contribuer d'une manière significative sur la composante énergétique et le confort thermique de l'utilisateur ?

Pour répondre à la question une méthodologie consiste à un bagage théorique et une investigation pratique a été développée selon des axes directifs. Tout d'abord, un regard a été mis en exergue sur l'architecture vernaculaire et la notion d'adaptabilité, démontrant la relation déterminante avec les facteurs intrinsèques que soit environnementaux ou bien culturels. Ensuite, un passage par les particularités du contexte saharien ainsi que les technicités passives employées dans les constructions vernaculaires. Cet état de l'art riche et varié nous offre une connaissance approfondie d'une vaste gamme des techniques et du choix conceptuels pour s'adaptés aux rigueurs du climat désertiques. Cette étude bibliographique a mis en avant les interrelations entre les solutions passifs employé dans l'architecture vernaculaire et les contraintes de contexte et nous a permis de formuler une idée sur le rôle de chaque dispositif.

La connaissance des approches d'évaluation thermiques et les clés générateurs pour une conception efficace et économe, forme le support de l'investigation sur terrain. La première tâche effectuée consiste à une analyse bioclimatique de la région, mettant en valeur la relation intrinsèque entre les spécificités du micro climat régional et les techniques passives employés dans l'habitat vernaculaire.

A la lumière d'hypothèses proposés l'investigation par expérimentation a été principalement pour tester l'impact réel de ces dispositifs quantitativement et qualitativement à travers des sondages et des mesures in situ. Pour cela nous avons investigué deux typologies, vernaculaire et contemporain. Dans un premier temps, une enquête en ligne nous a permis de mettre en évidence une différence d'inconfort ressenti entre les deux typologies : dans celle qui est vernaculaire, une sensation de froid est signalée en hiver. Tandis que pour les typologies contemporaines, une sensation de chaleur accrue en été. Cependant, d'après les déclarations, nous avons observé des différences majeures entre les comportements des occupants. L'enquête en ligne a cependant permis d'identifier l'espace habitable à mesurer à instrumenter afin d'étudier le confort et les comportements des occupants. Cette étape a été complétée par des mesures in situ sur des échantillons d'habitation durant les jours chauds et froids des saisons hivernales et estivales.

Les résultats ont été déterminants pour chaque typologie d'habitation testée et les intervalles des températures sont marquants. La comparaison entre les résultats des questionnaires ainsi que les mesures in situ et les prévisions faites avec les logiciels de simulation thermique montre, d'une part, de réels écarts de consommations énergétiques et, d'autre part, des variations du confort thermique par saison. Si les hypothèses concernant la typologie architecturale et les matériaux locaux peuvent être avancées, nous avons montré ainsi que les gestes adaptatifs jouent un rôle majeur.

Les perspectives et les stratégies d'amélioration du processus conceptuel ont été guidées par les résultats subjectifs et objectifs à travers une liste de recommandations partagée en éléments adaptatifs liés au comportement humain à l'intérieur des logements ainsi que les techniques d'amélioration englobant les systèmes de ventilation et le zonage intérieur prenant en compte les pratiques des occupants, ainsi que l'emploi partiel des matériaux locaux.

D'un autre coté la recherche démontre l'utilité des outils de simulation pour tester préalablement l'impact et le comportement thermique des dispositifs employés avant la réalisation et la concrétisation,

En conclusion, la recherche démontre la faisabilité d'intégration des dispositifs et stratégies de l'architecture vernaculaire ; que c'est possible de produire pour chaque région une architecture spécifique économe et avec un niveau de confort acceptable et contribue à réduire la consommation d'énergie notamment dans les périodes de surchauffe.

Elle offre ainsi un bagage d'informations incontournable pour les usagers et gestionnaires afin d'améliorer la qualité thermique et l'efficacité énergétique de l'habitat, et ouvre la voie pour investir sur le domaine de matériaux locaux, de bénéficier de ses bienfaits et atouts ou bien par l'amélioration pour produire des nouveau matériaux efficaces et économes.

Elle ouvre ainsi les réflexions sur le côté d'éclairage naturel qui contribue profondément sur l'ambiance thermique intérieur des logements ; et d'investir les solutions bioclimatiques améliorées et perfectionnées avec l'utilisation d'énergies actives renouvelables.

Références bibliographiques :

Chapitre introductif :

Glenn Murcutt, Exposition Architecture for place, Glenn Murcutt, Bruxelles, 2013.

EERE, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy Buildings Energy Data Book, US Department of Energy: Washington, USA, 2009.

Anand Y, Anand S, Gupta A, Tyagi S K. Building envelope performance with different insulating materials an energy approach. Journal Applied Thermal Engineering 2015, 1(4) :433 – 439. Doi :10.18186/jte.06871.

APRUE, Agence nationale pour la promotion de l'utilisation et la rationalisation de l'énergie, 2019.

Sakhri N, Menni Y, Ameer H, Chamkha A J, Kaid N, Bensafi M, Lorenzini G, Makinde O D. Investigation of the natural ventilation of wind catchers with different geometries in arid region houses. Journal of mechanical engineering and science 2020, 4(3) :7109–7124. Doi.org/10.15282/jmes.14.3.2020.12.0551

Mokhtari, A., Brahimi, N., et Benziada, R. Architecture et confort thermique dans les zones arides Application au cas de la ville de Béchar. Revue des Energies Renouvelables, 2008, 11-4, 307 – 315.

Vellinga, M. Engaging the future: Vernacular architecture studies in the twenty-first century, 2006, 81-94.

Hegger, M. From passive utilization to smart solar architecture, Detail solar architecture, strategies visions, concepts, 2003, 12-25

Upadhyay, A. K. Understanding Climate for Energy Efficient or Sustainable Design. IAHS, 2007, 1-12.

Waterson, R. The Living House; Anthropology of Architecture in South-East Asia, Oxford University Press, Indiana University. 1990.

Albrow, M. The Global Age: State and Society Beyond Modernity.1997.

Chapitre01

(01) :

Alain M. Viaro ; Arlette Ziagler. Habitat traditionnel dans le monde, éléments pour une approche ; Etablissement humain et environnement socio culturel, UNESCO-83. P112.

Jhonny Gamboa. Analyse comparative de l'approche bioclimatique et de la méthode LEED en architecture, de Maîtrise en Sciences Appliquées (M.Sc.A.) en aménagement, 2016, p116.

Esteban Emilio Montenegro Iturra. Impact de la configuration des bâtiments scolaires sur leur performance lumineuse, thermique et énergétique. Mémoire de Maîtrise en Sciences de l'Architecture, faculté d'aménagement, d'architecture et des arts visuels université Laval Québec. 2011.p 159.

Ouvrage collectif, Des architectures en terre ou l'avenir d'une tradition millénaire, Paris, centre George Pompidou, 1982, p 49.

Fathy Hassan. Construire avec le peuple, Edition Sindbad, Paris, 1970, p 432.

Christppher Alexander. De la synthèse de la forme, essai, Dunot. PARIS, 1971, p23

Pierre FREY. Learning from vernacular : pour une nouvelle architecture vernaculaire, préface de Patrick Bouchain, Éd. Actes Sud, 2010, 173p.

Annalisa CAIMI. Culture constructive et résilience, thèse de doctorat. Université de Grenoble, 539p.

Pierrick Trauchessec. L'interprétation de l'architecture vernaculaire par les architectes. Architecture, aménagement de l'espace. 2014, 114 p.

Sezgin, Haluk . A propos de l'architecture vernaculaire. In : ICOMOS International committee on vernacular architecture – 2nd session, octobre 17-20, 1979, Plovdiv, Bulgaria Ronald BRUNSKILL, architecture et culture, Paris, Éd. Parenthèses, 1981.

Anguelova, Rapport réunion CIAV, 1979, p.02.

Oliver Paul, Encyclopaedia of vernacular architecture of the world volume 1 : theories and principles , University Press, 1997.-883p

ICOMOS, Conseil international des monuments et des sites, Charte du patrimoine bâti vernaculaire, Ratifiée par la 12^e Assemblée Générale de ICOMOS, au Mexique, octobre 1999.

Marie France Bisson, Vernaculaire moderne ? Vers une compréhension de la notion d'architecture vernaculaire et ses liens avec la modernité architecturale, mémoire de maîtrise en art, université du Québec Montréal, 2007, p06.

Dr, Georgeta Stoica, qu'est-ce que l'architecture vernaculaire ? In: ICOMOS International committee on vernacular architecture – 2nd session, 337 environ, 1979, Plovdiv.

(02).

Doepper Ulrich, Guindani Silvio. Architecture vernaculaire, territoire, habitat et activités productives, lausanne : Presses polytechniques et universitaires romandes, 1990.-VII-218 p.

Krebs Jan. Concevoir l'habitat, Ed. Birkhäuser, éditions d'architecture, Bâle, 2007, 74p.

Ammar Benadji, adaptation climatique ou culturel en zone aride, thèse de doctorat, Cas du sud-est algérien. Géographie. Université de Provence Aix-Marseille, 1999, 233p.

Amoce Rapoport, pour une anthropologie de la maison, Paris, Dunod, 1972, 207p

J.L.Izard, Archi bio, éd : Parenthèses, 1979, p 97.

Plemenka Supic, l'aspect bioclimatique de l'habitat vernaculaire, in Arch. And Comport /Arch and Behav, Vol. 10, no 1,42p

AGHA KHAN. Urban housing , proc of sem. 2 in the series design in 338nviron cultures, MIT lab of architecture and planning , 338nviron 338nviron school of design, 1982, p40.

Meliouh Fouzia ; Tabet Aoul Kheira. L'habitat espaces et repères conceptuels in courrier du savoir-n°01, novembre 2001, pp. 59-64.

Gonzalo Rodriguez. Modélisation de la réponse de l'architecture au climat local, Université Sciences et Technologies, Bordeaux I, 2013, 219 p

Oliver, P. Encyclopaedia of Vernacular Architecture of the World. Editée par Paul Oliver. Cambridge, UK. New York : Cambridge University Press, 3 volumes, 1997, 2500 p.

Dabaieh, M. A Future for the Past of Desert Vernacular Architecture, Lund University (Media-Tryck), 2011, 251p.

Liébard ; André De Herde. Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique ; édition le moniteur Paris décembre 2005 ; 740p.

Vellinga, M. Oliver, P. Bridge, A. Atlas of Vernacular Architecture of the World. New York : Routledge, 2008, 160 p.

Salvadori .M. comment ça tient ? Édition Parenthèses. Marseille 2009, p76.

Dutreix Armand. Bioclimatisme et performances énergétiques des bâtiments, Ed. Eyrolles, Paris, 2010, 240p

Olgyay V. Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism. Princeton, N.J., Princeton University Press.1963.

Weston Richard. Formes et matériaux dans l'architecture, Ed du Seuil, Paris, 240p.

Barro Julien. Sauvegarde et revitalisation des villages de montagne, Forum Heimatschulz, patrimoine, 2/09.

Belakhal azedine, la façade entre l'esthétique et le contrôle du rayonnement solaire, cas de l'habitation individuelle urbaine dans les milieux arides et semi arides en pays islamique, thèse de magister, université de Biskra, institut d'architecture, 1995.

Monnier, G. La Porte : instrument et symbole. Paris : Editions Alternatives, 2004, 119 p.

Mansouri Sadek. Les proportions dans l'architecture musulmane, thèse de doctorat, université de Constantine, 334p.

André R., le M'Zab une leçon architecture, Sindbad, Paris, 1981, p135.

Altman, I. Environment and social 339nvironme.:Personal space, privacy, crowding and territory. Monterey, CA : Brooks Cole, 1975, 256p.

Muhannad Haj Hussein, Investigation sur la qualité des ambiances hygrothermiques et lumineuses des habitats palestiniens. La cour : contribution environnementale et socioculturelle, doctorat en mécanique, l'université bordeaux 1, Les Sciences et les Technologies au service de l'Homme et de l'environnement, 2012, 338p.

Mortada, H. Traditional Islamic principles of built environment, Routledge Curzon, London, 2003, pp.83-85.

Chapitre02 :

(01).

CAPOT-REY R, Le Sahara français, in revue de Géographie Alpine, 1954 42-1 pp. 191-192

Ferran Yusta Garcia. La méthode des saisons climatiques : stratégie passive de conception architecturale de bâtiments basse consommation énergétique en climat très chaud. Mécanique. Université de Bordeaux, 2018. Français, p14.419 p.

M.C. Peel, B.L. Finlayson, T.A. MacMahon, "Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification" in Hydrology and Earth System Sciences no 11, p. 1633, Copernicus Publications pour European Geosciences Union, Göttingen, 2007, ISSN 1027-5606.

ASHRAE Handbook of Fundamentals. American Society of Heating Refrigeration and Air-Conditioning Engineers Atlanta, 2013.

Yaël Kouzmine. Dynamiques et mutations territoriales du sahara algerien vers denouvelles approches fondées sur l'observation Géographie. Université de Franche-Comté, 2007. 426p

Beck, Hylke E. ; Zimmermann, Niklaus E. ; McVicar, Tim R. ; Vergopolan, Noemi ; Berg, Alexis ; Wood, Eric F. (30 October 2018). "Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution". Scientific Data. 5: 180214.

Bibcode:2018NatSD...580214B. doi:10.1038/sdata.2018.214. ISSN 2052-4463. PMC 6207062. PMID 30375988.

Roger Coque, Géomorphologie, Paris, Armand Colin, 1977, 1998, (ISBN 2200217390), p.231

Boudjellal lazhar, rôle de l'oasis dans la création de l'îlot de fraîcheur dans les zones chaudes et arides « cas de l'oasis de chetma –biskra –Algérie », mémoire de magister, université de Constantine, 2009, 205p

Rouabhi Amar, Polycopiés de cours bioclimat et changement climatique, Spécialité : Master Production végétale. Université de Sétif. P12.

Cote marc, La ville et le désert, le bas Sahara algérien, Edition Karthala et Iraman, 2005, p188.

B. E. FARHI, F. Z. HADHAGA, ville oasienne, ville saharienne et ville au Sahara : controverse conceptuelle entre urbanité et contextualité, in courrier de savoir, – N°25, Février 2018, pp81-92.

Jean louis ballais, les villes sahariennes et les risques naturelles, in la ville et le désert. Chapitre IV, 2006. P 67.

Ammar Benadji, Adaptation climatique ou culturelle en zones arides. Cas du sud-est algérien. Geography. Université de Provence, 2006, p 233.

Cote M., 1998, Dynamique urbaine au Sahara, Insaniyat, n°5, pp. 85-92.

Demangeot J., 1994 : Les milieux « naturels » du globe, 5^e édition, Paris, Masson, 313p.

Cote Marc, L'urbanisation aujourd'hui au Bas-Sahara, in La ville et le désert, le Bas-Sahara algérien, Paris Aix en Provence, Karthala – IREMAM, 2005, pp. 13-26.

Institut de recherche pour le développement presses universitaires du mira, Les cités aux désert, des villes sahariennes aux Sahara Towns, p13.

Chaouch Bencherif Meriama. La micro-urbanisation et la ville-oasis ; une alternative à l'équilibre des zones arides pour une ville saharienne durable, thèse de doctorat, université de Constantine, p 83.

Lévy J, Lussault M. Dictionnaire de la géographie et de l'espace des sociétés. Paris : Belin, 2003, 1127p.

Ali ben Saad, eau, urbanisation et mutation sociales dans le bas sahara, in la ville et le desert, 2005, p 97.

GAOUAR M. A. L'oasis et les ksours : un espace socio-territorial à redécouvrir », in Actes du séminaire international : « Espace saharien et développement durable », Biskra (Algérie), CRSTRA, 14-16 novembre, 2000, pp. 61-73.

CRSTRA, (centre de recherche scientifique et technique sur région arides), L'oasis comme référentiel d'adaptation aux conditions chaudes extrêmes, 18p .

Dubost D., 1991 : Ecologie, aménagement et développement agricole des oasis algériennes, Thèse Université de Tours, 550p.

Lakhdari k. Kharfi y. Boulaassel, Atlas des semences locales ou acclimatées dans les Oasis de l'Oued Righ. CRSTRA, 2010, 78 p.

Abdelkader Salhi. Transformations spatiales et dynamiques socio-environnementales de l'oasis d'Ouargla (Sahara algérien). Une analyse des perspectives de développement. Thèse de Doctorat en Géographie. Géographie. Aix-Marseille Université, 2017. Français. p186.

RICHTER M., 1995 : « Les oasis du Maghreb : typologie et problèmes agro-écologiques », in Cahiers du CERES : Les oasis au Maghreb, mise en valeur et développement, Série Géographique n°12, Tunis, pp. 29-56.

Bisson Jean, Le Gourara, étude de géographie humaine, Mémoire n°3, Université d'Alger, Institut de Recherches Sahariennes, 1957, p98.

Menasra Asma, Bouzaher lalouani Soumia, Les oasis des Ziban : un patrimoine paysager menacer. Cas de la région des Ziban, Algérie, international Journal of Innovative Research in Human Sciences, Vol.3, Issue 1, 2019, 005– 012.

B. E. FARHI, F. Z. HADHAGA, ville oasisienne, ville saharienne et ville au Sahara : controverse conceptuelle entre urbanité et contextualité, in courrier de savoir, – N°25, Février 2018, pp81-92. P 84.

Marc cote, si le Souf m'était conté, Front Cover. Marc Coté. Saïd Hannachi, 2006, 135p.

Marc Cote, L'Algérie, Masson Armond Colin, 97p.

Saïd Mazouz, l'adaptation bioclimatique dans le bas Sahara, in la ville et le désert, p192.

Revue : pollution atmosphérique, 1970.

MOUSAOUI A., Logiques du sacré et modes d'organisation du sacré de l'espace dans le sud-ouest algérien, thèse de doctorat, 1994, 370 p.

Saïd Mazouz, in la ville et le désert, p 123.

MAROUF N., (1980) : Lecture de l'espace oasien. Paris, Sindbad, 286 p.

Marc cote, la ville et désert, khathala et Iramen, 2005, p

DORIER-APPRILL E, Vocabulaire de la ville, notions et références, Paris, éditions du temps, 2001, 190p.

Saïd Mazouz, mémoire et trace le patrimoine ksourien, in la ville et le désert, p 124.

Echallier J.-C. Sur quelques détails d'architecture du Sahara, in Le saharien, n° 42 et 44, Paris, 1966-67.

Mustapha Ameur Djeradi, l'architecture ksourienne entre signes et signifiants, l'architecture vernaculaire, TOME 36-37, ISSN 2494-2413, 2012-2013.p

Bachminski J. et grandet D., Éléments d'architecture et d'urbanisme traditionnels, Université des sciences et de la technologie d'Oran, 1985, 84 p.

Depecker P. Construction et modes de transfert d'un savoir scientifique dans le domaine de l'architecture. Le cas de la thermique. Thèse de docteur en science INSA de lyon. Univ Claude Bernard, Lyon. 1985, p 40.

Fardeheb F, Natural cooling techniques in hot arid region of developing countries. In proc. Of the ISES sol. Zord cong hamburg west Germany, 1987, p05.

Givoni, 1980, l'homme l'architecture et le climat, Edition le moniteur paris, p353.

(03).

Waterson, R. The Living House; Anthropology of Architecture in South-East Asia, Oxford University Press, 1990. Oxford University Press, 263 p.

Albrow, M. The Global Age: State and Society Beyond Modernity. Cambridge: Polity Press, 1996, 246 pp

Yousuf, W. The Challenge of Sustainability in Developing Countries and the Adaptation of Heritage; Inspired Architecture in Context. Archnet-IJAR, 5, N° 2, 2011, 106- 118. DOI: 10.26687/archnet-ijar.v5i2.201.

Abdelsalam, T. Rihan, G. M. The impact of sustainability trends on housing design identity of Arab cities. Housing and Building National Research Center, HBRC Journal, 9, 2013, 159–172.

Bencherif M, Chaouche S. La maison urbaine _a patio, réponse architecturale aux contraintes climatiques du milieu aride chaud. Sècheresse 24 : 203-13. Doi : M. Bencherif 10.1684/sec.2013.0390. 2013.

Quelleg JL, Tréal C, Ruiz JM. Maisons du Sahara ; habiter le désert, Paris : Hazan, 2006. 200p

Alexandroff G, Alexandroff JM. Architectures et climats ; soleil et énergies naturelles dans l'habitat, Paris : Berger Levrault. 1982.379p.

Abdulac S. Les maisons à patio, continuités historiques, adaptations bioclimatiques et morphologies, Urbaines, 2011, In : Icomos. Le patrimoine, moteur de développement. Paris : International Council on Monuments and Sites. [http ://openarchive. Icomos.org/1160/1/II-1-Article6_Abdulac](http://openarchive.icomos.org/1160/1/II-1-Article6_Abdulac). Pdf. P288.

Baduel, P. R. Habitat État et société au maghreb. Paris : CNRS Éditions ,2003. 396 p.

Bardou P, Arzoumanian V. Archi de soleil. Roquevaire : Parenthèses.1978.120p

Said mazouz, l'adaptation bioclimatique dans le bas Sahara in la ville et le désert, kathala et iramen,2005, p 187

Fardeheb F. Examination and classification of pas. Sol. Cool.stratégie in middle eastern vernacular architecture. In passive solar journal, vol.4 n° 4, pp.377-417.1987.

Olgyay, V; Olgyay, A. Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism. Princeton, N.J, Princeton University Press. (1963b).224p.

Raydan D, Ratti C, Steemers K. Courtyards:a bioclimatic form. In: Edwards B, Hakmi M, Land P, eds. Courtyard housing : past, present and future. 2006, London : Taylor & Francis.

Fardeheb F. Classification des techniques de refroidissement naturelles dans l'architecture vernaculaire des pays du Moyen-Orient. Séminaire sur l'énergie solaire, 1989, Tlemcen.

Dufayad F, pinazo D, fillon marc. Habitat traditionnel syrien, travail de certificat d'études approfondies en architecture, architecture ambiance et énergie, marseille. 1984.p86

Sayigh A, et Marafia A. Vernacular and contemporary buildings in Qatar», in Architecture: Comfort and Energy, C Gallo, M Sala, A.A.M. Sayigh (Eds.), Elsevier Science Ltd., UK, Ch.2, 1998, pp.25-37.

Andrés Ravereau, Le M'Zab, une leçon d'architecture, Paris, Sindbad, 1981 (nouvelle édition : Arles, Actes Sud / Sindbad, 2003).

Wright D. Soleil, nature, architecture. Roquevaire: Parenthèse.1979.

Konya A. design primer for hot climates. Library of design, new york, 1980, p56.

Fathy H. the malqaf : a traditional cooling and ventilation system. In sun word vol.9, n02, 1985, pp.48-50.

Abdulac S. Pinon P. Maison en pays islamique, modèles d'architecture climatique, in architecture d'aujourd'Hui, N°167. 1973, p09.

Ferran Yusta Garcia. La méthode des saisons climatiques : stratégie passive de conception architecturale de bâtiments basse consommation énergétique en climat très chaud. Mécanique Université de Bordeaux, 2018. Français.p70.

abdulak S et Pinon, 1986, for a continuity in housing design : the case of islamique contries in african environment, n°17-18-19, vol. VI-2-3, p .06.

Abdulac S, Pinon P. maison en pays islamique, modeles d'architevture climatique.in architecture d'aujourd'hui, N°167, 1973, p08.

Belakehal, 1995, p.99.

Agha khan, urban housing. Proc of sem 2 in the serie design of islamique cultures mit lab of architecture and planning, Harvard graduate school of design, p 61.

Izard. Architectures d'été : Construire pour le confort d'été, Ed. Edisud, 1993.

Ben Cherif, M., et Chaouche, S. La maison urbaine à patio, réponse architecturale aux contraintes climatiques du milieu aride chaud. Sécherese, 2013, V :24 : n°24, 203-13.

Chapitre03

Axe01

Clément Gaillard. L'approche énergétique de l'architecture vernaculaire : genèse et développement, l'approche énergétique de l'architecture vernaculaire : genèse et développement, p. 67-80.

Lou Chesné. Vers une nouvelle méthodologie de conception des bâtiments, basée sur leurs performances bioclimatiques. Architecture, aménagement de l'espace. INSA de Lyon, 2012.218p

Martin, L. et L., March. Built form and land use. Cambridge Research. 1966, London.

Alexandroff G., Alexandroff J.-M, Intégration des énergies naturelles à l'habitat, 2 t. rapport pour le Plan Construction, ministère de l'Équipement, 1978, p136.

Jhonny Gamboa. Analyse comparative de l'approche bioclimatique et de la méthode LEED en architecture, de Maîtrise en Sciences Appliquées (M.Sc.A.) en aménagement, 2016, 125p.

FEUERMANN, D. et NOVOPLANSKY, A. Reversible low solar heat gain windows for energy savings. Solar Energy, 1998, 62(3):169 – 175.

ETZION, Y. et ERELL, E. Controlling the transmission of radiant energy through windows: a novel ventilated reversible glazing system. Building and Environment,2000, 35(5):433– 444.

CARBONARI, A., FIORETTI, R., NATICCHIA, B. et PRINCIPI, P. Experimental estimation of the solar properties of a switchable liquid shading system for glazed facades. Energy and Buildings, 2012, 45(0) :299 – 310.

RT1, Arrêté du 10 avril 1974 relatif à l'isolation thermique et au réglage automatique des installations de chauffage dans les bâtiments d'habitation.

Belakhal Azzedine, Micro climat et architecture bioclimatique contemporaine référence aux milieux arides a climat chaud et sec, Colloque sur l'héliotherme, l'environnement et les systèmes solaires, chems, 2000. P 20.

Les guides bio-tech. Confort d'été passif, arène (expertise et ressources pour un developpement durable) , iceb.

Camia F.-M. Pour une meilleure compréhension des échanges thermiques entre un bâtiment et son environnement, VII-1-VII-2, compte-rendu d'une communication réalisée dans le cadre du colloque Les échanges thermiques entre un bâtiment et son environnement à Lyon organisé par la Société française de thermique, du 6 au 8 avril 1976, p. VIII.1.

Thierry Joffroy, Arnaud Misse, Robert Celaire, Lalaina Rakotomalala. Architecture bioclimatique et efficacité énergétique des bâtiments au Sénégal. 2017. 91p.

NICOLAS, F. et VAYE, M. Pour une approche bioclimatique de l'architecture : rapport final. Rapport technique, Ministère de l'environnement et du cadre de vie. Direction de l'architecture. Comité de la recherche et du développement en architecture.1978.

BOURSAS Abderrahmane, étude de l'efficacité énergétique d'un bâtiment d'habitation à l'aide d'un logiciel de simulation, magistère en génie climatique, université de Constantine 1.2013.156p.

Axe :02.

Jehanne Paulus, construction en terre crue : dispositions qualitatives, constructives et architecturales – Application à un cas pratique : Ouagadougou, Master en Ingénieur Civil Architecte, Université de Liège, 2015, 227p.

Salah, S. Vers une primauté de l'architecture, Transformation de l'existant et enjeux Environnementaux. ENSAL-QEB-2010.66p

Sylvie, S. Le confort d'été dans l'architecture vernaculaire et ces applications dans l'architecture contemporaine.2011.

Axe 03.

EERE, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy. Buildings Energy Data Book; US Department of Energy: Washington, USA, 2009.

Anand Y, Anand S, Gupta A, Tyagi S K. Building envelope performance with different insulating materials an energy approach. Journal Applied Thermal Engineering 2015 ; 1(4) :433 – 439. Doi :10.18186/jte.06871.

Cécile Batier. Confort thermique et énergie dans l'habitat social en milieu méditerranéen : D'un Modèle comportemental de l'occupant vers des stratégies architecturales, Doctorat en Thermique. Université de Montpellier, 2016.291p.

Hovig Ter Minassian, La réhabilitation thermique des bâtiments anciens à Paris : comment concilier la protection du patrimoine et performance énergétique, Cybergeo : European Journal of Geography, Aménagement, Urbanisme, document 536. Doi.org/10.4000/cybergeo.23737.

Taleghani, M., Tenpierik, M., Kurvers, S. and van den Dobbelaars, A. a review into thermal comfort in buildings, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 26, pp. 201–215.

Nicolas cordier. 2007. Développement et évaluation de stratégie de contrôle de ventilation appliquée aux locaux de grandes dimensions, thèse de doctorat en génie civil. Ecole nationale des travaux publics de l'état.2007, 322p.

Brager, G.S. et R.J. de Dear. Thermal adaptation in the built environment: a literature review. Energy and Buildings, 1998, 27(1): 83-96.

Van Hoof, J. Forty years of Fanger's model of thermal comfort: comfort for all, Indoor Air Journal, 2008, 18:182-201.

Richarrd franck, guy jover, frank hovorka, efficacité énergétique du bâtiment, optimiser les performances énergétiques le confort et la valeur des bâtiments tertiaires et industriels, édition EYROLLES .530p.

Foundjangan Doma Soro, conception des murs en climat chaud et sec : minimisation de l'inconfort thermique dans les bâtiments a ventilation naturelle construits en brique de terre comprimée, MASTER Laboratoire Eco-Matériaux et Habitat Durable. (LEMHaD). 2020. P 23.

Prakash, D. and Ravikumar, P. Analysis of thermal comfort and indoor air flow characteristics for a residential building room under generalized window opening position at the adjacent walls, International Journal of Sustainable Built Environment. The Gulf Organisation for Research and Development, 4(1), pp. 42–57.2015. doi: 10.1016/j.ijbsbe.2015.02.003.

Hensen, J. L. M. On the thermal interaction of building structure and heating and ventilating system. PhD thesis. Technische Universiteit Eindhoven. 1991, Available at: http://www.esru.strath.ac.uk/Documents/PhD/hensen_thesis.pdf.

Fabbri, K. Indoor Thermal Comfort Perception: A Questionnaire Approach Focusing on Children. 2015, Springer.

ASHRAE Standard 55-2013. 2013. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

Esteben emilio montenegro itura. Impact de la configuration des bâtiments scolaire sur leur performance lumineuse, thermique et énergétique. Mémoire de maitre en science, université Laval de Québec. 2011. P 29.

Noel Pamela, Évaluation du confort thermique à la suite d'abaissements de la température de consigne des thermostats en mode chauffage à l'aide de données mesurées in situ et de simulations, école de technologie supérieure université du québec à l'obtention de la maîtrise, 2018, 157p.

Hugues Boivin. La ventilation naturelle Développement d'un outil d'évaluation du potentiel de la climatisation passive et d'aide à la conception architecturale, Mémoire de maitrise, université Laval Québec, 2007, p 115.

Izard-L., Architecture d'été construire : pour le confort d'été, Edition Edisud, 1994, p141.

Candas Victor. Confort thermique. In : Génie énergétique. Vol. BE 4. Paris : Techniques de l'ingénieur, 1998, p. BE 9085.

Bassam MOUJALLED, Modélisation dynamique du confort thermique dans les bâtiments naturellement ventilés, doctorat en Génie civil, Laboratoire des Sciences de l'Habitat de l'Ecole Nationale des Tavaux Publics de l'Etat, Département Génie Civil et Bâtiment, (DGCB), URA CNRS 1652.330p.

Denis Manceau, Christian Marenne, Chantal Nicolas, Intégration des paramètres du confort dans un modèle de simulation thermique. [Rapport de recherche] 234/84, Ministère de l'urbanisme et du logement / Secrétariat de la recherche architecturale (SRA) ; Ministère de l'industrie et de la recherche ; Centre de recherches méthodologiques d'architecture (CERMA). 1984. Hal-01888551.p12.

Fernandez. P, et Lavigne. P. Concevoir des bâtiments bioclimatiques, fondements et méthodes, le Moniteur, 2009, p 93.

Fabbri, K. Indoor Thermal Comfort Perception: A Questionnaire Approach Focusing on Children. Springer.2015.

Claude-Alain Roulet, thermique de bâtiment tout le confort avec peu d'énergie, institut de technique du bâtiment, Lausanne, 29 août 2000. 55p.

Thellier, Françoise. « L'homme et son environnement thermique – Modélisation ». Université de Paul Sabatier de Toulouse, 1999, p 65.

GIVONI Baruch, L'homme, l'architecture et le climat. Editions du Moniteur ; Paris, 1978. 460p.

Auliciems, A. and Szokolay, S. V (1997) 'Thermal comfort', in. PLEA.p09.

NEUF, Climat intérieur/ confort, Santé, confort visuel » Revue européenne d'architecture N°77, novembre –décembre 1978. P 12.

Richarrd franck, Guy jover, Frank hovorka, efficacité énergétique du bâtiment, optimiser les performances énergétiques le confort et la valeur des bâtiments tertiaires et industriels, groupe eyrolles , p58.

Guide technique de la diffusion d'air, p200.

Liébard, A.et De Herde, A. Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques. Ed. Le Moniteur. Paris 2005 p. 30a

De Herde André, Liébard Alain, Traité d'Architecture et d'urbanisme bioclimatiques : concevoir, édifier et aménager avec le développement durable, Éditions du Moniteur, Paris, France, 2005. P16

Salomon,T et Bedel,S. La maison des mégawatts, Le guide malin de l'énergie chez soi. Ed. Terre vivante. Mens 2004. P. 25.

Hugues Boivin. La ventilation naturelle Développement d'un outil d'évaluation du potentiel de la climatisation passive et d'aide à la conception architecturale », Mémoire de maîtrise, université Laval Québec, 2007, p 115.

BRUANT Marc. Développement et paramétrage de contrôleurs flous multicritères du confort d'ambiance. Thèse de doctorat : INSA de Lyon. 1997, Lyon.

NARÇON SANDRINE. Caractérisation des perceptions thermiques en régime transitoire – Contribution à l'étude de l'influence des interactions sensorielles sur le confort. Thèse Neurosciences et Comportement. Paris : Ecole Pratique des Hautes Etudes, 2001.p 85.

DuBois cité par Candas V. L'homme dans son environnement climatique : facteurs d'influence, thermorégulation, sensibilité et confort thermiques ». In : « Habitat, confort et énergie ». Actes de la 13^e Journée du CUEPE, 22 mai 2003, 33p

Denis Manceau, Christian Marenne, Chantal Nicolas. Intégration des paramètres du confort dans un modèle de simulation thermique. [Rapport de recherche] 234/84, Ministère de l'urbanisme et du logement / Secrétariat de la recherche architecturale (SRA) ; Ministère de l'industrie et de la recherche ; Centre de recherches méthodologiques d'architecture (CERMA). 1984. Hal-018885515.p26.

Fernandez, P, et Lavigne, P. Changement d'attitude pour concevoir un cadre bâti bioclimatique : une contribution au développement durable, Techniques de construction, CTQ 013, .éditions du moniteur, 2010.

Cordier, N.développement et évaluation de stratégies de locaux de grandes dimensions , thèse de doctorat 2007, p 321

Courgey , S et Oliva ,J.P. la conception bioclimatique, des maisons confortables et économes »,Edition terre vivante,2010,p 31.

Sayigh, A. et A.H. Marafia. Chapter 1-Thermal comfort and the development of bioclimatic concept in building design. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 1998, 2(1-2), 3-24.

Peeters L. et al. Thermal comfort in residential buildings: Comfort values and scales for building energy simulation. Applied Energy, 2009, 86 : 772-780.

ASHRAE. (2004). Thermal environmental conditions for human occupancy (Vol. 55-2004). Atlanta.

Peeters L. et al. Thermal comfort in residential buildings: Comfort values and scales for building energy simulation. Applied Energy, 86 : 772-780.2009.

foundjangan doma soro, conception des murs en climat chaud et sec : minimisation de l'inconfort thermique dans les bâtiments a ventilation naturelle construits en brique de terre comprimée, MASTER Laboratoire Eco-Matériaux et Habitat Durable. (LEMHaD). 2020.

Humphreys, M.A. Thermal comfort temperatures world-wide – the current position. Renewable Energy, 8(1-4), 139-144.1996.

Celis-Mercier S. La température agréable : Manipulation des fenêtres et dynamique du confort environnemental dans une salle de classe climatisée naturellement. Thèse de maîtrise en sciences de l'architecture. Faculté d'aménagement, architecture et arts visuels, Université Laval : Canada.2009.

Hacker, J. et M.J. Holmes. Thermal Comfort: Climate Change and the Environmental Design of Buildings in the United Kingdom. Bu/7f Environment, 33(1), 97-114.2007.

De Dear, R. et G.S. Brager. Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference. ASHRAE Transactions, 104(1), 3-20.1998.

Cote M. Si le Souf m'était conté, comment se fait et se défait un paysage. Media plus. Constantine, 2006.

بن علي محمد الصالح. جماليات العمارة التقليدية بوادي سوف – حي الاعشاش نموذجاً 1400-2011 دراسة تاريخية ووصفية – الجزء الأول. مطبعة مزوار. الوادي. 2013.

Christian Z, Maison et société dans le monde arabe. In :l'homme, tome 15n2, 1975, pp.87-102.

Cote M. La ville et le désert, le bas Sahara algérien. Karthala et Ireman. Paris, 2005, pp.141-143.

Hamou M. Architecture musulmane et composante climatique : approche typomorphologique », thèse de magister en architecture. Institut d'architecture et d'urbanisme, université Mentouri de Constantine (1996).

Site web :

<http://www.international.icomos.org/publications/vernacular.htm>.

Christian Lassurance, L'architecture vernaculaire : essai de définition, site web : http://www.pierreseche.com/definition_av.html.

Nicolas Moutsopoulos, l'architecture vernaculaire voir : <http://www.icomos.org/en/home-doc/116-english-categories/resources/publications/303-isc-vernacular-architecture>.

http://www.pierreseche.com/definition_av.html.

Rapport Brundtland, 1987, site web : <https://www.are.admin.ch>.

Baklouli Naceur. L'architecture traditionnelle en Tunisie : l'habitat rural. Site web : <https://docplayer.fr>.

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Aridit%C3%A9>.

Site web: http://visibleearth.nasa.gov/view_rec.php?vev1id=11656.

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Aridit%C3%A9>.

Site web : www.etapes-marocaines.com.

Site web : <https://www.vitaminedz.com/>

Site web : cnra.dz.

Site web : <https://fr.freepik.com/photos-vecteurs-libre/ksar>.

<https://www.webmanagercenter.com>.

<https://www.atmzab.ne>.

www.archinet.com.

<http://www.unesco.org>.

site sur l'œuvre d'André Ravéreau. : [www. Aladar-assoc.fr](http://www.aladar-assoc.fr).

https://fr.wikipedia.org/wiki/30_St_Mary_Axe.

<https://www.energy.gov.dz>.

<https://energyplus.net/>.

www.arene.fr.

ADEREE : Agence nationale pour le Développement des Energies Renouvelables et de l'Efficacité Energétique.

ADEME : Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie.

<https://www.energy.gov.dz>.

<https://www.google.com/intl/fr/earth/>.

<http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/present.htm>.

<https://www.meteo.dz/>.

<https://www.infoclimat.fr/>

<https://www.meteoblue.com>

Les Annexes :

Charte psychométrique de Givoni :

Il permet de situer les actions passives et actives possibles pour créer une situation favorable au confort thermique. Les actions passives sont de quatre types :

- Des actions liées à la conception architecturale du bâtiment et à ses composant : masse thermique avec ou sans sur ventilation nocturne.
- Des actions liées à la ventilation transversale du bâtiment.
- Des actions liées aux refroidissements adiabatiques du bâtiment.
- Des actions liées aux systèmes de réchauffement solaire en hiver.

Les actions actives sont utilisées dans le périmètre extérieur ou les conditions sont les plus extrêmes en température ou en humidité, il s'agit de :

- Des actions actives de refroidissement
- Des actions actives de déshumidification.

Si les conditions climatiques de lieu ou de construction étaient toujours situées à l'intérieur du polygone de confort, on n'aurait besoin de construire des parois d'enveloppe que pour garder notre intimité, mais pas pour le confort thermique. Le diagramme bioclimatique trouve son utilité dès que les conditions climatiques s'écartent du polygone de confort : la distance qui sépare ces conditions des limites du polygone suggère dans le diagramme bioclimatique les solutions constructives et fonctionnelles (isolation de l'enveloppe, ventilation, inertie thermique, protection solaire, utilisation des systèmes passifs) qu'il faut adopter pour concevoir un bâtiment adapté. Il est construit sur un diagramme psychométrique appelé aussi diagramme de l'air, sur ce diagramme sont représentées :

La zone de confort hygrothermique tracée pour une activité sédentaire, une vitesse d'air minimale (en général 0.1m/s) et les tenues vestimentaires moyennes d'hiver et d'été.

L'extension de la zone de confort hygrothermique due à la ventilation par augmentation de la vitesse d'air de 0.1 à 1.5m/s

La zone de condition hygrothermique compensable par l'inertie thermique associée à la protection solaire et à l'utilisation d'enduits clairs.

La zone de condition hygrothermique compensable par l'inertie thermique associée à la protection solaire et à l'utilisation d'enduits clair que l'on cumule avec une ventilation nocturne.

La zone de condition hygrothermique compensable par l'utilisation de systèmes passive de refroidissement par évaporation :

La zone de condition hygrothermique qui nécessite l'humidification de l'air

La zone de condition hygrothermique compensable par une conception solaire passive du bâtiment

Les tableaux de Mahoney :

Les phases à suivre pour cette méthode par rapport à un site sont les suivantes :

Table 01 : température de l'air.

Les températures max, min et moyenne pour chaque moi sont introduites dans le tableau.

Table 02 : humidité, précipitation et vent

Les valeurs max, min et moyennes sont introduites et chaque mois est classé dans un type de (groupe de l'humidité).

Table 03. Condition de confort :

Le seuil souhaité, température maximale et minimale acceptable, sont introduits et comparés. Il faut noter si les conditions créent un stress thermique de chaud ou de froid par l'écart entre les températures extérieurs maximales et minimales acceptable.

Table 04 : indicateurs

Une certaine part des règles est fournie pour combiner le stress thermique et les conditions d'humidité table 02 et obtenir par moi six indicateurs qui s'additionnent pour donner une valeur par indicateur et par année.

Table 05 : recommandation sommaire et détails de conception

Avec les totaux annuels par indicateur une série de recommandation et de détails sont proposées, comme par exemple le pourcentage des ouvertures max dans l'ensemble des façades ou bien une toiture très massique et isolée.

Ces tableaux se basent sur l'analyse des données climatiques d'une région. Des indicateurs de « stress thermique » relatifs à l'humidité et à l'aridité du climat et ensuite des recommandations

architecturales convenables à cette région seront présentés grâce à cette analyse.

- A. Tableaux des données climatiques.
- B. Tableaux de diagnostic des données climatiques.
- C. Tableau des recommandations architecturales.

A. Les tableaux des données climatiques :

Ces tableaux incluent la température, l'humidité relative, la pluie et la direction du vent qui vont être classifiées comme suit :

Tableau 1A : Les Températures :

- a) Les moyennes mensuelles des températures maximales et minimales
- b) La plus élevée et la plus basse de ces températures moyennes maximales et minimales.
- c) La température annuelle moyenne « TAM » où $TAM = (la\ plus\ élevée + la\ plus\ basse) / 2$.
- d) L'écart diurne « E.D.T » qui sépare les moyennes mensuelles extrêmes en calculant la différence, pour le mois donné, entre la moyenne maximum et la moyenne minimum.
- e) L'écart annuel « EAT » où $EAT = (la\ plus\ élevée) - (la\ plus\ basse)$

Tableau 1A : Température de l'air.

Tableau 1A	Jan.	Fev.	Mars	Avr.		Oct.	Nov.	Déc.	La+haute	TAM
Moyen. Mensuelle Maxi										
Moyen. Mensuelle Mini.										
E.D.T.									La+basse	EAT

Tableau 2A : Humidité, Pluie, Vent :

- 9. Les moyennes mensuelles des humidités relatives (H.R) maximales et minimales.
- b) Les moyennes mensuelles des données ci-dessus pour chaque mois de l'année.
- c) Le groupe hygrométrique (G.H) correspondant à chaque mois de l'année, selon les définitions conventionnelles ci-dessous :

10. Moyenne	HR	G.H
Moins de 30%.....		1
30% à 50%.....		2
50% à 70%.....		3
Plus de 70%.....	4	

- 11. Les quantités mensuelles de précipitations en millimètre, et la somme de ces quantités pour obtenir la quantité annuelle correspondante.
- Les directions des vents dominant et secondaire.

Tableau 2A : Humidité, Pluie, Vent :

Tableau 2A		Jan.	Fev.	Mars		Oct.	Nov.	Déc.	G.H 1: <30% 30– 2. 50% 50– 3: 70% 4: >70%
Hum. Relative Maxi.									
Hum. Relative Mini.									
Moyenne									
Groupe (G.H)									
									Total Annuelle
Pluie (mm)									mm
Vent (direction)	Dominant								
	Secondaire								

B. Les tableaux de diagnostic des données climatiques :

Dans cette étape, d'après la TAM et les G.H obtenus plus haut pour chaque mois, on introduit les limites du confort diurne et nocturne en se basant sur les données suivantes, du tableau suivant :

Les limites de confort diurne et nocturne :

		TAM>20°C				15°<TAM<20°C				TAM<15°C					
		G.H		Jour		Nuit		Jour		Nuit		Jour		Nuit	
Humidité	Groupe	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min
0-30%	1	26	34	17	25	23	32	14	23	21	30	12	21		
30-50%	2	25	31	17	24	22	30	14	22	20	27	12	20		
50-70%	3	23	29	17	23	21	28	14	21	19	26	12	19		
70-100%	4	22	27	17	21	20	25	14	20	18	24	12	18		

On observe que les limites de confort de jour et de nuit correspondent respectivement aux moyennes mensuelles des températures maximales et minimales.

Ensuite, on introduit les stress thermiques (du jour et de la nuit) pour chacun des douze mois en se conformant aux notations suivantes :

Chiffres supérieurs à la limite du confort.....C (trop chaud ou torride).

Chiffres compris entre les limites du confort..... Confort).

Chiffres inférieurs à la limite du confort.....F (trop froid)

Tableau 1B : Diagnostic relatif au stress thermique.

Tableau 1B		Jan.	Fev.	Mars		Oct.	Nov.	Déc.	TAM
Moyen. Mons. Max									
Confort Diurne	Max								
	Min								
Stresse thermique, jour									
Moyen. Mons. Min									
Confort Nocturne	Max								
	Min								
Stresse thermique, nuit									

C = trop chaud
 — = Confort
 F = trop froid

Le dernier tableau de ce groupe est celui des indicateurs. Ces indicateurs se partagent en deux parties relatives aux conditions hygrométriques : d'une part l'humidité « H » et d'autre part l'aridité ou la sécheresse « A ». Pour chacune de ces parties, il y a trois indicateurs :

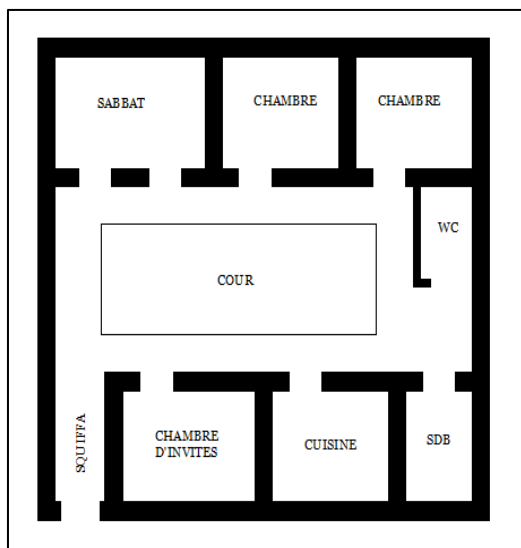
Tableau 2B : les indicateurs.

Tableau 2B	Jan	Fev	Mar		Oct	Nov	Déc	Total
H1: ventilation essentielle								
H2: ventilation désirable.								
H3: protection contre pluie								
A1: inertie thermique.								
A2: dormir dehors.								
A3: problème saison froide								

L'ensemble de ces indicateurs va définir le cadre des solutions « Recommandations » dans le dernier groupe. La grille de référence suivante explicite les critères nécessaires pour bien remplir le tableau précédent par les indicateurs appropriés à chaque mois.

Les échantillons d'habitation testés:

Model HV1, Source Auteur :



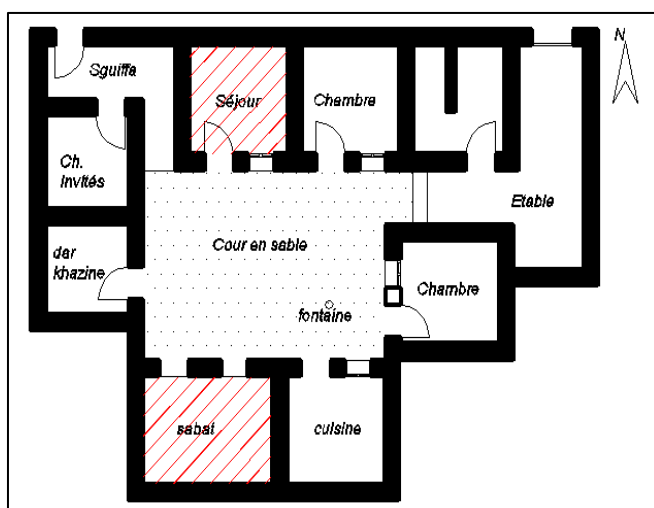
* Vue en plan.

*Localisation



Vues générales.

MODEL HV2, Source Auteur :



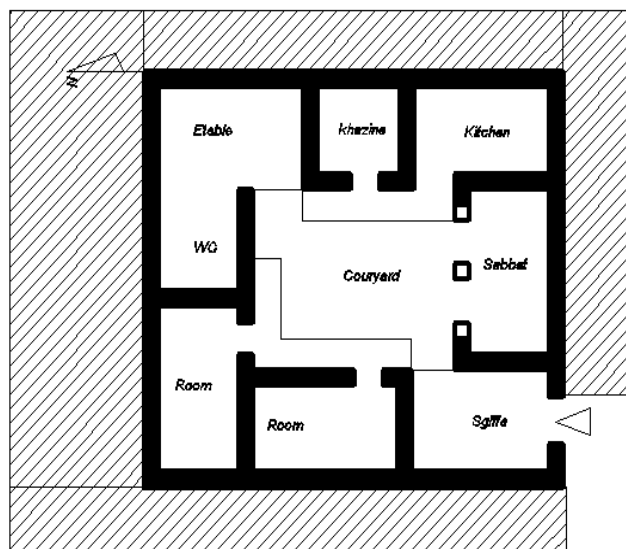
*Vue en plan.

Localisation



Vues générales.

MODEL HV3, Source Auteur :

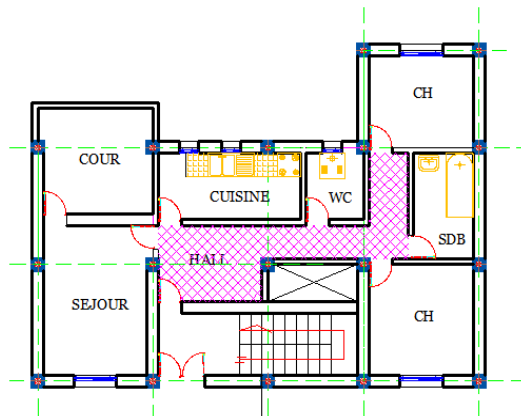


Vue en plan.



Des vues générales.

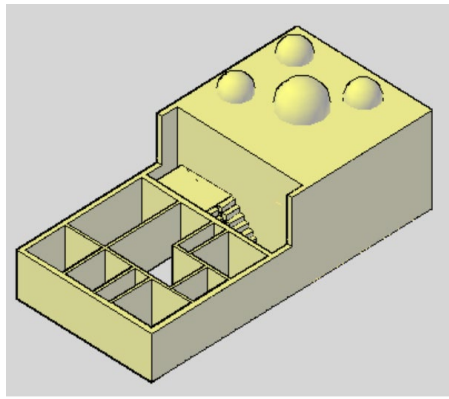
MODEL LC1, Source Auteur :



Vue en plan.

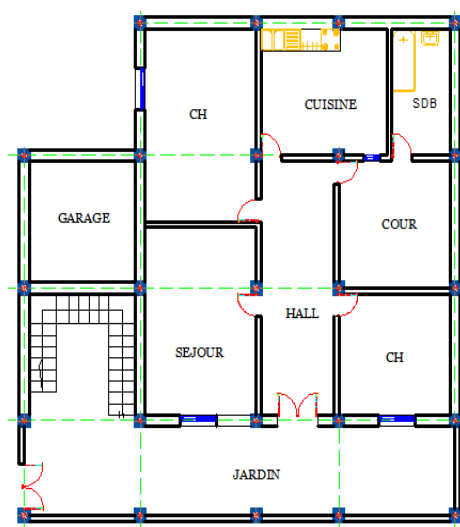


Localisation



Des vues générales.

MODEL HC2, Source Auteur :



Vue en plan

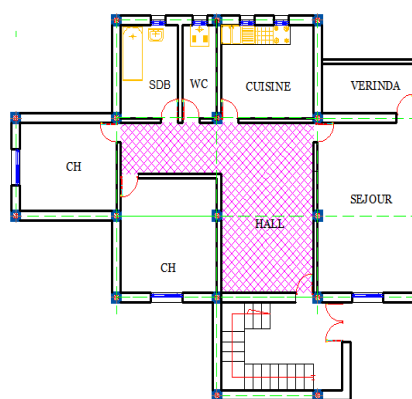
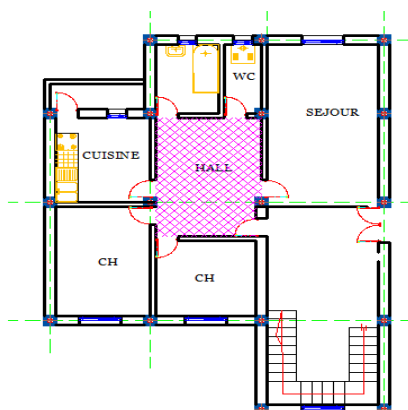


plan de situation.



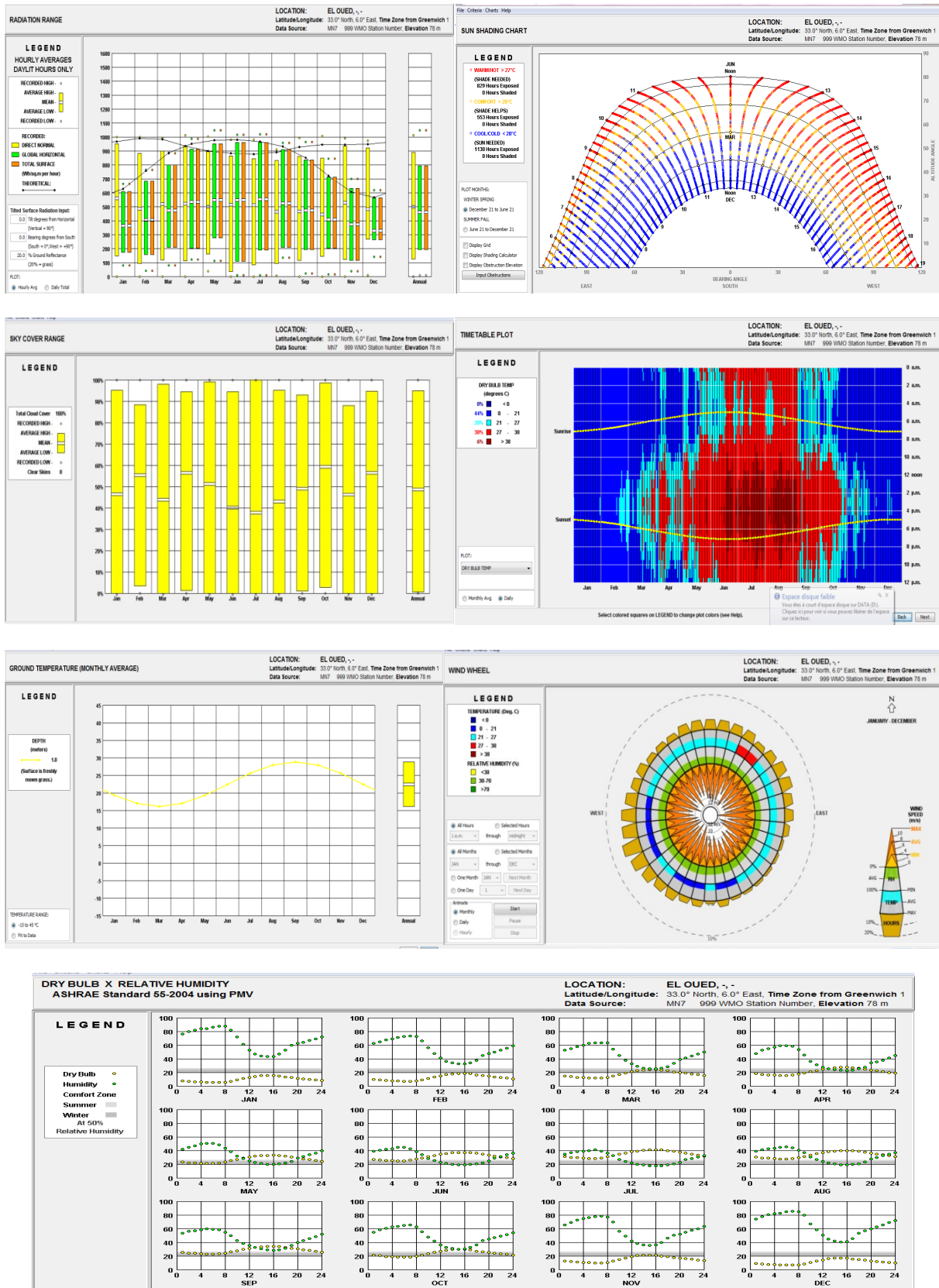
Vues générales.

Logement rajoutés pour questionnaire au temps de mesure :

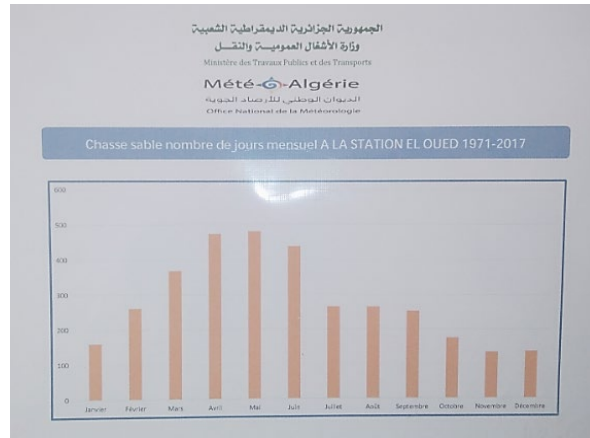
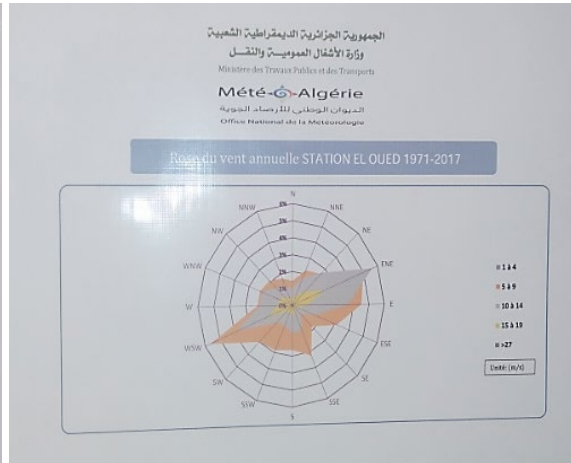
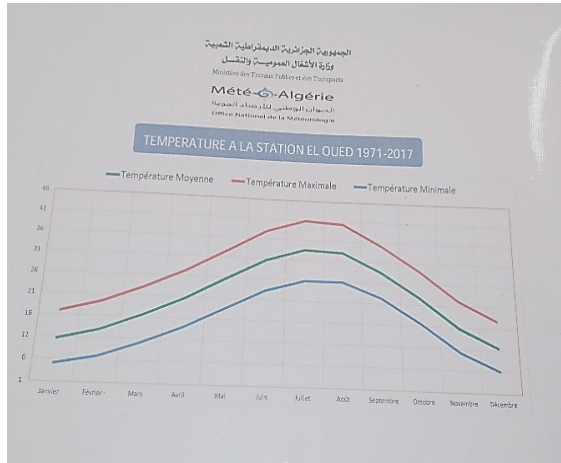


Fichiers thermiques :

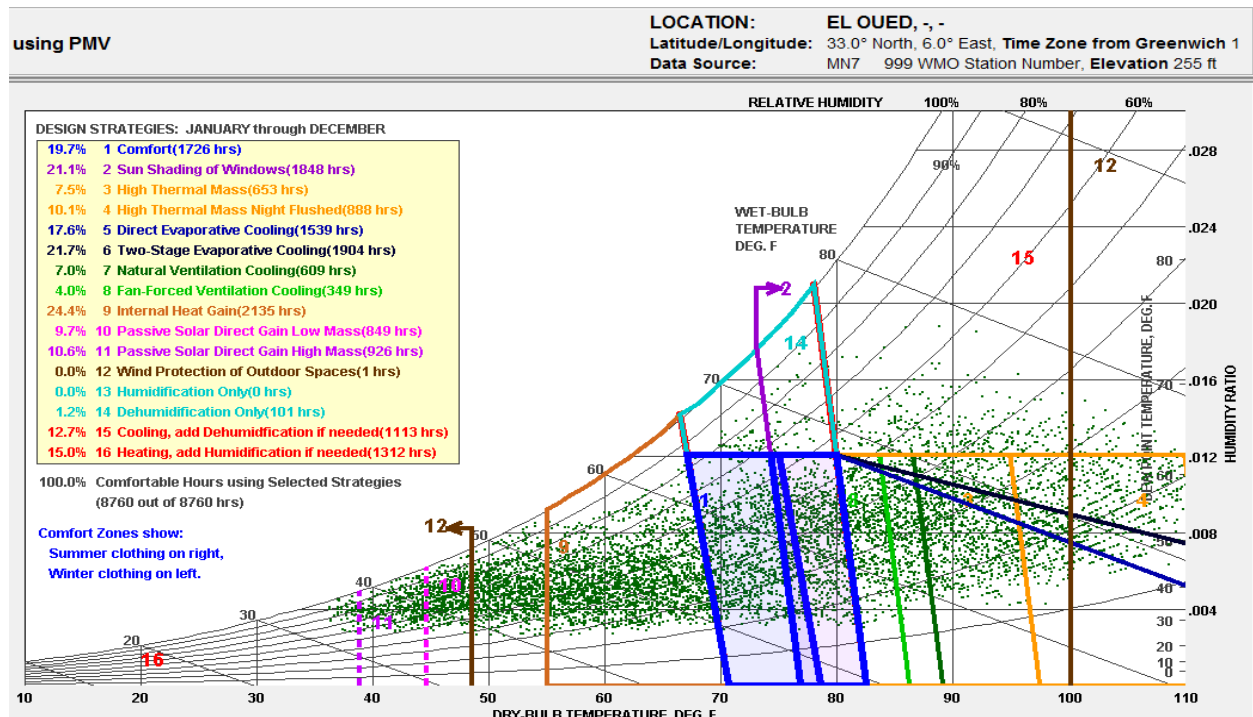
Données par simulation en Climate- consultant interface :



Données de la station météorologique, Guemar Oued Souf.2019.

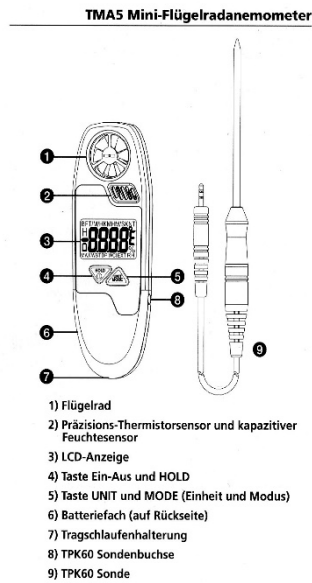
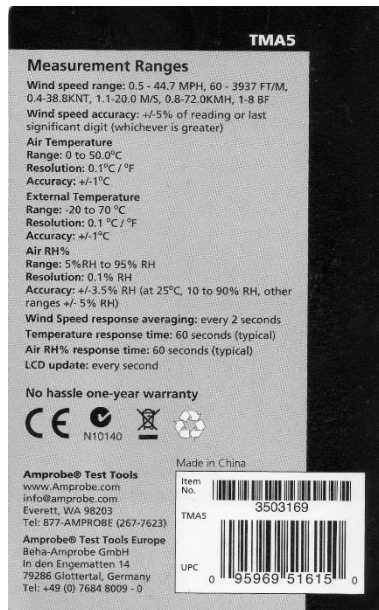


Graphe psychométrique :

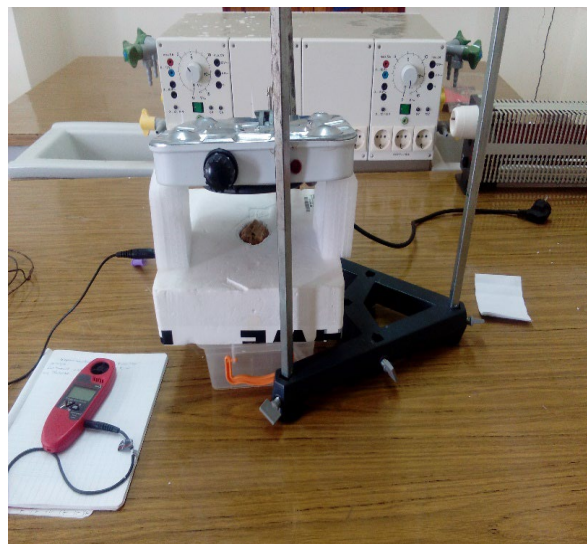


L'instrument utilisé :

Fiche technique : type anémomètre TMA5.



Montage expérimental : essais de conductivité sur la pierre de rose de sable.



Tableaux détaillé d'Isolation thermique en(clo) :

L'isolement thermique des différents articles vestimentaires (clo)							
FEMMES	léger	moyen	épais	HOMMES	léger	moyen	épais
Sous-vêtements, bas	0,04	0,04	0,06	Sous-vêtements, bas	0,03	0,04	0,04
Sous-vêtements, haut	0,01	0,05	0,14	Sous-vêtements, haut	0,06	0,08	0,08
T-shirt	0,08	0,1	0,12	T-shirt	0,1	0,12	0,12
Bustier	0,06	0,06	0,13	Polo	0,17	0,17	0,17
Chemisier courte manche	0,12	0,19	0,25	Chemisier courte manche	0,19	0,25	0,25
Chemisier longue manche	0,21	0,25	0,34	Chemisier longue manche	0,21	0,29	0,33
Pantalon	0,17	0,22	0,28	Pantalon	0,18	0,24	0,28
Short	0,08	0,11	0,11	Short	0,08	0,11	0,11
Robe	0,23	0,29	0,4	Gilet	0,13	0,23	0,29
Jupe	0,14	0,18	0,23	Pull	0,25	0,36	0,54
Pull	0,25	0,36	0,54	Veste	0,36	0,4	0,44
Veste	0,24	0,39	0,48	Cravate			
Chaussettes	0,02	0,03	0,06	Chaussettes	0,02	0,03	0,06
Chaussures	0,02	0,03	0,05	Chaussures	0,02	0,03	0,05

Fiche de questionnaire Le sondage effectué en ligne est élaboré à la base de ce format :

قدمت هذه الوثيقة في إطار بحث أكاديمي حول الرفاهية الحرارية للمساكن بولاية وادي سوف . نرجو منكم ملئها بكل شفافية و لكم منا جزيل الشكر و الاحترام

استبيان حول الرفاهية الحرارية حول السكنات بولاية وادي سوف

نوع السكن	سكن تقليدي ☐	سكن حضري ☐
	سكن جماعي ☐	سكن فردي ☐
اسم الحي فقط دون تفصيل		
رقم الطابق		
الوجهة الأساسية	الشمال ☐ الشمال الشرقي ☐ الشرق ☐ الجنوب الشرقي ☐ الجنوب ☐ الجنوب الغربي ☐ الغرب ☐	
نوع مسخن المياه	غاز ☐ كهرباء ☐	
الجنس	ذكر ☐ أنثى ☐	
العمر	أكثر من 65 ☐ 30-60 ☐ 18-30 ☐ 0-18 ☐	
عدد الأفراد الساكنة في المنزل	0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ أكثر من 4 ☐	
العمر	من 0-15 ☐ من 16-30 ☐ من 31-65 ☐	
في أي وقت تتواجدون في المنزل	كل أيام الأسبوع ☐ الجمعة ☐ السبت ☐	
	9-12h ☐ 12-14h ☐ 14-18h ☐ 18-20h ☐ 20-9h ☐	
في كل الفصول		

من الناحية الحرارية هل تجدون منزلکم مريحاً نعم في كل الفصول ☐ نعم الا..... حدد الفصل ☐ لا ☐	
فصل الصيف	
من خلال تجربتكم في فصل الصيف ماهي الغرفة الأكثر سخونة Salle de Bain ☐ المطبخ ☐ غرفة الجلوس ☐ غرفة النوم ☐ الغرف حدد توجيه الغرفة ☐	من خلال تجربتكم في فصل الصيف ماهي الغرفة الأكثر سخونة
من خلال تجربتكم في فصل الصيف ماهي الغرفة الأكثر برودة Salle de Bain ☐ المطبخ ☐ غرفة الجلوس ☐ غرفة النوم ☐ الغرف حدد توجيه الغرفة ☐	من خلال تجربتكم في فصل الصيف ماهي الغرفة الأكثر برودة
كيف تجدون غرفة الجلوس في فصل الصيف باردة جداً ☐ باردة ☐ نوعاً ما باردة ☐ جيدة ☐ نوعاً ما ساخنة ☐ ساخنة ☐ ساخنة جداً ☐	كيف تجدون غرفة الجلوس في فصل الصيف
في فصل الصيف ماذا تستعملون للتبريد	
نعم ☐ لا ☐	تفتحون النوافذ
الصباح ☐ منتصف النهار ☐ المساء ☐ الليل ☐ عند الشعور بالحر ☐	إذا كان الجواب نعم حددوا الوقت
نعم بمعدل كبير ☐ نعم بمعدل متوسط ☐ لا يوجد ☐	عند فتح النوافذ هل يوجد تيار هوائي
نعم بمعدل كبير ☐ نعم بمعدل متوسط ☐ لا ☐	هل تجدون هذا مزجاً
نعم في كل الغرف نعم في الغرفة التي اتواجد بها	
هل تغلقون النوافذ أم تستعملون ستائر واقية لاشعة الشمس	
نعم ☐ لا ☐	هل تستعملون للتبريد ventilateur
نعم ☐ لا ☐	إذا كان الجواب نعم هل يساهم في تلطيف الجو
نعم ☐ لا ☐	هل تستعملون Climatiser
مرتفعة جداً ☐ مرتفعة ☐ معقولة ☐	كيف تجدون تسعيرة الكهرباء في فصل الصيف

فصل الشتاء						
من خلال تجربتكم في فصل الشتاء ماهي الغرفة الأكثر دفء	Salle de Bain	المطبخ	غرفة الجلوس	غرفة النوم	الغرف حدد توجيه الغرفة	
	☐	☐	☐	☐	☐	
من خلال تجربتكم في فصل الشتاء ماهي الغرفة الأكثر برودة	Salle de Bain	المطبخ	غرفة الجلوس	غرفة النوم	الغرف حدد توجيه الغرفة	
	☐	☐	☐	☐	☐	
كيف تجدون غرفة الجلوس في فصل الشتاء	باردة جدا	باردة	نوعا ما باردة	جيدة	نوعا ما ساخنة	ساخنة جدا
	☐	☐	☐	☐	☐	☐
ماذا تستعملون للتسخين						
مدفئة	نعم	لا				
	☐	☐				
مكان تواجد	غرفة الجلوس	غرفة النوم	الغرف مع تحديد التوجيه			
إذا كان اجواب نعم فما هو نوعه	Radiateur ☐ Gaz ☐					
هل تغلقون النوافذ بالليل	نعم	لا				
	☐	☐				
هل تفتحون النوافذ في الصباح للاستفادة من اشعة الشمس	نعم	لا				
	☐	☐				
هل تفتحون النوافذ في الصباح للتهوية	نعم	لا				
	☐	☐				
هل تلبسون لباس شتوي داخل المنزل	نعم	لا				
	☐	☐				
هل تخفضون درجة المدفئة عندما تكونون خارج المنزل	نعم	لا				
	☐	☐				
كيف تجدون تسعيرة الغاز في فصل الشتاء	مرتفعة جدا	مرتفعة	معقولة			
	☐	☐	☐			

تعليق خاص بكم . يسرنا ان تشاركونا اراكم في مايخص هذا الموضوع و ان تساهمو في تحسين الرفاهية الحرارية بالسكنات .

.....

Sondage en ligne :

Rubrique 1 sur 8

استبيان حول الرفاهية الحرارية للسكان بولاية وادي سوف

قدمت هذه الوثيقة في إطار بحث أكاديمي حول الرفاهية الحرارية للسكان بولاية وادي سوف. نرجو منكم ملئها بكل شفافية و لكم منا جزيل الشكر و الاحترام

Après la section 1 Passer à la section suivante

Rubrique 2 sur 8

المحور الوصفي

Description (facultative)

Lien :

https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfgWq4lCJxlNh3QesBxZYlhQkTaHeiEhzjXCllJTwh8IrYzRQ/viewform?usp=sf_link

<https://forms.gle/eTSNtB4EnHm5pTtz7>