

**EVALUATION ENVIRONMENTAL STRATEGIES IN A SEMI-ARID REGION :
CASE OF THE 50 DUPLEX DWELLINGS OF THE EL-MINIAWY BROTHERS IN
M'SILA**

S. Kersenna*, S. Chaouche, M. Bencherif

Laboratoire Urbanisme et Environnement, Faculté D'architecture & D'urbanisme, Université
Salah Bounider Constantine 3, Algérie

Received: 26 March 2020/ Accepted: 25 September 2020 / Published online: 01 January 2021

ABSTRACT

This study aims to evaluate the 50 duplex dwellings of the El Miniawy brothers in M'Sila, using methods of analysis of environmental strategies in order to verify their application by the architects in the construction of these dwellings. A duplex dwelling was selected to undertake an analysis using a mixed methodological approach, combining a qualitative and quantitative method, some of whose strategies were evaluated using the EnergyPlus software and validated by in situ measurements. The results showed that duplex housing has been subject to the application of the strategies in question. We therefore deduce that the construction is efficient and that it ensures the comfort of the user and reduces the negative environmental impact.

This study could constitute an alternative for architects, building designers, planners and decision-makers in order to encourage them to adopt these neo-vernacular environmental strategies of El Miniawy in the development of similar projects in M'sila, and to launch other projects with a contemporary vernacular character.

Keywords: Neo-vernacular architecture, Environmental strategies, The El Miniawy brothers; Mixed methods; EnergyPlus simulation, M'sila.

Author Correspondence, e-mail: soumaya.kersenna@univ-constantine3.dz

doi: <http://dx.doi.org/10.4314/jfas.v13i1.7>

1. INTRODUCTION

L'architecture néo-vernaculaire désigne un nouveau type de bâtiments créés par des concepteurs modernes, qui interprètent quelques aspects durables de l'architecture vernaculaire traditionnelle ancestrale. Les créateurs de ce mouvement architectural ont soigneusement développé de nouvelles stratégies environnementales variant d'une région à une autre. Ces stratégies ne se limitent pas seulement à l'utilisation des matériaux locaux mais à un ensemble de stratégies environnementales, pour garantir un confort agréable aux usagers et limiter les impacts environnementaux négatifs du bâtiment [1].

En Algérie, ce style a été adopté dès l'indépendance par quelques architectes étrangers, de renommée internationale, qui ont été sollicités par le gouvernement et ont choisi de s'installer et d'exercer en ce pays. Cependant, l'aspect le plus critiqué de cette architecture moderne était sa standardisation, son internationalisation et sa négligence du contexte local. Malgré cela, certains d'entre eux ont poursuivi la réalisation des œuvres contextualisées à l'instar de deux architectes égyptiens, Hany et Abderrahmane El Miniawy, dans la région de M'sila. Il s'agit des 50 logements duplex où ces derniers ont produit une architecture néo-vernaculaire qui place l'homme et son environnement local au centre de sa préoccupation [2,3].

Suite à l'abandon des structures ancestrales en terre et en bois, le phénomène de modernisation qui s'est manifesté par l'utilisation excessive du béton armé, d'acier et du verre, a considérablement bouleversé les procédés de construction, plaçant ainsi la production du logement dans une logique de standardisation [4]. Ces matériaux, privilégiés par les organismes chargés du logement en tant que raccourci vers la préfabrication lourde de grands ensembles résidentiels, ne s'adaptent pas aux exigences climatiques et environnementales de M'sila. Ainsi, l'inadaptation des constructions a généré une surconsommation énergétique en matière de chauffage et de climatisation pour atteindre le seuil du confort souhaité [5].

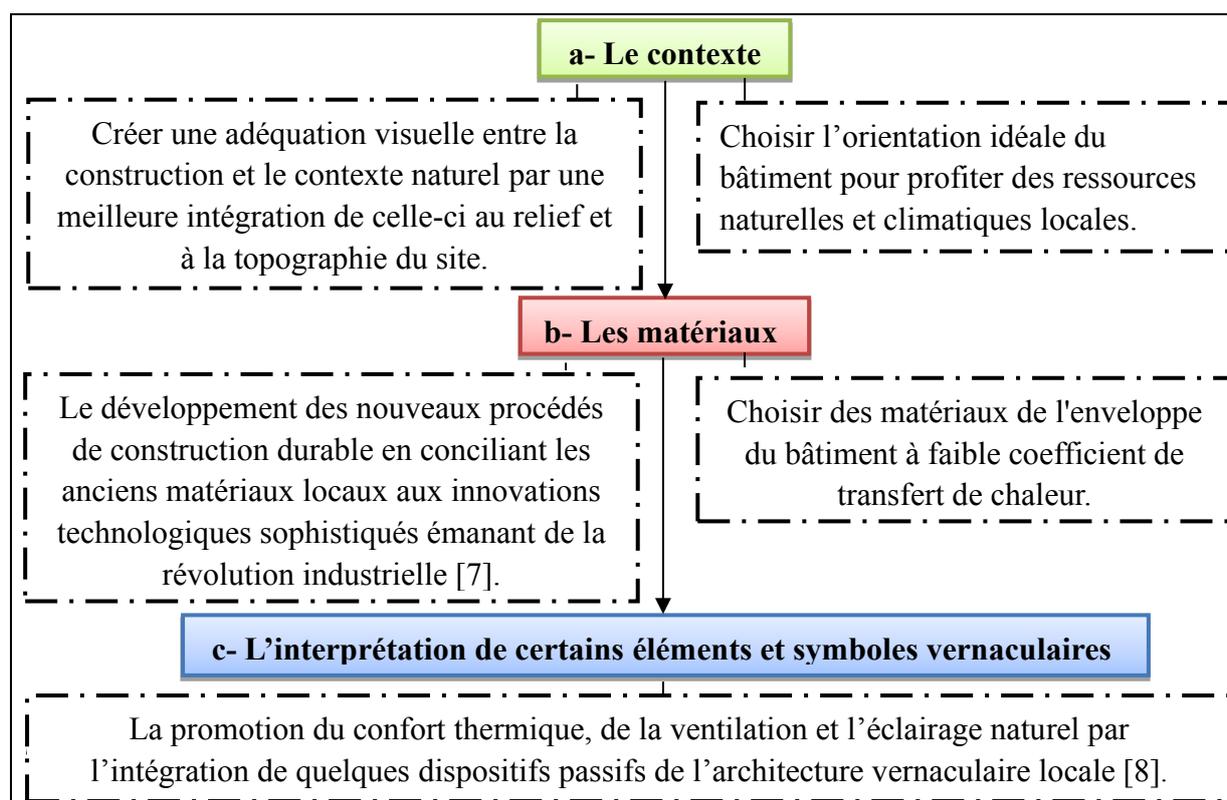
A cet effet, nous proposons dans ce papier, l'évaluation des 50 logements duplex, selon une méthode d'analyse des stratégies environnementales où nous utilisons la simulation réalisée avec le logiciel EnergyPlus (Version V9-1-0). Ensuite, nous vérifions si ces stratégies environnementales néo-vernaculaires ont été appliquées réellement par El Miniawy et nous démontrons l'efficacité de ces stratégies dans la réalisation de bâtiments respectueux de

l'environnement local. Par ailleurs, notre étude vise à élaborer des synthèses qui nous permettent d'envisager de futures recommandations aux spécialistes du bâtiment.

2. REVUE DE LITTERATURE

2.1. Développement des stratégies environnementales de « l'architecture néo-vernaculaire »

Clé de la réussite de tout projet, les caractéristiques environnementales et climatiques locales imposent le choix des matériaux et les techniques constructives. Ainsi, l'exécution d'un bâtiment en harmonisation avec l'environnement local, nécessite l'étude précise des données géo-naturelles, météorologiques et l'interprétation des principes de l'architecture vernaculaire de la région, en vue d'une conception architecturale appropriée [6]. Certaines stratégies environnementales d'une architecture néo-vernaculaire se résument selon la figure 1.



Source : Auteurs, 2019

Fig.1. Les stratégies environnementales de l'architecture néo-vernaculaire

2.2. Approche d'évaluation des stratégies environnementales

Sur les nombreuses recherches qui ont été menées sur la question d'évaluation des stratégies environnementales, il y a le projet de recherche VerSus [9] de Linda Candy qui a testé la théorie d'Amos Rapoport : l'architecture vernaculaire comme modèle de conception contemporaine [10], et le travail de thèse de Salman Al-Zubaidi ; le potentiel de la durabilité de l'architecture traditionnelle dans le monde arabe [11]. Dans chaque travail l'approche adoptée est différente, en vue d'entreprendre les stratégies environnementales à intégrer dans l'évaluation des projets d'architecture néo-vernaculaire dont certains principes relatifs à ces stratégies figurent dans le tableau 1.

Table 1. Les principes relatifs aux stratégies environnementales de trois modèles

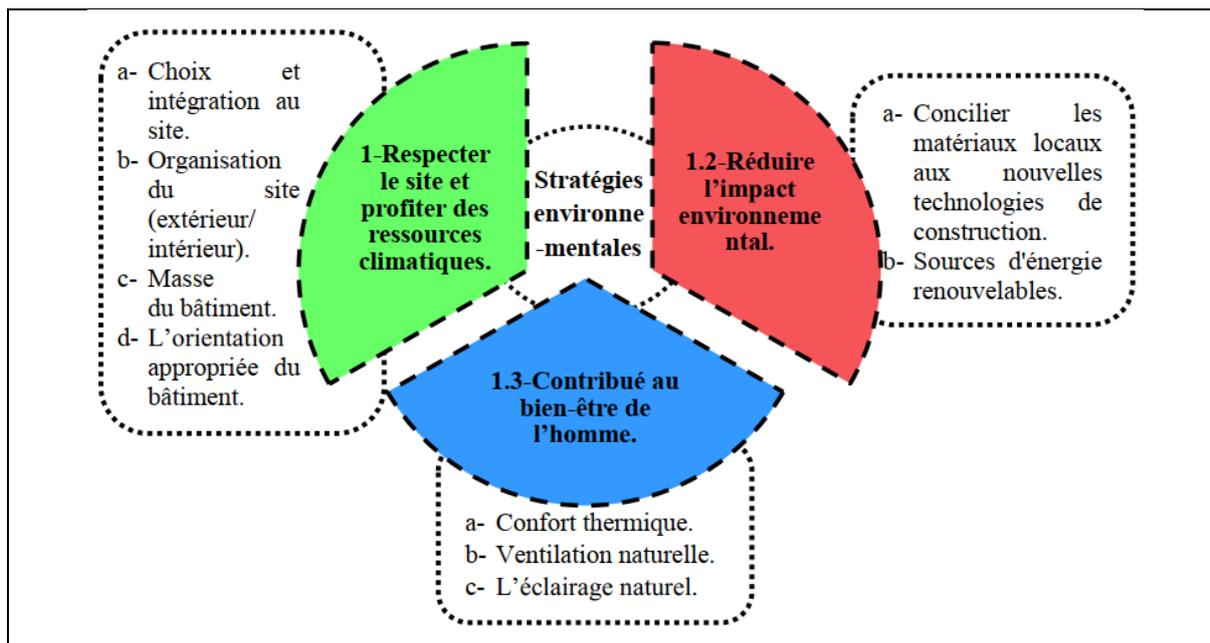
Les stratégies environnementales					
Le modèle VerSus	1-Respecter le contexte environnemental et le paysage.	Le modèle de Day Heidi	1- Paysage	Le modèle de Maha Sabah Salman Al-Zubaidi	1-Site.
	2-Profiter des ressources naturelles et climatiques.		2- Matériel		2-Energie.
	3-Réduire la pollution et les déchets.				3-Ressources.
	4-Contribuer à la santé et au bien-être de l'homme.				4-Environnement intérieur.
	5-Réduire les effets des dangers naturels.				5-Eau.
					6-Déchets.

Source : [9-11], Interprétation des auteurs,2019

3. MÉTHODOLOGIE

3.1 Combinaison de méthodes

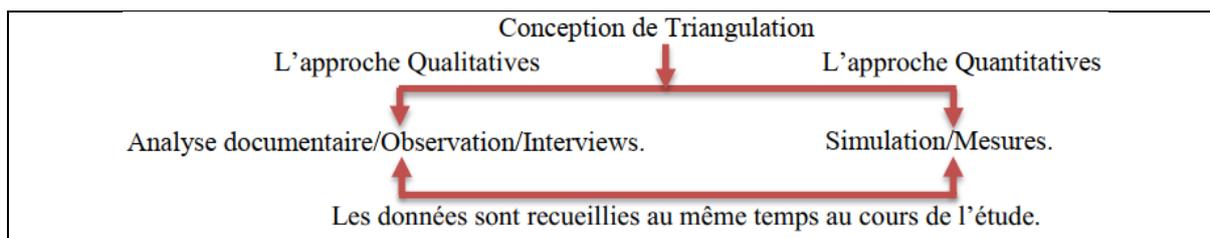
Le profil des stratégies environnementales que nous avons mises en œuvre dans l'évaluation des 50 logements duplex, ont été sélectionnées en combinant les trois modèles mentionnés ci-dessus. Nous soulignons que les principes d'évaluation retenus sont ceux appartenant aux trois modèles à savoir : le respect du site et le profit des ressources climatiques, la réduction d'impact environnemental et la contribution au bien-être de l'homme (Fig. 2). En revanche, les principes observés dans l'une des méthodes ont été exclus de cette recherche (Réduction des effets dus aux dangers naturels, Eau et Déchets).



Source : Auteurs,2019

Fig.2. Schéma récapitulatif des stratégies environnementales retenues

Au cours de la sélection de ces stratégies environnementales, il a été constaté que les outils d'analyse variaient en fonction du type de stratégie. A cet effet, nous optons pour l'approche des méthodes mixtes définies par Creswell. La méthode donne la possibilité aux chercheurs de converger à la fois les données qualitatives et quantitatives pour fournir une analyse complète du problème de recherche [12], (Fig. 3).

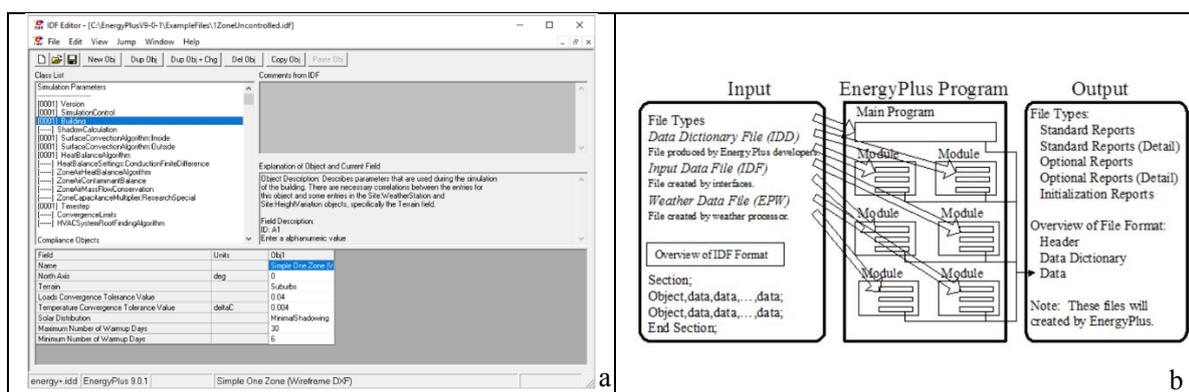


Source : Auteurs,2019

Fig.3. Flux de travail de la recherche

Par le biais des méthodes mixtes, certaines stratégies pourraient être vérifiées directement à travers des observations, des sorties sur terrain, des photographies ainsi des lectures précises, afin de décrire le phénomène architectural. Bien que d'autres nécessitent des simulations numériques (Trois paramètres ont été choisis afin d'évaluer le confort thermique, la ventilation naturelle et l'éclairage naturel à savoir : la température ambiante de l'air, la

vitesse de l'air et l'éclairement) à l'aide du logiciel EnergyPlus (V9-1-0), (Fig. 4). Ce logiciel s'avère plus adapté pour la conformité des objectifs de notre étude, étant donné qu'il a démontré sa performance et sa précision dans l'évaluation des paramètres thermiques à travers de nombreuses validations. Il s'agit d'un outil de simulation thermique dynamique, qui permet un large éventail d'analyses du confort thermique, de traiter du multizone, de gérer la ventilation et l'éclairage naturel [13]. De nombreux chercheurs [14–18] ont aussi utilisé ce logiciel pour évaluer les configurations de conception requise dans leurs études.



Source : [19-20]

Fig.4. a- L'interface du logiciel EnergyPlus, b- Présentation des entrées / sorties EnergyPlus

En outre, les résultats de simulations ont été validés par une prise de mesures à l'aide d'un Enregistreur de données climatiques (TROTEC, BL30) pour mesurer la température ambiante de l'air et un Luxmètre (TROTEC, BF06) pour mesurer l'éclairement (Fig. 5).



Source : Auteurs, 2019

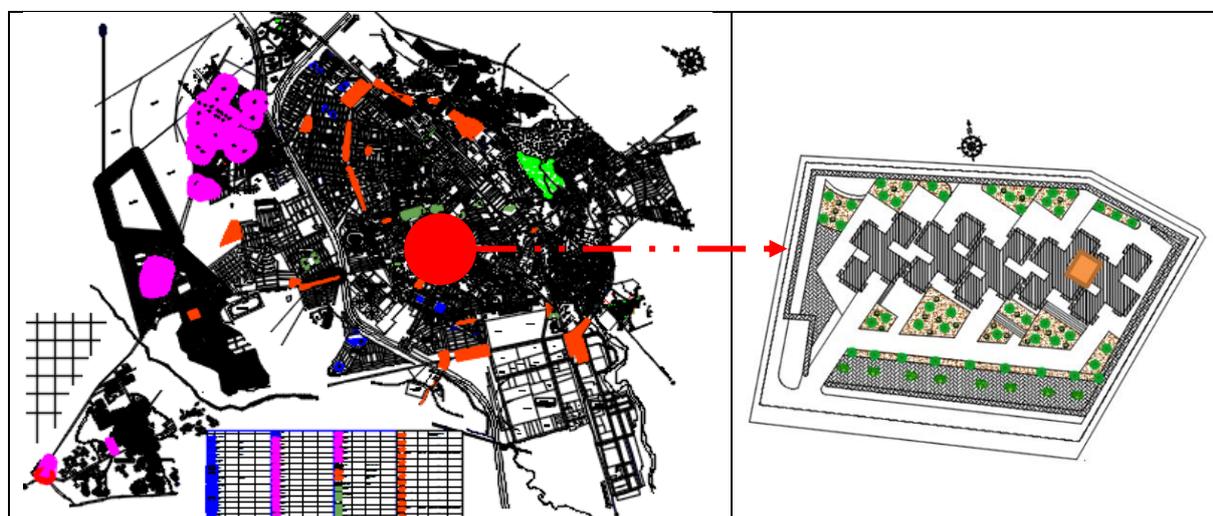
Fig.5. Instruments de mesure ayant servi pour les campagnes de mesures sur le site d'étude

Concernant le fait que seuls les plans des bâtiments étaient disponibles, des interviews auprès des ingénieries ayant participé à la réalisation de ces logements, serviraient à reconnaître les volumes et les matériaux constituant l'enveloppe des bâtiments.

3.2 Présentation de cas d'étude

Les 50 logements duplex, furent construits en 1979 par les architectes égyptiens El Miniawy. Ces logements se situent exactement au Nord-Est de la région de M'sila. L'idée principale de la conception de ces bâtiments était de proposer des solutions de construction technique BTS (Béton de terre stabilisé) afin d'implanter des modèles de construction qui s'intègrent parfaitement à l'environnement local de M'sila, tout en luttant contre l'invasion des modèles standards [21]. Les concepteurs ont également exploité l'élément « cour » omniprésent dans les anciennes maisons de la région. Toutes ces solutions et techniques constructives appliquées dans la réalisation de ces logements, les rendent idéaux pour l'étude de cas.

La figure 6 présente le plan de masse du logement choisi pour l'étude de cas. Celle-ci a été sélectionnée parmi tant d'autres, car il est le seul à garder son état initial, le logement étudié est de type F 5 aménagé sur un plan de forme carrée et d'un volume cubique.

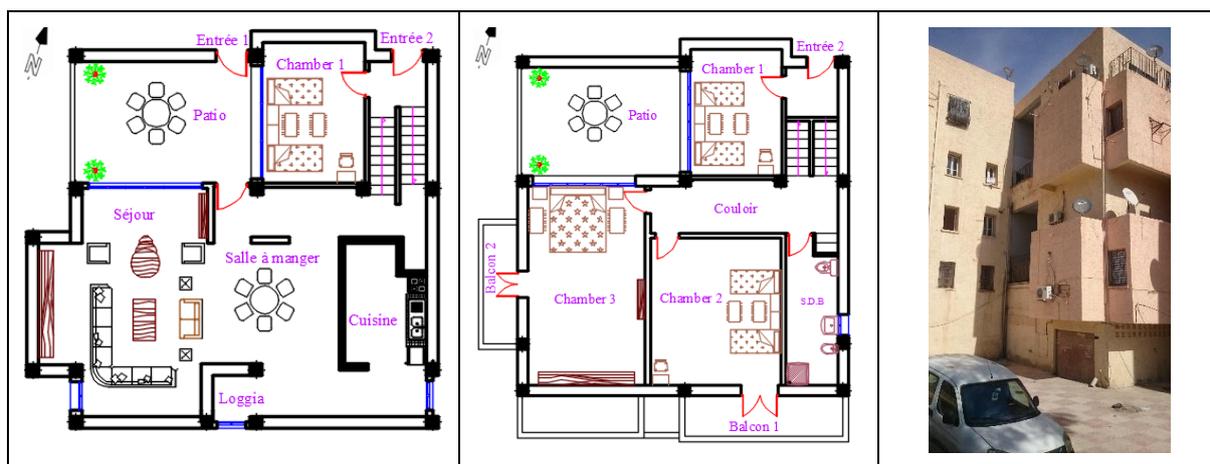


Source : Auteurs, 2019

Fig.6. Localisation du logement duplex choisi

Il se compose de trois niveaux articulés autour d'une petite cour semi-ouverte. Le niveau inférieur est utilisé comme un espace d'activité constitué d'une cuisine annexée par une loggia, deux espaces polyvalents, un séjour et une salle à manger. Alors que le niveau supérieur regroupe l'ensemble des espaces de nuit ; deux chambres de surface variées, la salle de bain et

d'autres annexes. Le niveau intermédiaire comporte la chambre d'invités (Fig. 7).

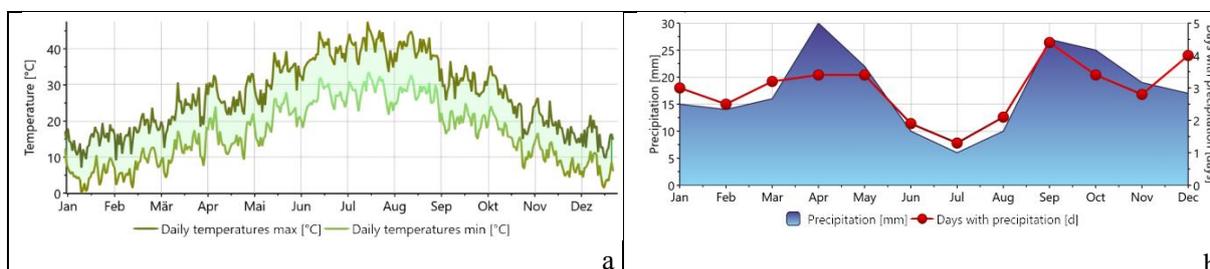


Source : Auteurs,2019

Fig.7. Plans et façade du logement

3.3 Climat de M'sila : dominance du type présaharien

En raison de sa situation, la ville de M'sila est dominée par un climat de type présaharien. Il est caractérisé par un été sec et chaud, alors que l'hiver est très froid. Le graphe suivant montre les taux de températures journalières de la ville sur toute l'année. La température hivernale la plus basse enregistrée en mois de janvier était de 6°C avec des températures nocturnes allant jusqu'à 5°C , tandis que, la température estivale la plus élevée enregistrée en mois de juillet était de 40°C , avec des températures nocturnes allant de 20 à 24°C . Sur le plan pluviométrique, le volume des précipitations mensuelles varie considérablement d'une année à l'autre, la chute la plus importante a été enregistrée au mois d'avril (30mm) et le pourcentage le plus faible enregistré au mois de juillet (7 mm), (Fig. 8).



Source : <https://go.meteotest.ch/meteonorm-license>

Fig. 8. a- Graphe des températures de l'air à M'Sila, b- Graphe de précipitation

D'autres données climatiques nécessaires pour l'analyse ont été présentées dans le tableau 2 tel que la température de l'air, la température du point de rosée, la pression de l'air, la direction et

la vitesse du vent et la luminance globale.

Par conséquent, un fichier climatique de la ville en question a été téléchargé sur le site web du logiciel meteonorme sous format "epw" et intégré dans le logiciel Energyplus.

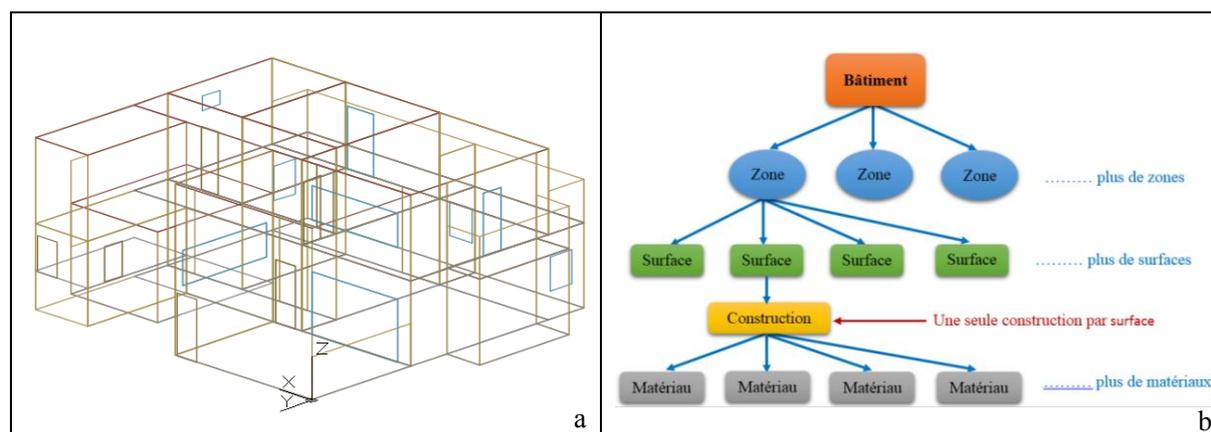
Table 2. D'autres données climatiques nécessaires pour l'analyse

Mois	Ta	Td	P	DD	FF	Lg
L'unité	[°C]	[°C]	[hPa]	[deg]	[m/s]	[W/m2]
Janvier	9.8	3.0	958	248	3.2	13943
Février	12.0	2.4	959	270	3.4	16643
Mars	16.6	3.9	960	270	4.0	23787
Avril	20.1	4.5	960	270	4.7	27673
Mai	25.6	8.2	961	269	3.9	32388
Juin	31.5	9.3	962	68	3.4	35094
Juillet	34.9	11.1	963	68	2.9	36070
Aout	33.7	11.7	962	68	2.7	32345
Septembre	27.2	12.3	961	69	2.7	25371
Octobre	22.3	10.7	961	270	2.2	19971
Novembre	14.9	6.3	959	270	2.9	15057
Décembre	10.9	4.7	959	270	3.2	12058

Source : <https://go.meteotest.ch/meteonorm-license>

3.4 Description du modèle de simulation

La création de la géométrie de notre modèle d'étude a été effectuée au moyen du logiciel EnergyPlus (V9-1-0) qui permet de diviser la construction en une série d'espaces individuels appelés «zones» comme le démontre la figure 9.



Source : Auteurs, 2019

Fig. 9. a- Le modèle 3D EnergyPlus du bâtiment, b- Hiérarchie des composants d'enveloppe

Par ailleurs, la simulation réalisée par ce logiciel tient compte de l'ensemble des paramètres relatifs au bilan thermique, notamment les propriétés thermo-physiques des matériaux de construction, la masse volumique, la conductivité thermique et la chaleur spécifique (tableau 3).

Table 3. Caractéristiques thermo-physiques des matériaux

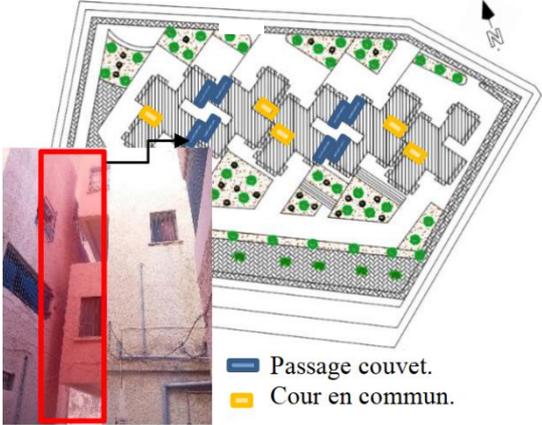
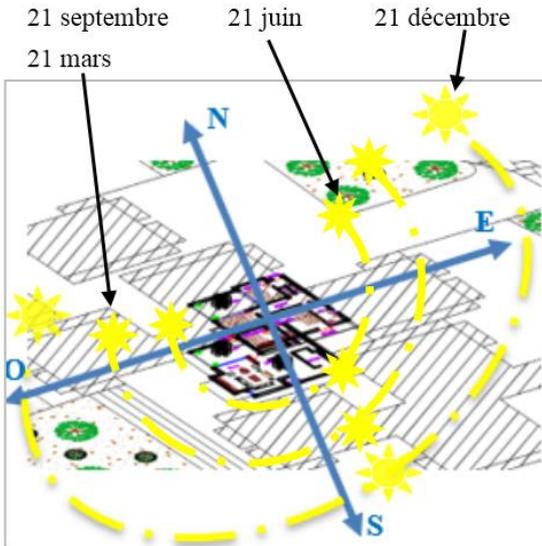
Matériaux	Epaisseurs [cm]	Masse Volumique [kg/m ³]	Conductivité Thermique [w/m.°C]	Chaleur Spécifique [J / kg.°C]
Enduit ciment et granulat.	3	2200	1,4	1080
Béton de terre stabilisé.	20-15	1892	0,762	936
Enduit plâtre gâché serrée.	2	1300	0.50	936
Béton.	15-40-35	2500	1,75	1080
Carrelage en granito.	1	2200	2,1	936
Bois.	5	500	0,14	1800
Vitrage.	1	2700	1,10	792

Source : [22].

4. ANALYSE DES STRATÉGIES ENVIRONNEMENTALES DU LOGEMENT SÉLECTIONNÉ

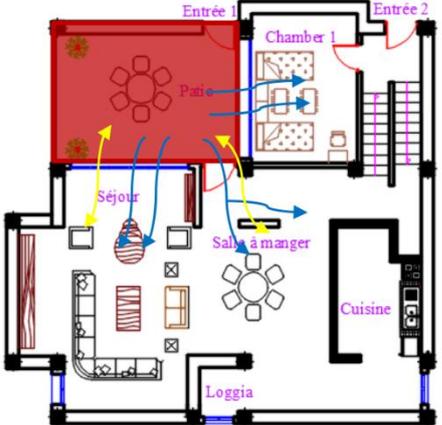
4.1 Respecter le site et profiter des ressources climatiques

Stratégie	Analyse	Illustration
a- Choix et intégration au site	<p>Construit sur un terrain plat sans contour naturel, le logement est conçu pour tirer parti de la géographie, la morphologie et la topographie du site.</p> <p>La hauteur du gabarit, le type et la couleur du matériau utilisé pour la texture des murs extérieur permettent d'obtenir une intégration visuelle avec l'environnement.</p>	

<p>b- Organisation du site (extérieur/intérieur)</p>	<p>L'aménagement du plan de masse a été conçu selon le principe de la hiérarchisation des espaces, en plaçant les espaces publics (Parkings, détente, air de jeu) dans les abords du terrain, alors que la transition intérieur/extérieur est assuré par des cours, des passages couverts entre les bâtiments.</p>	
<p>c- Masse du bâtiment</p>	<p>Les concepteurs ont conçu des logements durables [23] adaptés aux longs mois d'hiver et d'été, et leurs solutions ont été basées sur l'utilisation des matériaux disponibles sur le site, la minimisation du nombre et de la taille des ouvertures placées sur les façades extérieures afin de protéger les espaces intérieurs du climat rigoureux.</p>	
<p>d- Orientation appropriée du bâtiment</p>	<p>L'orientation Nord-Sud, décidée par les architectes est la plus adaptée au microclimat de la région de M'sila. En raison de cette orientation optimale les différentes pièces du logement permettent un meilleur contrôle de chaleur particulièrement en saison chaude, en assurant ainsi une température interne réduite pendant la journée la plus chaude de l'année et en fournissant des espaces de vie à l'ombre et donc confortables [24].</p>	

4.2 Réduire l'impact environnemental

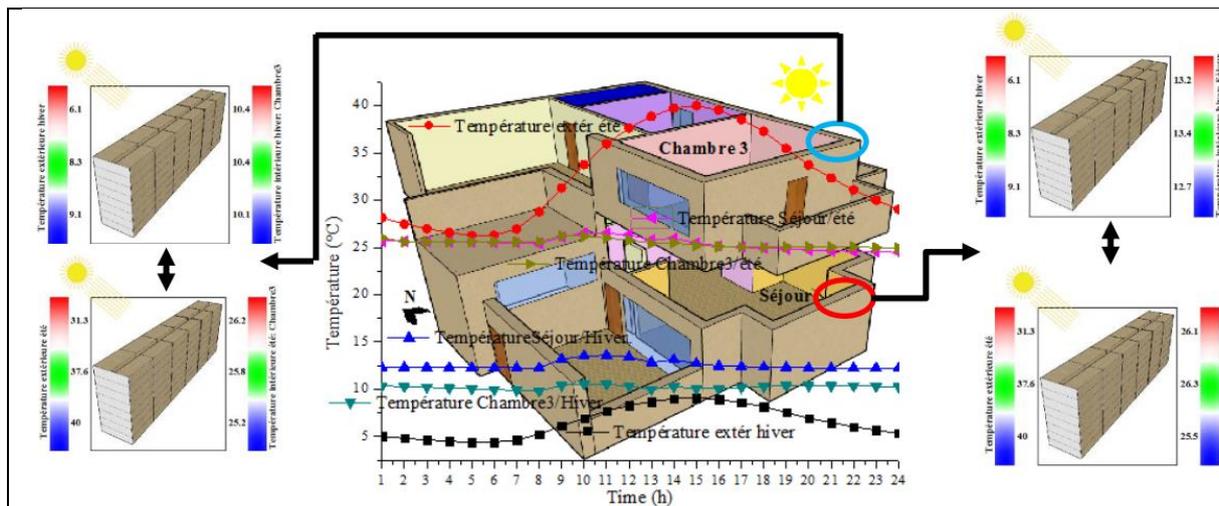
Stratégie	Explication
<p>a-</p> <p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Concilier les matériaux locaux aux nouvelles technologies de construction</p>	<p>Le terrain choisi est de nature argileuse, favorisant ainsi la création d'un modèle local BTS. La combinaison de la terre et le sable au ciment et béton armé peut être qualifiée de technologie durable avancée [25]. La terre rappelle les techniques vernaculaires locales de la région et la protection de l'environnement [26]. Alors que le ciment et le béton armé reflètent les avancées technologiques qui ne peuvent être, ni ignorées ni évitées [27].</p> <p>Le logement présente une structure en poteau-poutre en béton armé coulé manuellement sur le site. Des murs de 40 cm d'épaisseur en BTS, liés à la chaux de calcaire local, constituent l'enveloppe. Pour accroître les propriétés thermiques des murs extérieurs, une technique de revêtement est utilisée consistant en la combinaison d'enduit-ciment et granulats. Certains cloisons (épaisseur 15 cm) sont réalisés en BTS et d'autres en béton armé en guise de contreventements pour renforcer la structure du duplex. Quant au bois il cadre les portes et les fenêtres.</p> <div data-bbox="379 1025 1455 1541" style="text-align: center;"> </div> <p style="text-align: center;">Synthèse</p> <p>Ces techniques traduisent la volonté des architectes de fournir des enveloppes écoénergétiques, car la plupart de ces matériaux sont disponibles localement ou fabriqués sur le chantier. Chaque matériau a ses propres propriétés physiques. L'assemblage de deux matériaux, l'un local traditionnel et l'autre moderne permet de renforcer l'enveloppe et donc de modifier l'environnement interne en fonction du climat extérieur et de minimiser la consommation énergétique [25]. Un autre avantage de cette technologie est l'éviction du transport, ce qui est un avantage écologique,</p>

	<p>protection de l'environnement local et absence de déchets, en comparaison aux bâtiments dont les matériaux sont industrialisés [28].</p>	
<p>a- Sources d'énergie Renouvelables</p>	<p>Dans la région de M'Sila, les systèmes de réchauffement et de refroidissement passifs utilisés sont principalement la cour, l'emplacement et la taille réduite des ouvertures. Le logement duplex intègre les deux systèmes, ce qui le rend durable et confortable du point de vue énergétique, car la cour permet d'évacuer la chaleur et de faire circuler l'air dans les deux sens en été comme en hiver.</p>	

4.3 Contribuer au bien-être de l'Homme

4.3.a Simulation de confort thermique

Deux zones (séjour, chambre3) ont été sélectionnées pour comparer les résultats des températures ambiantes de l'air maintenus à l'intérieur et à l'extérieur de l'appartement. Les jours sélectionnés durant chaque période correspondant à la journée extrêmement froide (31 janvier) et la journée extrêmement chaude (14 juillet) de l'année.



Source : Auteurs, 2019

Fig.10. Variation de la température ambiante de l'air, interne et externe, des pièces principales du logement duplex pour chaque heure des jours les plus froids (31 janvier) et les plus chauds (14 juillet)

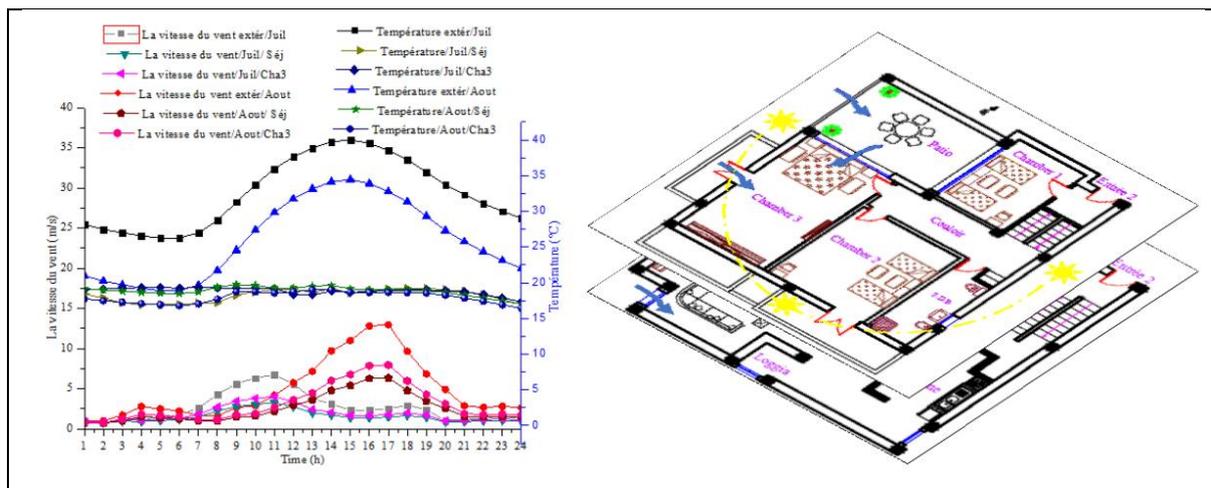
Les résultats obtenus à partir des graphes présentés ci-dessus (Fig.10) montrent que la température ambiante de l'air interne hivernale du séjour est presque constante toute la journée avec une amplitude de $2,8^{\circ}\text{C}$ entre la température maximale (20°C) marquée vers 17h et la minimale ($17,2^{\circ}\text{C}$) marquée à 7h. Cette stabilité est également remarquée dans la chambre 3 située au premier étage du duplex où l'amplitude est égale à $3,72^{\circ}$, alors que les températures extérieures ont une amplitude élevée : $4,7^{\circ}\text{C}$. Durant la saison estivale, nous constatons que la température interne du séjour est stable avec une légère amplitude de $1,46^{\circ}\text{C}$ entre une maximale ($26,5^{\circ}\text{C}$) enregistrée entre 07h et 14h et une minimale de ($25,04^{\circ}\text{C}$) enregistrée entre 15h et 17h. Il a été également observé dans la chambre 3 où l'amplitude est de $1,2^{\circ}\text{C}$, contrairement aux températures extérieures fluctuantes qui sont marquées par une forte amplitude de $13,76^{\circ}\text{C}$.

De ce fait on constate que le confort thermique est presque garanti dans les deux zones pendant la période la plus chaude de l'année, car les températures ambiantes de l'air à l'intérieur de ces pièces se situent dans la plage du confort déterminée par Givoni de $18-27^{\circ}\text{C}$ en hiver et de $20-29^{\circ}\text{C}$ en été [29]. Également, ses températures s'ajustent dans la plage des températures de confort saisonnières de la ville de M'sila calculées par l'équation de la norme ASHRAE-2010 et qui comprise entre $15,5^{\circ}\text{C}$ et $20,5^{\circ}\text{C}$ l'hiver et entre 24°C et 29°C l'été [30]. En conséquence, les deux zones ne nécessitent pas l'utilisation des systèmes du chauffage et de climatisation mécanique.

4.3.b Simulation numérique de la ventilation naturelle moyennant la cour

Afin d'analyser l'effet de la ventilation naturelle en refroidissement pendant les mois les plus chauds de l'année, les simulations ont été effectuées au cours de la journée la plus chaude au mois de Juillet et du mois d'Aout, représentant la période estivale typique.

Deux pièces principales ont été choisies pour présenter les résultats de l'influence de la cour sur le comportement de la ventilation naturelle et le confort de l'utilisateur.



Source : Auteurs,2019

Fig.11. A gauche - Représentation du profil de la vitesse de l'air intérieur à l'intérieur des pièces principales du logement duplex en saison estivale. A droite : Distribution de flux d'air à l'intérieur du séjour et chambre 3

La variation de la vitesse de l'air à l'intérieur des pièces en question lorsqu'elles sont ventilées naturellement, est illustrée dans la figure 11. Nous constatons que la vitesse d'écoulement de l'air dans le séjour et la chambre 3 augmente en proportion avec la vitesse du vent extérieur où la valeur de la vitesse de l'air se situe dans la plage de (0,3 m/s à 2 m/s) en mois de Juillet et d'Aout. Néanmoins, en considérant les températures simulées lors de ces mois et aux heures où le soleil est au zénith (de 12h à 16h), nous pouvons dire à ce stade que les valeurs de la vitesse moyenne de l'air entrant à l'intérieur, à la fois du séjour et de la chambre 3, peuvent atteindre le niveau de confort thermique acceptable spécifié par la norme ASHRAE-Standard-62.1 [31].

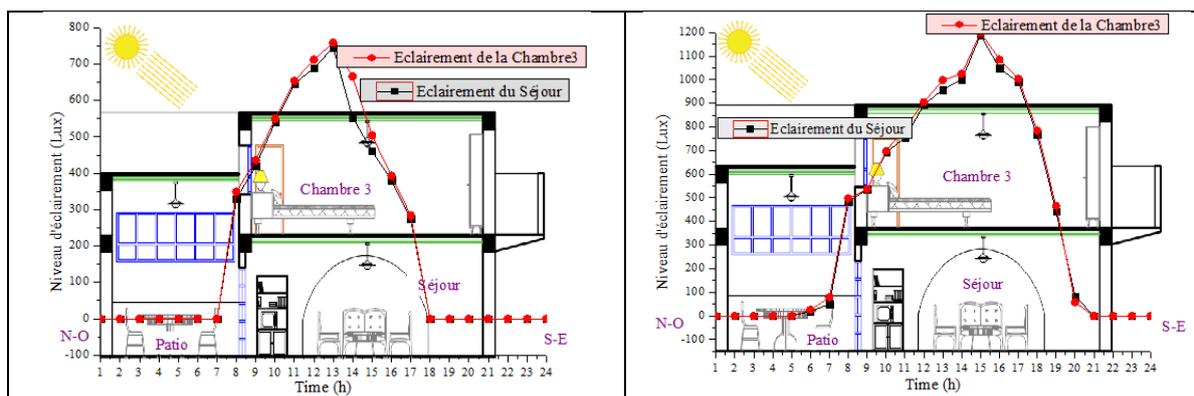
Selon l'interprétation des résultats de simulation, la ventilation naturelle des pièces est due principalement à l'aspiration de l'air frais à travers les ouvertures qui donnent directement sur la cour. En outre la taille de l'ouverture a un effet significatif sur la vitesse de l'air, plus on augmente la taille de l'ouverture plus on augmente le courant d'air frais ce qui offre un refroidissement naturel à l'intérieur des zones. Ce phénomène améliore également la température à l'intérieur des espaces, réduisant ainsi l'utilisation des moyens de refroidissement mécaniques pendant les journées chaudes d'été.

4.3.c Simulation du niveau d'éclairage naturel : cers l'analyse quantitative

Les simulations d'éclairage naturel ont été exécutées, principalement sous ciel clair, pendant le

solstice d'hiver (21 décembre) et le solstice d'été (21 juin). Afin d'obtenir avec précision la distribution de la luminosité de la lumière du jour dans les pièces choisies, trois heures de la journée (9h, 12h et 15h) ont permis d'évaluer les effets le matin, à midi et l'après-midi.

Le séjour et la chambre 3, où les habitants passent la plupart de leur temps, sont considérés comme les principaux espaces pour estimer la quantité d'éclairage naturel.



Source : Auteurs, 2019

Fig.12. Graphes indiquent le niveau d'éclairage intérieur des pièces principales du logement duplex, pour les journées représentatives de 21 décembre et 21 juin de 9h00 à 15h00

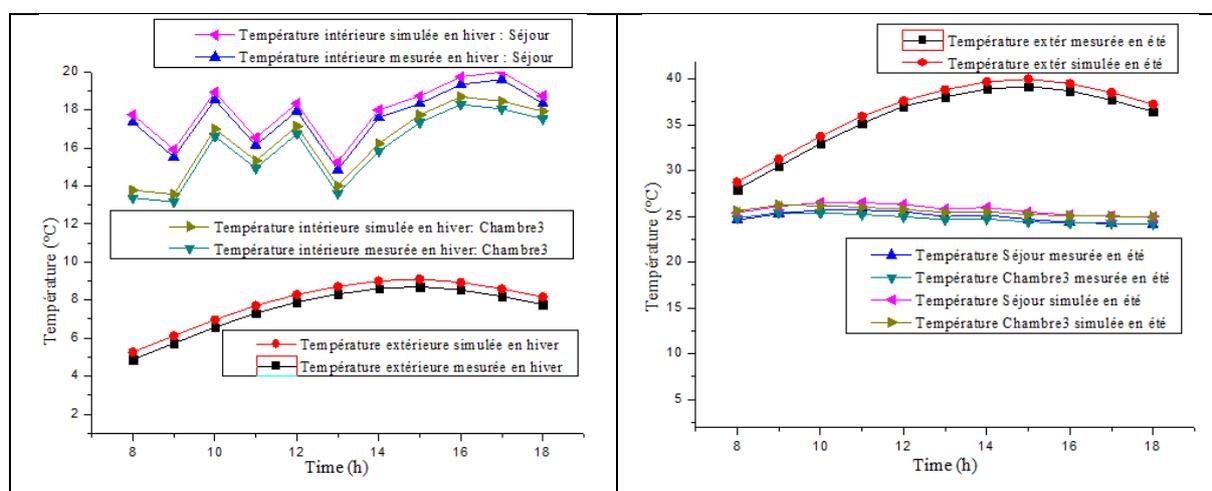
La figure 12 démontre l'influence de l'intégration de la cour sur, à la fois, le niveau, la quantité et la distribution d'éclairage à l'intérieur des espaces du logement duplex. Pendant le solstice d'hiver et d'été, on constate que le niveau d'éclairage reçu à l'intérieur du séjour est monté progressivement de 9h 00 à 11h 00 et atteint un maximum de 746 lux le mois de décembre et 1189 lux le mois de juin entre 12h00 et 15h00. Ensuite l'éclairage est commencé à descendre rapidement à partir de 16h 00 à une valeur minimale de 381 lux le mois de décembre, et 766 lux le mois de juin à partir de 18h 00. Par ailleurs, on a remarqué le même principe de répartition d'éclairage naturel dans la chambre 3, mais avec des valeurs différentes.

Selon le seuil d'éclairage acceptable à 150 lux dans les pièces principales, déterminé par le conseil national de recherches du Canada [32], on a relevé dans notre cas, que la quantité de la lumière infiltrée est supérieure à cette valeur. Ceci, signifie systématiquement que les espaces sont bien éclairés naturellement, et donc les habitants n'ont pas besoin d'utiliser l'éclairage artificiel pendant la journée pour le confort visuel.

5. VALIDATION DU MODELE DE SIMULATION

5.1 Comparaison des variations de température mesurées et simulées

Afin de valider les résultats du modèle de simulation développé dans le logiciel EnergyPlus, les températures ambiantes de l'air maintenu à l'intérieur et à l'extérieur du séjour et de la chambre3 ont été mesurées manuellement (de 8 h à 18 h) pendant les mêmes périodes (31 janvier et 14 juillet 2019) à l'aide d'un enregistreur de données climatiques (TROTEC, BL30). Cet instrument a été placé dans la partie centrale des deux zones et à une hauteur de 1,10 m au-dessus du niveau du sol.



Source : Auteurs, 2019

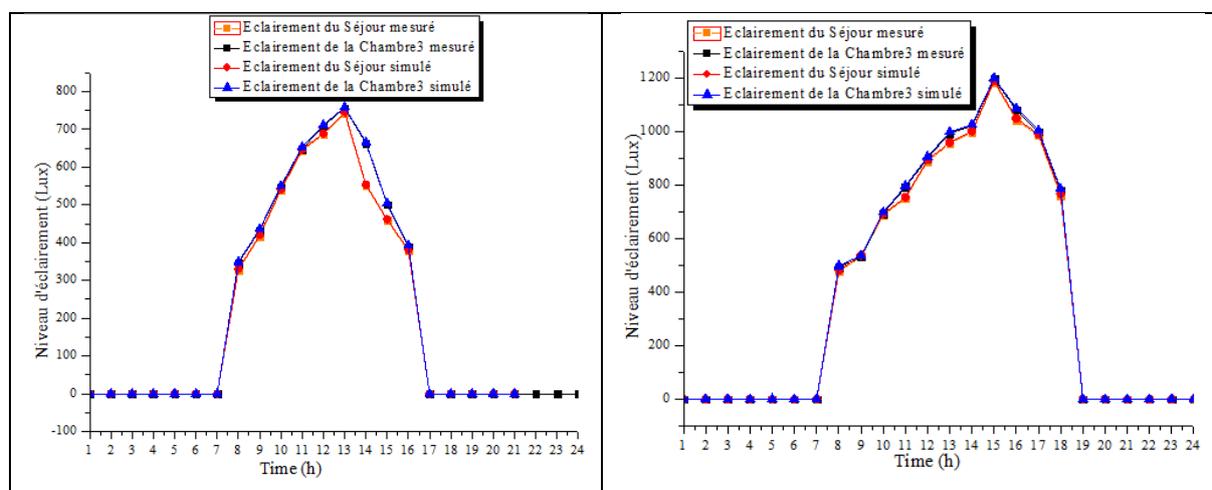
Fig.13. Comparaison des variations de température mesurées sur le site et simulées numériquement

Cependant, la comparaison de variation des températures ambiantes de l'air mesurées et simulées montre une légère différence de 0,4 °C entre la température intérieure la plus élevée en hiver et de 0,8 °C la température intérieure la plus basse en été. Ce qui prouve la fiabilité de notre modèle de simulation (Fig. 13).

5.2 Comparaison des variations d'éclairage mesurés et simulés

Pour valider les résultats du modèle de simulation développé dans le logiciel EnergyPlus, une surveillance du niveau d'éclairage a été réalisée manuellement (de 8 h à 16 h le 21 décembre et de 8 h à 18 h le 21 juin 2019) à l'aide d'un Luxmètre (TROTEC, BF06), ce dernier a été fixé à une hauteur de 1,5 m du niveau du plancher. Lors des mesures d'éclairage naturel in situ, les conditions du ciel étaient principalement nuageuses pendant le solstice d'hiver et intermédiaire

au solstice d'été. De plus les espaces étaient libres, par d'occupants, l'éclairage artificiel n'a pas été utilisé et les parties ouvertes et vitrées des fenêtres étaient fermées.



Source : Auteurs, 2019

Fig.14. Comparaison des données d'éclairage entre mesure et simulation

Par conséquent, la figure 14 montre une comparaison entre les mesures réelles des niveaux d'éclairage (le séjour et la chambre 3) et les valeurs simulées. On remarque que la simulation EnergyPlus donne un éclairage plus élevé que la prise de mesure in situ. L'écart entre les deux est de 3 pour l'éclairage d'hiver et 5 pour l'éclairage d'été. En revanche, l'accord entre les deux est en général acceptable.

6. RÉPONSE DE L'ARCHITECTURE NÉO-VERNACULAIRE

Les résultats présentés dans cet article sont originaux étant donné que, jusqu'à ce jour, aucune étude ne s'est penchée sur l'évaluation des 50 logements duplex El Miniawy. La discussion des résultats de cette recherche est très importante vu la qualité des leçons à tirer sur la conception néo-vernaculaire qui concilie les caractéristiques des bâtiments anciens et modernes.

Grâce à l'évaluation environnementale stratégique présentée dans la section précédente, il est possible de cerner certains aspects des bâtiments néo-vernaculaires, situés au centre-ville de M'sila et qui peuvent contribuer à de meilleures conceptions au niveau environnemental. Néanmoins, la conception adéquate du bâtiment est la source d'une bonne corrélation des aspects du bâtiment traditionnel et moderne. Par exemple, certains aspects des anciennes constructions peuvent être interprétés dans la conception de nouveaux bâtiments, car ils correspondent bien aux exigences et contraintes du contexte régional.

Compte tenu des résultats de cette étude, il est possible de mettre en évidence certaines stratégies qui demeurent inconnues actuellement dans la conception des bâtiments contemporains dans la région de M'sila. Ces stratégies sont résumées et discutées ci-dessous.

6.1 Avantages d'intégration au site et l'exploitation des ressources microclimatiques

L'emplacement du logement duplex a été le résultat de nombreuses considérations à différentes échelles. Dans la plus grande échelle, il est bien évident que les frères El Miniawy ont bien porté leur choix sur les caractéristiques géographiques, morphologiques et topographiques du site d'implantation pour établir une bonne connexion du logement au contexte local de la région de M'sila. Ceci est révélé dans la hauteur du logement (R+3) dont la différence est légère par rapport à celui des anciennes constructions de la région. La couleur claire a été utilisée en particulier sur les murs des façades pour réduire le gain de chaleur pendant les journées chaudes de l'année, tout en garantissant une meilleure fusion visuelle avec l'environnement local. Au niveau de l'échelle du plan de masse on perçoit que la transition entre l'intérieur et l'extérieur a été assurée par l'adaptation des cours, des passages couverts entre les bâtisses en vue de susciter une micro-atmosphère à l'intérieur ou autour du bâtiment.

Parallèlement au respect des spécificités géo-naturelles, l'aménagement approprié du plan de masse, s'ajoute un autre aspect plus fondamental, lors de la conception, c'est celui de l'analyse et de la surveillance du microclimat du site (à savoir le soleil et le vent qui est une pratique ancienne courante). Ce facteur pris en considération par les architectes dans la détermination et la décision de l'orientation idéale des pièces du logement dans le but de bénéficier de l'ombre en été et de l'ensoleillement adéquat en hiver.

Quant aux ouvertures, ces dernières sont aussi très importantes dans le processus de conception, à savoir leur superficie, leur emplacement, leur orientation et leur nombre. Etant donné que dans les anciennes maisons de M'sila nos ancêtres considéraient que les ouvertures sont très importantes pour les stratégies de refroidissement passif et l'éclairage naturel. En général, les concepteurs ont opté de poursuivre les mêmes pratiques traditionnelles dans le choix de la position, le nombre et les dimensions des fenêtres placées sur les façades extérieures en prévision de la direction du vent, de la position et la lumière du soleil en été et en hiver. Tous ces critères ont pour but de contrôler les gains et les pertes de chaleur, améliorer la

performance thermique du bâtiment, recueillir la brise fraîche nécessaire pendant les journées chaudes de l'année et bénéficier de la lumière du soleil.

Par conséquent, cette recherche recommande aux futurs concepteurs les solutions suivantes :

- Le respect impératif du relief, de la topographie et des contraintes climatiques régionales dans la construction des logements adaptables à l'environnement local.
- L'utilisation des couleurs et matériaux en harmonie avec l'environnement local afin d'ancrer le bâtiment dans le sol sur lequel il est érigé.
- La position du soleil et la direction du vent doivent être bien prises en considération quant à l'orientation des espaces ainsi que l'emplacement des ouvertures du logement pour permettre aux occupants de profiter davantage de la lumière diurne.

6.2 Profiter des ressources naturelles et limiter les impacts environnementaux

L'approche de l'architecture néo-vernaculaire met l'accent sur la notion de la conception environnementale ainsi que la priorité d'opter pour les matériaux locaux au lieu des matériaux standards. L'avantage des produits locaux est la disponibilité, l'efficacité et la facilité de la mise en œuvre dans l'exploitation et le recyclage.

A cet effet, les matériaux utilisés dans la construction du logement duplex sont locaux, disponibles et à moindre coût. Aucun matériau n'a été importé de l'extérieur de la région mais tous les matériaux ont fait l'objet d'une préfabrication sur le chantier de réalisation, tel que le béton de terre stabilisé pour l'enveloppe. Le BTS est composé, entre autres, d'un mélange de sable et d'argile avec une faible proportion de ciment [33]. Aujourd'hui, la terre présente de nombreux avantages qui ont été déjà indiqués dans les exemples d'architecture vernaculaire. La terre est un matériau renouvelable, biodégradable et recyclable, il nécessite peu de traitements avant sa mise en exploitation [34]. En outre, le béton armé a été choisi à des fins de structures porteuses solides. Par ailleurs, le bois est utilisé dans les cadres des fenêtres et les portes, ce matériau est toujours omniprésent dans l'architecture vernaculaire de M'sila en raison de sa disponibilité locale [35]. La plupart de ces matériaux sont écologiques et assurent, par conséquent, le comportement thermique du logement et contribuent à la réduction de consommation énergétique durant tout le cycle de vie du duplex. Nous pouvons également confirmer que l'utilisation de ces matériaux présente un avantage consistant en la diminution

des déchets de construction et le besoin de moyens de transport pour leur évacuation.

En réalité, ce logement spécifique intègre dans sa conception un élément architectonique écologique qui est la « cour », ce qui a permis aux habitants de bénéficier davantage des ressources énergétiques renouvelables et naturelles.

En bref, nous attestons que ces résultats confirment l'avantage de l'utilisation des matériaux locaux combinés aux nouvelles techniques de construction moderne améliorant ainsi le confort thermique et l'efficacité énergétique des constructions dans un climat chaud et un environnement particulier comme celui de M'sila. Toutefois, et au vu de cette expérience il est recommandable, dorénavant, d'intégrer la « cour » dans les résidences contemporaines.

6.3 L'application de la solution traditionnelle combinée à la technologie moderne

Lors de la construction du logement, les architectes El Miniawy ont pris en considération tous les facteurs climatiques extérieurs.

L'interprétation des résultats obtenus relatifs aux températures affirme, qu'en dépit des fluctuations de la température extérieure de l'enveloppe du logement El Miniawy, celui-ci traduit un meilleur comportement thermique intérieur, tant en hiver qu'en été. Ce modèle de logement permet d'augmenter la température ambiante interne jusqu'à 12.72° C en hiver et de minimiser la température ambiante interne jusqu'à 23.75° C en été. Si on néglige les grandes fluctuations de températures et on réduit la température ambiante de l'air à l'intérieur du duplex, ceci entraînera une influence favorable du point de vue confort des usagers. Cet état de fait est justifié par les propriétés thermiques des matériaux constituant l'enveloppe ainsi les autres parties de l'habitation. Ce qui signifie aussi que les murs épais en BTS jouent un grand rôle dans l'isolation thermique, en atténuant les conditions extérieures extrêmes pendant la saison hivernale et estivale. Ce matériau dont le pouvoir isolant retarde la transmission de la chaleur et le déphasage de l'onde thermique dans le temps, maintenant ainsi un bon niveau de confort à l'intérieur.

En conséquence, il semble très bénéfique d'assembler les matériaux et les techniques de construction locale aux nouvelles techniques de construction moderne pour améliorer le confort thermique et réduire la demande d'énergie [36].

6.4 Effet de l'intégration des stratégies vernaculaire sur le profil de ventilation naturelle

des bâtiments modernes

En prévision de lutte contre la chaleur d'été, les frères El Miniawy ont fait recours à l'utilisation des stratégies passives des anciennes maisons de la vieille ville de M'sila. Dans cette analyse, nous avons traité les effets de ces stratégies et leur influence sur la ventilation naturelle. Dans l'ensemble, l'étude a montré que le logement duplex est conçu pour garantir une meilleure ventilation naturelle tout en respectant l'orientation adéquate de la construction et l'intégration de la cour en tant que dispositif passif important de l'architecture vernaculaire de la région de M'sila. Cet élément architectural permet un meilleur écoulement de l'air frais à l'intérieur avec une nette amélioration des valeurs de température et en favorisant une remarquable sensation de confort aux occupants. Aussi, la cour a permis aux habitants d'éviter l'utilisation des moyens de ventilation mécanique et d'économiser, de ce fait, une quantité importante d'énergie.

De la sorte, l'interprétation des résultats de cette évaluation nous permet de prédire les solutions les plus adoptées pour une meilleure ventilation naturelle qui se résument comme suit :

- Lors de la construction d'un bâtiment, il est plus efficace d'adopter une stratégie de ventilation naturelle (la cour) comme une alternative attrayante pour atténuer les problèmes d'inconfort associés aux bâtiments standards, en procurant une meilleure atmosphère.
- Il faut orienter les ouvertures directement sur la cour afin de favoriser la ventilation naturelle à l'intérieur des pièces et déterminer judicieusement leurs dimensions (longueur et largeur) et leur position.

6.5 Impact de l'introduction de la cour sur les performances lumineuses du logement

En général, l'exploitations de la lumière du soleil est l'une des préoccupations majeures des architectes travaillant sur le style néo-vernaculaire, en particulier dans les climats semi-arides comme celui de la région de M'sila. À cet effet, la création de différents éléments couverts et ouverts exposés directement à la lumière du soleil a permis aux habitants de profiter de la lumière du jour dans leur vie quotidienne. Concernant les dimensions, l'orientation, la disposition et la composition de ces éléments, ils diffèrent selon la taille et la fonction de construction.

À travers cette étude, nous remarquons que l'éclairage intérieur hivernal dans les pièces

principales du logement duplex est à son pic durant la séquence horaire de (12h à 13h). Or, à partir de 16h celui-ci commence à s'affaiblir jusqu'à ce qu'il devienne nul à cause du coucher du soleil (18 h), obligeant ainsi les habitants à recourir à l'utilisation des systèmes d'éclairage artificiel aux environs de 17h. En été, nous constatons que le niveau d'éclairement est plus performant que celui simulé durant la saison hivernale, car les valeurs de celui-ci commencent à descendre à partir de 19h jusqu'au coucher du soleil où elles deviennent presque nulles. En effet, ce décalage du temps entre l'hiver et l'été et cette variation dans la quantité de la lumière du jour qui pénètre à l'intérieur des espaces, s'explique par la course, la position et l'angle du soleil tout au long de l'année.

À cet effet, l'obtention de ces résultats n'est pas, manifestement, occasionnelle, mais au contraire les architectes El Miniawy ont appliqué, consciemment, « la cour » en tant que dispositif architectural écologique observé dans les anciennes maisons de la région de M'sila. Par conséquent, les usagers de ces logements duplex bénéficient d'un confort visuel et d'un environnement flexible qui leur facilite les activités quotidiennes dans des conditions favorables car la plupart des usagers préfèrent l'éclairage naturel et se sentent mieux sous la lumière du jour [37]. Ce dispositif permet également d'économiser l'énergie électrique, car le duplex nécessitera moins d'éclairage artificiel. Également, la grande disponibilité de la lumière naturelle est due, probablement, à une distribution interne très efficace, en fonction de la juxtaposition des pièces à la cour et au nombre et des dimensions des ouvertures. Comme avantage aussi, l'absence des persiennes en bois sur les fenêtres qui favorise une pénétration directe de la lumière du jour.

En somme, et afin d'assurer de meilleures conditions d'éclairage naturel dans les constructions contemporaines, il est conseillé, selon les résultats de cette recherche, de ne pas percer de grandes ouvertures sur la façade, mais plutôt d'intégrer un dispositif passif de l'architecture vernaculaire « la cour » appropriée à la région de M'sila, en l'occurrence, « la cour ». De même, il est recommandé de reconnaître certains aspects fondamentaux de l'éclairage naturel tel que : le rapport de surface de fenêtre par rapport au mur.

7. CONCLUSION

Les stratégies environnementales de l'architecture néo-vernaculaire se caractérisent par leur adaptabilité aux conditions environnementales locales des régions dans lesquelles les concepteurs y ont exercé. Celles-ci sont le résultat de la réinterprétation et la mise à jour de quelques aspects écologiques piochés dans l'architecture vernaculaire ancestrale.

L'un des prémices de la présente étude est de vérifier l'application de ces stratégies environnementales dans la construction des 50 logements duplex de M'sila. Pour cela, un logement duplex a été sélectionné et analysé à l'aide des approches qualitatives et quantitatives. D'abord, des observations sur terrain et des prises de photos ont été accomplies afin de vérifier les stratégies adoptées. Ensuite, des modélisations approfondies, par le logiciel EnergyPlus, ont été élaborées pour comparer les résultats obtenus aux mesures in situ et aux normes internationales.

À cet égard, les résultats atteints au cours de cette recherche ont prouvé que les particularités géo-naturelles et microclimatiques du site d'implantation sont bien respectées par les architectes notamment dans l'insertion de la construction au sein de l'environnement adéquat et local dans le but de réduire l'impact environnemental négatif dû à l'usage des matériaux standards. En outre, la comparaison des résultats obtenus à partir de la campagne de mesure à ceux du modèle de simulation, a montré que l'utilisation des matériaux locaux à forte inertie thermique entraîne une grande influence sur le comportement thermique du logement duplex pendant la saison hivernale et estivale. Aussi, ces résultats traduisent l'importance et le rôle de la cour sur le contrôle de l'ensoleillement et de la lumière du jour. Cet élément qui a permis une protection du soleil d'été, une limitation de la surchauffe et l'abaissement de la température qui favorise la circulation d'air frais, garantissant ainsi un éclairage naturel performant à l'intérieur des pièces.

Par ailleurs, les résultats de ce travail ont confirmé que, le logement duplex révèle l'application de toutes les stratégies environnementales. Ces résultats ont indiqué également que les stratégies qui y sont utilisées conviennent très bien à la construction dans la région de M'sila, où il est primordial d'adopter une approche de conception compatible avec son environnement spécifique et particulier. De ce fait, les principes d'El Miniawy peuvent se généraliser dans les

pratiques actuelles du logement, afin de remédier aux problèmes de l'architecture standard. Enfin, on peut affirmer que, ce papier fournirait une aide informative à la prise de décision par les architectes, concepteurs de bâtiment, planificateurs et décideurs, qui luttent pour réaliser une relation intégrative entre l'environnement spécifique local et les nouvelles constructions. Nous préconisons également, à tous les professionnels et /ou spécialistes qui s'intéressent à concevoir des bâtiments à caractère vernaculaire contemporain de se référer aux stratégies environnementales dérivées de l'architecture néo-vernaculaire.

8. RECOMMANDATIONS

Ainsi, plusieurs recommandations pertinentes issues de cette évaluation, peuvent être envisageables. Celles-ci sont susceptibles d'améliorer, sensiblement, la conception des constructions vernaculaires contemporaines dans un environnement présaharien. Il s'agit de :

- Prendre en considération, dans la conception du bâtiment, le relief, la topographie ainsi que les données météorologiques locales, afin d'assurer un meilleur fusionnement au site et une orientation optimale.
- Les matériaux de construction devraient dépendre davantage de l'environnement local, en sélectionnant des matériaux durables et locaux et de préférence utiliser des matériaux locaux associés aux nouvelles technologies de construction pour assurer le confort thermique de l'utilisateur, diminuer considérablement la consommation énergétique, et réduire ainsi l'impact négatif sur l'environnement.
- Interprétation de quelques dispositifs écologiques passifs « la cour », combinée à une conception contemporaine intelligente, conduirait à un meilleur contrôle de la ventilation naturelle et de l'éclairage naturel.

9. RECONNAISSANCE

Les auteurs remercient « EnergyPlus™ » pour l'autorisation de l'utilisation du logiciel EnergyPlus à des fins de recherche. / Department of Energy's (DOE) Building Technologies Office (BTO), and managed by the National Renewable Energy Laboratory (NREL). Également, les chercheurs du laboratoire « Energie & Environnement, Faculté d'Architecture et d'Urbanisme, Université de Constantine 3, Algérie » pour la mise à la disposition des

appareils de mesure.

10. REFERENCES

- [1] Zhao. M,Gao. W, (2013), Design Languages of Contemporary Neo-vernacular Architecture in China, Applied Mechanics and Materials Vols. 253-255, pp.75-80.
- [2] Salama.A, (2001), 200 Units Housing Project, WilalDjallal, Biskra, Algeria.Technical Review Summary, 2596.ALG: Aga Khan Award for Architecture reports' book, pp.1-12.
- [3] Salama.A, (2001), 400 Units Housing Project, El Oued, Algeria, Technical Review Summary, 2595.ALG: Aga Khan Award for Architecture reports' books, pp.1-21.
- [4] Mezrag.H, (2015), Le logement social collectif : Entre la conception et l'usage Cas de la ville de M'sila, Thèse présentée en vue de l'obtention Du diplôme de : Doctorat en Sciences, option : Architecture, Université Mohamed Khider – Biskra, pp.716.
- [5] Mili.M., Farhi.A, &Boutabba.H,(2015), évaluation post occupationnelle des logements sociaux transformés en copropriété cas de la ville de m'sila en Algérie, Courrier du Savoir – N°20, pp.141-158.
- [6] Vyas. A, (2017), Developing neo-vernacular housing in Indore, International Journal of Architecture (IJA), 3(1), pp.1-11.
- [7] GhanbariChahanjiri.J, Golabchi.M, Bemanian.M.R, &Pourmand. H, (2014), Developing Neo-Vernacular Building Technologies to Integrate Natural and Built Environments: A Model Tourist Village in Qeshm Island, Research Journal of Recent Sciences ISSN 2277-2502 Vol. 3(12), pp.78-86.
- [8] Wanga.Y, Li. X, &Gan.Y, (2016), Study on the Green Design Strategies of “Neo-Vernacular Architecture”, Elsevier, Procedia Engineering 169, pp.367-374.
- [9] Correia.M,Dipasquale.L, Mecca.S,(2014), Versus Heritage For Tomorrow Vernacular Knowledge for Sustainable Architecture, European Research Project, pp292.
- [10] Day. H, (2013), The vernacular as a model for design: Design studies for the contemporary Welsh house, A dissertation submitted in The Welsh School of Architecture, Cardiff University. In candidature for the degree of Philosophiae Doctor, Cardiff University, pp. 481.
- [11] Salman Al-Zubaidi.M.S.(2007). The Sustainability Potential of Traditional Architecture in

the Arab World With Reference to Domestic Buildings in the UAE. University of Huddersfield Repository. P 393.

[12] Creswell.J.W, (2009), Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches-3rd ed, by SAGE publications. Inc, pp.295.

[13] Pitz.C, (2012), Analyse de la fiabilité des outils de simulation et des incertitudes de métrologie appliquée à l'efficacité énergétique des bâtiments. Thèse du doctorat, Spécialité : Génie Civil et Sciences de l'Habitat, Université de Grenoble,p.196.

[14] Semahi.S,Zemmouri.N, Singh.M.K,Attia.S,(2019), Comparative bioclimatic approach for comfort and passive heating and cooling strategies in Algeria, Building and Environment 161,p.19.

[15] Rincón.L, Carrobé.A,Martorell.I, Medrano.M, (2019), Improving thermal comfort of earthen dwellings in sub-Saharan Africa with passive design, Journal of Building Engineering,p.21.

[16] Ellis.J, Schwartz.J,Mora.R, (2016), Assessment of natural ventilation effectiveness for an active NetZero energy house, International Journal of Ventilation,p.19.

[17] Gorji Mahlabani.Y, Mofrad Boushehri.A, (2017), The Analysis of Daylight Factor and Illumination in Iranian Traditional Architecture, Case Studies: Qajar Era Houses, Qazvin, Iran, Armanshahr Architecture & Urban Development, 10, 35-45.

[18] Shaofu.L, (2018), Ecological Design of Lighting and Ventilation in Traditional Shophouses in Urban Southeast Asia, Thesis for the degree of Doctor of Philosophy, p.348.

[19] EnergyPlus™ Version 9.1.0 Documentation,(2019), EnergyPlus Essentials, U.S. Department of Energy,p.57.

[20] EnergyPlus™ Version 9.1.0 Documentation, Guide for Interface Developers U.S. Department of Energy,p.38.

[21] Koenig.P, (1980), Technique et Architecture, Revu Bimestrielle, publier par les éditions régionaux-France 62, Rue Ampère 75017 Paris, N° : 329, Algérie, pp.146.

[22] Bounekraf.A, (1997), Document Technique Réglementaire (D.T.R.C3-2), Réglementaire thermique des bâtiments d'habitation, Règles de calcul des déperditions calorifiques, Fascicule 1, Ministère de l'habitat, p.72.

-
- [23] Tahar Bellal, (2010), Housing as an Expression of Self-Identity in Contemporary Algeria : The Work of El-Miniawy Brothers, Journal of Islamic Architecture Volume 1, Setif, Algeria,pp.87-93.
- [24] Liébard.A, De Herde.A, (2005), Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques, Concevoir, édifier et aménager avec le développement durable,Editeur, Observ'ER, Observatoire des énergies renouvelables,p.778.
- [25] Derradji.L,Boudali Errebai.F, Amara.M, Maoudj.Y, Imessad, K,Mokhtari.F, (2013), Etude expérimentale du comportement thermique d'une maison prototype en période d'été, Revue des Energies Renouvelables Vol. 16 N°4,pp.709-719.
- [26] Almusaed.A,Almssad.A, (2015), Building materials in eco-energy houses from Iraq and Iran, Case Studies in Construction Materials 2,pp.42–54.
- [27] PUNPAIROJ.P, (2013), The changing use of materials in construction of the vernacular thai house, A thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy. University of Bath. Department of Architecture and Civil Engineering, p.274.
- [28] Fernandes, J., Mateus, R., Bragança, L. 2014, 'The potential of vernacular materials to the sustainable building design' in Vernacular Heritage and Earthen Architecture: Contributions for Sustainable Development – Correia, Carlos & Rocha (Eds) © 2014 Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-00083-4, pp.623-629.
- [29] Praseeda.K.I, Monto.M, Venkatarama Reddy.B.V, (2014), Assessing impact of material transition and thermal comfortmodels on embodied and operational energy in vernacular dwellings (India), Energy Procedia, pp.342- 351.
- [30] Medjelekh.D,(2015), Caractérisation multi-échelle du comportement thermo hydrique des enveloppes hygroscopiques, Thèse pour obtenir le grade de docteur des universités de Limoge / Constantine,Spécialité : Génie civil /Architecture Bioclimatique,p.300.
- [31] ASHRAE, ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2013: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, Atlanta, ASHRAE, 2013.
- [32] Alrubaih. M.S, Zain.M.F.M, Alghoul. M.A, Ibrahim. N.L.N, Shameri. M.A,Elayeb.O, (2013), Research and Development on Aspects of Daylighting Fundamentals, Renew. Sustain Energy Rev, 21, pp.494-505.

-
- [33] Koenig.P,(1980), *Technique et Architecture*, Revu Bimestrielle, publier par les éditions régionaux-France, Paris, N° : 329, p.146.
- [34] Fernandes.J,Mateus.R,Bragança.L, (2014), *The potential of vernacular materials to the sustainable building design*, *Vernacular Heritage and Earthen Architecture: Contributions for Sustainable Development – Correia, Carlos & Rocha (Eds) © Taylor & Francis Group, London*, pp. 623- 629.
- [35] Wasilah.W,Hildayanti.A,Hamzah.H, (1019),*Green Building with Nature Concept on Lakeside Resort Design*, *Environmental Science and Sustainable Development*,pp.31-43.
- [36] Mariani.S, Rosso.F, Ferrero.M, (2018), *Building in Historical Areas: Identity Values and Energy Performance of Innovative Massive Stone Envelopes with Reference to Traditional Building Solutions*, *buildings*,p.19.
- [37] Makani.V,Khorram.A,Ahmadipur.Z, (2012),*Secrets of Light in Traditional Houses of Iran (Hot and Dry Climate)*, *International Journal of Architecture and Urban Development*, pp.45-50.

RESUME

À travers cette étude, nous cherchons à évaluer les 50 logements duplex des frères El Miniawy à M'Sila, par le biais de méthodes d'analyse des stratégies environnementales afin de vérifier l'application de ces derniers par les architectes dans la construction de ces logements. C'est pour répondre à cet objectif, un logement duplex a été sélectionné en vue d'entreprendre une analyse selon une approche méthodologique mixte, associant une méthode qualitative et quantitative, dont certaines stratégies ont été évaluées au moyen du logiciel EnergyPlus et validées par des mesures in situ.

Les résultats obtenus de cette analyse, ont prouvé que le logement duplex a fait l'objet de l'application des stratégies en question. On déduit donc, que la construction est performante, et il permet d'assurer le confort de l'utilisateur et de réduire l'impact environnemental négatif.

Cette étude pourrait constituer une alternative pour les architectes, concepteurs du bâtiment, planificateurs et décideurs aux fins de les encourager à adopter ces stratégies environnementales néo-vernaculaires d'El Miniawy dans le développement des projets similaires à M'sila, et lancer d'autres projets à caractère vernaculaire contemporain.

Mots clés : Architecture Néo-vernaculaire, Stratégies environnementales, Les frères El Miniawy ; Méthodes mixtes ; Simulation EnergyPlus, M'sila.

Kersenna S, Chaouche S, Bencherif M. Evaluation environmental strategies in a semi-arid region : case of the 50 duplex dwellings of the El Miniawy brothers in M'Sila. J. Fundam. Appl. Sci., 2021, 13(1), 107-136.