



## Influence de la coupole sur la régulation thermique des espaces intérieurs dans les zones arides

\* KESSAB Sara <sup>(1)</sup>, BOUKARTA Soufiane <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Institut d'Architecture et d'Urbanisme, université de Blida I

\*Email : [ksara932014@gmail.com](mailto:ksara932014@gmail.com)

**Résumé** :- La présente communication explore le rôle de la coupole dans la régulation thermique des espaces résidentiels pour le cas d'un climat aride. Pour ce faire, l'approche comparative est choisie en se basant sur une campagne de simulation thermique dynamique. Le protocole de simulation comprend plusieurs variantes visant à mettre en exergue l'absence ou la présence de la coupole et une variation dans le dimensionnement de la coupole par rapport à l'espace résidentiel en question. Les simulations sont réalisées sous Revit (*plug-in insight*). Les résultats des simulations nous ont montré que la présence de la coupole permettrait de mieux ventiler l'espace résidentiel et permet aussi de réduire la demande énergétique de 34 KWh/m<sup>2</sup>.an. La variation dimensionnelle de la coupole nous a permis d'identifier le ratio 0.4 comme étant le meilleur rapport entre la surface de la coupole et celle de l'espace résidentiel en question.

**Mot-clé** : Régulation thermique, Zone aride, Coupole, Simulation thermique dynamique, Revit (*insight\_Archiwizard*).

### 1. Introduction :

La recherche du confort dans toute condition climatique pour l'homme, reste une constante dans les constructions humaine. Les maisons vernaculaires dont la forme s'est développée comme réponse aux facteurs climatiques profitent des éléments favorables du climat et les matériaux locaux pour fournir un espace dont les conditions intérieures du confort hygrothermique sont conçues sur la base





d'une conjugaison meilleure des caractéristiques climatiques de la zone (Mesli : 2019). Cette évolution des rapports semble être comme le souligne Gauzin Muller « Une succession prolifique de relations interactives entre les hommes les sociétés humaines, et leur environnement » (Muller : 2001 : 45).

En Algérie, la demande énergétique de l'espace résidentiel suit une courbe ascendante et représente plus de 40 % de la consommation finale de l'énergie (Boukarta et Berezowska-Azzag : 2018). Plusieurs actions sont entreprises par le gouvernement pour réduire la demande énergétique. L'APRUE, l'organisme en charge de l'application des mesures de réduction et de rationalisation de la consommation de l'énergie en Algérie propose de réduire la demande énergétique dans les 4 secteurs énergivore en Algérie, à savoir, le résidentiel, la mobilité, l'industriel et l'agricole (Aprue 2017). Aussi, une introduction graduelle des énergies renouvelable est prévue afin d'atteindre un objectif de 30% d'ici l'horizon 2030 (MEM : 2012). Dans cette lignée, la présente communication voudrait apporter un éclairage sur certaines mesures considérées comme réductrices de la demande énergétique sans qu'il y ait un soubassement scientifique d'appui venant corroborer cette vertu potentielle.

En Algérie, on peut distinguer quatre zones climatiques principales : la zone humide, subhumide, semi-aride et aride (DTR C3-2 et C3-4). Un fait très frappant sur les similitudes qui existent entre les maisons traditionnelles de la même zone climatique et tout particulièrement dans les lieux éloignés du littoral, la zone dite aride ou on voit la prolifération de plusieurs techniques ancestrales tendant à réduire l'agressivité climatique et rendre l'espace intérieur plus doux.

Dans la réflexion que nous proposons dans ce travail, on a choisi la région d'Oued Souf, une des régions du sud Algérien connue par l'aridité de son climat et on y tentera de mettre en évidence la profitabilité en termes de confort thermique et d'économie d'énergie potentielle que peut générer l'utilisation de la coupole dans l'espace résidentielle.

Pour répondre à l'objectif de la présente communication, nous présenterons dans la deuxième section un aperçu court de la littérature scientifique visant la caractérisation des coupoles en termes de forme et de composition. Dans la troisième section nous présenterons la méthode d'analyse prônée et ensuite sera présentée dans la section 4 les résultats obtenus accompagnés d'une





discussion. Enfin une conclusion est dressée comprenons une synthèse de nos résultats et une extension potentielle de la présente communication vers d'autres pistes de recherches.

## 2. Littérature scientifique

L'examen de la littérature scientifique nous a permis de déceler dans un premier temps la présence de toute une organisation spatiale autour de la coupole qui constitue dans l'architecture de la ville de Oued Souf une typologie toute particulière. La maison Soufie est principalement caractérisée par la présence des murs aveugles, ou avec des petites ouvertures assez hautes et une porte unique, à laquelle une entrée en chicane lui y est attenante. L'organisation spatiale se fait autour de Haouch (patio) et les chambres s'articuler autour de ce dernier. Dar El Diaf que signifie la chambre des invités et Dar Khazine est vouée au stockage et la cuisine qui se trouve dans l'angle (Amri et Alkama : 2018). Voir figure 1 ci-dessous.



**Figure 1 : représentation 3d de la maison Soufie. Amri et Alkama : 2018.**

Pour identifier au mieux les matériaux utilisés pour la construction d'une maison Soufi type, on s'est appuyé sur des travaux de recherches antérieurs. Il en ressort que les murs extérieurs sont principalement construits de blocs de pierre à origine locale de dimensions variables et le plâtre est utilisés comme liant (LEBSIR : 2016). La toiture d'une maison Soufie type est réalisée d'un mélange de Gypse, et de Lous (Fleur des sables) (idem). Alors que pour les ouvertures, les maisons Soufies peuvent n'avoir que la porte d'entrée comme seule ouverture et si d'autres ouvertures existent, elles





donnent vers l'intérieur de la maison avec des dimensions plutôt réduite (LEBSIR : 2016, Amri et Alkama : 2018, Fezzai et al : 2012).

Les méthodes de caractérisation énergétiques des éléments composant une maison se fait principalement par deux approches, une approche par mesure *in-situ* (Zeroual : 2006) et une approche par simulation thermique dynamique (Boukarta et Berezowska-Azzag : 2018, Fezzai et al : 2012). La première approche est souvent utilisée comme moyen de calibration des simulations pour réduire l'écart entre le simulé et le réel et pour que dans un second temps, les modifications qu'envisage le chercheur à l'œuvre peuvent être envisageable (Zeroual : 2006). D'autres auteurs préfèrent conduire toute une campagne de simulations thermique dynamiques pour déceler l'importance des éléments considérés (Kessab et Djilali : 2016) Dans la présente communication nous avons choisi de procéder directement par simulation thermique dynamique et en faire varier les caractéristiques dimensionnelle de la coupole afin de déceler la meilleure configuration. Une comparaison entre le cas de référence, considéré sans coupole, et les variations introduites sera discutée dans la section résultats et discussion.

### 3. METHODOLOGIE

#### 3.1. Présentation générale de la méthode

L'approche suivie se base principalement sur cinq grandes étapes : (i) Une étape première visant l'acquisition des données représentatives d'une maison Soufie type et des données météorologiques. (ii) La deuxième étape consiste en la modélisation 3D du modèle géométrique de la maison type et dans notre cas nous n'avons considéré qu'une chambre comme design d'expérimentation car une maison Soufie type est caractérisée par la présence des coupoles dans toutes les chambres. Une caractérisation thermique est ensuite implémentée au modèle en s'appuyant sur les données obtenues de la littérature scientifique. (iii) La troisième étape consiste en la caractérisation géométrique et thermique applicable à la coupole. Un protocole de simulation est conçu en ce sens et qui comprend toutes les variations dimensionnelles choisies pour la présente communication. (iv) La quatrième étape est l'application du protocole de simulation en s'appuyant sur l'outil de simulation thermique dynamique *Archiwizard Graitec* de Revit-Autodesk. (v) L'interprétation des données est l'objectif de la cinquième étape.





### 3.2. Présentation climatique et géographique de la région Oued Souf :

La région d'Oued Souf s'étire entre 33 et 34° d'altitude Nord, et 6° de longitude à l'Est. Les données météorologiques sont obtenues en s'appuyant sur le logiciel Metoenorm (meteostat : ??) représentant l'évolution climatique de la décennie 2000-2009. La chaleur constitue l'élément le plus important dans la région Soufie et est caractérisée par des températures très élevées variant entre un maximum 46 C° en mois d'août et un minimum de 1 C° en mois de janvier .Et pour les vents dominants la direction la plus importantes suit la direction Est et Sud-Est, voir les figures 2 et 3 ci-dessous.

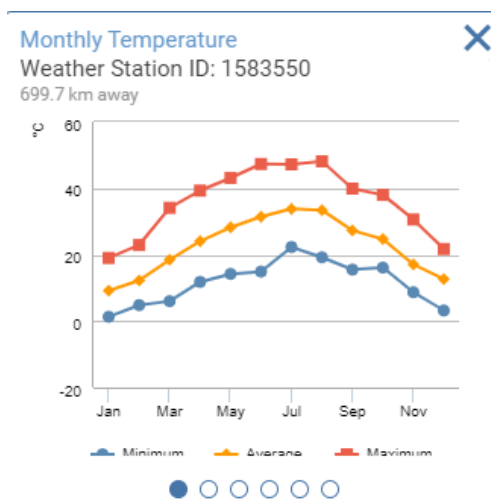


Figure 2 : évolution de la température moyenne extérieure

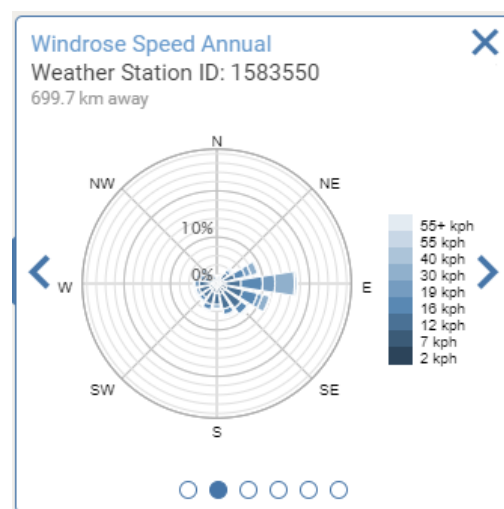


Figure 3 : la rose des vents

### 3.3. Présentation du modèle de base

Nous avons considéré une chambre de dimension 6\*6\*3.5 m avec toiture plate comme modèle de référence. Aucun obstacle se posant comme écran n'est considéré dans la présente communication. Une petite ouverture de 0.4\*0.5 m est considérée sur la façade ouest. Les caractéristiques générales de la chambre considérée sont présentées dans le tableau 1 ci-dessous.

Tableau 1 : caractéristiques générales du modèle de base.

Informations générale	
Surface Habitable (SHAB)	36 m <sup>2</sup>
Volume	126 m <sup>3</sup>
Surface déperditive totale	177.1 m <sup>2</sup>
Surface déperditive hors plancher	134.5 m <sup>2</sup>





Surface d'échanges	176.7 m <sup>2</sup>
<b>Indicateurs</b>	
Compacité de l'enveloppe (S/V)	1.2
Ratio surface de baies (SW/SHAB)	0.9%
U bat (coefficient de transmission moyen)	1.165 W/(m <sup>2</sup> .K)

Les caractéristiques thermiques considérées pour les simulations sont présentées dans le tableau 2 ci-dessous.

**Tableau 2 : les caractéristiques thermique du modèle.**

Paroi (Murs départis / Ext)						
	Conductivité W/(m.K)	Masse Volumique Kg/m <sup>3</sup>	Chaleurs spécifique J/(Kg.K)	Epaisseur cm	Masse surfactive Kg/m <sup>2</sup>	R m <sup>2</sup> .K/w
Timchent 13 mm	0.325	850	800	1.3	11.1	0.04
Pierre 30 cm	0.938	1000	1000	30.0	200.0	0.32
Enduit	0.950	2000	1000	1.0	20.0	0.01
Total	-	-	-	32.3	231.1	0.37
Parois : Plancher / toiture						
	Conductivité W/(m.K)	Masse Volumique	Chaleurs spécifique J/(Kg.K)	Epaisseur cm	Masse surfactive Kg/m <sup>2</sup>	R m <sup>2</sup> .K/w
Béton	2.99	2350	1000	15.0	352	0.07
Chape traditionnelle	1.200	2000	1000	5.0	100.0	0.04

### 3.4. Le protocole de simulation :

Le protocole de simulation est conçu sous forme d'une comparaison entre le modèle de référence d'une chambre à toiture plate et des chambres avec coupole (voir figure 4 ci-dessous). Une variation dimensionnelle caractérisée par le rayon et le volume de la coupole ainsi que le rapport volume coupole/volume chambre. En tout 4 variations dimensionnelles sont considérées et auxquelles s'ajoute une variante d'une chambre à coupole d'un diamètre de 1.6m avec une ouverture. En tout, six simulations thermiques dynamiques ont été lancées. Voir tableau 3 ci-dessous.



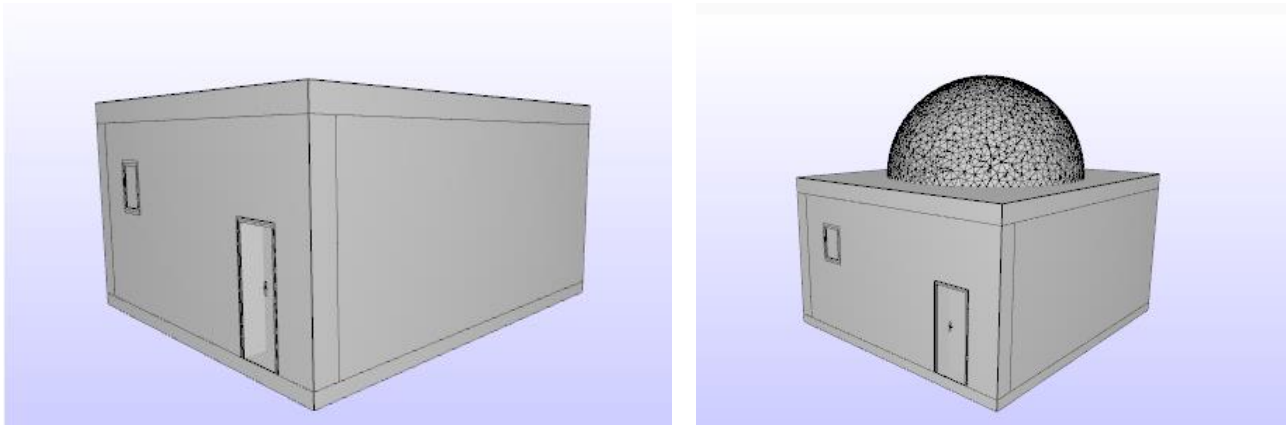


Figure 4 : (a) le modèle de référence, (b) le modèle considéré pour la variation dimensionnelle.

Tableau 3 : le protocole de simulation.

Les scenarios					
<b>Simulation 1 :</b> <b>Chambre avec toiture plate</b> <b>V=100 m<sup>3</sup></b>	<b>4 simulations : Chambre avec toiture en coupole sans fenêtre</b>				<b>Simulation 6</b> <b>Coupole Avec Fenêtre</b> <b>Rayon<sub>coupole</sub>= 1.6m</b>
	Rayon de la coupole				
	R=2.7 m	R=2.4 m	R=2.0 m	R=1.5 m	
	Volume de la coupole				
	15 m <sup>3</sup>	12 m <sup>3</sup>	8 m <sup>3</sup>	4 m <sup>3</sup>	
	RATIO : V Coupole/ V Chambre				
15 %	12 %	8 %	4 %		

Les résultats obtenus après simulation sont présentés dans la section suivante.

#### 4. Résultats et discussion:

Dans la présente section, les résultats obtenus comprennent, la variation de la température intérieure, le taux d'inconfort thermique, le potentiel de renouvellement d'air et enfin la demande énergétique annuelle.

##### 4.1. Variation de la température intérieure :

Les résultats montrent que la température extérieure varie entre 25 et 48 °C, et à l'intérieur de la chambre les températures varient avec la variation de la température extérieure dans le cas de référence (chambre à toiture plate), alors que pour le cas de la toiture en coupole, la température intérieure reste presque constante. Voir figure 5 et 6 ci-dessous.





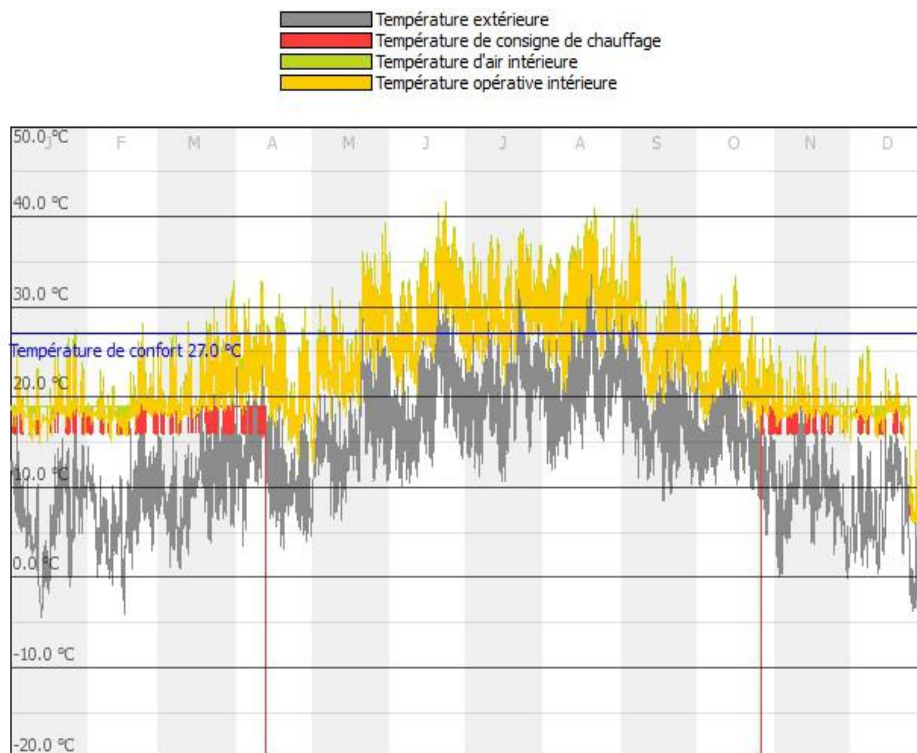


Figure 5 : Variation de la température intérieure cas de toiture plate (référence).

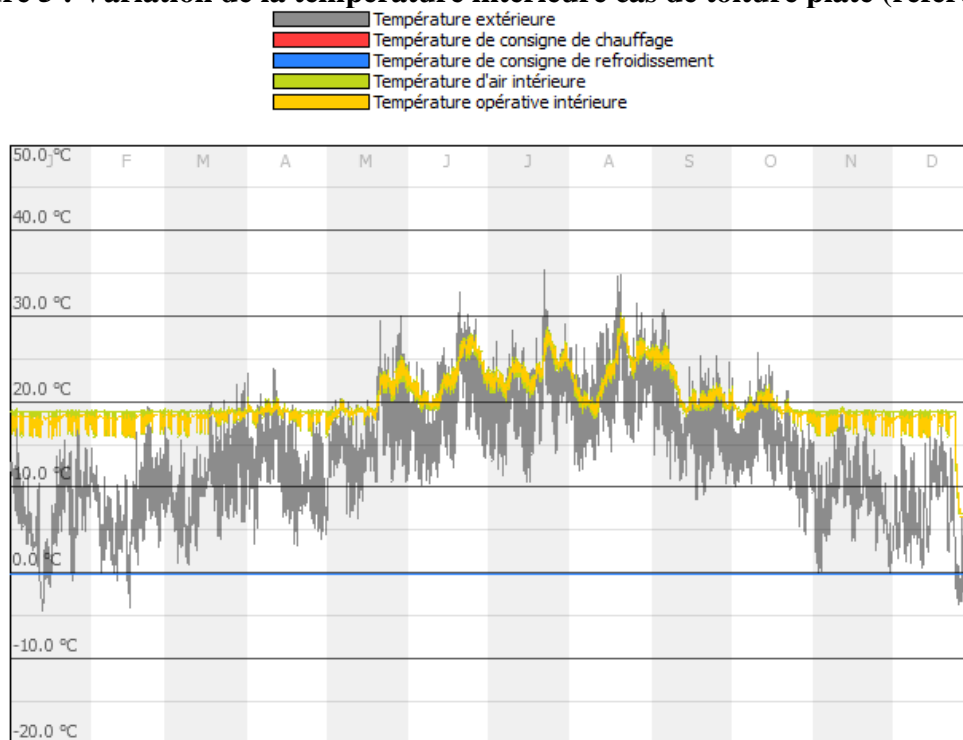


Figure 6 : Variation de la température intérieure pour le cas d'une chambre avec coupole.







#### 4.2. Variation du taux d'inconfort thermique et potentiel de renouvellement d'air :

L'examen du taux d'inconfort thermique des six simulations nous montre que le taux d'inconfort pour le cas de référence (chambre à toiture plate) est important (près de 25%) mais le taux le plus important est observable pour le cas d'une chambre à coupole à diamètre 2.4 m et sans fenêtre (27 %) et le taux d'inconfort diminue graduellement avec la réduction du diamètre de la coupole et atteint le cas le plus favorable pour le cas d'une chambre à coupole à 1.6 m de diamètre avec ouverture (6%), voir figure 7 ci-dessous. La différence entre le cas de référence et le cas le plus favorable s'élève à près de 77%. L'explication de ce résultat est lié au potentiel de renouvellement d'air par tirage thermique et le taux de déperdition thermique, car dans le cas d'une toiture plate qui représente la configuration la plus compacte, les seules sources de renouvellement d'air sont la fenêtre et la porte alors que pour le cas le plus défavorable d'une chambre à coupole sans fenêtre et à dimensions importantes (diamètre 2.4 et au-dessus), le phénomène de thermos semble se former dans la partie supérieure de la coupole car sans ouverture la chaleur emmagasinée enclenche une période d'inconfort thermique. Le cas d'une coupole avec fenêtre a le taux d'inconfort le plus réduit (6 %) confirme notre explication car le potentiel de renouvellement d'air est plus important. Voir figure 8 ci-dessous. Salat (2011) a signalé justement qu'une forte compacité n'est pas toujours synonyme d'une économie d'énergie et il ajoute même que dans un climat aride, la solution serait d'augmenter la compacité au gré d'un patio qui fonctionnera tel un régulateur thermique.

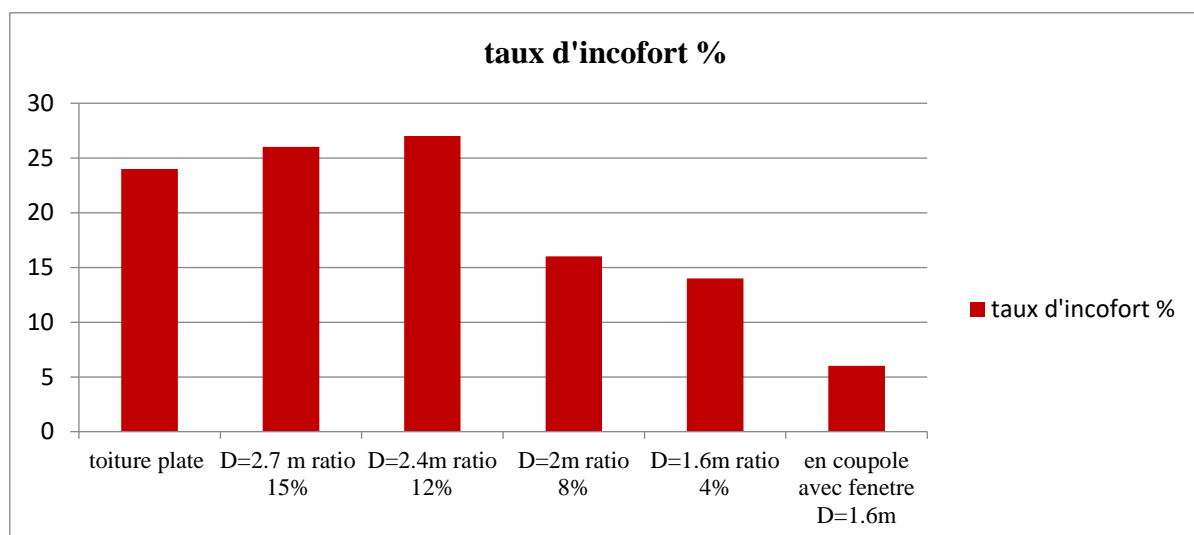
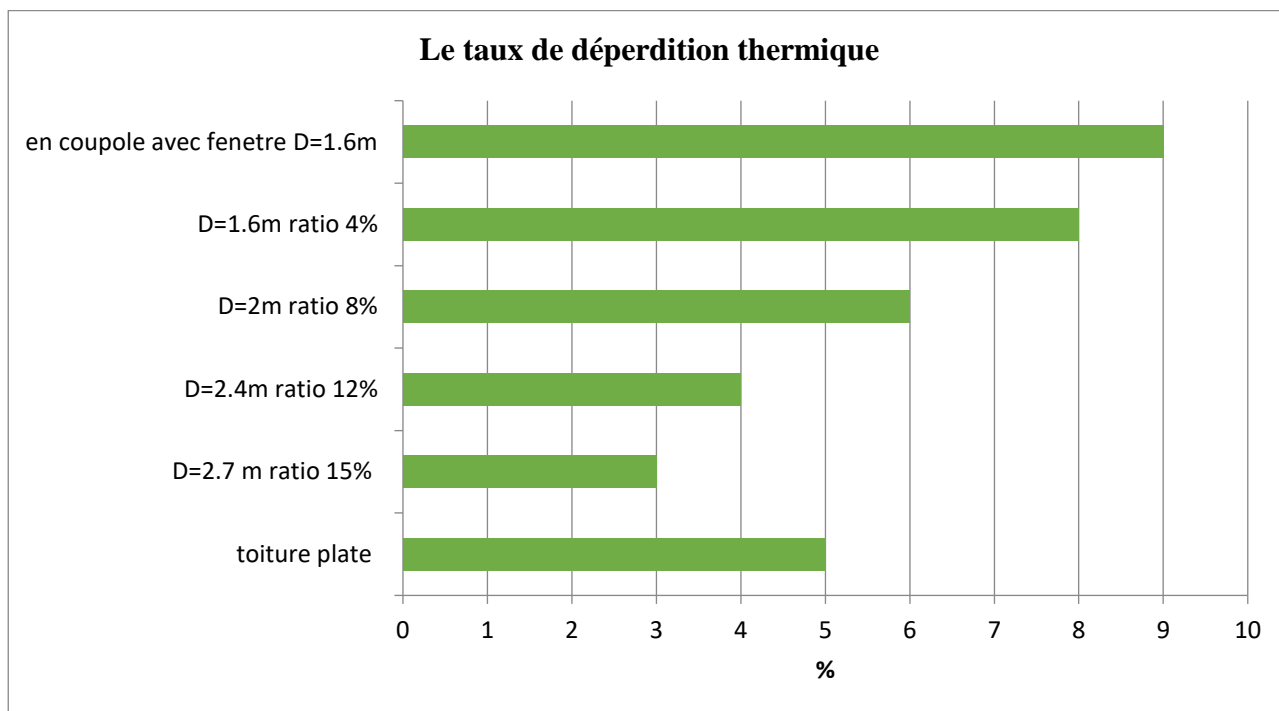


Figure 7 : le taux d'inconfort par cas.





**Figure 8 : Le taux de déperdition thermique**

#### 4.3. La demande énergétique annuelle kWh /m<sup>3</sup>:

La demande énergétique annuelle est très sensible à la présence de la coupole qui, comme on l'avait vu *supra* joue un rôle de régulateur thermique. La présence de la coupole et pour toutes les dimensions considérées permet une meilleure gestion de la demande énergétique pendant toute l'année. La chambre à toiture plate est très sensible aux variations climatique tandis que la présence de la coupole permet de créer une sorte d'une deuxième zone séparant la chambre, l'espace habitable de la partie supérieure (la coupole) ou pourrait stagner la chaleur. La demande énergétique pour toutes les variations dimensionnelles de la coupole varie entre 40 et 34 KWh/m<sup>3</sup>.an. Le potentiel d'économie d'énergie est bien important et varie de 75 à 80% par rapport à une chambre à toiture plate. La meilleure configuration est celle dont la coupole est dotée d'une ouverture permettant un meilleur renouvellement d'air et d'un volume représentant 4 % du volume de la chambre, voir figure 9 ci-dessous.



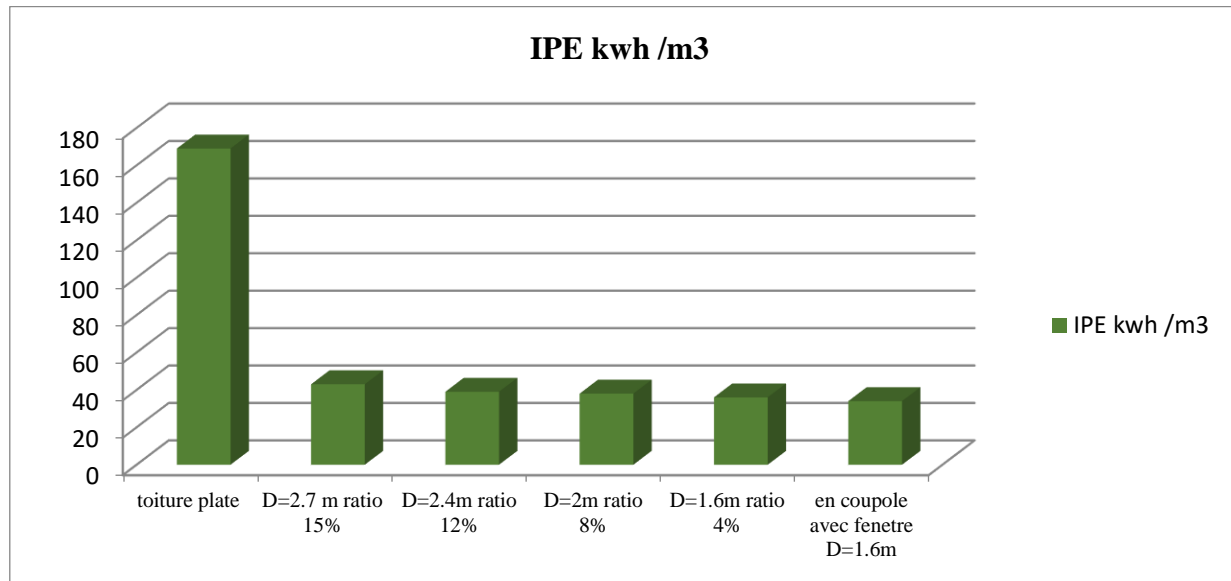


Figure 9 : la demande énergétique annuelle.

## 5. Conclusion :

La présente communication met en exergue le rôle d'un des éléments architectoniques dont l'usage est très répandu particulièrement dans l'architecture vernaculaire et dans la zone climatique aride, des vertus transmises et acceptées sans appuis scientifiques. Les résultats de ce travail montrent clairement le rôle important que peut jouer une coupole dans la régulation thermique des espaces résidentiels. Un taux d'inconfort de près de 25 % d'une chambre à toiture plate s'est vu réduire jusqu'à 6 % à travers l'introduction de la coupole à 1.6m de diamètre, dotée d'une fenêtre et dont le volume représente 4% du volume de la chambre. La demande énergétique s'est aussi réduite sous l'effet de la coupole à fenêtre totalisant une économie d'énergie annuelle pouvant atteindre les 80% pour le chauffage et la climatisation. Au terme de la présente étude, il nous est paru que l'architecture vernaculaire est riche d'enseignement, et les outils dont on dispose aujourd'hui tel que les mesures *in-situ* et les simulations thermiques dynamiques nous permettent de mieux cerner les avantages de ces mesures ancestrales tout en assurant un dimensionnement meilleur de ces mêmes stratégies. Dans la présente communication, le dimensionnement de la coupole et la présence d'une fenêtre ont été testés en vue d'une amélioration de la régulation thermique des espaces résidentiels dans le climat aride. Une approche introduisant une variation des caractéristiques thermiques des ouvertures et des matériaux de construction nous apportera plus d'éclairage sur une amélioration





potentielle des économies d'énergies que peut encore atteindre une maison traditionnelle dans un climat aride.

### Référence :

- (1) Amri, k., & Alkama, d. (2018). Knowledge of the vernacular heritage of Souf. International journal of human settlement. Vol (2), N (2).
- (2) APRUE, L'Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie (2017), La situation énergétique nationale, chiffre 2015, édition 2017.
- (3) Boukarta, S., & Berezowska, E. (2017). Exploring the Energy Implication of Urban Density in Residential Buildings. *Journal of Applied Engineering Sciences*, 7(1).
- (4) Boukarta, S., & Berezowska. (2018). Energy demand of occupant's spatial modification in residential buildings. Case study of Médéa, Algeria. *Selected Scientific Papers-Journal of Civil Engineering*, 13, 15-28.
- (5) DTR, Document technique réglementaire, C3-2 et C3-4, Ministère de l'habitat (1997), Réglementation thermique des bâtiments d'habitation.
- (6) FEZZAI, S., AHRIZ, A., & Alkama, D. (2012). Evaluation des performances énergétiques de l'habitat traditionnel dans la région de Souf.
- (7) Gauzin Muller, D., l'architecture écologique, édition du Moniteur, Paris, 2001.P45
- (8) Kessab Sara, Djilali Noussaiba, (2016), Maitrise de l'étalement urbain, conception d'un éco-quartier à la périphérie Ouest de Boufarik. Mémoire de master 2, Architecture et efficacité énergétique, université de Blida 1.
- (9) LEBSIR Abdelouahab, (2016), Les Cultures Constructives Traditionnelles, Cas des Aurès, L'Oued Mya et Le Souf. Mémoire de magister. Université de Mohamed Khider Biskra.
- (10) MESLI Houda, (2019), Construire une architecture bioclimatique par le retour aux origines traditionnelles (cas du taghit). Mémoire de Magister. Université de Mohamed Khider Biskra.
- (11) METEOTEST, Software METEONORM 7, 2016. <https://meteonorm.com/en/>
- (12) Ministère de l'énergie et des mines (MEM), (2012). Programme national de développement des énergies renouvelables à l'horizon 2030. .
- (13) Salat, Serge. (2011), *Les villes et les formes: sur l'urbanisme durable*. Edition, Hermann, France.
- (14) Zeroual, D. (2006) impact des gains de chaleur sur la morphologie des bâtiments. Cas des climats chauds et aride. Université Mentouri de Constantine.

