



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université LaarbiTébessi – Tébessa
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département d'Architecture

**Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de master
Académique**

Domaine : Architecture, Urbanisme et Métiers de la ville

Filière : Architecture

Option: Architecture et environnement

Thème:

**Le minaret comme élément de refroidissement dans la
mosquée, cas d'étude Tébessa**

Elaboré par :-Boussida Maissa.

-Belkhir Asma.

Encadré par: Dr. AHRIZ Atef.

Soutenu devant le jury composé de:

- 01- Dr. FEZZAI Sofiane..... Président
- 02- Dr. AHRIZ Atef..... Rapporteur
- 03- Mm. LACHHEB Sara..... Examineur

Année universitaire : 2018/2019

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

Sommaire

| | |
|-------------------------------------|-----|
| Remerciement | I |
| Dédicace | II |
| Résumé | III |
| Liste des figures | IV |
| Liste des tableaux | V |
| Liste des graphes | VI |
| Introduction générale :..... | 1 |
| Problématique : | 2 |
| Les hypothèses : | 4 |
| Les objectifs de recherche :..... | 4 |
| La méthodologie de recherche :..... | 4 |
| La structure de recherche : | 4 |

Chapitre 01:la mosquée

| | |
|--|---|
| Introduction :..... | 5 |
| 1. Définition de la mosquée et origine du mot : | 6 |
| 2. Le rôle de la mosquée : | 6 |
| 2.1. La mosquée centre d'enseignement et apprentissage | 6 |
| 2.2. La mosquée centre politique..... | 7 |
| 2.3. La mosquée centre juridique | 7 |
| 2.4. La mosquée trésor publique : | 7 |
| 3. les types des plans de la mosquée :..... | 8 |
| 3.1. La mosquée arabe | 8 |
| 3.2. La mosquée persane : | 8 |
| 3.3. Plan moghol | 9 |

Sommaire

| | |
|---|----|
| 3.4. Plan ottoman | 10 |
| 4. Les éléments de la mosquée : | 11 |
| 4.1. La salle de prière : | 11 |
| 4.2. Le mihrab : | 11 |
| 4.3. Le minbar : | 12 |
| 4.4. La cour : | 12 |
| 4.5. Le dôme : | 13 |
| 4.6. La coupole : | 14 |
| 4.7. Le Riwaq ' Les galeries portiques' : | 14 |
| 4.8. L'iwan : | 15 |
| 4.9. Les arcs : | 16 |
| 4.10. Les colonnes : | 17 |
| 4.11. Les piliers : | 17 |
| 4.12. Les chapiteaux : | 18 |
| 4.13. Le minaret | 19 |
| 4.13.1. Définitions | 19 |
| a. La "Soumaa" | 19 |
| b. La "manara" | 19 |
| c. La "mi'dhana" | 19 |
| 4.13.2. Le symbolisme du minaret | 20 |
| 4.13.3. Le premier minaret en Islam : | 21 |
| 4.13.4. Les parties d'un minaret : | 22 |
| a. La base : | 22 |
| b. Le fut : | 22 |
| c. Le balcon : | 22 |
| d. Le pinacle : | 23 |
| 4.13.5. Le rôle de minaret | 23 |

Sommaire

| | |
|---|----|
| 4.13.6. Styles de minarets : | 23 |
| a. Les minarets des Omeyyades : | 23 |
| b. Les minarets des Abbassides : | 24 |
| c. Les minarets des perses: | 25 |
| d. Les minarets d'Ouzbékistan et de Chine : | 25 |
| e. Les minarets ottomans: | 25 |
| f. les minarets de Maghreb: | 26 |
| 4.13. 6. Construction des minarets | 27 |
| Conclusion | 28 |

Chapitre 02:la Ventilation

| | |
|--|----|
| Introduction : | 29 |
| 1. Ventilation : | 30 |
| 2. Aération : | 30 |
| 3. Le vent: | 30 |
| 3.1 La direction du vent : | 31 |
| 3.2 Les paramètre du facteur vent: | 31 |
| 3.2.1 La température de vent ambiant : | 31 |
| 3.2.2. La vitesse de vent : | 31 |
| 3.2.3-L'humidité relative de vent: | 31 |
| 4-Normes de ventilation et aération naturelles : | 32 |
| 5-Rôle de la ventilation : | 33 |
| 6-Les fonctions de la ventilation : | 33 |
| 7-Les types de ventilation : | 34 |
| 7.1. La ventilation mécanique contrôlée | 34 |
| 7.1.1 VMC simple flux : | 34 |
| 7.1.2 VMC double flux : | 34 |
| 7.2. La ventilation naturelle | 35 |

Sommaire

| | |
|--|----|
| 8-Différentes cavités utilisé en ventilation naturelle : | 35 |
| 8.1. Le mur trombe : | 35 |
| 8.2. La façade à double peau: | 36 |
| 8.3. Les écopés : | 37 |
| 8.4. Les dômes : | 37 |
| 8.5. Les tours à vent : | 38 |
| 8.5.1 Définition de tour à vent : | 39 |
| 8.5.2. Historique de tours à vents : | 39 |
| 8.5.3 Composition des tours à vent | 41 |
| a. Le Badgir | 42 |
| b.Le Malqaf | 42 |
| 8.5.4. Fonctionnement de tours a vents | 43 |
| 8.5.5. Types des tours a vents | 44 |
| a. Tour à Vent Face aux vents dominants | 44 |
| b .Tour à vent unidirectionnelle | 45 |
| c. Tour à vent multidirectionnelle | 45 |
| d. Tour à Vent Contre les vents dominants..... | 45 |
| 8.5.6. Classification des tours vents | 46 |
| a. Classification basée sur la fonction | 46 |
| b .Classification basée sur la forme du plan | 48 |
| c. Classification basée sur le nombre d'ouvertures | 49 |
| Conclusion | 51 |

Chapitre 03: les recherches antérieures

| | |
|---|----|
| Introduction : | 52 |
| 1- Recherches antérieures sur le minaret comme un élément e refroidissement dans la mosquée | 52 |
| 1-1 le travail de NAJMUL Imam : | 52 |
| 1-2- le travail de Jamal Abed Al Wahid Jassim Al Sudany : | 53 |

Sommaire

| | |
|---|----|
| 1-3 le travail de Alfraidi, Boukhanouf et Aasem : | 53 |
| 1-4 le travail d'Al-hamadi et Ben Mekren Alsaud :..... | 54 |
| 2- Les types des logiciels de simulation | 54 |
| 2-1 Logiciel informatique : | 54 |
| 2-2 : Simulation Numérique: | 54 |
| 3 Notion sur la Simulations CFD : | 54 |
| 3.1 Principe de la CFD : | 55 |
| 3.2 Les Avantages | 55 |
| 3.3 Les inconvénients | 55 |
| 4-Liste des logiciels de simulation de la ventilation naturelle | 56 |
| 5 Choix et identification des trois logiciels : | 57 |
| 5.1 Logiciel Autodesk Flow Design: | 57 |
| 5.2 Logiciel Phoenics De Cham: | 57 |
| 5.3 Critère de choix de logiciel : | 58 |
| Conclusion | 58 |

Chapitre 04 : Zone d'intervention et choix de la mosquée

| | |
|---|----|
| Introduction | 59 |
| 1 Présentation de la ville de Tébessa | 59 |
| 1.1 La situation géographique : | 59 |
| 1.2 Les données météorologiques de la zone d'études | 59 |
| 1.2.1 La Température : | 59 |
| 1.2.2 L'humidité relative | 60 |
| 1.2.3 Le vent : | 60 |
| 2. Le choix du modèle de simulation et les variables de l'analyse | 60 |
| 2.1 Justification du choix..... | 61 |
| 2.2 Fiche technique de la mosquée | 61 |
| 2.3 Les paramètres fixes | 63 |

Sommaire

| | |
|--|----|
| 2.4 Les paramètres variables | 63 |
| 3 Les étapes de l'expérimentation (simulation) | 63 |
| 3.1 Flow design : | 63 |
| 3.2 PHOENICS de CHAM: | 64 |
| Conclusion | 64 |

Chapitre 05 : la simulation

| | |
|---|----|
| Introduction : | 65 |
| 1 La simulation de la mosquée sans minaret (l'état 0) pendant la période estivale (cas 0) : | 65 |
| 1.1 Simulation RDC : | 65 |
| 1.2 Simulation étage : | 65 |
| 1.3 Les résultats des simulations : | 65 |
| 2. La simulation de 1 ^{er} variable : position | 66 |
| 2.1. La simulation du cas n 01 | 66 |
| 2.1.1 Simulation RDC : | 66 |
| 2.1.2 Simulation étage : | 66 |
| 2.1.3 Les résultats des simulations : | 67 |
| 2.2 La simulation du cas n 02 : | 67 |
| 2.2.1 Simulation RDC : | 68 |
| 2.2.2 Simulation étage : | 68 |
| 2.2.3 Les résultats des simulations : | 69 |
| 2.3.1 Simulation RDC : | 70 |
| 2.3.2 Simulation étage : | 71 |
| 2.3.3 Les résultats des simulations : | 71 |
| 2.4 La simulation du cas n 04 : | 72 |
| 2.4.1 Simulation RDC : | 72 |
| 2.4.2 Simulation étage : | 73 |
| 2.4.3 Les résultats des simulations : | 73 |

Sommaire

| | |
|--|----|
| 3. la simulation de 2eme variable : le nombre | 74 |
| 3.1 La simulation du cas n 05 (un seul minaret) | 74 |
| 3.1.2 Simulation étage : | 74 |
| 3.1.3 Les résultats des simulations : | 74 |
| 3.2 La simulation du cas n 06 (2 minarets) | 75 |
| 3.2.1 Simulation RDC : | 76 |
| 3.2.2 Simulation étage : | 77 |
| 3.2.3 Les résultats des simulations : | 77 |
| 3.3 La simulation du cas n 07 (3 minarets) | 78 |
| 3.3.1 Simulation RDC : | 78 |
| 3.3.2 Simulation étage : | 79 |
| 3.3.3 Les résultats des simulations | 79 |
| 3.4 La simulation du cas n 08 (4 minarets) | 80 |
| 3.4.1 Simulation RDC : | 80 |
| 3.4.2 Simulation étage : | 81 |
| 3.4.3 Les résultats des simulations | 81 |
| 4. Tableau récapitulatif des résultats | 82 |
| 4.1 Classement selon les gains de refroidissement RDC | 82 |
| 4.2 Classement selon les gains de refroidissement r+1 | 83 |
| 4.3 Classement récapitulatif des résultats | 84 |
| 5. Synthèse generale : | 85 |
| 6. Décodification du classement finale des scénarios : | 85 |
| Conclusion générale : | 89 |

Remercîments :

Tout d'abord, je tiens à remercier le bon Dieu le tout Puissant de nos avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail

Noustenons à exprimer toute ma gratitude et mes remerciements les plus sincères à Mr AHRIZ Atef qui a dirigé mes travaux pour la confiance qu'elle m'atémoignée ; ainsi que pour son aide, conseils, assistance, et la patience dont elle a fait preuve tout au long de la préparation de ce mémoire.

Nous tenons aussi à exprimer nos profonds remerciements au Membres de jury à leurs efforts et leur soin apporté à notre travail, tout particulièrement :

Nous souhaitons exprimer notre gratitude à Mr. FEZZAI et à Mme LACHHEB pour avoir lu notre mémoire.

Nos remerciements les plus sincères vont également à Mr BOUDHARSSA qui m'a énormément aidé pendant la réalisation de ce travail.

Nous tenons aussi à remercier nos enseignants de département d'architecture de Tébesa pour leur disponibilité et encouragements tout au long de notre formation.

-Nous remercions toutes les personnes qui m'ont aidé d'une manière ou d'une autre, qui m'ont patiemment soutenu et encouragé pendant la réalisation de cette recherche.

MERCI A TOUS..... !

Dédicace :

Je dédie ce travail:

À mon père: S'homme de ma vie Vous avez toujours été mon école de patience, de confiance et surtout d'espoir et d'amour, Vous êtes et vous resterez pour moi ma référence, la lumière qui illumine mon chemin.

À ma mère: Vous avez guetté mes pas, et m'avez couvé de tendresse, ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études.

À mon marie: Amine Tu m'as toujours encouragé, incité à faire de mon mieux,

À mes frères et sœur : Mohamed, Sondes, Mondher et Jasnim Je vous dédie ce travail en témoignage de ma profonde affection et de mon attachement indéfectible.

À toute ma famille et tous mes amis et collègues : pour ses sincères amitiés.

Asma

Je dédie ce travail:

À mon père: À l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, à toi mon père.

À ma mère: la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur ; maman que j'adore.

À mes frères : Abd Erraouf, Abd Elaziz, Ibrahim; Souhaib , qui étaient toujours à mes côtés, et qui m'ont accompagnaient durant mon chemin je vous dédie ce travail en témoignage de ma profonde affection et de mon attachement indéfectible.

À mes Cousins: Oussama et Mohammed pour leurs aides, et encouragements

À toutes Ma famille. Aux personnes dont j'ai bien aimé la présence dans ce jour,

À tous mes amis et collègues : pour ses sincères amitiés. . Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis merci.

Maïssa

Résumé

Le minaret de mosquée utilisé traditionnellement comme plate-forme haute pour l'adhan (l'appel à prière), aujourd'hui il a considérablement perdu sa signification fonctionnelle avec l'invention des haut-parleurs, Malgré ça, les gens aiment toujours ériger un minaret en tant que symbole, identité et beauté des mosquées

Les mosquées sont classées comme les premiers consommateurs énergétiques en Algérie et des nombreuses études ont abordé la réduction de la consommation d'énergie pour trouver des alternatives passive et moins coûteuses pour réduire cette consommation non renouvelable et les émissions nocives, Toutes ces preuves pratiques ainsi que les théories scientifiques constituent la base et l'inspiration pour explorer la possibilité d'utiliser les minarets comme un tour à vent dans le but de Tester le comportement du minaret comme un élément de refroidissement dans la mosquée et Minimiser la consommation énergétique et assurer le confort thermique dans la mosquée

La première étape de la partie théorique pour acquérir et élargir les connaissances sur les minarets, la ventilation naturelle et les tours à vent. la deuxième étape est une simulation menée à l'aide du logiciel PHOENICS par deux variable positions et nombres des minarets. D'après les simulations, on a remarqué que le minaret joue le rôle d'un tour à vents par le refroidissement de la salle de prière

Mot clés : minaret, tour a vent, ventilation naturelle et refroidissement

المخلص

تُستخدم منذنة المسجد تقليدياً كمنصة عالية للأذان (الدعوة إلى الصلاة)، وقد فقدت اليوم معانيها الوظيفية مع اختراع السماعات، وعلى الرغم من ذلك، لا يزال الناس يرغبون في إقامة منذنة كرمز وهوية وجمال للمساجد

و قد تم تصنيف المساجد كأول مستهلكين للطاقة في الجزائر ، حيث تناولت العديد من الدراسات الحد من استهلاك الطاقة لإيجاد بدائل سلبية وأقل تكلفة لتقليل هذا الاستهلاك الغير المتجدد والانبعاثات الضارة ، كل هذه الدلائل والنظريات العلمية هي الأساس والإلهام لاستكشاف إمكانية استخدام المآذن كبرج للرياح لاختبار سلوك المنذنة كعنصر تبريد في المسجد من أجل تقليل استهلاك الطاقة إلى الحد الأدنى و ضمان الراحة الحرارية في المسجد .

المرحلة الأولى من البحث هي الجزء النظري لاكتساب المعرفة وتوسيع نطاقها حول المآذن والتهوية الطبيعية وأبراج الرياح والخطوة الثانية هي محاكاة أجريت باستخدام برنامج PHOENICS بواسطة متغيرين عدد المآذن و موقعها و وفقاً لنتيجة المحاكاة، لوحظ أن المنذنة تلعب دور برج الرياح عن طريق تبريد قاعة الصلاة

الكلمات الرئيسية: المنذنة، برج الرياح، التهوية الطبيعية والتبريد

Listes des figures, tableaux et graphes

Liste des figures :

| | |
|---|------------------------------------|
| Figure 1: répartition de la consommation d'énergie des collectivités locales. Source : Conférence sur l'efficacité énergétique dans les collectivités locale; 2018..... | 2 |
| Figure 2 : Kairouan, la Grande Mosquée de Sidi Okba. Source : (encyclopédie, 2019)..... | 8 |
| Figure 3: La Grande Mosquée d'Ispahan. Source : (irandestination, 2019)..... | 9 |
| Figure 4: mosquée moghole. Source: (wikidia.org, 2019) | 10 |
| Figure 5: mosquée Süleymaniye, Turquie Source : (istanbul-city, 2019) | 10 |
| Figure 6: salle de prière de la Grande Mosquée de Kairouan, en Tunisie Source :(wikipedia, 2019) | 11 |
| Figure 7: Le mihrab de Cordoue. Source : (educalingo, 2019) | 12 |
| Figure 8:Minbar mosquée Kairouan. Source :(flickr, 2019) | 12 |
| Figure 9:cour de mosquée Kairouan .Source :(wikipedia, 2019) | 13 |
| Figure 10: le dôme de mosquée sainte Sophie à Constantinople. Source : (explorizers ,2019) | 13 |
| Figure 11 : Mosquée Imam zadeh à Iran. Source : (wikipedia, 2019)..... | Erreur ! Signet non défini. |
| Figure 12: La coupole du dôme du rocher. Source : (canstockphoto, 2019) | 14 |
| Figure 13 Riwaq de Mosquée de Muhammad Ali à Caire. Source : (wikivisually, 2019) ... | 15 |
| Figure 14: iwan de la mosquée du vendredi à Ispahan. Source : (wikipedia ,2019) | 16 |
| Figure 15 : Les différentes formes d'arcs. Source :(Amira,Amina ,2019) | 16 |
| Figure 16 : Une colonne corinthienne. Source : (Previews, 2019) | 17 |
| Figure 17 : Un alignement de pilier. Source : (MANSOURI, 2016) | 18 |
| Figure 18 : Chapiteau à feuilles d'acanthé dans la Grande Mosquée de Kairouan, Tunisie.Source : (wikipedia, 2019) | 18 |
| Figure 19: symbolisme du minaret | 20 |
| Figure 20: symbolisme du minaret | 21 |
| Figure 21: symbolisme du minaret | 21 |
| Figure 22: symbolisme du minaret | 21 |
| Figure 23: Les parties d'un minaret Source : (Khoutir 2013) | 22 |

Listes des figures, tableaux et graphes

| | |
|---|----|
| Figure 25 : minaret La grande mosquée de Damas. Source :(dinosoria,2019) | 24 |
| Figure 26 : Minarets abbassides. Source :(wikipedia, 2019) | 24 |
| Figure 27 : Minaret de la grande mosquée de Shah à Ispahan. Source : (L'architecture sacrée de l'islam) | 25 |
| Figure 28 : Minarets de chine. Source : (L'architecture sacrée de l'islam) | 25 |
| Figure 29 : minaret ottoman. Source : (l'islam art et civilisation Minarets ottomans). | 26 |
| Figure 30 : le minaret de Maghreb. Source : l'islam et civilisation Minarets maghrébins | 27 |
| Figure 31 :la Ventilation. Source :(Maud 2012) | 29 |
| Figure 32 : l'aération. Source :(Maud 2012) | 30 |
| Figure 33 : Mur Trombe. Source :(KHaldi 2012/2013) | 36 |
| Figure 34 : Façade double peau. Source :(KHaldi 2012/2013) | 36 |
| Figure 35 : écopés. Source : (KHaldi 2012/2013) | 37 |
| Figure 36 : dôme. source : (blogspot,2019) | 38 |
| Figure 37 : tour à vent. source :(dubaimadame,2019) | 39 |
| Figure 38 : Les tours à vent dans le moyen orient. Source :(Mahmoudi 2009) | 40 |
| Figure 39 : Tour à vent à YAZD, IRAN. Source :(alamyimages , 2019) | 40 |
| Figure 40 : coupe transversal du Badgir . Source: (Bolorchi 2014) | 42 |
| Figure 41 : coupe de Malqaf. Source: (Bolorchi 2014) | 43 |
| Figure 42 Principe fonctionnement de tour à vent. Source :(Boussaid 2017/2018) | 44 |
| Figure 43 : Circuit du mouvement d'air à travers la tour à vent. Source (Mahmoudi 2009) . | 45 |
| Figure 44 : tour à vent contre le vent A cause de la petitesse. Source : (Mahmoudi 2009).... | 46 |
| Figure 45 Carte de la ville de Tébessa. Source: (Belghith, Azaizia; 2018) | 59 |
| Figure 46 : plan RDC de la mosquée. Source : auteur | 62 |
| Figure 47 : plan 1ér étage de la mosquée. Source : auteur | 62 |
| Figure 48:la façade de la mosquée. Source : auteur | 62 |
| Figure 49: Flow Design. Source: auteur | 63 |
| Figure 50 PHOENICS de CHAM. Source : auteur | 64 |

Listes des figures, tableaux et graphes

| | |
|--|----|
| Figure 51 : Simulation RDC cas 0. Source : auteur | 65 |
| Figure 52 Simulation étage cas 0. Source : auteur | 65 |
| Figure 53: position des minarets cas 1. Source : auteur | 66 |
| Figure 54: Simulation RDC cas 1.Source : auteur | 66 |
| Figure 55: simulation étage cas 1. Source : auteur | 67 |
| Figure 56 : position des minarets cas 2. Source : auteur | 68 |
| Figure 57: Simulation RDC cas 2. Source : auteur | 68 |
| Figure 58: Simulation étage cas 2. Source : auteur | 69 |
| Figure 59: position des minarets cas 3. Source : auteur | 70 |
| Figure 60: Simulation RDC cas 3. Source : auteur | 70 |
| Figure 61: Simulation étage cas 3. Source : auteur | 71 |
| Figure 62: position des minarets cas 4. Source : auteur | 72 |
| Figure 63: Simulation RDC cas 4. Source : auteur | 72 |
| Figure 64: Simulation étage cas 4. Source : auteur | 73 |
| Figure 65: nombre de minaret cas 5. Source : auteur | 74 |
| Figure 66: Simulation RDC cas 5. Source : auteur | 74 |
| Figure 67: Simulation étage cas 5. Source : auteur | 75 |
| Figure 68: nombre des minarets cas 6. Source : auteur | 76 |
| Figure 69: Simulation RDC cas 6. Source : auteur | 76 |
| Figure 70 : Simulation étage cas 6. Source : auteur | 77 |
| Figure 71 : nombre des minarets cas 7. Source : auteur | 78 |
| Figure 72: Simulation RDC cas 7. Source : auteur | 78 |
| Figure 73: Simulation étage cas 7. Source : auteur | 79 |
| Figure 74: nombre des minarets cas 8. Source : auteur | 80 |
| Figure 75: Simulation RDC cas 8.Source : auteur | 80 |
| Figure 76: Simulation étage cas 8. Source : auteur | 81 |

Listes des figures, tableaux et graphes

Liste des tableaux :

| | |
|--|----|
| Tableau 1 : vitesse de l'air et le ratio équivalence. Source :(belghith 2018) | 33 |
| Tableau 2 : Classification basée sur la fonction. Source (Boussaid 2017/2018) | 48 |
| Tableau 3 : Classification basée sur la forme du plan. Source (Boussaid 2017/2018) | 49 |
| Tableau 4 : Classification basée sur le nombre d'ouvertures Source (Boussaid 2017/2018) .. | 51 |
| Tableau 5 : Liste des logiciels de simulation de la ventilation naturelle | 57 |
| Tableau 6: Tableau de la variation mensuel de la température | 60 |
| Tableau 7: Tableau de la variation mensuel de l'humidité relative | 60 |
| Tableau 8 : Tableau de la variation mensuel de la vitesse du vent. | 60 |
| Tableau 9 : Tableau de Vitesse et direction du vent durant la Période estivale. Source: (Belghith,2018) | 61 |
| Tableau 10 : Tableau récapitulatif des résultats. Source : auteur | 82 |
| Tableau 11 : Classement selon les gains de refroidissement RDC. Source : auteur | 82 |
| Tableau 12 : Classement selon les gains de refroidissement r+1. Source : auteur | 83 |
| Graphe 2 : 13 Classement selon les gains de refroidissement r+1. Source : auteur | 83 |
| Tableau 14 : Classement récapitulatif des résultats. Source : auteur | 84 |

Liste des graphes :

| | |
|--|----|
| Graphe 1 : Classement selon les gains de refroidissement RDC. Source : auteur | 82 |
| Graphe 2 : 13 Classement selon les gains de refroidissement r+1. Source : auteur | 83 |
| Graphe 3 : Classement récapitulatif des résultats. Source : auteur | 84 |

Introduction générale :

L'efficacité énergétique et les économies d'énergie dans les bâtiments sont devenues une préoccupation majeure dans plusieurs pays, où le refroidissement des bâtiments représente l'essentiel de la consommation énergétique et a un impact négatif sur l'environnement.

L'Algérie est l'un des pays, les plus énergivores, non pas seulement du point de vue de la consommation d'énergie mais surtout du point de vue de l'affectation de cette consommation d'énergie, Mustapha Guitouni, ministre de l'énergie, lors d'une conférence sur l'efficacité énergétique Affirme que (Abideen 1997)«*Plus de 80% de l'énergie produite dans le pays était consommée au niveau des Collectivités locales , nous devons être à la hauteur des exigences à travers la rationalisation des niveaux de consommation et l'amélioration énergétique, notamment dans les bâtiments administratifs et publics, les logements sociaux, les écoles et les mosquées ainsi que dans l'éclairage public en tant que principaux sites de consommation* »

Donc les mosquée sont classées comme les premiers consommateurs énergétiques les raisons, selon la direction de la SDE La société de distribution de l'électricité et du gaz de l'Est , sont «*l'utilisation exagérée de la climatisation et le non-respect des normes de réglage, l'utilisation des lustres avec plusieurs ampoules à haute consommation d'énergie, l'utilisation de ventilateurs en plus des climatiseurs à forte intensité énergétique* », (algerie360 2019) De l'aveu même des responsables de la société de distribution de gaz et d'électricité de l'Est SDE (Sonelgaz), les mosquées de la wilaya de Constantine consomment autant d'énergie électrique qu'une ville moyenne. Selon les statistiques de la SDE, la facture de ces lieux de culte s'élèverait pour les trois dernières années à 9 milliards de centimes environ, se sont des mosquées énergivores dont le coût de la consommation annuelle en électricité permettrait des installations à même de répondre aux besoins énergétiques de toute une ville, révèlent des cadres de la SDE.

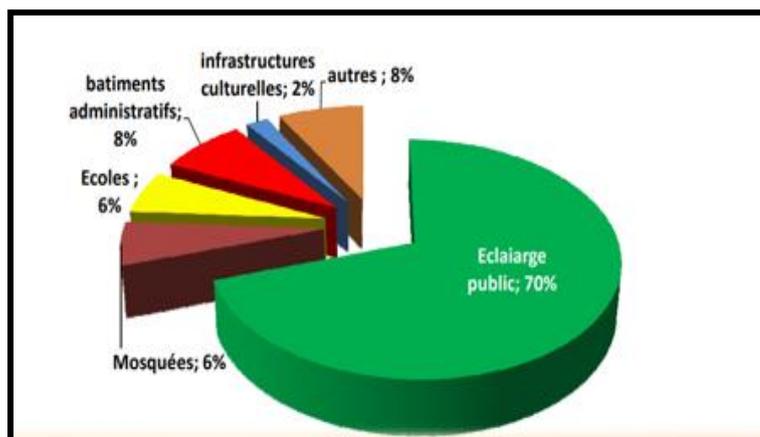


Figure 1: répartition de la consommation d'énergie des collectivités locales. Source : Conférence sur l'efficacité énergétique dans les collectivités locale; 2018

Cela se traduira éventuellement par une augmentation des investissements dans l'infrastructure de production d'énergie, un coût plus élevé de la production d'énergie et de la pollution de l'environnement dans toutes les villes algériennes et tous les climats.

Parmi ces villes on compte la ville de Tébessa, qui située dans une zone aux potentialités locales inestimables avec un climat semi-aride, a une intensification urbaine et un développement industriel qui ont causés une consommation non durables et une augmentation considérable à l'utilisation des énergies.

Problématique :

La mosquée est l'institution primaire de l'islam et le symbole de l'identité de la civilisation islamique c'est le lieu où le fidèle se prosterne pendant les prières rituelles et ne suppose à première vue rien de plus qu'un espace rituellement pur.

Cela met en évidence l'importance d'étudier les performances thermiques de ce type de bâtiment pour minimiser la consommation énergétique et assurer le confort des fidèles, Comme le dit Laure Dobigny (2008) : « *Penser l'énergie, c'est penser la société* ».

Bien que de nombreuses études aient porté sur les éléments architecturaux de la mosquée et ont été consacrés au confort thermique et ont discuté des aspects environnementaux de ces éléments et leur rôle dans la minimisation de la consommation énergétique. Par exemple, Abideen (Abideen 1997) a constaté qu'il était possible de réduire considérablement la charge de refroidissement de mosquées climatisées de la ville de Djedda en utilisant des moyens passifs adéquats, Il a constaté que la stratégie de refroidissement passif proposée garantissait des économies environ 82% en énergie de climatisation, 50% en argent, 28% en CO2 80% des émissions de CFC au niveau de la ville.

Al-Najim et Al- Mofeez (Al-Najim A. 1999) a étudié les conditions climatiques dans la région orientale de Arabie Saoudite. Ils ont découvert que la cour de la mosquée peut servir de lieu de prière jusqu'à 32% de la période de surchauffe de l'année, et recommandé de poursuivre les recherches sur le potentiel thermique de la cour bâtiments de la mosquée.

Aussi Sultan Alfraidi (alfraidi 2016) a étudié le minaret comme un élément de refroidissement par l'utilisation des techniques des tours a vents ,et des conceptions qui peuvent être mises en œuvre, il a montré que le refroidissement par évaporation est efficace dans les climats chauds et secs.

En effet le minaret est un élément essentiel dans la conception des mosquées cet élément par son élancement et sa beauté est considéré comme un symbole de l'Islam et ses victoires, et une expression pratique des sens de l'unicité « El tawhid ». C'est dans le cadre de la préservation du patrimoine culturel matériel et immatériel que représente cet élément principal constitutif des mosquées, et dans le souci de contribuer à la protection de l'identité architecturale

On a constat que d'une part Aujourd'hui, le muezzin n'a plus à monter au sommet d'un minaret car l'électricité porte son appel à la prière au loin grâce à un micro ; L'argument fonctionnel de cette tour n'existant plus ! et (Toufik cahier de charge du mosquée othman ibn affan a chraia) selon cahier de charge du mosquée Othman Ibn Affan à Chraia Tébessa le cout d'un m3 de béton est 1,5 million DA et le m3 béton pour l'escalier de minaret et 1,8 million DA pour le m3.

D'autre part les caractéristiques formelles du minaret est les plus proches de celles des tours a vents qui sont des tours traditionnelles d'architecture persane utilisée depuis des siècles pour créer une ventilation naturelle dans les bâtiments, Ce sont en général des cheminées rectangulaires d'environ trois mètres sur cinq et d'une quinzaine de mètres de haut. La partie supérieure de la tour comporte des ouvertures verticales Ce capteur de vent fonctionne grâce à la faible différence de pression entre la base et le sommet à l'intérieur de la colonne aide à remonter l'air chaud vers le sommet et à amener de l'air frais vers le bas de la colonne.

Ces constats nous poussons à poser ces questions :

-Est-ce que le minaret peut jouer le rôle d'un capteur à vent pour le refroidissement de la mosquée dans la saison estivale?

- quelles sont les variables peut-on donner au minaret le rôle de refroidissement dans la mosquée ?

Les hypothèses :

- le minaret peut jouer le rôle de refroidissement dans la mosquée parce que ses caractéristiques formelles sont proches à celles des tours à vents.
- Les variables sont le nombre ; la position du minaret.

Les objectifs de recherche :

Cette recherche se trace les objectifs suivants :

- Tester le comportement du minaret comme un élément de refroidissement dans la mosquée.
- Minimiser la consommation énergétique et assurer le confort thermique dans la mosquée.
- Evaluer l'effet du minaret comme un élément de refroidissement.

La méthodologie de recherche :

Pour atteindre les objectifs de cette recherche et confirmer ou affirmer les hypothèses afin de montrer le minaret comme élément de refroidissement, Une fois la problématique élaborée et les hypothèses de travail émises, Une méthodologie composée de trois parties sera employée.

La Première Partie s'agit d'introduire le thème de recherche à travers le traitement des différents aspects théoriques du sujet la mosquée, le minaret et les tours à vents seront pris en considérations historique évolution conception caractéristiques, types ... cette partie aide à comprendre les techniques et comment se fonctionne les tours à vents.

La deuxième partie état de l'art par la présentation des recherches antérieures contient l'identification des méthodes et approches appliquer à la recherche du même thème. A partir de cette partie la troisième partie sera identifiée.

La troisième partie la partie expérimentale l'identification de la méthode et l'outil applicables au programme de recherche qui est la simulation par un logiciel qui consiste à créer un modèle d'un système réel afin de tester le comportement du minaret comprendre leur l'état

actuel comme un élément de refroidissement ensuite améliorer les performances et les variables de cette minaret pour aboutir à nos objectifs.

La structure de recherche :

Introduction, problématique, les hypothèses et les objectifs de recherche

Le mémoire est divisé en cinq chapitres distribués comme suit :

Dans Le premier chapitre nous serons amenés à traiter la définition de nos concepts à savoir les mosquées et leur composante à travers l'historique des mosquées en s'appuyant sur des modèles et citations, Il s'agit ensuite de se diriger vers le minaret cerné sur les différentes formes et dimensions

Le deuxième chapitre se compose de 2 parties l'une c'est circulation des vents et la ventilation naturelle, l'autre partie on s'intéresse principalement au fonctionnement des tours a vent comme un élément de refroidissement

Pour le troisième chapitre : Nous avons fait une synthèse de ce qui a été réalisé dans ce domaine et classé selon les paramètres étudiés. Ensuite on va analyser Les méthodes, Afin de pouvoir trouver le meilleur type d'analyse dans la partie analytique de la recherche par Les logiciels qui nous a permis de déterminer l'impact de minaret sur la refroidissement de la mosquée.

Sur le quatrième chapitre une présentation de cas d'étude la wilaya de Tébessa et la création d'un modèle de tester le comportement du minaret comprendre leur l'état actuel comme un élément de refroidissement ensuite améliorer les performances et les variables de cette minaret pour aboutir à nos objectifs .Et dans le cinquième chapitre nous effectuons des simulations informatiques, une fois les résultats obtenus, nous procédons à leur présentation et interprétation.

La conclusion générale : expose les conclusions et les synthèses tirées de travail, des recommandations architecturales pour le minaret comme un élément de refroidissement dans la mosquée dans la zone climatique du Tébessa.

Chapitre I : les mosquées

Introduction :

L'architecture religieuse, quelle qu'elle soit, est toujours plus ou moins tributaire des impératifs culturels. L'orientation des édifices, leur disposition interne, leur mobilier, leur décor renvoient directement ou indirectement aux actes religieux prescrits aux fidèles.

À cet égard, l'Islam ne fait pas vraiment exception à la règle, encore que le côté individuel de la prière y soit beaucoup plus marqué qu'ailleurs. On sait en effet que si le musulman doit prier cinq fois par jour, il lui est loisible de faire pratiquement n'importe où et seul.

Cependant, dans le désir évident de créer, puis de maintenir et de renforcer l'idée d'appartenance à la communauté, le Prophète Mohammed a également invité les fidèles à prier ensemble, une fois par semaine, le vendredi à midi.

Cette disposition sera à l'origine du plan des premières mosquées comme des lieux de culte où se rassemblent les musulmans pour les prières communes.

1. Définition de la mosquée et origine du mot :

Si nous voulons définir le mot mosquée, nous trouvons que cette définition est un bâtiment dans lequel les musulmans adorent Dieu, où les cinq prières obligatoires et d'autres. Nommé la mosquée parce que c'est un lieu de prosterner devant Dieu, La mosquée est également appelée une "جامع", surtout si elle est grande. C'est ce qu'on appelle "جامع" lorsque les gens se rassemblent pour les prières du vendredi. Bien appelé Un lieu de prière *مصلى* à la place d'une mosquée lors de certaines des cinq prières Imposées sur eux, comme des chapelles d'école, des institutions, des entreprises, des routes de voyage, etc., qui ne sont souvent pas nécessaires.

Où la prière est limitée par la période actuelle Et est appelé à prier dans la mosquée à travers l'adhaan, et cinq fois par jour.(خليل 2014)

2. Le rôle de la mosquée :

On sait que la mosquée est avant tout le lieu du rappel de Dieu, le lieu de la prière. Mais la mosquée n'était pas uniquement un lieu destiné à la prière ; elle remplissait de nombreuses autres fonctions c'était également un lieu où l'on accueillait les voyageurs et les nécessiteux qui trouvaient la nourriture et l'hébergement dans un climat de parfaite fraternité

2.1. La mosquée centre d'enseignement et apprentissage

Après la naissance de l'islam, la fonction secondaire la plus importante de la mosquée a été sa fonction didactique.

Alors, apprendre les concepts religieux pour permettre le développement de l'islam, donner la possibilité de lire et d'écrire aux Musulmans constituait une des préoccupations majeures du Prophète.

Dans certains pays musulmans, les grandes mosquées ont joué un rôle important dans le développement des sciences et la modernisation des sociétés.

2.2. La mosquée centre politique

Le fait que l'imam prononce les sermons dans la mosquée est le signe le plus important de la relation étroite existant entre la politique et l'islam. Le sermon donnait la légitimité politique et y participer était le symbole de l'adhésion et de la solidarité. En fait, il était la voie la plus rapide pour transmettre les messages afin d'informer les gens sur la qualité du gouverneur, son authenticité et sur son représentant.

Faute de centre gouvernemental, les premiers gouverneurs islamiques ont utilisé la mosquée comme lieu de réception lors des visites officielles. Ce rôle politique de la mosquée s'est conservé jusqu'aujourd'hui lors de la prière du vendredi. Dans la majorité des pays islamiques, le sermon qui a lieu à cette occasion contient deux phases : l'une politique et l'autre religieuse. Il faut mentionner que le gouverneur islamique a le rôle le plus important dans l'islam. En effet, le Prophète était à la fois le chef religieux, politique, social et militaire de la société et la guidait depuis la mosquée.(faceiran 2019)

2.3. La mosquée centre juridique

le Prophète a choisi la mosquée comme lieu où la justice était rendue a été . Recueillir les témoignages, écouter les plaignants, rendre la justice, tout cela avait lieu dans la mosquée. Certains jours de la semaine, le juge islamique y prononçait ses jugements.

2.4. La mosquée trésor public :

Le Prophète a également lié l'activité économique à la mosquée. Cela signifie que lorsque les gens regardaient la mosquée, ils la voyaient non seulement comme un centre de culte, mais également comme un centre de résolution des problèmes économiques, raison pour laquelle le

Prophète (paix et bénédictions d'Allah soient sur lui) collectionnait et distribuait la zakat à travers la mosquée.

3. les types des plans de la mosquée :

3.1. La mosquée arabe

Les mosquées de plan arabe ont été construites notamment sous le règne des Abbassides et des Omeyyades

Le plan arabe, ou plan hypostyle est conçu de la mosquée du prophète à Médine c'est un plan de forme carrée ou rectangulaire, composé d'une cour à portique et d'une salle de prière à colonnes, les nefs étant dirigées parallèlement ou perpendiculairement et un minaret carré flanqué d'un côté de la cour

Parmi les mosquées de ce type dans le monde islamique : la grande mosquée des Omeyyades à Damas et la grande Mosquée de Kairouan en Tunisie.

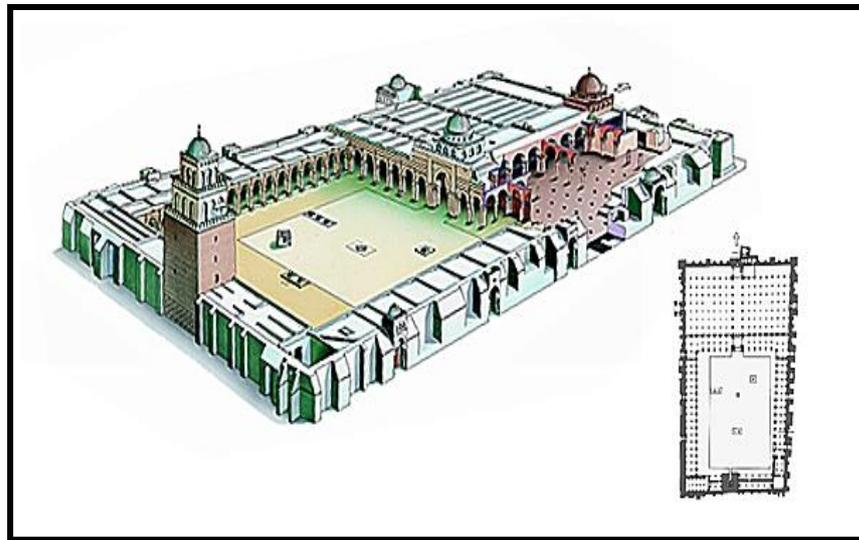


Figure 1 :Kairouan, la Grande Mosquée de Sidi Okba. Source : (encyclopédie, 2019)

3.2. La mosquée persane :

La mosquée de type persan apparaît en Iran au tournant des XIe-XIIe siècles. Son architecture intègre des formes d'origine iranienne et préislamique (iwan, salle à coupole)avec les éléments fondamentaux de la mosquée arabe (cour, salle, mur qibla).

La mosquée persane se compose d'une cour rectangulaire à ciel ouvert, entourée de salles de prière hypostyles, formées d'une succession de petites coupoles. Le milieu de chaque côté de la cour est occupé par un grand portail voûté plus ou moins profond : un iwan ou eivan. Une salle à coupole, précédée d'un iwan souvent flanqué de deux minarets, contient le mur de la qibla, orienté perpendiculairement vers La Mecque.

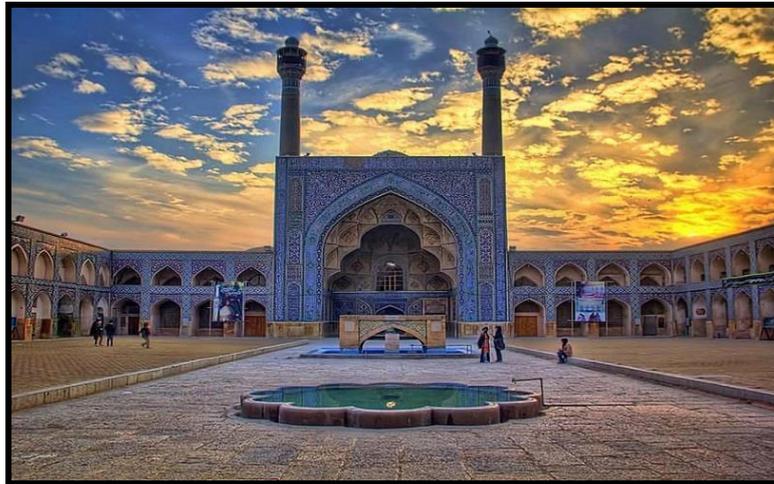


Figure 2: La Grande Mosquée d'Ispahan. Source : (irandestination, 2019)

3.3. Plan moghol

Ce plan, que l'on trouve en Inde à partir du XVI^e siècle, est une variante du plan iranien. Il se caractérise par une immense cour à quatre iwans, dont un ouvre sur une salle de prière étroite et rectangulaire, couronnée par trois ou cinq coupoles bulbeuses.



Figure 3: mosquée moghole. Source: (vikidia.org, 2019)

3.4. Plan ottoman

Ce plan se trouve en Turquie (actuelle) principalement, et fut mis au point après la Prise de Constantinople en 1453 par l'architecte Sinan lorsque sont découvrirent l'architecture unique de Sainte-Sophie

Les mosquées ottomanes se composent généralement d'une salle de prière sous une immense coupole cantonnée de demi-coupoles et de coupolettes bordée d'une cour à ciel ouvert entourée de galeries et flanquée, en ses angles, de deux à quatre minarets, et l'espace intérieur n'est pas coupé par des colonnes



Figure 4: mosquée Süleymaniye, Turquie Source : (istanbul-city, 2019)

4. Les éléments de la mosquée :

4.1. La salle de prière :

C'est le lieu où les musulmans prient (haram) les fidèles se rassemblent face au mihrab qui marque la direction de La Mecque. la forme de la salle de prière dépend des styles peut être de type hypostyle soutenue par des colonnes ou piliers, plus profonde que large (Médine, Kairouan) ou plus large que profonde (Espagne, Maroc)

Le sol est toujours recouvert de tapis afin de purifier le lieu



Figure 5: salle de prière de la Grande Mosquée de Kairouan, en TunisieSource :(wikipedia, 2019)

4.2. Le mihrab :

Il prend la forme d'une niche plus ou moins profonde et plus ou moins grande souvent décoré avec deux colonnes et une arcature, toute mosquée doit impérativement être dotée de cette niche, creusée généralement au milieu du mur qui donne la direction de la Mecque, ce mur est appelé la Qibla.

Le premier mihrab en islam c'était celui de la mosquée du prophète a Médine sous le règne d'Elwalid ben Abd El Malek

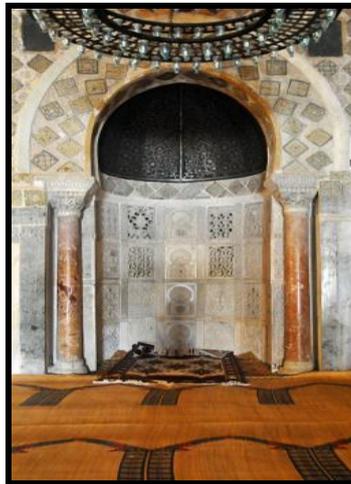


Figure 6: Le mihrab de Cordoue. Source : (educalingo, 2019)

4.3. Le minbar :

Le minbar est une sorte d'escabeau servant de chaire situé a la droite du mihrab en haut d'une série de marche d'où le khatib (imam) fait son sermon lors de la prière du vendredi dans une mosquée.

Du temps du Prophète sw, le minbar servait de trône au chef de la communauté, puis il devint chaire à degrés monumentale d'où le prédicateur fait le sermon du vendredi.

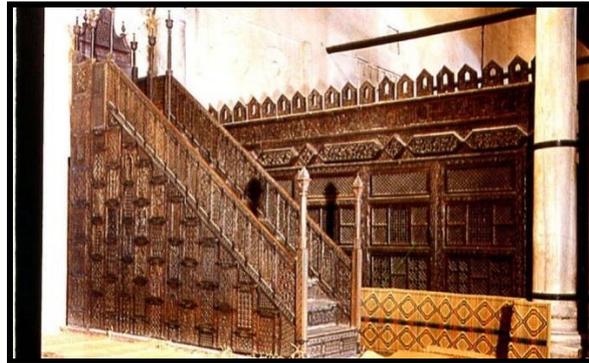


Figure 7:Minbar mosquée Kairouan. Source :(flickr, 2019)

4.4. La cour :

C'est un espace découvert vient directement après l'espace de la salle de prière il peut être entouré de portique, plante de végétation aménagé avec une fontaine.

La cour ou Sahn occupe une place très importante dans l'architecture des mosquées en raison du climat sec et chaud des pays arabes, le plus souvent il est se forme carrée ou rectangulaire et son sol est généralement surbaissé par rapport à celui de la salle de prière dans le but de faciliter l'écoulement des eaux pluviales.



Figure 8:cour de mosquée Kairouan .Source :(wikipedia, 2019)

4.5. Le dôme :

Caractéristique de l'architecture islamique, il provient des traditions sassanides et chrétiennes. Le dôme du Rocher (fin VII siècle), à Jérusalem, est l'un des plus anciens et des plus grands. Il indique l'endroit où Mahomet fit de nuit le voyage céleste (Mi'raj). Il surmonte un haut tambour entouré à la base de deux déambulatoires

On appelle dôme l'extérieur d'une coupole, et les pluparts des dômes sont nommés suivant leur forme, leur construction ou leur décoration parmi les dômes de forme sphérique deux grandes divisions :

*Les dômes surbaissés

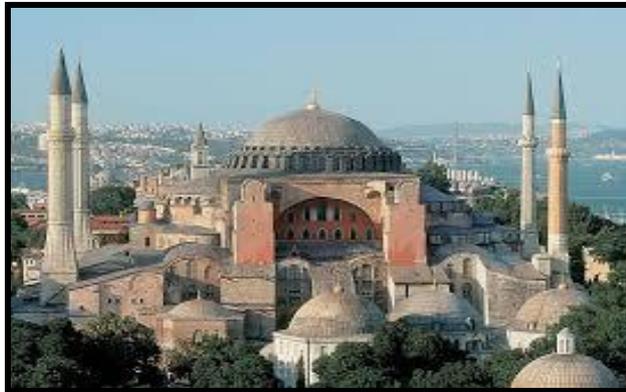


Figure 9: le dôme de mosquée sainte Sophie à Constantinople. Source : (explorizers ,2019)

*Les dômes surhaussés



Figure 10 :Mosquée Imam zadeh à Iran. Source : (wikipedia, 2019)

4.6. La coupole :

Une coupole est une voûte hémisphérique c'est la partie centralisée du plafond ornementée de minuscule mosaïque de plusieurs couleurs, de profil semi-circulaire, elliptique ou polygonal, parfois exhaussée par un tambour, la toiture de cette voûte est un dôme.

Les nervures et les muqarnas qui remplissent souvent les coupoles dans le monde islamique



Figure 11: La coupole du dôme du rocher. Source : (canstockphoto, 2019)

4.7. Le Riwaq ' Les galeries portiques' :

C'est un passage/ couloir étendue large couvert situé tout autour de la cour d'une mosquée. C'est un élément de conception dans l'architecture islamique. Le 1^{er} qui avait innové les Riwaq dans les mosquées était le calife Othman ibn Affane (644-656), qui avait rajouté des galeries pour la mosquée du prophète. (MENHOUR 2012)

Sachant que l'islam est né dans un climat chaud –les précipitations sont rares, d'où la possibilité de faire la prière en plein air ce qui explique l'évolution de la galerie (Riwak) généralisée pour un maximum d'ombre. (MENHOUR 2012) En plus qu'elles sont utilisées pour la protection contre les intempéries et le soleil et représente un élément décoratif, ils recevoir les étudiants pour les connaissances des différentes notions et aussi sont des espaces de transition entre les espaces intérieurs et extérieurs.



Figure 12 Riwaq de Mosquée de Muhammad Ali à Caire. Source : (wikivisually, 2019)

4.8. L'iwan :

Est un élément architectural qui consiste en un espace voûté à parois sur trois côtés et s'ouvrant sur le quatrième par un arc sur la cour centrale, Le portail officiel vers l'iwan s'appelle « pishtaq » il est d'origine persane.

Son origine se situe dans Khorasan (province de l'Est de l'Iran). Les premières mosquées d'Iran étaient à Kiosques (coupoles héritées des sassanides). L'apparition de l'iwan unique contribua à l'édification des petites mosquées, comme celle de Bamiyan en 1221, cette mosquée à iwan unique prend de l'importance par une augmentation en profondeur (BENTIBA 2017/2018)



Figure 13: iwan de la mosquée du vendredi à Ispahan. Source : (wikipedia ,2019)

4.9. Les arcs :

« Un arc est un ensemble de pierres taillées, en forme d'arc de cercle, qui forme le haut d'une ouverture : une porte, une fenêtre». C'est un élément important dans l'architecture islamique.

Les premiers arcs musulmans apparaissent à la Coupole du Rocher à EL-Qods. Ce sont des arcs de plein cintre légèrement brisé à la clef (MANSOURI 2015/2016)

Il existe plusieurs types d'arcs selon la région, et l'époque : arc plein cintre , Arc surbaissé , Arc surhaussé, Arc de plein cintre outrepassé, Arc brisé ,Arc Iranien ,Arc lobé ,Arc à lobes tréflés, Arc recto curviligne ,Arc festonné ,Arc à lambrequin et l'Arc en anse de panier

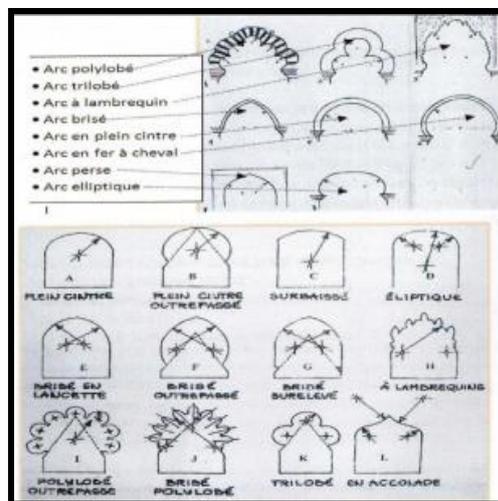


Figure 14 : Les différentes formes d'arcs.Source :(Amira,Amina ,2019)

4.10. Les colonnes :

Sont des supports verticaux de soutien de formes cylindriques ; soutenues les voûtes intérieures et Les arcades des portiques extérieurs. Généralement ils sont disposés parallèlement au mur de la qibla .Les premières colonnes utilisées par les Musulmans dans leurs mosquées étaient des troncs de palmiers.(MANSOURI 2008)

Les colonnes se composent de trois parties : un fût de section proche du cercle repose souvent sur une base et surmonte un chapiteau :

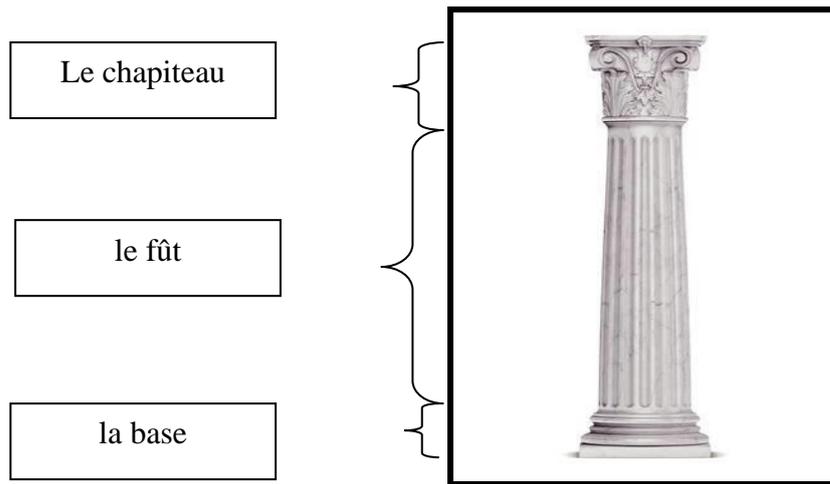


Figure 15 : Une colonne corinthienne. Source : (Previews, 2019)

4.11. Les piliers :

Un pilier est un support vertical de pierre isolé avec ou sans décoration. Ces constructions Sont des éléments maçonnés et de forme très diverses : carrés, rectangulaires, en forme de T, cruciformes, octogonaux. Destiné à porter les charpentes ou les voûtes des édifices.

Historiquement, il s'agit d'un support vertical maçonné à la différence de la colonne primitive qui est en bois ou en pierre monolithe, puis il finit par désigner un élément vertical dont le corps a un plan massé quelconque, à l'exclusion du cercle et du polygone qui caractérise la colonne (MANSOURI 2015/2016)



Figure 16 : Un alignement de pilier. Source : (MANSOURI, 2016)

4.12. Les chapiteaux :

Un chapiteau est, en architecture, un élément de forme évasée qui couronne un support vertical et lui transmet les charges qu'il doit porter. D'un point de vue ornemental, il est le couronnement, la partie supérieure d'un poteau, d'une colonne, d'un pilastre, d'un pilier, etc. (MANSOURI 2015/2016) Les chapiteaux qui font partie de l'architecture islamique sont de matières différentes, la pierre, le marbre, le stuc ciselé et le bois sculpté parfois peint.



Figure 17 : Chapiteau à feuilles d'acanthé dans la Grande Mosquée de Kairouan, Tunisie.Source : (wikipedia, 2019)

4.13. Le minaret

4.13.1. Définitions

a. La "Soumaa"

Le mot arabe "Soumaa", cité dans le Coran, définit l'ermitage ou le monastère, maison de culte où les ermites "rouhban", accomplissaient leurs rites:

"ولولا دفع الله الناس بعضهم ببعض لهدمت صوامع وبيع وصلوات ومساجد يذكر فيها اسم الله كثيرا" صدق
الله العظيم

(Si Allah ne repoussait pas les gens les uns les autres, des ermitages seraient démolis, ainsi que des églises, des synagogues, des Mosquées où le nom d'Allah est beaucoup invoqué)

la "Soumaa" est une construction rectangulaire et haute équipée d'une échelle pour monter à une chambre édifiée à son pic, où les ermites " accomplissaient leurs rites, loin du monde, pour ne pas être dérangés. Ils utilisaient des lanternes pour rester éveillés et en même temps éclairer le chemin aux passants, d'où provient le mot minaret ou "manara" en langue arabe, utilisé plus couramment. Le mot "Soumaa" est courant dans les pays du Maghreb en général, et particulièrement en Algérie.(MERZOUG 2012)

b. La "manara"

C'est un mot arabe dont les musulmans sont utilisés pour indiquer les tours construites dans la mosquée (MERZOUG 2012)

Dans le passé, les minarets étaient équipés de chandeliers, ce qui en faisait des balises pour guider les voyageurs en ville. C'est pourquoi de nombreux chercheurs arabes l'appellent manara

c. La "mi'dhana"

La "mi'dhana مؤذنة" est un mot arabe vient du nom "Idhn إذن" qui veut dire avis, et du verbe "adhana" qui veut dire aviser, annoncer, proclamer, La mi'dhana donc C'est le tour le plus élevé dans la mosquée où le Muezzin fait l'appel pour les cinq prières ainsi celle du vendredi

Ces trois mots définis : la "soumaa", la "manara", la "mi'dhana" sont donc des termes arabes expriment parfaitement la fonction du minaret qui est une sorte de tour généralement attaché à une mosquée, d'où le muezzin appelle à la prière en prononçant l'Adhan

4.13.2. Le symbolisme du minaret

Le minaret est le point de repère de la ville islamique, en effet, dans la silhouette de la ville islamique le minaret doit figurer comme point d'appel, élément de structuration de l'image urbaine ; par sa forme élancée dans le ciel il désigne la direction verticale.

Dès l'époque omeyyade et jusqu'à maintenant, les minarets, comme étant la partie la plus visible de la mosquée, sont utilisés pour indiquer le triomphe islamique, la puissance, la richesse et la présence. Que ce soit dans un territoire conquis récemment, dans un pays musulman ou même dans une communauté où il y a des musulmans, les minarets ont exprimé leur présence, ou du moins leur existence.

Les minarets sont souvent surmontés de trois boules et d'un croissant .ces trois boules symbolisent les trois mondes célestes (alm al jabbarut), intermédiaire (alm al malakut) et terrestre (alm al mulk) .le croissant figure un quatrièmes monde, soit le monde inaccessible de la majesté divine.

Le minaret est un critère important qui caractérise les mosquées de différentes dynasties (dans des époques et des temps différents), il a été décoré de fresques islamiques. (الجبلاوي 2014)



Figure 18: symbolisme du minaret

Fait référence au gradient vers le ciel et à sa connexion à la terre



Figure 19:symbolisme du minaret

Le minaret ressemble à l'idée du phare et des tours des églises où les deux appellent à la prière par le son et la lumière



Figure 20:symbolisme du minaret

L'utilisation de deux minarets dans une mosquée dans l'architecture égyptienne fait référence à deux bras s'étendant à Dieu

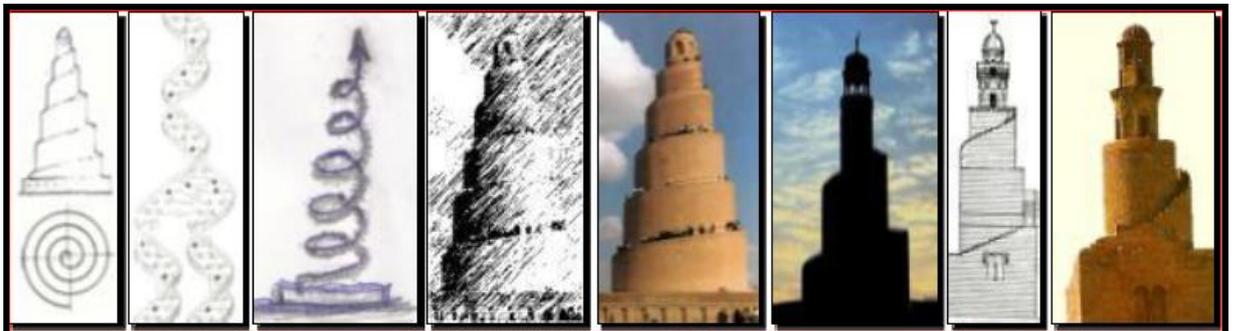


Figure 21: symbolisme du minaret

L'escalier en colimaçon autour le minaret de la mosquée Samarra en Irak et de la mosquée Ahmed Ibn Tulun au Caire symbolise une flèche montante vers le ciel

4.13.3. Le premier minaret en Islam :

Plusieurs dates sont avancées par les historiens pour indiquer l'évènement de l'apparition de premiers minarets.

Biladhri indique que le premier minaret fut construit en pierre durant l'année 54 AH, pendant l'époque du Wali Omeyyade de Bassora Ziad Ibn Oubayah qui était chargé par l'Emir Mouaouia3.

El Makrizi, quant à lui, c'est en 53 AH que sont apparus les premiers minarets qui ont été construits par Museilimah Ibn El-Moukhalad sur ordre de l'Emir Mouaouia. Ces minarets étaient au nombre de quatre et ressemblaient aux tours de l'antique église de Damas. Comme il a ordonné la construction du minaret du Fostat et de faire appel à la prière des deux Mosquées en même temps (MERZOUG 2012)

4.13.4. Les parties d'un minaret :

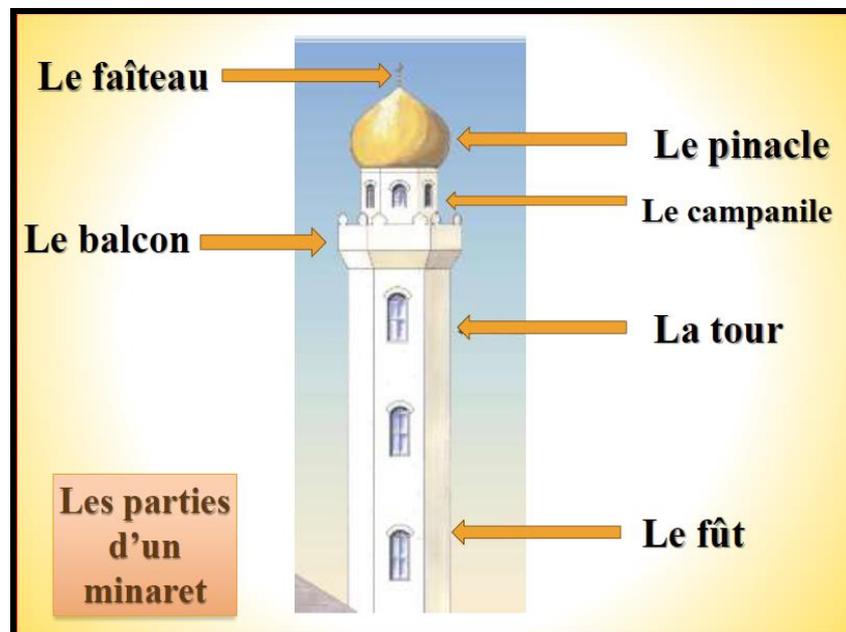


Figure 22: Les parties d'un minaret Source : (Khoutir 2013)

a. La base :

La base est la partie inférieure du minaret elle a plusieurs formes carré, circulaire, cylindrique, polygonale...La base du minaret peut être séparée de la mosquée ou intégrée au mur de la mosquée ou au-dessus de l'entrée

b. Le fut :

Le corps du minaret est la partie située au-dessus de la base, se présente sous plusieurs formes carrée, en spirale polygonale... Selon la forme de la base

Il existe aussi une base carrée et un corps cylindrique ou une base carrée et un corps polygonal et autres.

c. **Le balcon :**

Au sommet de la tour se trouve un balcon depuis lequel le muezzin appelait les fidèles à la prière, surmonté d'un petit dôme ou d'un pavillon pour assurer la résonance. Une mosquée peut posséder plusieurs minarets

d. **Le pinacle :**

Est un symbole de forme conique, polygonale, demi-cercle... posé au sommet du minaret pour porter les balles et le croissant

-Les boules sont des boules de métal au-dessus du pinacle soit une ou deux ou trois boules

Le croissant est la partie la plus élevée du minaret est utilisé pour plusieurs raisons, premièrement l'adaptation de calendrier islamique des mois lunaire il est aussi placé de sorte que son ouverture et parallèle à la direction de Qibla. (Khoutir 2013)

4.13.5. Le rôle de minaret

Un minaret est une tour élevée qui fait partie de l'architecture d'une mosquée. Son but est d'indiquer l'emplacement de celle-ci et d'offrir au muezzin un point élevé duquel il peut appeler les musulmans à la prière jusqu'à cinq fois par jour. Aujourd'hui, toutefois, l'appel se fait plutôt par haut-parleur afin de couvrir les bruits de circulation qui ont envahi les villes les plus peuplées du monde musulman.

4.13.6. Styles de minarets :

Les minarets ont des formes très variées (en général ronds, carrés, en spirale ou octogonaux) en fonction du génie de chaque architecture).

a. Les minarets des Omeyyades :

Les premiers minarets ont été construits à l'époque Omeyyades en 7eme siècle. Le style omeyyade est non seulement le premier style de l'architecture islamique, mais il est aussi le plus important. Il dégage aussi bien quelques aspects d'influence byzantine, que sa propre personnalité basé sur les principes islamiques. Durant cette période il y a eu recherches de nouveaux éléments de composition, tel que le minaret. Les omeyyades ont été influencé par les tours de l'église chrétienne. (MENHOUR 2012)

On admet généralement, que la première mosquée qui ait été ornée de minarets est celle que le calife Walid fit édifier à Damas, par 'Moawiya Ibn Abi Soufiane'.



Figure 23 :minaret La grande mosquée de Damas. Source :(dinosoria,2019)

b. Les minarets des Abbassides :

Le style abbasside dégage un caractère d'influence mésopotamienne. La date de l'apparition des premiers minarets n'est pas connue, mais ceux de Samarra figurent vraisemblablement parmi les plus anciens. Le premier minaret spiral ou hélicoïdal c'est celle de Samarra, haute de 55 mètres environ, dotée d'une rampe. Ce qu'on voit une forte inspiration mésopotamienne. Les deux autres mosquées en spirale sont : Abû Dulaf à samarra, et la mosquée Ibn Tulun au Caire.(MENHOUR 2012)

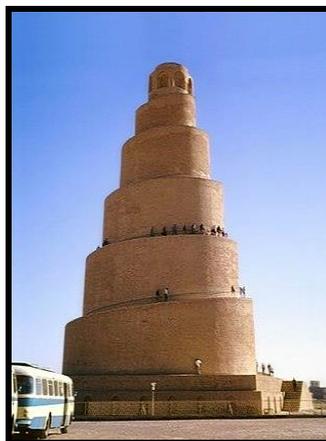


Figure 24 : Minarets abbassides. Source :(wikipedia, 2019)

c. Les minarets des perses:

Les premiers minarets sont en brique. La forme générale est cylindrique. C'est au XVème siècle que la décoration en céramique devient très riche. Les minarets sont de cinquante ou plusieurs mètres de haut et sont construits en brique cuite, et en partie de brique vernissées

comme éléments décoratifs. Dans l'axe du minaret il y a des escaliers colimaçon La couleur dominante est le bleu.(MENHOUR 2012)

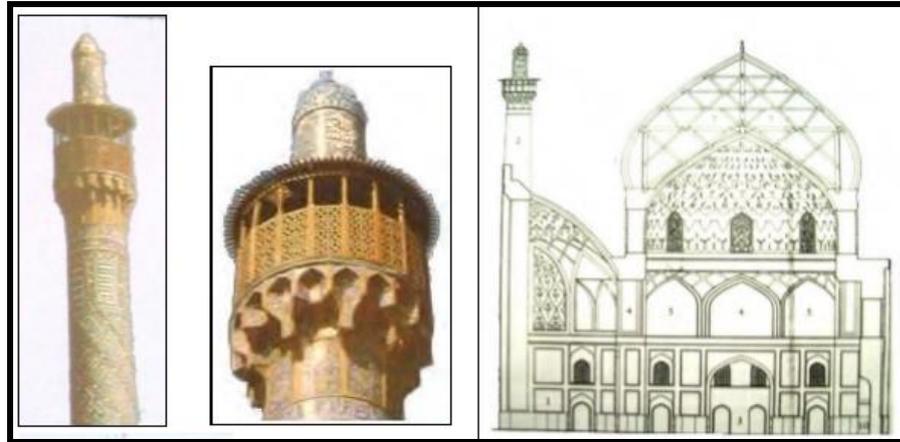


Figure 25 : Minaret de la grande mosquée de Shah à Ispahan. Source : (L'architecture sacrée de l'islam)

d. Les minarets d'Ouzbékistan et de Chine :

Ils sont également de forme cylindrique et le plus souvent construit en brique ; ils sont revêtus de céramique vernissée ou de mosaïque ; les couronnements ont souvent plusieurs rangées de muqarnas ou petits dômes de couleur turquoise. (MERZOUG 2012)

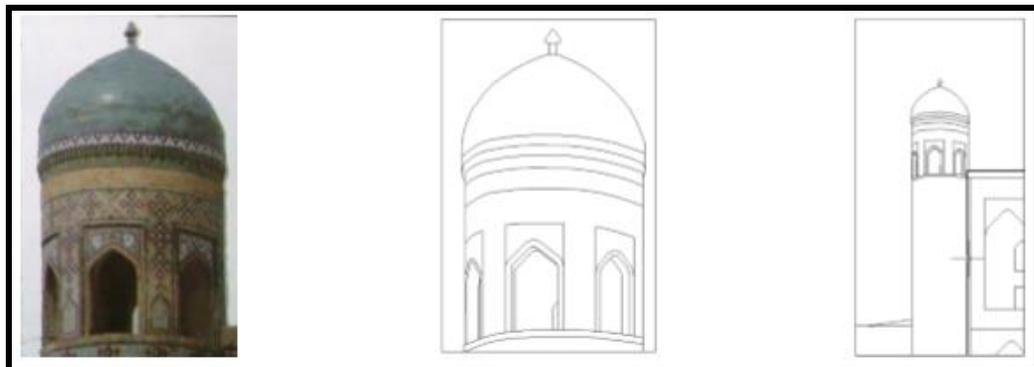


Figure 26 : Minarets de chine. Source : (L'architecture sacrée de l'islam)

e. Les minarets ottomans:

Le minaret ottoman prend une forme immuable, celle d'un prisme élevé (le plus souvent à arêtes vives) surmonté d'une couverture conique très effilée. Un à trois balcons peuvent le ceinturer Sa silhouette représente une aiguille qui évoque l'au-delà, mais sa structure, contrairement à l'art gothique, n'a pas un caractère actif.(MERZOUG 2012)



Figure 27 : minaret ottoman. Source : (l'islam art et civilisation Minarets ottomans).

f. les minarets de Maghreb:

De même que les mosquées au grand Maghreb, Les minarets sont d'influences diverses omeyyades, andalous et ottoman, d'où la diversité de leur formes (carrée, octogonale ou cylindrique), ainsi que les matériaux utilisés (MENHOUR 2012)

le plus ancien minaret est celui de la Grande mosquée de Kairouan en Tunisie. Il est également le plus ancien minaret encore debout de tout le monde musulman et par conséquent le plus ancien au monde qui soit parvenu jusqu'à nous., le minaret de la Grande Mosquée de Kairouan apparaît comme le prototype de tous les minarets de l'Occident musulman : il a servi de modèle aussi bien en Afrique du Nord qu'en Andalousie.

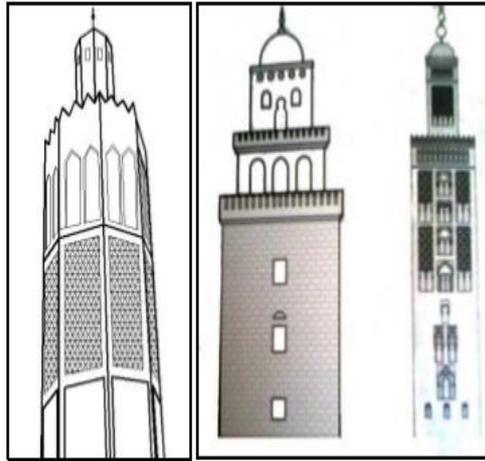


Figure 28 : le minaret de Maghreb. Source : l'islam et civilisation Minarets maghrébins

Donc dans chaque région, le type du minaret dérive d'une construction locale à silhouette de tour : les tours carrées paléochrétiennes en Syrie, le phare d'Alexandrie pour la côte sud-méditerranéenne, les tours de vigie circulaires en Asie centrale. La forme et la hauteur des minarets, leur décor, leur place même varient selon les régions et les époques. Ainsi des types de minarets caractérisent le monde musulman : Le minaret carré, parti de Syrie Ces minarets carrés, dont il n'existe pas deux semblables, comportent plusieurs étages de salles superposées. Celles-ci sont éclairées par des fenêtres ornées extérieurement d'un décor géométrique en relief qui crée, à l'intérieur, des jeux d'ombre et de lumière.

Le minaret à fût cylindrique connaît, par contre, une grande expansion dans l'Orient musulman dès le XI^e siècle, avec les conquêtes seldjoukides. L'imagination et le talent des architectes s'expriment par des variantes à la base, au pied du fût, à la galerie et au sommet, mais il n'y a aucun logement ni étage dans le fût où s'enroule, autour d'un noyau central, un escalier en colimaçon menant jusqu'au sommet.

Le minaret à fut octogonal, apparu à l'époque abbasside en Irak et connaît une grande expansion avec les Seldjoukides ; et le minarets spirale sa construction remonte à l'époque Abbasside.

4.13. 6. Construction des minarets

Quelques minarets sont construits en pierre, mais la plupart sont en briques revêtues de stuc. Leur forme, leur hauteur, leur décor et leur place même varient selon les régions, les époques et les matériaux disponibles sur les lieux de construction

Plusieurs matériaux ont été utilisés pour construire les minarets : stuc, brique et du bois. Chaque matériau avait sa fonction, les pierres étaient utilisées pour construire des fondations et des murs. Le bois est utilisé dans les balcons et les escaliers. Au sommet du minaret, la nature des matériaux utilisés dépend de plusieurs facteurs. Notamment le climat et la situation géographique et le type de relief prédominant, La beauté des minarets se reflétait dans la simplicité de sa composition. Plusieurs modèles uniques et particulières ont été construits dans l'architecture islamique pour inclure l'élément fonction et répondre au besoin pour lequel il a été construit et pour résister aux facteurs climatiques.

Le minaret oriental est construit en brique, parfois vernissée, qui permettent de composer de larges registres décoratifs

Le matériau de liaison varie en fonction du type de pierre. Pour les fondations l'élément qui travaille sur la distribution et la transformation des charges vers le sol. Vu que l'importance des fondations dans le renforcement, la consolidation et la durabilité du minaret, l'architecte musulman a pris grand soin. Il a donc établi des fondations solides pour supporter le poids sur eux et pour résister aux facteurs climatiques (الخازمي 2016).

Conclusion

Dans les mosquées modernes et avec l'aide de spécialistes des matériaux de construction, les éléments de construction peuvent être intégrés dans le cadre des services environnementaux et le minaret aujourd'hui ne peut être utilisé pour l'appel à la prière mais elle reste un symbole de l'Islam et ses victoires donc est ce que on peut être intégré le minaret dans les salles de prière afin de servir des capteurs de vent pour faciliter le refroidissement dans la mosquée ?

Chapitre 02:la Ventilation

Introduction :

Au cours des dernières décennies, l'efficacité énergétique des bâtiments est devenue une problématique majeure, apparaissant comme un enjeu économique et écologique de premier ordre.

Le secteur du bâtiment est le plus gros consommateur d'énergie. Ce secteur est également celui où les économies d'énergie les plus importantes peuvent être réalisées. Pour chaque poste de consommation du bâtiment (chauffage, climatisation, ventilation)

Nous ciblerons l'utilisation de la ventilation naturelle comme stratégie principale pour assurer le confort d'été dans les bâtiments non climatisés par plusieurs systèmes comme les tours à vent qui ont les mêmes caractéristiques formelles des minarets.

1. Ventilation :

C'est le renouvellement général d'air dans un bâtiment par entrée d'air neuf extérieur et sortie d'air intérieur vicié, grâce à un dispositif naturel ou mécanique, lequel assure en permanence des débits d'air minimaux.

Une ventilation insuffisante est l'une des causes principales de la mauvaise qualité de l'air intérieur d'un bâtiment (Maud 2012)

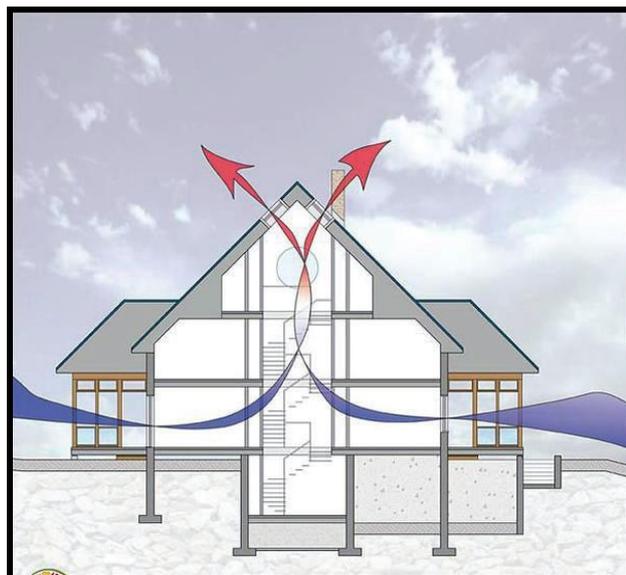


Figure 1 : la Ventilation. Source : (Maud 2012)

2. Aération :

C'est l'ouverture des portes et des fenêtres.

Cette action volontaire participe à l'amélioration de la qualité de l'air intérieur des locaux.

On parle aussi à tort de « ventilation naturelle » par défaut d'étanchéité de l'enveloppe des bâtiments et ouverture des fenêtres.(Maud 2012)



Figure 2 : l'aération. Source :(Maud 2012)

3. Le vent:

Le vent contribue au renouvellement d'air dans le bâtiment par ventilation naturelle de 2 façons : d'une part par ses effets moyens, qui se traduisent par une différence de pression moyenne de part et d'autre de l'enveloppe du bâtiment, et d'autre part par ses effets turbulents(belghith 2018)

Le vent naît sous l'effet des différences de températures et de pression. La pression sur la terre est haute si de l'air lourd et froid descend et basse si de l'air chaud et léger monte. L'air chaud (plus léger) monte naturellement dans les couches hautes de l'atmosphère pour y créer une zone de basse pression "L". Cependant, l'air chaud attire à lui une autre masse d'air: la zone de haute pression. C'est de cette différence de pression entre les deux masses d'air qu'origine le vent. Tout simplement parce que l'air contenu dans la "H" a naturellement tendance à s'engouffrer dans la "L" qui la voisine. L'air qui bouge, c'est le vent! (meteo 2019)

3.1 La direction du vent :

Il s'agit de la direction d'où il vient. Par exemple un vent du Nord souffle du Nord vers le Sud. La direction est déterminée grâce à l'allure de la manche à air ou de manière plus précise à l'aide d'une girouette, en général graduée de 20 en 20 ° à partir du Nord. Ainsi, un vent à 180 ° est un vent du Sud. Un vent à 40 ° est un vent du Nord-est. La direction du vent est approximativement parallèle aux lignes isobares (courbes qui relient les points de même pression). Plus le vent est fort plus ce parallélisme est vérifié. A partir d'une carte donnant les isobares on peut donc déterminer la direction du vent en tout point (vent 2019)

3.2 Les paramètres du facteur vent:

3.2.1 La température de vent ambiant :

La température de vent, ou température ambiante (T_a), est un paramètre essentiel du confort thermique. Elle intervient dans l'évaluation du bilan thermique de l'individu au niveau des échanges convectifs, et respiratoires, dans un local. La température de l'air n'est pas uniforme. Des différences de températures d'air représentent également en plan à proximité des surfaces froides et des corps de chauffe (belghith 2018)

3.2.2. La vitesse de vent :

(et plus précisément la vitesse relative de l'air par rapport à l'individu) est un paramètre à prendre en considération, car elle influence les échanges de chaleur par convection et augmente l'évaporation à la surface de la peau.

À l'intérieur des bâtiments, on considère généralement que l'impact sur le confort des occupants est négligeable tant que la vitesse de l'air ne dépasse pas 0,2 m/s.

À titre de comparaison : se promener à la vitesse de 1 km/h produit sur le corps un déplacement de l'air de 0,3 m/s.

Le mouvement de l'air abaisse la température du corps, facteur recherché en été, mais pouvant être gênant en hiver (courants d'air). (belghith 2018)

3.2.3-L'humidité relative de vent:

L'humidité relative de vent influence les échanges évaporatoires cutanés, elle détermine 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 thermique. Une humidité trop forte dérègle la thermorégulation de l'organisme car l'évaporation a 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.(belghith 2018)

4-Normes de ventilation et aération naturelles :

Les températures idéales sur cette période est entre 21 et 24°C,

-un déplacement d'air à la vitesse de 0,5 à 1 m/s sur des faibles activités. Mais lorsqu'on fournit une activité musculaire dans des endroits chauds, des vitesses d'air de 1,25 à 2,5 m/s sont nécessaires pour apporter un soulagement.

-L'effet rafraîchissant est ressenti peut-être exprimé en fonction de la diminution de la température de l'air qui donnerait le même effet rafraîchissant en air calme.

-Voici les valeurs extraites du *Guide pratique de ventilation - Woods*, valables pour des conditions moyennes d'humidité et d'habillement :

-La vitesse généralement désignée par "brise légère" est de l'ordre de 2,5 m/s. L'échelle de Beaufort des vents reproduite sur le tableau ci-dessous donne des vitesses des vents en km/h et en m/s.

L'inconfort n'apparaît que lorsque :

- L'humidité relative est inférieure à 30 %,
- L'humidité relative est supérieure à 70 %

Sur cette période on a une grande vitesse au niveau extérieur influé à l'espace intérieur, et pour diminuer la température intérieur faut-il un vitesse d'air important, le ration de diminution représente c'est dessous :

| Vitesse de l'air [m/s] | Refroidissement équivalent [°C] |
|------------------------|---------------------------------|
| 0,1 | 0 |
| 0,3 | 1 |
| 0,7 | 2 |
| 1,0 | 3 |

| | |
|-----|---|
| 1,6 | 4 |
| 2,2 | 5 |
| 3,0 | 6 |
| 4,5 | 7 |
| 6,5 | 8 |

Tableau 1 : vitesse de l'air et le ratio équivalence. Source : (belghith 2018)

5-Rôle de la ventilation :

La ventilation des bâtiments, mécanique ou naturelle, peut occuper plusieurs rôles tels qu'assurer la qualité de l'air intérieur, améliorer le confort thermique en été et réaliser des économies d'énergie.

Selon une étude de l'ADEME, plus de 80% de la population vit actuellement dans des zones urbaines et passe jusqu'à 90% de son temps dans des espaces clos. Une mauvaise aération et donc une mauvaise qualité de l'air peut avoir des conséquences néfastes sur le bâtiment ainsi que sur la santé des occupants. Cela participe au « syndrome du bâtiment malsain » qui a fait son apparition dès les années 70.

Une bonne ventilation permet d'apporter un air neuf tout en évacuant l'air vicié ainsi que les odeurs et polluants provenant majoritairement de l'intérieur du bâtiment. Le renouvellement d'air est donc indispensable pour maintenir le confort et l'hygiène des bâtiments (fajjianelli 2014)

6-Les fonctions de la ventilation :

Les systèmes de ventilation doivent satisfaire à des exigences d'hygiène, de confort, de respect de l'environnement et d'économie d'énergie. La ventilation est au service de trois fonctions principales :

- La ventilation a un rôle hygiénique qui consiste à maintenir une bonne qualité de l'air intérieur. Il s'agit essentiellement de prévenir l'accumulation de polluants gazeux et d'odeurs désagréables au sein du bâtiment.
- La ventilation a un rôle d'entretien sert à éviter ou d'éliminer la condensation de la vapeur d'eau sur les parois. Elle permet d'atteindre cet objectif de pérennité du bâti en

remplaçant l'air humide par de l'air moins humide. Cette fonction est étroitement liée à la ventilation d'hygiène.

- Le troisième rôle est l'obtention d'un confort d'été en favorisant les échanges thermiques convectifs et évaporatifs. L'augmentation du renouvellement d'air permet d'accroître les échanges avec l'air extérieur et de refroidir le bâtiment lorsque la température de l'air extérieur est inférieure à celle de l'air intérieur. Le renouvellement d'air doit être limité quand les températures s'inversent. (KHaldi 2012/2013)

7-Les types de ventilation :

7.1. La ventilation mécanique contrôlée

Afin de répondre aux exigences des réglementations thermiques, plusieurs solutions de ventilation existent actuellement, les systèmes les plus répandus sont :

7.1.1VMC simple flux :

La VMC simple flux est actuellement le système le plus répandu dans l'habitat individuel, équipant la majorité des logements construits depuis 1982. Le principe de fonctionnement consiste à créer un unique flux d'air dans le bâtiment. L'air neuf entre par les pièces sèches (salon, chambres. . .) et l'air vicié ressort par les pièces humides et viciées (salle de bain, cuisine. . .). La diffusion de l'air neuf dans les pièces sèches est permise par des ouvertures placées en façade et la circulation de l'air est ensuite organisée grâce à des passages sous les portes ou des grilles de transfert dans les portes ou les cloisons. La sortie de l'air vicié se fait généralement au niveau de la toiture à l'aide d'un conduit.(fajjianelli 2014)

7.1.2 VMC double flux :

Le système comprend cette fois deux circuits aérauliques distincts et deux ventilateurs, l'un pour l'insufflation d'air neuf dans le bâtiment et l'autre pour l'extraction de l'air vicié). La principale différence avec un système simple flux est la présence d'un récupérateur de chaleur. En hiver, celui-ci permet d'utiliser la chaleur de l'air vicié extrait du bâtiment pour préchauffer l'air neuf venant de l'extérieur. L'intérêt majeur d'une VMC double flux est donc de limiter les pertes de chaleurs dues à la ventilation(fajjianelli 2014)

7.2. La ventilation naturelle

La ventilation naturelle est la forme la plus ancienne de ventilation qui existe. Que ce soit par simple ouverture de fenêtre ou par des systèmes plus élaborés tels que les « badgir » en Iran et les

« Malquaf » en Egypte, on la retrouve dans toutes les civilisations et à toutes les époques. Outre le renouvellement de l'air, elle consiste à améliorer le confort des occupants en créant un mouvement d'air dans le bâtiment et en le rafraîchissant la nuit grâce à des températures extérieures plus faibles. Utilisée sans réflexion particulière, la ventilation naturelle ne peut cependant pas satisfaire les contraintes actuelles en termes de contrôle des débits. Délaissée depuis les années 50 pour des systèmes de ventilation et de climatisation mécaniques, celle-ci tend à disparaître des méthodes constructives. Elle s'intègre cependant parfaitement dans la problématique actuelle qui est de proposer des bâtiments de moins en moins consommateurs d'énergie et non émetteurs de gaz à effet de serre. Utilisée dans de bonnes conditions, la ventilation naturelle peut se révéler comme une alternative aux systèmes de ventilation et de rafraîchissement mécanique. (fajjianelli 2014)

8-Différentes cavités utilisées en ventilation naturelle :

8.1. Le mur trombe :

Le mur trombe consiste à un mur en maçonnerie lourde muni de deux orifices et disposé derrière un vitrage orienté vers le sud. Il rassemble et stocke l'énergie solaire pour fournir le chauffage de la pièce en hiver ou facilite la ventilation de la pièce en été.

Le mur Trombe-Michel, ou mur trombe, est basé sur le même phénomène physique que le mur capteur. Le rayonnement solaire vient chauffer une lame d'air présente entre un vitrage à faible émissivité et un mur à forte inertie thermique. Via un système de clapets situés en partie supérieure et inférieure du mur, une circulation d'air est possible entre l'intérieur de la pièce et la lame d'air chauffée (KHaldi 2012/2013)

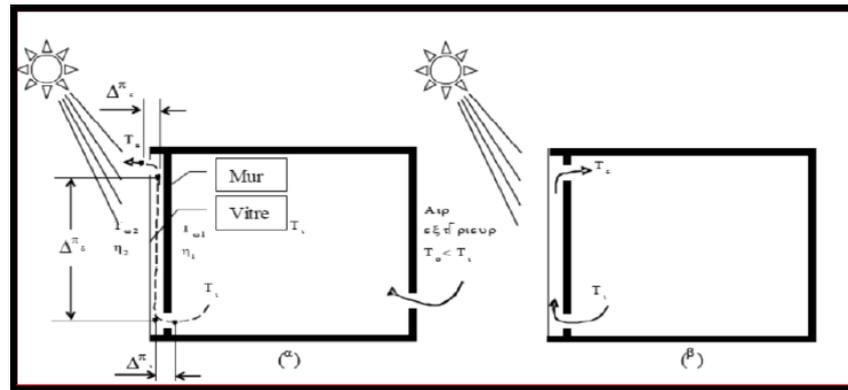


Figure 3 : Mur Trombe. Source : (KHaldi 2012/2013)

8.2. La façade à double peau:

Une façade à double paroi d'un bâtiment se compose d'une paroi intérieure et l'autre externe, elle fournit au bâtiment l'isolation thermique. Elle a une fonction de régulation thermique du bâtiment.

La façade à double peau protège le bâtiment aux contraintes météorologiques par rapport aux rayonnements directs du soleil, elle évite les surchauffes d'été et limite le recours à la climatisation. En évitant l'action directe du vent, elle supprime l'effet de paroi froide en hiver, qui produit l'inconfort d'intérieur. Elle permet aussi d'apporter une température et une humidité de l'air agréable. En comparant avec la façade glacée traditionnel. Elle peut également être employée pour la ventilation naturelle du bâtiment. (KHaldi 2012/2013)

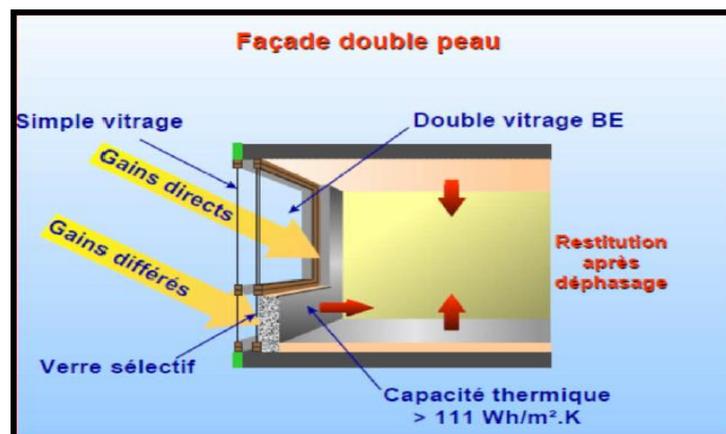


Figure 4 : Façade double peau. Source : (KHaldi 2012/2013)

8.3. Les écopés :

Ce sont des dispositifs de prise d'air de grande dimension intégrés à la toiture. Elles améliorent le potentiel de ventilation naturelle de l'habitat, nécessaire en climat chaud. Elles permettent de ventiler les pièces centrales, essentielles aux volumes intérieurs entièrement traversant, elles s'avèrent idéales pour la ventilation des bâtiments peu poreux.

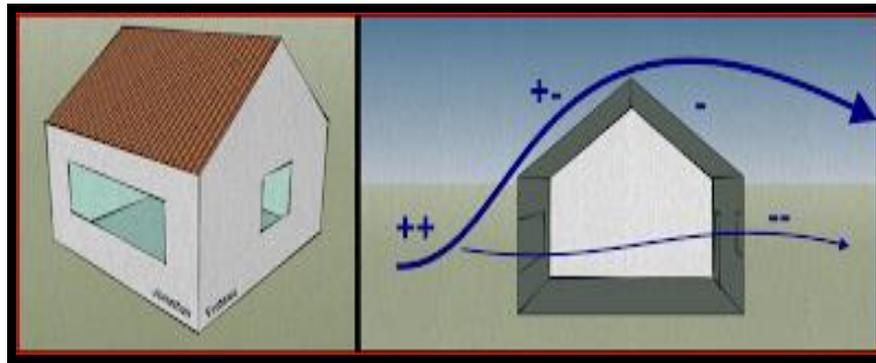


Figure 5 : écopés. Source : (KHaldi 2012/2013)

8.4. Les dômes :

Cette technique de construction est employée depuis l'Antiquité. Elle est largement associée aux pays du Maghreb et du Proche-Orient, et notamment à l'Algérie, l'Égypte, la Jordanie, la Palestine et la Tunisie.

Son utilisation est généralement courante dans tous types de milieux : urbain, rural, en plaine, en montagne ou en bord de mer. Cette technique constructive est utilisée en rez- de chaussée, en premier ou en dernier étage. Elle fait généralement office de couverture, Ce sont des coupoles qui, ayant au sommet une fenêtre, recouvrent soit une partie de la maison soit la pièce principale d'un bâtiment. Le plus souvent, les coupoles sont pleines, réalisées sans ouvertures. Quelquefois, des percements sont réalisés, soit dans les pans de la coupole, soit au sommet de celle-ci. Ces ouvertures sont généralement faites dans le même matériau que le corps de l'ouvrage, et servent à assurer la ventilation et l'éclairage de l'espace couvert (KHaldi 2012/2013)

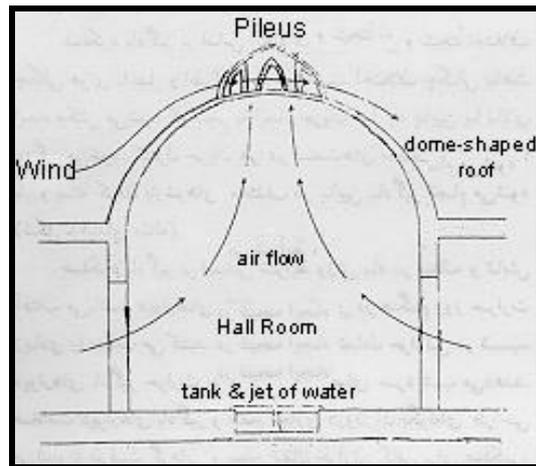


Figure 6 : dôme. source : (blogspot,2019)

8.5. Les tours à vent :

La tour à vent telle que son nom l'indique, est un outil de ventilation utilisé pour obtenir un refroidissement naturel. Elle a été employée pendant des siècles dans les pays à climat chaud et aride, en particulier en Iran. Les tours à vent dans les villes centrales de l'Iran sont connues en tant que « badgir » voulant dire capteurs à vent.

Des tours à vents se trouvent dans l'ensemble du moyen orient, de l'Égypte au Pakistan leurs formes s'adaptant aux caractéristiques du vent ainsi qu'au mode de construction. Les tours à vent s'appellent malquaf en Égypte, Mangh au Pakistan et Badgir (ou Barajil ou Barjeel, littéralement « attrape vent ») à l'Émirats Arabes Unis et en Iran

Les tours à vent sont des dispositifs destinés à capter les vents en hauteur afin de les diriger vers l'intérieur du logement à ventiler. Le capteur fonctionne par la différence de température entre le vent et l'air ambiant intérieur. Le vent, plus frais, moins poussiéreux et moins humide, de par la hauteur à laquelle il est capté, pénètre par le capteur pour descendre au rez-de-chaussée de l'habitation

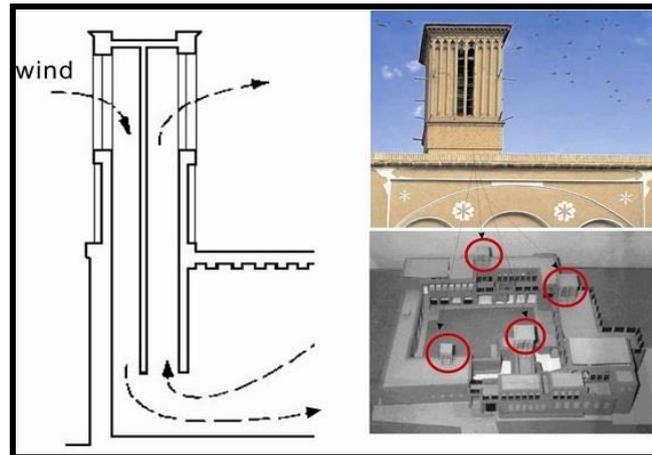


Figure 7 :tour à vent. source :(dubaimadame,2019)

8.5.1 Définition de tour à vent :

la tour à vent est un dispositif architectural destiné à ventiler l'intérieur du logement en facilitant l'accès du vent frais et l'évacuation de l'air chaud grâce aux mouvements passifs définis par la loi physique de pression et de température. Des capteurs et des conduits sont conçus pour permettre le captage et la circulation de l'air dans un sens d'entrée et de sortie.

Mahmoudi (Mahmoudi 2009) il considère la tour à vent comme un conduit à deux extrémités dont la partie basse s'ouvre sur le séjour estival de la maison et la partie haute s'élève dépassant la toiture. La tour à vent est divisée en plusieurs passages d'air verticaux par des cloisons internes. La limite supérieure des cloisons internes se termine dans les ouvertures, sur les côtés de la tête de la tour. L'écoulement de l'air à l'intérieur de la tour à vent va dans deux directions, de haut en bas et de bas en haut. Cela veut dire que quand le vent souffle d'une direction, l'ouverture au vent sera l'admission et l'ouverture sous le vent sera la sortie et vice versa. (Boussaid 2017/2018)

8.5.2. Historique de tours à vents :

Les tours considérées comme étant un outil de ventilation utilisé pour obtenir un refroidissement naturel de l'air, elles ont donc été employée pendant des siècles dans les pays à climat chaud et aride particulièrement en Iran où les tours à vent sont connues comme étant des : «bagdir» terme qui veut dire ; capteurs à vent. Leur existence séculaire dans l'ensemble du moyen orient, de l'Egypte au Pakistan est prédominante et a permis à l'homme de s'adapter au climat sec et aride. En Egypte les tours à vent s'appelaient les : « malquaf» , « Mangh » au Pakistan, et bagdir, Barajil, ou Barjeel en Iran et aux Emirats Arabes Unis. Comme indiquée sur la figure (Mahmoudi 2009) .

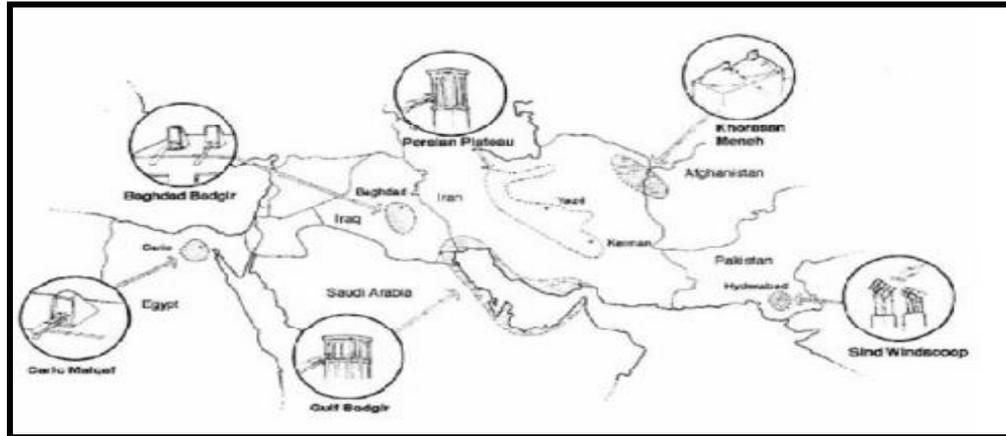


Figure 8 : Les tours à vent dans le moyen orient. Source :(Mahmoudi 2009)

Comme on peut voir sur la même figure l'emplacement des tours à vents sur les toits de maisons, sur le toit des réservoirs d'eaux, et sur les toits de mosquées.

L'origine et la date exacte de l'utilisation de la première tour à vent n'est pas définie et convenue par les historiens et chercheurs. Nous pouvons citer les plus fréquentes, à savoir : L'idée du malqaf ou la tour à vent remonte aux périodes historiques très lointaines. Elle a été employée par les Egyptiens antiques dans les maisons d'Al-Amarna de Tal et est représentée dans des peintures de mur des tombeaux de Thèbes. Un exemple est la maison pharaonique du Bout-Amun représentée sur son tombeau, qui date de la dix-neuvième dynastie (1300 avant J.C.). La première évidence historique des tours à vent remonte au quatrième siècle avant Jésus Christ. Un exemple d'une tour à vent simple a été trouvé en Iran par une expédition japonaise dans une maison à l'emplacement du chackmaq de Tappeh environ huit kilomètres au nord de Shahrood et les pentes méridionales des montagnes d'Alborz au nord-est de l'Iran. (KHaldi 2012/2013)

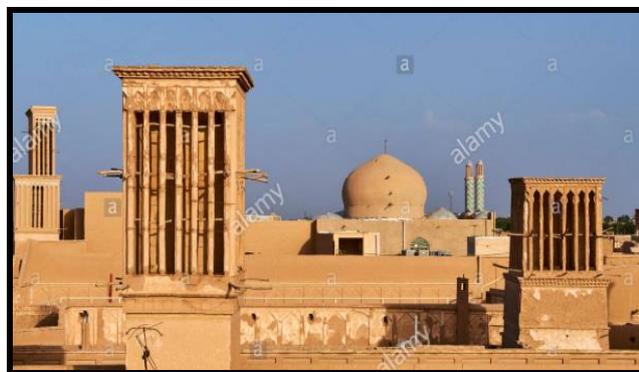


Figure 9 : Tour à vent à YAZD, IRAN. Source :(alamyimages , 2019)

8.5.3 Composition des tours à vent

Selon les pays, on distingue deux types de tours, le Badgir de l'Iran et le Malqaf de l'Egypte :

a. Le Badgir

Il est composé de quatre éléments ; la colonne, la tête, les lames et le toit

a.1. La colonne

De forme carrée, rectangulaire ou en prisme le dispositif peut varier dans sa hauteur de 8 à 50 m, c'est en fonction de l'altitude à laquelle le vent souffle que la hauteur est déterminé. Pour consolider les parois internes et externes et les fixer les unes aux autres des poutres en bois y sont placées dans le corps de la structure et on les voit sortir horizontalement. Le rôle de ces poutres est remarquable. Celles-ci exercent une attraction pour consolider les deux plans pariétaux interne et externe de la structure en augmentant la résistance de la tour contre la poussée du vent. Les parties saillantes des poutres sont utilisées dans l'échafaudage au cours des travaux d'entretien.

a.2 La tête

A ce niveau il y a les ouvertures qui sont protégées par des lamelles verticales qui pour fonction de : - Renforcer la structure - Empêcher l'entrée des oiseaux dans les conduits. - Et une fonction ornementale. Le modèle iranien prévoit une largeur des lamelles suffisamment espacée à cause de la vitesse importante du vent. Les ouvertures permettant l'accès de l'air sont dotées de volets qu'on peut fermer en cas de nécessité. Une ouverture est aussi prévue pour assurer l'évacuation de l'air.

a.3 Les lames :

Les lames de l'intérieur de la colonne divisent le conduit principal en plusieurs puits d'air séparés et orientés dans différentes directions. Les parois de cette canalisation sont construites d'argile et de briques

a.4. Le toit

Dans le dispositif iranien le toit peut être plat ou incliné selon les situations. (Boloorchi 2014)

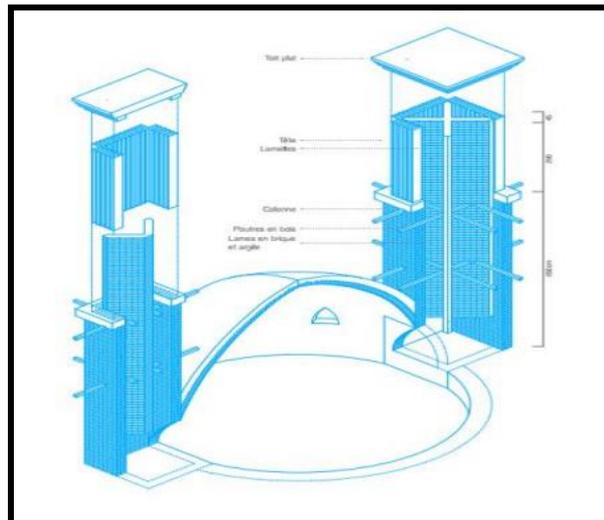


Figure 10 : coupe transversal du Badgir .Source: (Boloorchi 2014)

b.Le Malqaf

En Egypte les tours à vent se caractérisent par une mono-orientation et sont connues sous le nom de Malqaf, c'est un dispositif vernaculaire primaire, c'est-à-dire du pays même et dont l'existence remonte à l'époque des pharaons .Il est repris et intégré dans l'architecture traditionnelle égyptienne. Les recherches archéologiques ont permis de découvrir d'autres exemples datant de la dix-huitième dynastie (1543 - 1292 av. J.-C.)

La composition du corps du Malqaf varie par rapport au Badgir :

b.1 La colonne

Cet élément ne figure pas dans la conception du Malqaf , en raison des vents favorables soufflent en basse altitude

b.2. L'ouverture

En Egypte le choix de la mono-orientation des ouvertures est une solution par rapport au problème des vents défavorables qui transportent de la poussière. Le vent favorable souffle avec prédominance dans le sens Nord-Ouest, c'est face à cette prédominante direction que sont exposées définitivement les ouvertures.

b .3Les lamelles:

sont remplacées par une grille à maillage réduit pour empêcher le passage de la poussière véhiculée par le vent. L'impact sur la vitesse et le débit du vent pénétrant dans le bâtiment résulte de la dimension est par la dimension des trous de la grille à maillage d'où l'utilité de donner à l'ouverture une dimension conséquente.

b .4 Le toit

Pour augmenter la dimension de l'ouverture et la quantité pénétrante de l'air dans le bâtiment le Malqaf est disposé en pente face au vent qui est de faible vitesse.

L'unique différence de fonctionnement du dispositif entre le Badgir et le Malqaf dans cette option architecturale est la voie de sortie de l'air. Dans le cas du Malqaf l'évacuation de l'air est assurée par les fenêtres et la porte étant donné que le Malqaf ne dispose pas de conduit d'évacuation d'air. Mais quand il s'agit de grands bâtiments où le besoin du débit d'air est plus important l'aménagement d'une coupole sur le toit est important, celle –ci assurera une double fonction d'une part l'éclairage naturel et d'autre l'évacuation de l'air par convection.

(Boloorchi 2014)

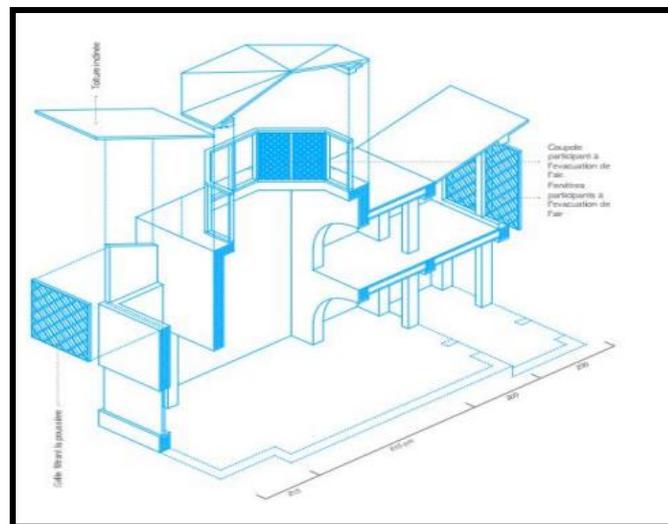


Figure 11 : coupe de Malqaf.Source: (Boloorchi 2014)

8.5.4. Fonctionnement de tours à vents

Le fonctionnement de tour à vent se fait par la différence des températures du vent capté et de celle de l'air ambiant intérieur et ce grâce la loi physique de la poussée d'Archimède. Le vent frais pénètre en hauteur par le capteur et descend vers le rez-de-chaussée de l'habitation. Ce vent porteur d'air frais et neuf va pousser l'air chaud ambiant hors de l'espace intérieur des locaux et venir le remplacer. C'est une opération passive de renouvellement de l'air ambiant

chaud et vicié qui va être remplacé par un air frais et plus sain. Mais attention, s'il arrive que l'air ambiant soit plus frais que le vent en hauteur, une pression va empêcher la pénétration du vent dans le capteur et là il y a lieu de prévoir un dispositif de fermeture des bouches. Dans les architectures traditionnelles on améliorait la qualité de l'humidité de l'air sec et chaud en suspendant dans la tour des vases d'eau en terre non cuite. L'air chaud et sec au contact de l'eau va provoquer une évaporation de celle-ci. Ce qui va permettre une humidification et une diminution de la température de l'air ambiant. Cette amélioration ne peut être exploitée qu'en milieu de climats chauds, car l'air introduit subit un rafraîchissement avant sa pénétration dans l'habitat. Quant au climat humide cette amélioration ne peut s'y appliquer du fait de l'état de l'humidité déjà existante. (Boussaid 2017/2018)

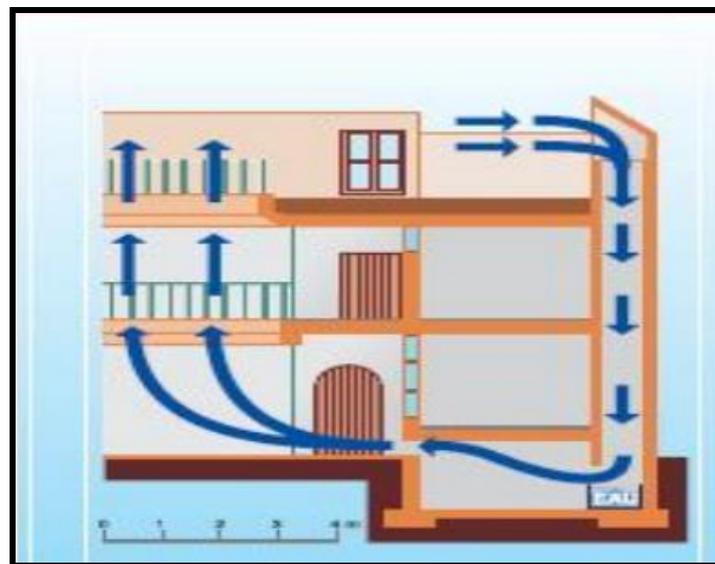


Figure 12 Principe fonctionnement de tour à vent.Source :(Boussaid 2017/2018)

8.5.5. Types des tours a vents

a. Tour à Vent Face aux vents dominants

On distingue deux Types :

a.1 En régions où les vents dominants sont unidirectionnels au sommet de la tour une seule ouverture est aménagée et fait face à la direction du vent.

a.2 En régions où les vents proviennent de toutes les directions, la tour à vent doit avoir plusieurs ouvertures de façon à pouvoir capter tous les vents(Mahmoudi 2009)

b. Tour à vent unidirectionnelle

La tour /capteur à vent ne peut être conçue qu'en fonction de la direction dominante du vent. Le vent soufflant dans un seul sens il entraîne une pression positive sur la façade du bâtiment qui lui fait face en même temps il crée une dépression sur le toit et sur la façade opposée du bâtiment, ainsi les ouvertures de sortie doivent être placées dans cette zone pour assurer l'aspiration et l'évacuation du bâtiment(Mahmoudi 2009)

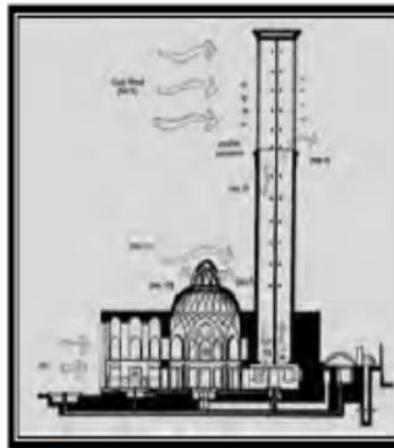


Figure 13 : Circuit du mouvement d'air à travers la tour à vent. Source (Mahmoudi 2009)

c. Tour à vent multidirectionnelle

Dans les courants changeants ou variables des vents, la tour à vent multidirectionnelle est la solution la plus simple et la plus répandue .Les ouvertures au niveau de la tête varient entre 2 à 8, voire plus. Elles permettent la captation des vents de n'importe quelle direction pour les admettre à l'intérieur de la construction. Un prolongement vertical des passages internes de la tour jusqu'au bas niveau y entraîne l'air capté grâce à la différence de température.(Mahmoudi 2009)

d. Tour à Vent Contre les vents dominants

Quand les vents dominants sont favorables ce type de tour à vent est de bonne utilisation. La pression négative située au côté aval du vent crée un courant d'air ascendant à travers l'écoulement intérieur et à travers les ouvertures(Mahmoudi 2009)

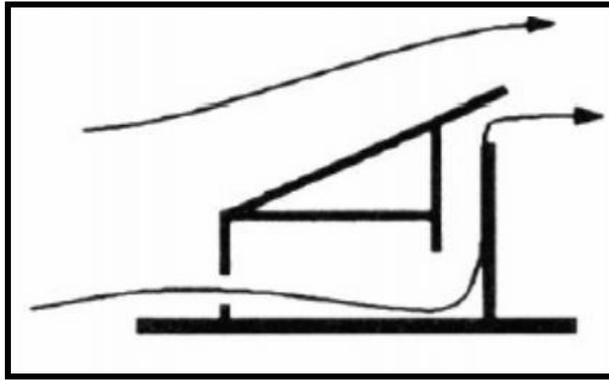


Figure 14 : tour à vent contre le vent A cause de la petitesse. Source : (Mahmoudi 2009)

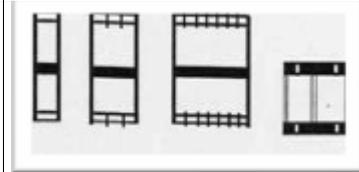
8.5.6. Classification des tours vents

Les tours à vent peuvent être classées selon la fonction, la forme du plan, ou le nombre d'ouvertures tel qu'illustré dans les tableaux (01, 02,03):

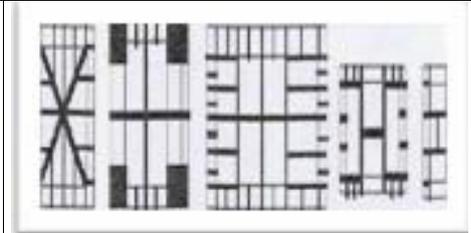
a. Classification basée sur la fonction

| | |
|--|--|
| <p>Nom : les tours unidirectionnel (yek-tarafe)</p> <p>Orientation : Nord-ouest ou nord (sens des vents dominants)</p> <p>Situation : à Yazd en Iran.</p> <p>La toiture : en pente pour capter une maximum quantité du vent</p> <p>Les ouvertures : une ou deux ouvertures seulement</p> <p>Utilisation : ce type est le moins utilisé à Yazid estimé à 3% (selon Roaf 1988) car elles ne profitent pas des vents venant d'autres sens que celui des vents dominants</p> | |
| <p>Nom : Les tours bidirectionnelles (do-tarafe)</p> <p>Orientation : 2 orientation opposer selon l'axe Nord-Sud</p> <p>Les ouvertures : deux ouvertures seulement avec des différentes orientations. ou selon l'orientation</p> | |

Utilisation : L'enquête de Roaf indique que 17% des tours sont de ce type et sont toutes construites sur des maisons ordinaires



Les tours quadri-directionnelles (tarafe de chahar) : Ce sont notamment les tours à vent les plus populaires. Elles sont divisées en quatre principaux compartiments). Plus de la moitié des tours à vent dans les régions chaudes et arides et la totalité des tours à vent dans les régions chaudes et humides sont de type quadri directionnel.



Les tours octaux-directionnelles (tarafe de hasht) Selon l'enquête de Roaf (1988) seulement 2% des tours à vent de Yazd sont de ce type.

Elles sont le plus souvent placées sur les réservoirs d'eau. La tour à vent au sommet de Bagh-e Dolatabad a une forme octogonale.

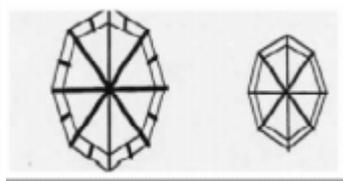


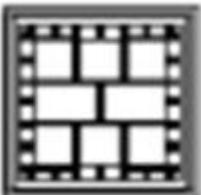
Tableau 2 : Classification basée sur la fonction. Source (Boussaid 2017/2018)

b. Classification basée sur la forme du plan

| | |
|--------------------------------------|---|
| <p>Les tours à deux ouvertures</p> |  <p>The diagram shows a vertical rectangle with two horizontal bars, representing two openings. The first photo shows a close-up of a tower's interior with two glowing openings. The second photo shows an exterior view of a long, narrow tower with a small square opening at the top.</p> |
| <p>Les tours à quatre ouvertures</p> |  <p>The diagram shows a square with an 'X' shape inside, representing four openings. The first photo shows a tower with four openings arranged in a cross pattern. The second photo shows a close-up of the interior of such a tower, with four openings meeting at a central point.</p> |
| <p>Les tours à six ouvertures</p> |  <p>The diagram shows a square with a grid of lines, representing six openings. The first photo shows a tower with six openings arranged in a grid. The second photo shows a close-up of the interior of such a tower, with six openings arranged in a grid.</p> |
| <p>Les tours à huit ouvertures</p> |  <p>The diagram shows a circle with eight radial lines, representing eight openings. The first photo shows a tower with eight openings arranged in a star pattern. The second photo shows a close-up of the interior of such a tower, with eight openings arranged in a star pattern.</p> |

Tableau 3 : Classification basée sur la forme du plan. Source (Boussaid 2017/2018)

c. Classification basée sur le nombre d'ouvertures

| | | |
|--------------------|---|---|
| Plan circulaire |  | |
| |  | - plan Hexagonal -06 ouverture |
| Plan carré |  | -Lame en forme du + - 08 ouvertures |
| |  | -Lame en forme du X -04 ouvertures |
| Plan rectangulaire |  | -Lame en forme du H - 08 ouvertures |
| |  | -Composition entre la lame X et la lame + -08 ouvertures |

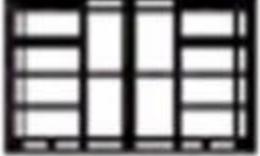
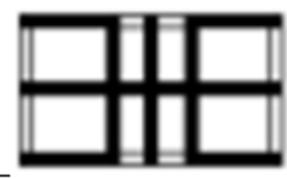
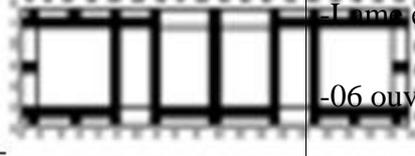
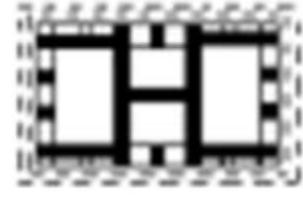
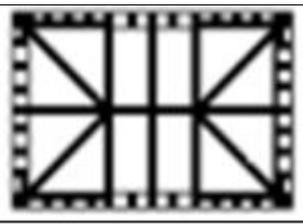
| | | |
|--|---|--|
| |  | <p>- lame en forme du + avec chanel égal</p> <p>- 12 ouvertures</p> |
| |  | <p>- lame en forme du x</p> <p>-06 ouvertures</p> |
| |  | <p>- lame en forme du + avec différents chanel</p> <p>- 08 ouverture</p> |
| |  | <p>- lame en forme du I</p> <p>-06 ouvertures</p> |
| |  | <p>-Lame en forme du H</p> <p>-04 ouvertures</p> |
| |  | <p>-Lame en forme du K</p> <p>-12 ouvertures</p> |

Tableau 4 : Classification basée sur le nombre d'ouvertures Source (Boussaid 2017/2018)

Conclusion

L'architecture traditionnelle constitue un patrimoine très riche et peut contribuer à l'enrichissement de l'architecture moderne, grâce à certaines stratégies architecturales traditionnelles tel que la tour à vent qu'est une fonctionnalité architecturale de ventilation naturelle et qui a une forme similaire à la forme minaret donc on peut essayer d'adapter la fonction de refroidissement à la conception d'un minaret dans la mosquée.

Chapitre 03 : les recherches antérieures

Introduction :

Faire de la recherche, c'est d'abord partir d'un problème, d'une question : c'est construire le problème. Il n'y a pas de recherche s'il n'y a pas une interrogation pour laquelle on ne dispose pas de réponse. La première chose à faire, lorsqu'on se bute à un problème, c'est de vérifier si quelqu'un, quelque part, n'y a pas déjà apporté une réponse que l'on pourrait emprunter. Il s'agit donc de rassembler toute la documentation pertinente, et de l'analyser afin de voir si d'autres ne l'ont pas étudié avant, comment ils s'y sont pris et à quelles conclusions ils ont abouti. Si d'autres ont déjà pu apporter une ou plusieurs réponses, il suffit de contrôler si nous pouvons leurs solutions à notre problème

Plusieurs recherches se sont intéressées à vérifier le minaret comme un élément de refroidissement et le minaret comme un tour à vent dans la mosquée en utilisant différentes méthodes.

Donc on a fait une synthèse de ce qui a été réalisé dans ce domaine

1- Recherches antérieures sur le minaret comme un élément e refroidissement dans la mosquée

1-1 le travail de NAJMUL Imam :

Département d'architecture, Université d'ingénierie et de technologie du Bangladesh s'appuie sur La ventilation dans une mosquée - un objectif supplémentaire que les minarets peuvent servir, Ce document est destiné à explorer les possibilités d'utiliser les minarets pour faciliter la ventilation dans un climat chaud et humide, placés dans une structure urbaine dense, avec des profondeurs de plan énormes, avec une référence particulière à ceux de Dhaka City. (Imam 2003)

L'étude se réfère au climat chaud et humide et à d'autres aspects contextuels de la ville de Dhaka. Les problèmes de confort thermique sont basés sur les données disponibles et les réponses des utilisateurs. Connaissance théorique et des expériences pratiques vérifient la possibilité d'utiliser des minarets comme aides à la ventilation. À Pour valider l'idée, les analyses sont effectués selon les principes de la mécanique des thermo-fluides données pratiques des cas moyens.

Les analyses par équations thermo-fluides montrent qu'un minaret de 20 m de hauteur et de 4 m² section transversale peut générer un débit d'air de 1,33 m³ / s par effet de tirage naturel, ce qui peut jusqu'à 9,7 m³ / s, si le minaret est conçu comme une «cheminée solaire». Ces taux du flux d'air, en particulier celui de «cheminée solaire», peut servir de manière satisfaisante la ventilation sanitaire.

1-2- le travail de Jamal Abed Al Wahid Jassim Al Sudany :

Département de décoration architecturale. Université Technique Moyenne Irak, Bagdad s'appuie sur la présence d'air d'entrée à entrer au sommet du minaret et une colonne de pression d'air différente qui augmentent le mouvement naturel de l'air dans la paroi du minaret construit avec une foreuse à briques (humide) équipée d'un système de pulvérisation d'eau, et le minaret continue dans la terre à une profondeur de 4 m.

L'air se déplace pour dépasser des pipes en poterie qui sont mouillées à la vue des eaux souterraines dans la terre. Les échangeurs de chaleur sont refroidis à l'air et humidifiés. L'accès à la salle de prière se fait par quatre sorties, ce qui évacue l'air chaud accumulé vers l'extérieur par les fenêtres situées à la base du dôme.

Le modèle d'échangeur de chaleur repose sur le développement de la dynamique des fluides numérique (CFD) et la validation des résultats de la simulation et des données expérimentales obtenues. Les résultats ont montré que l'utilisation de la ventilation naturelle à travers le minaret peut réduire la température de l'air de 19 ° C à l'étranger de 47,3 ° C et l'amélioration de l'humidité relative à 22%.(Sudany 2015)

1-3 le travail de Alfraidi, Boukhanouf et Aasem :

Département d'architecture, Université de Dammam, Arabie Saoudite. A étudié le système de refroidissement par évaporation et son aptitude avec les minarets dans les mosquées. Un refroidissement passif par l'utilisation de tour à vents et le refroidissement par évaporation comme une davantage fonctionnelle. Donc la nouvelle conception par céramique intégré avec le minaret et le tour a vent. Le but de ce système de refroidissement c'est de travaillé sur la degré de température de l'air chaud ou il refroidir l'air et le raccorder vers le lieu qu'il veut refroidir sans augmentation de la degré d'humidité. Par la séparation de la canalisation de l'air chaud et l'air froid qui travail par la pression de vent .cette conception été pour les mosquées située dans les zones avec u climat chaud et humide .comme résultat primaire

plusieurs conceptions qui peut être effectué ont été créé .aussi l'efficacité et l'influence de cette méthode à la refroidissement et a réduire le température jusqu'a 40%.(alfraidi 2016)

1-4 le travail d'Al-hamadi et Ben Mekren Alsaud :

Département d'architecture, Université de Malik Saud Riyad Arabie Saoudite. A étudiée l'efficacité de technique de tours a vents dans la refroidîmes des mosquées Les chercheurs ont procédé à une mesure précise de la température à l'intérieur et à l'extérieur de la mosquée en été, suivie d'une analyse statistique quantitative et qualitative appuyée par des graphiques.les résultats ils ont conclu que ce système de refroidissement naturel répondait efficacement aux exigences de confort thermique .Les chercheurs recommandent de profiter de cette expérience et utiliser cette technique dans les nouvelles mosquées pour en bénéficier dans les zones chaudes et sèches.(1999 سعود)

2- Les types des logiciels de simulation

Elle regroupe l'ensemble des techniques de modélisation géométrique servant à la création de données décrivant un objet à concevoir, la manipulation des données en vue d'aboutir à une forme achevée de conception et la généralisation d'informations nécessaires à la fabrication de cet objet(Boussaid 2017/2018)

2-1 Logiciel informatique :

C'est la partie immatérielle d'un système informatique incluant un ensemble d'instructions, de programmes, de procédés, de règles ainsi que de documentation qui leurs sont éventuellement associés, relatifs au fonctionnement d'un ordinateur ou au traitement de données. Suivant leur taille.

2-2 : Simulation Numérique:

C'est l'un des outils utilisés par les êtres humains et qui consiste à simuler (faire paraître comme réelle une chose qui ne l'est pas) un système/phénomène donné afin d'étudier son fonctionnement, ses propriétés et de prédire ainsi son évolution. La simulation numérique repose sur la programmation de modèles théoriques ou mathématiques adaptés aux moyens numériques. C'est donc une série de calculs utilisant souvent la technique dite des éléments finis effectuée sur un support matériel "ordinateur" dont les interfaces graphiques permettent la visualisation des résultats par des "images de synthèse. (belghith 2018)

3 Notion sur la Simulations CFD :

(La dynamique des fluides computationnelle) selon Bouakaz et site de la simulation-aéroulque CFD est une Science qui étudie l'équilibre et le mouvement des fluides. Elle comprend l'étude des gaz et des liquides à l'équilibre et en mouvement, ainsi que l'étude de l'interaction de ces derniers avec les corps solides.

3.1 Principe de la CFD :

L'analyse commence par un modèle mathématique d'un problème physique, ou les propriétés des fluides sont modélisées empiriquement. Afin de rendre le problème traitable une simplification du modèle est indispensable.

Pour contrôler les résultats il existe deux outils l'un est graphique et l'autre est numérique.

-**L'outil graphique** (La grille, Le graphique de trajectoire, les axes XY, et l'animation).

-**L'outil numérique** (calcul de la surface, le volume, l'intégrale et les moyennes, les forces).

3.2 Les Avantages

- Les simulations CFD sont relativement peu coûteuses que les expériences physiques et les tests.
- Simulations CFD peuvent être exécutées dans un court laps de temps.
- Redressement rapide des données techniques qui peuvent être introduits au début de processus de conception.
- La capacité à simuler des conditions réelles.
- Simuler théoriquement n'importe quel état physique
- Capacité à simuler des conditions idéales.
- Un grand contrôle sur le processus physique, ainsi que, la capacité d'isoler des phénomènes spécifiques à l'étude.
- Possibilité d'examiner un grand nombre de sites dans la région d'intérêt.
- Réduction de la consommation énergétique des équipements.

3.3 Les inconvénients

Comme il y a des avantages pour l'usage de la CFD, il existe aussi des inconvénients dus à l'utilisation de CFD, parmi ces inconvénients on peut trouver :

- Les solutions CFD s'appuient sur des modèles physiques des processus du monde réel (Par exemple des turbulences, de compression, de la chimie, l'écoulement poly-phasique, etc...)
- Les solutions CFD ne peut être aussi précis que les modèles physiques sur lesquels ils sont basés.
- Résoudre des équations par ordinateur peut provoquer des erreurs numériques (l'erreur d'arrondi, l'erreur de troncature...).(Boussaid 2017/2018)

4-Liste des logiciels de simulation de la ventilation naturelle

Liste et fiche technique

| logiciel | Date | pays | Versio n | Licens e | Domaine | développ é | site |
|----------------|--------------------|---------------|-------------|-------------|--|------------------|----------------------|
| PyAero | 2014 | / | 1.1 | gratuit | D'analyse de contour de profil aérodynamique | Andreas Enemoser | / |
| Ecotect | In june 2018 | Etats unis | 2011 | payent | Simuler les performances du bâtiment | Autodesk | Autodesk.com |
| Phoenic s | 2008 | Etats unis | 3.5.0 | payent | Package wich uses the techniques of CFD | CHAM | http:www.cham.com.uk |
| Flow design | 2015 | Etats unis | / | gratuit | Logiciel de simulation urbain dans le cote CFD | Autodesk | Autodesk.com |
| CEDRE | 2015 | Franc | 5.2.2 | payent | Architecture | L'Onera | http:www.cedr |

| | | | | | | | |
|--|--|---|--|--|----------------|--|--------------|
| | | e | | | Aérodynamique | | e. onera.fr/ |
| | | | | | Aéroacoustique | | |
| | | | | | Turbomachine | | |
| | | | | | Statoréacteur | | |
| | | | | | pulsoréacteur | | |

Tableau 1 : Liste des logiciels de simulation de la ventilation naturelle

Source: (belghith 2018)

5 Choix et identification des trois logiciels :

5.1 Logiciel Autodesk Flow Design:

Flow Design est une soufflerie virtuelle 3D pour simuler le flux d'air sur et autour de vos conceptions. Vous pouvez importer une large gamme de formats de géométrie et d'image et visualiser les résultats de flux en quelques secondes.

5.2 Logiciel Phoenix De Cham:

Phoenix propose la plus riche base de données de cas traités en CFD, disponibles et adaptables par l'utilisateur. C'est un outil précis, fiable et facile d'emploi avec des milliers de publications à l'appui.

Ainsi, c'est un logiciel qui peut exprimer toute sa précision et sa puissance de résolution. Validé par une importante collection d'applications en mécanique des fluides, transferts thermiques, réactions chimiques et interactions fluide-structure. (ahmed).

Fiabilité : Les prédictions obtenues par Phoenix ont fait l'objet de tests de validation qui ont prouvé sa fiabilité et sa précision.

Les possibilités de modélisation : Ecoulements diphasiques, suivis de particules (solides, liquides et/ou gazeuses), surfaces libres (SEM, HOL), réactions chimiques (CHEMKIN), CVD (Déposition Chimique en Phase Vapeur),

Logiciel évolutif a architecture ouverte : Si une option est nécessaire, elle peut être programmée en Fortran par l'utilisateur ou par CHAM. Phoenix possède un logiciel unique : INFORM utilisant le TCL.

Phoenix, ils permettent aux utilisateurs de résoudre un large éventail d'une dimension, 2D et 3D des écoulements des fluides avec le transfert de chaleur, phénomènes chimiques, refroidissement des composants électroniques, aérodynamique, le BTP ...etc.

Phoenix propose la plus riche base de données de cas traités en CFD, disponibles et adaptables par l'utilisateur. C'est un outil précis, fiable et facile d'emploi avec des milliers de publications à l'appui. Ainsi, c'est un logiciel qui peut exprimer toute sa précision et sa puissance de résolution. Validé par une importante collection d'applications en mécanique des fluides, transferts thermiques, réactions chimiques et interactions fluide-structure

5.3 Critère de choix de logiciel :

- Logiciel est disponible.
- Les données demandent par logiciel simple.
- Les formations pour apprendre logiciel existent gratuitement.
- Flow design et Phoenix multidisciplinaire donnent des calculs et simulation CFD.

***Chapitre 04 : Zone
d'intervention et choix de la
mosquée***

Introduction

La prise en compte du climat au cours de toute conception architecturale ou urbanistique est très importante. Durant Cinque décennies de recherche et d'investigations dans le domaine du confort thermique de la naissance de cette science par Fanger dans les années 70; les chercheurs utilisent plusieurs méthodes pour évaluer ce confort en prenant en compte ces paramètres : température, humidité et vent.

1 Présentation de la ville de Tébessa

1.1 La situation géographique :

Tébessa occupe une position stratégique à l'extrême Est de l'Algérie, c'est une ville carrefour à la frontière du désert et de la Tunisie, aboutissement de voies de circulation importantes et constitue un point de transit entre l'intérieur et l'extérieur du pays d'une part et entre le Tell et le Sahara d'autre part. Tébessa couvre une aire de 13878 kilomètres carrés et se rattache naturellement d'une manière générale à la zone des Hauts plateaux et partiellement à l'immense étendue steppique du pays. (gherzouli 2007)

La wilaya de Tébessa est limitée :

- Au Nord par la wilaya de Souk-Ahras
- Au Nord-Ouest par la wilaya de Oum-El Bouaghi et de Khenchela
- A l'Est par la Tunisie (sur 30 km de frontières)
- Au Sud par la wilaya d'El-Oued.



Figure 1 Carte de la ville de Tébessa.
Source: (Belghith, Azaizia; 2018)

1.2 Les données météorologiques de la zone d'études

1.2.1 La Température :

| T(°C) | Jan | Fév | Mars | Avril | Mai | Juin | Juil | Aout | Sept | Oct. | Nov | Déc |
|-------|-----|------|------|-------|-----|------|------|------|------|------|------|------|
| Tmax | 17 | 16,4 | 23,8 | 31 | 34 | 41 | 43,5 | 42,1 | 35,6 | 33 | 24 | 24,6 |
| Tmin | -6 | -4 | -0,2 | -0,7 | 5,3 | 11,2 | 12 | 14,5 | 9,5 | 3 | -0,6 | -2,5 |

Tableau 1: Tableau de la variation mensuel de la température

Le tableau n : 06 représente les différentes températures de toute l'année qui englobe entre un degré maximal de 43.5 enregistrée en mois de juillet qui est considéré comme le mois le plus chaud et la température minimale de -06 au janvier le mois le plus froid, voire le tableau 01.

1.2.2 L'humidité relative

| H | Jan | Fév | Mars | Avril | Mai | Juin | Juil | Aout | Sept | Oct. | Nov | Déc |
|------|-----|-----|------|-------|-----|------|------|------|------|------|-----|-----|
| Hmax | 76 | 73 | 67 | 62 | 61 | 50 | 45 | 47 | 61 | 66 | 70 | 78 |
| Hmin | 61 | 56 | 51 | 48 | 44 | 39 | 35 | 38 | 47 | 53 | 58 | 60 |

Tableau 2: Tableau de la variation mensuel de l'humidité relative

Le tableau n : 07 représente le degré d'humidité maximal et minimal pendant les 12 mois qui est de 78° au décembre le mois le plus humide et de 38° a Aout le mois le plus sec et chaud, voire tableau 02.

1.2.3 Le vent :

| V | Jan | Fév | Mars | Avril | Mai | Juin | Juil | Aout | Sept | Oct. | Nov | Déc |
|-----------|------|-----|------|-------|-----|------|------|------|------|------|------|-----|
| Vitesse | 30 | 26 | 26 | 25 | 37 | 21 | 30 | 26 | 24 | 26 | 25 | 23 |
| Direction | 34 0 | 300 | 20 | 14 0 | 26 | 230 | 80 | 20 | 20 | 30 0 | 14 0 | 300 |

Tableau 3 : Tableau de la variation mensuel de la vitesse du vent.

Le tableau n : 08 représente la vitesse et la direction du vent dans la ville de Tébéssa : les vents sont relativement fréquents et leur vitesse est importante du Mai à Juillet

| | Période estivale | | |
|-------------|------------------|----------|----------|
| mois | Juin | juillet | août |
| Vitesse m/s | 5.83 | 8.33 | 7.22 |
| direction | Sud-ouest | Nord-est | Nord-est |

Tableau 4 : Tableau de Vitesse et direction du vent durant la Période estivale. Source: (Belghith,2018)

-note : les tableaux représentent les données climatiques de la ville de Tébessa pendant les 12 mois de l'année 2016 /2017 des derniers dix ans « 2006/2016 » selon la direction du météo Tébessa.

2. Le choix du modèle de simulation et les variables de l'analyse

2.1 Justification du choix

-après la classification des mosquées de la ville de Tébessa selon trois critères : la taille (le nombre des fidèles), la forme de la salle de prière et le nombre des étages on a trouvé que le modèle de la mosquée le plus répandue c'est : d'une taille moyenne entre 1000 et 3000 fidèles, avec un nombre des étages : R+1 et une salle de prière rectangulaire .après on a choisi une mosquée à partir de la disponibilité des données.

2.2 Fiche technique de la mosquée

-Situation : cité 4 mars 1956 Tébessa

-Surface : 1700 m²

- Nombre d'étages : R+1

-Nombre des minarets : 2

- structure : poteau poutre

-orientation : est.

-Les plans de la mosquée :

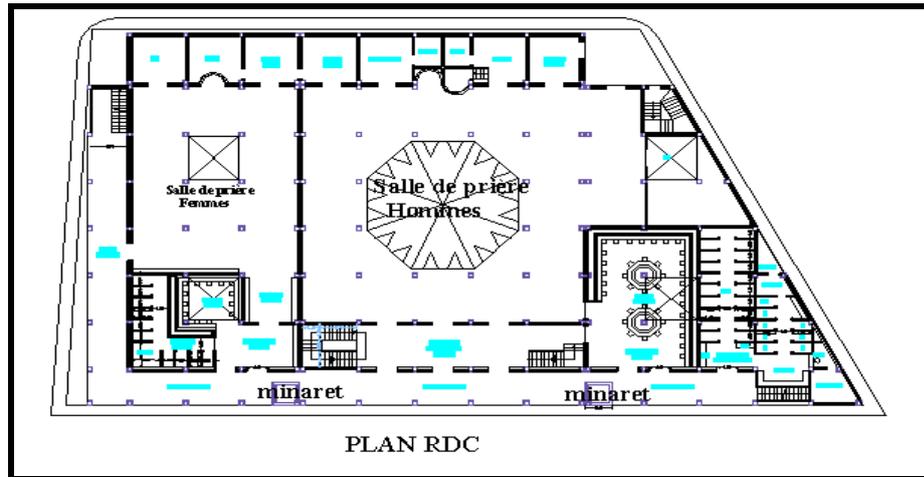


Figure 2 : plan RDC de la mosquée. Source : auteur

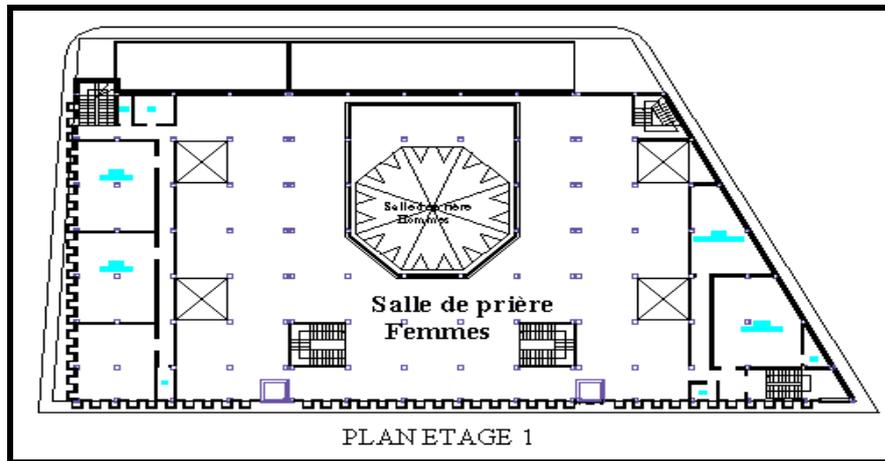


Figure 3 : plan 1er étage de la mosquée. Source : auteur

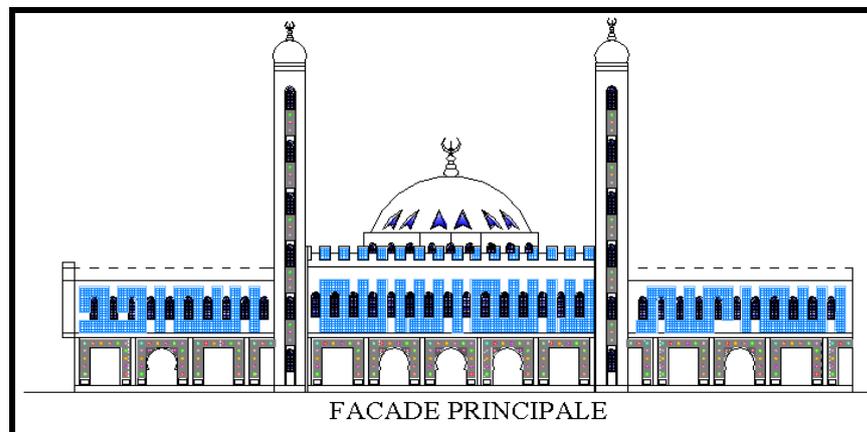


Figure 4: la façade de la mosquée. Source : auteur

Chapitre 04 : Zone d'intervention et choix de la mosquée

Comme nous l'avons déjà précisé la simulation est faite par Phoenix, Pour vérifier l'effet de minaret sur la ventilation nous citons des variables et des fixes :

2.3 Les paramètres fixes

Sont les données qu'on ne change pas avec tous les modèles de simulation :

- a) la taille et la forme de la mosquée :(salle de prière rectangulaire)
- b) le nombre des fidèles : 1000 f
- c) le nombre des étages : R+1
- c) la taille de minaret : d'une dimerions 2m x 2m x 28m hauteur pour les deux minarets a leurs positions originale.

2.4 Les paramètres variables

- a) le nombre de minarets : pour 0, 1, 2, 3 et 4 minarets
- b) la position des minarets : on a choisi trois différents positons autour de la salle de prière.

3 Les étapes de l'expérimentation (simulation)

3.1 Flow design :

On utilise ce logiciel de modélisation urbain pour objectif de préciser les vitesses de vent dans chaque variantes a fin d'utilisé dans la simulation de l'évaluation interne

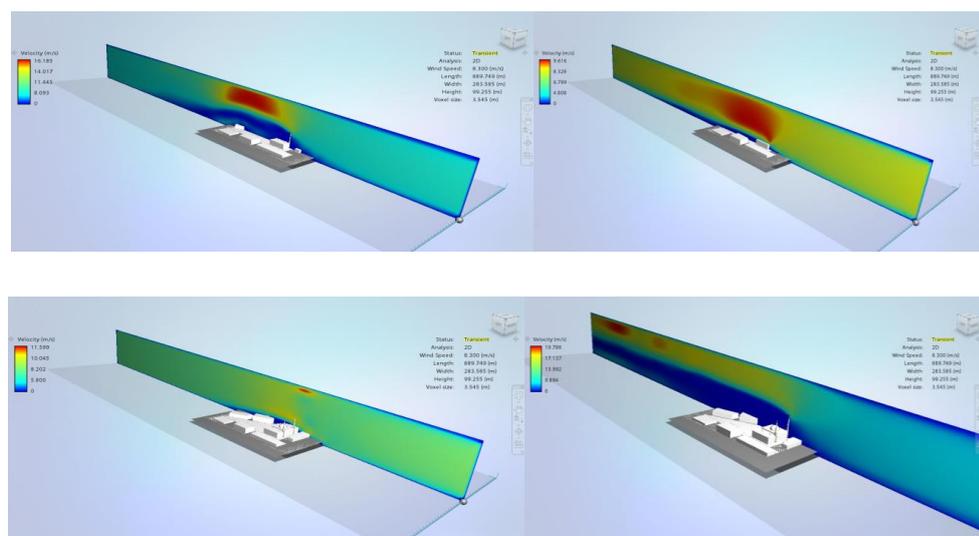


Figure 5: Flow Design.Source: auteur

3.2 PHOENICS de CHAM:

On utilise ce logiciel de modélisation interne sur les bâtiments qui évalue le phénomène de ventilation par les vitesses et les directions produites par le flow design. Les résultats doivent être représentés par dégradations de couleurs, chaque couleur représente une vitesse de ventilation.

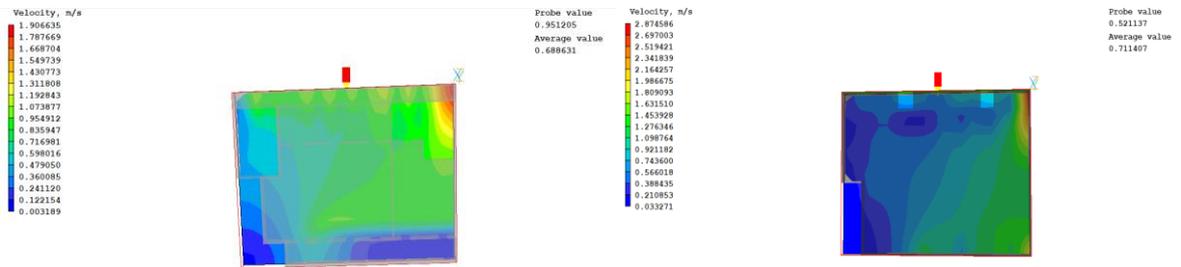


Figure 6 PHOENICS de CHAM. Source : auteur

Conclusion

On a obtenu plusieurs résultats traduisés par des figures à l'aide du logiciel Flow design et PHOENICS :

- Pressier la vitesse et la direction du vent extérieur de la mosquée.
- le niveau de ventilation intérieure de la mosquée.
- le niveau de ventilation intérieure de la mosquée pour chaque variante. Représenté par une dégradation des couleurs.
- la répartition de l'air dans l'intérieur de la mosquée pour chaque variante.

Chapitre 05 : la simulation

Introduction :

Dans ce chapitre, relativement au sujet de notre recherche nous effectuons des simulations informatiques de la mosquée et de plusieurs variantes précisées au chapitre précédent qui nous conclut 08 simulations à vérifier, une fois les résultats obtenus, nous procédons à leur présentation et interprétation. Pour arrive à la variante la plus performante.

1 La simulation de la mosquée sans minaret (l'état 0) pendant la période estivale (cas 0) :

1.1 Simulation RDC :

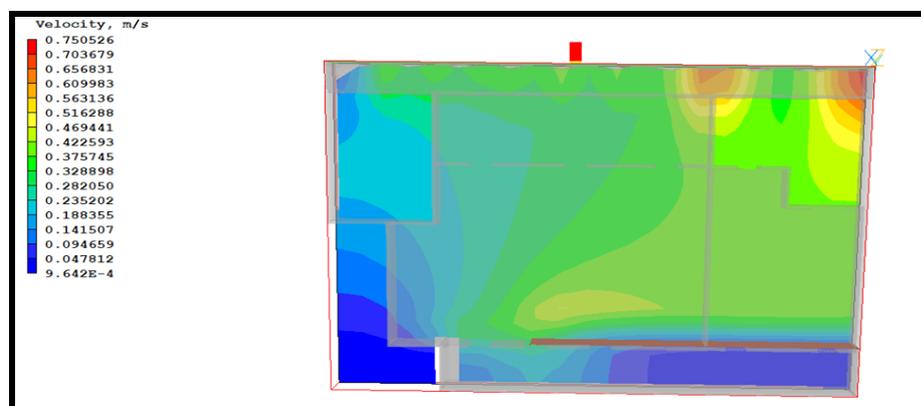


Figure 1 : Simulation RDC cas 0. Source : auteur

1.2 Simulation étage :

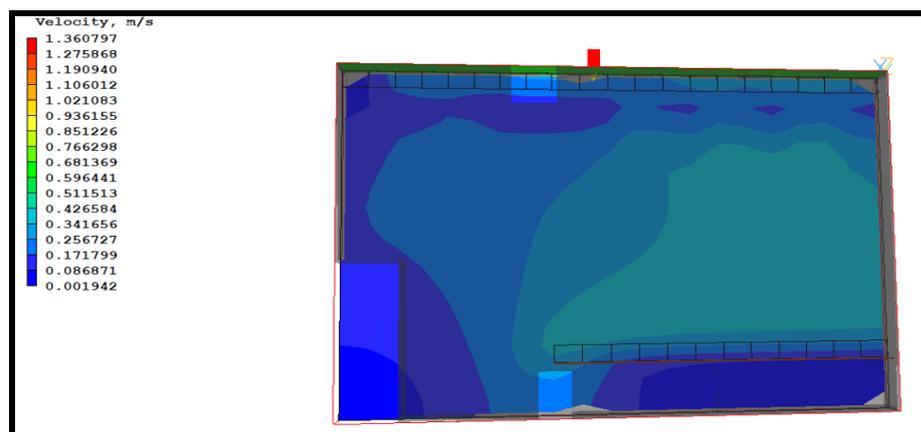


Figure 2 Simulation étage cas 0. Source : auteur

1.3 Les résultats des simulations :

Dans le cas 0 on a constaté que : La vitesse est 0 m/s

2.La simulation de 1^{er} variable : position

2.1.La simulation du cas n 01

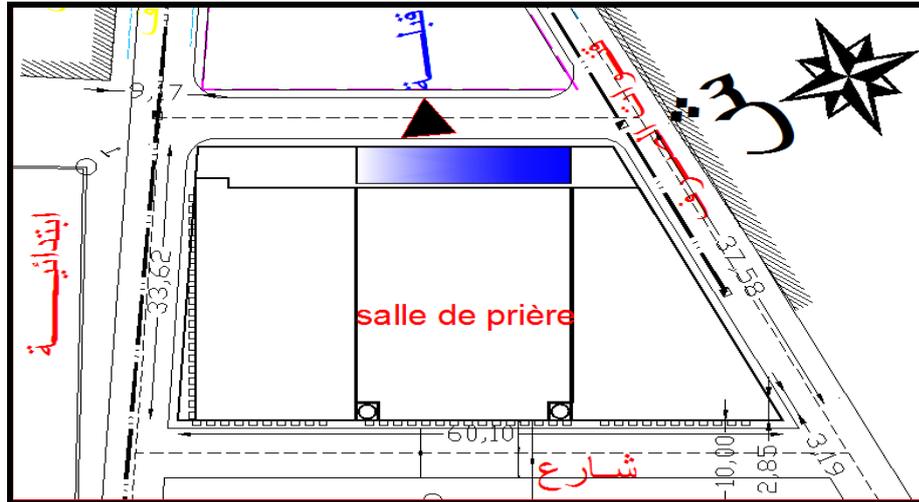


Figure 3: position des minarets cas 1. Source : auteur

2.1.1 Simulation RDC :

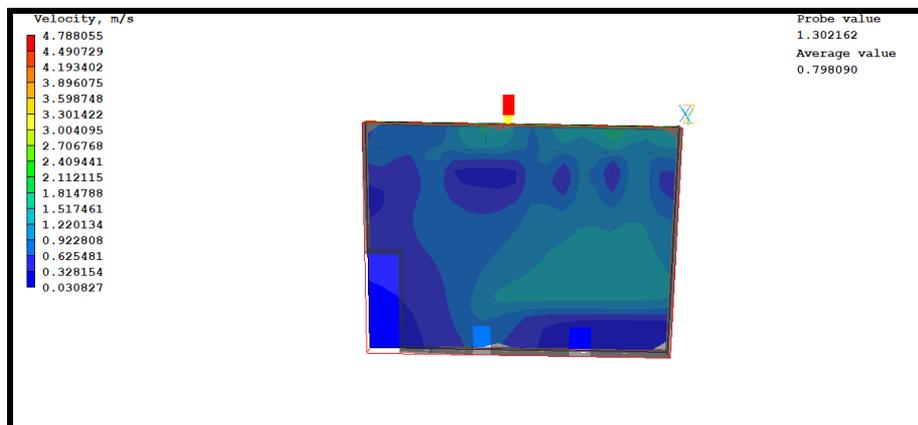


Figure 4: Simulation RDC cas 1. Source : auteur

2.1.2 Simulation étage :

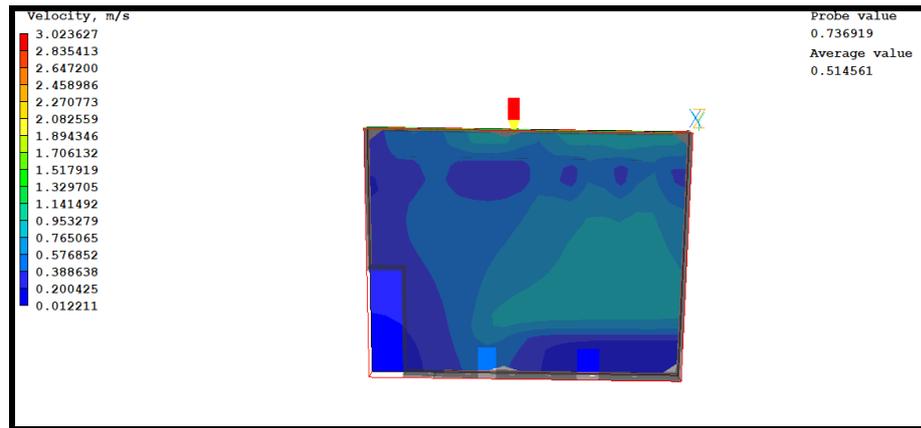


Figure 5: simulation étage cas 1. Source : auteur

2.1.3 Les résultats des simulations :

Dans le cas 01 on a constaté que :

-La vitesse maximale est 1.51 m/s au RDC et de 1.14 m/s à l'étage dans le coté latérale droite de la salle de prière.

-au centre de la salle de prière la vitesse est 1.22 m/s dans le RDC et 0.95 m/s à l'étage.

-Dans le coté latérale gauche une vitesse de 0.92 m/s au RDC et 0.76 m/s à l'étage

-La vitesse minimale est 0.62m/s au RDC et de 0.38 m/s a l'étage dans le coté du minbar

Après la comparaison de C2 avec le C0 o obtient qu'il y'a une augmentation de :

0.91 m/s au RDC l'équivalent de 2.7 °C de refroidissement

0.76 m/s à l'étage l'équivalent de 2 °C de refroidissement

2.2 La simulation du cas n 02 :

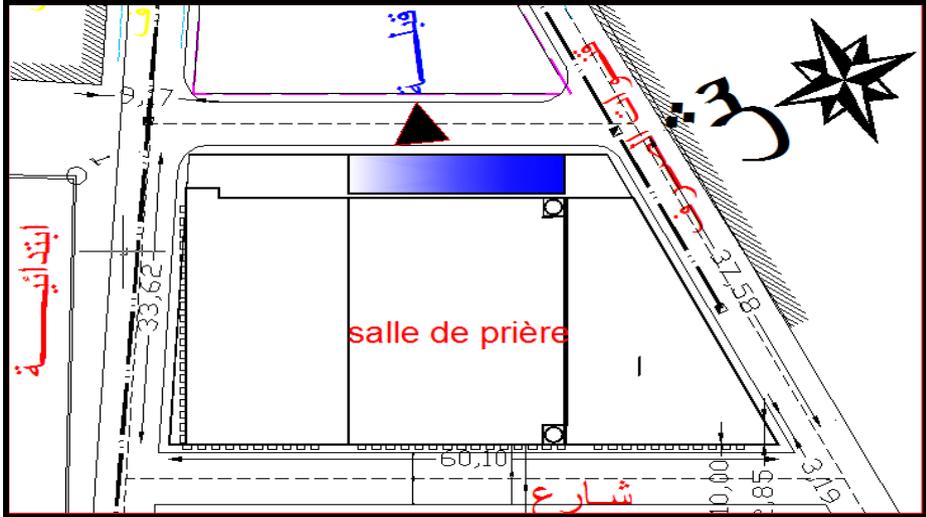


Figure 6 : position des minarets cas 2. Source : auteur

2.2.1 Simulation RDC :

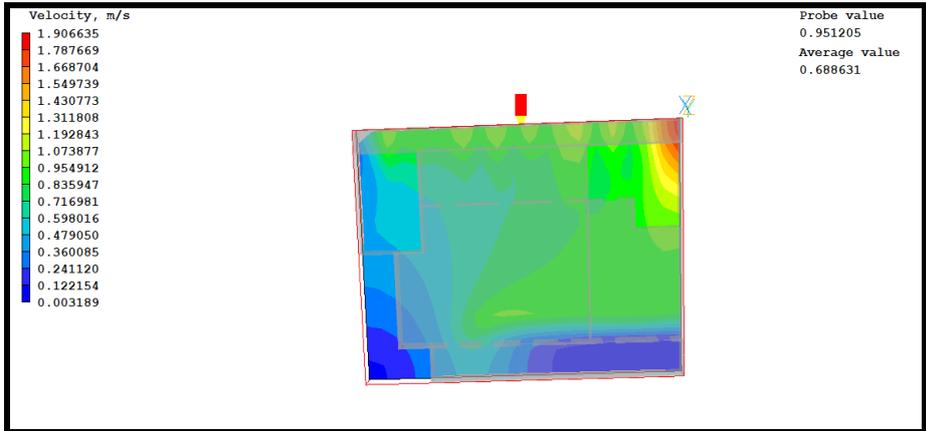


Figure 7: Simulation RDC cas 2. Source : auteur

2.2.2 Simulation étage :

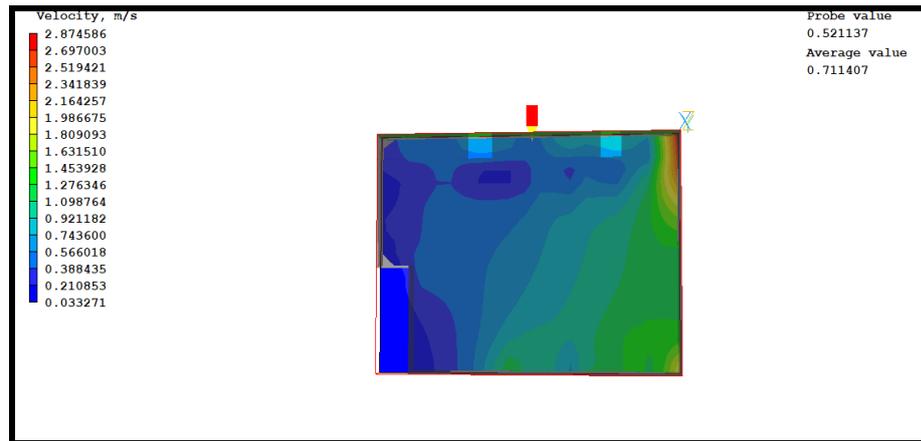


Figure 8: Simulation étage cas 2. Source : auteur

2.2.3 Les résultats des simulations :

Dans le cas 02 on a constaté que :

- La vitesse maximale est 1.7 m/s au RDC et de 0.92 m/s a l'étage dans le coté de minarets
- au centre de la salle de prière la vitesse est 0.83 m/s dans le RDC et 0.5 m/s à l'étage.
- Le coté de minbar une vitesse de 0.71 m/s au RDC et 0.38 m/s à l'étage
- La vitesse minimale est 0.3 m/s au RDC et de 0.21 m/s a l'étage dans le coté latérale gauche de la salle de prière.

Après la comparaison de C1 avec le C0 on obtient qu'il y'a une augmentation de :

- 1 m/s au RDC l'équivalent de 3 °C de refroidissement
- 0.56 m/s à l'étage l'équivalent de 1.5 °C de refroidissement

2.3 La simulation du cas n 03

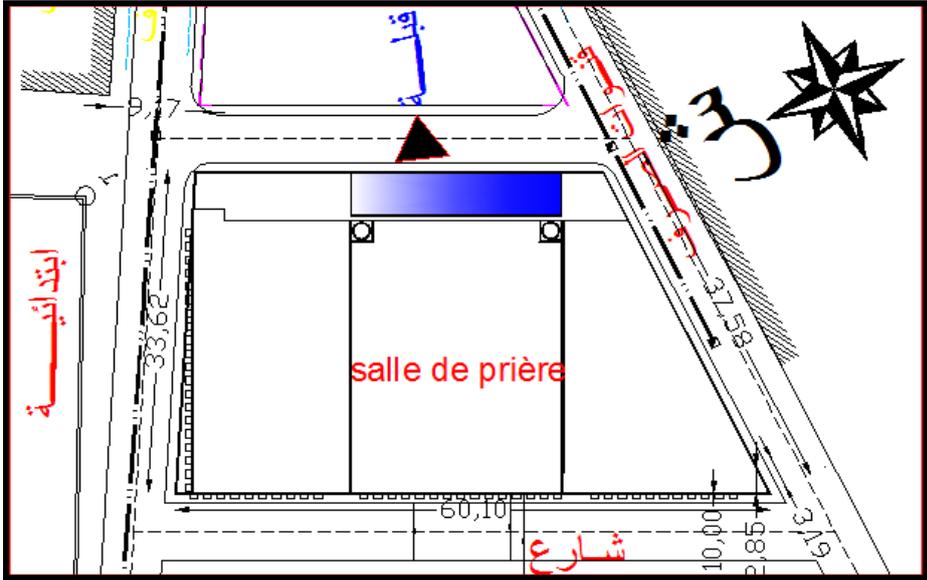


Figure 9: position des minarets cas 3. Source : auteur

2.3.1 Simulation RDC :

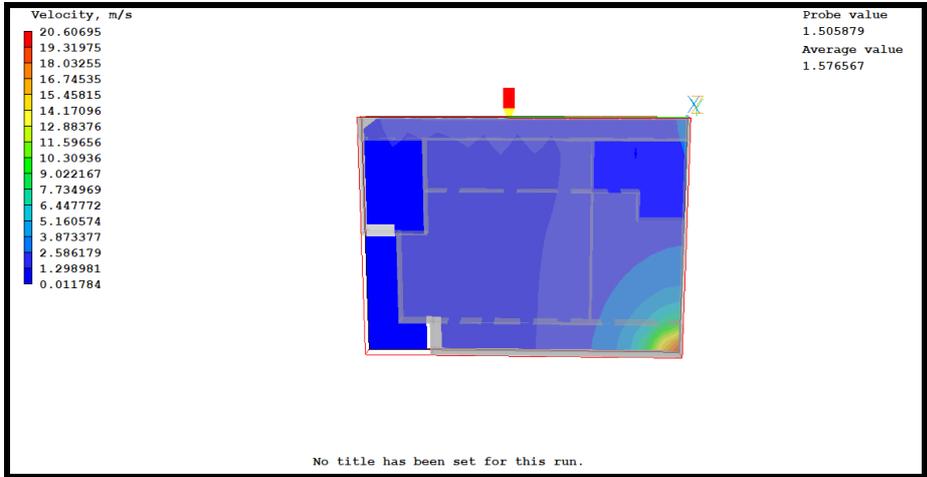


Figure 10: Simulation RDC cas 3. Source : auteur

2.3.2 Simulation étage :

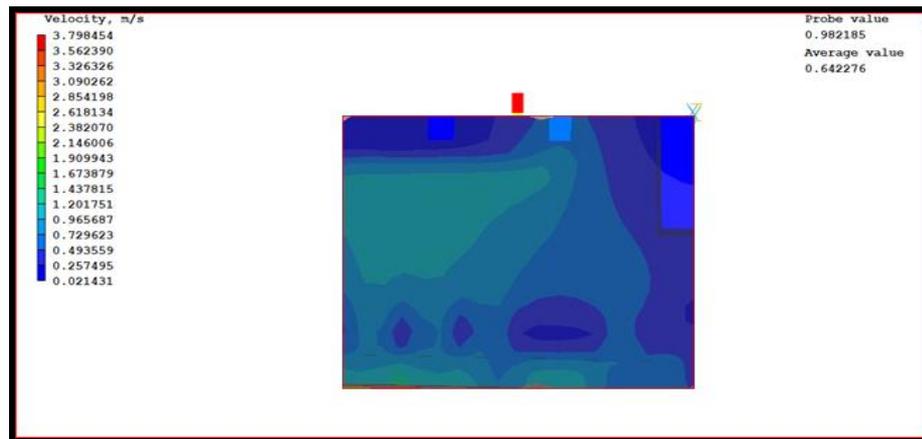


Figure 11: Simulation étage cas 3. Source : auteur

2.3.3 Les résultats des simulations :

Dans le cas 03 on a constaté que :

- La vitesse maximale est 2.58 m/s au RDC dans le coté des minarets et coté latérale droite, et de 1.43 m/s à l'étage dans le coté des minarets
- au centre de la salle de prière la vitesse est 1.29 m/s dans le RDC et 0.72 m/s à l'étage.
- La vitesse minimale est 1.29 m/s au RDC et de 0.49 m/s a l'étage dans le coté postérieure

Après la comparaison de C3 avec le C0 o obtient qu'il y'a une augmentation de :

- 1.93 m/s au RDC l'équivalent de 4.8 °C de refroidissement
- 0.96 m/s à l'étage l'équivalent de 2.8 °C de refroidissement

2.4 La simulation du cas n 04 :

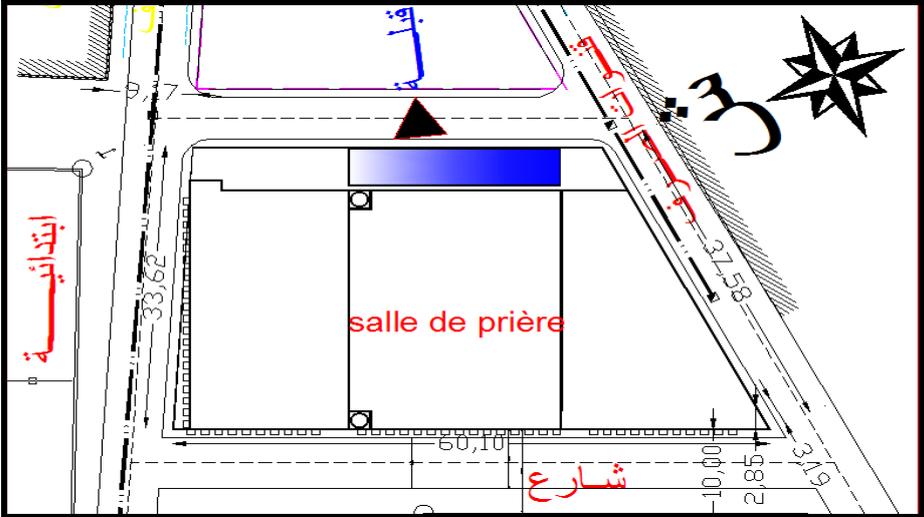


Figure 12: position des minarets cas 4. Source : auteur

2.4.1 Simulation RDC :

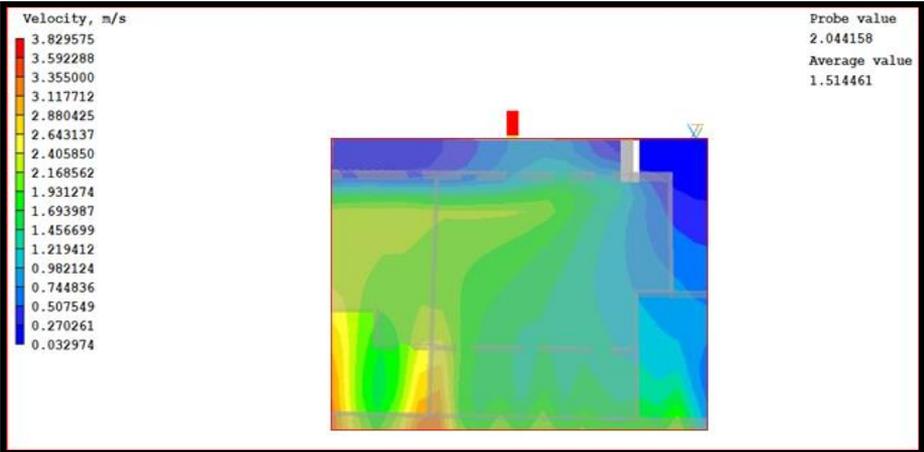


Figure 13: Simulation RDC cas 4. Source : auteur

2.4.2 Simulation étage :

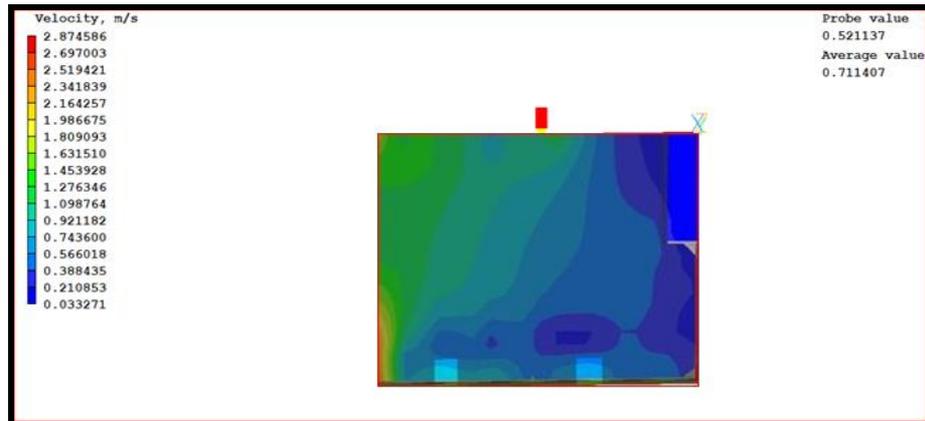


Figure 14: Simulation étage cas 4. Source : auteur

2.4.3 Les résultats des simulations :

Dans le cas 04 on a constaté que :

-La vitesse maximale est 2.16 m/s au RDC et de 1.27 m/s à l'étage dans le coté du minaret

-au centre de la salle de prière la vitesse est 1.69 m/s dans le RDC et 0.8 m/s à l'étage.

-Le coté de minbar une vitesse de 1.21 m/s au RDC et 0.56 m/s à l'étage

-La vitesse minimale 0.74 est m/s au RDC et de 0.56 m/s à l'étage dans le coté latérale droite.

Après la comparaison de C4 avec le C0 on obtient qu'il y'a une augmentation de :

- 1.42 m/s au RDC l'équivalent de 3.5°C de refroidissement
- 0.71 m/s à l'étage l'équivalent de 2 °C de refroidissement

3.la simulation de2eme variable : le nombre

3.1 La simulation du cas n 05 (un seul minaret)

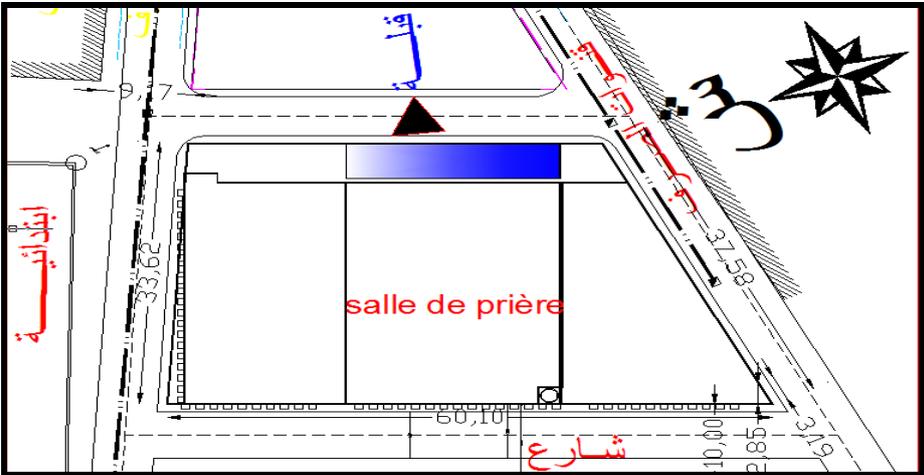


Figure 15: nombre de minaret cas 5. Source : auteur

3.1.1 Simulation RDC :

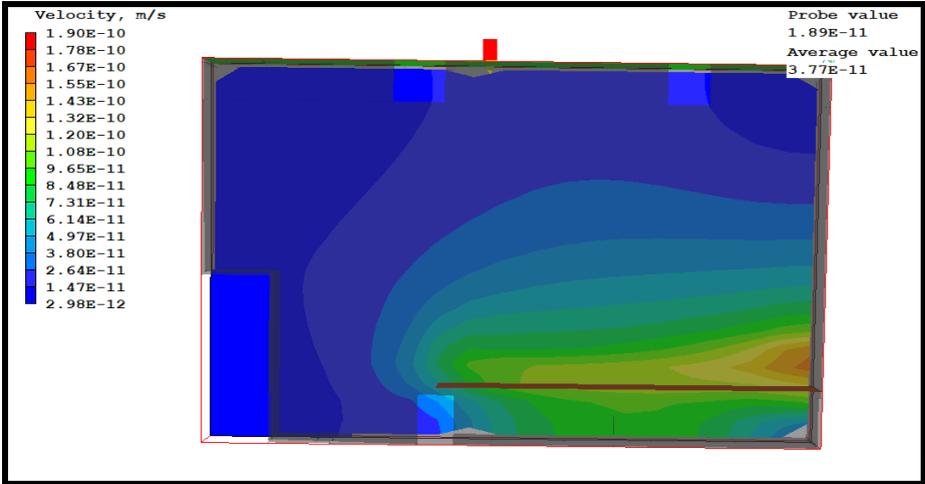


Figure 16: Simulation RDC cas 5. Source : auteur

3.1.2 Simulation étage :

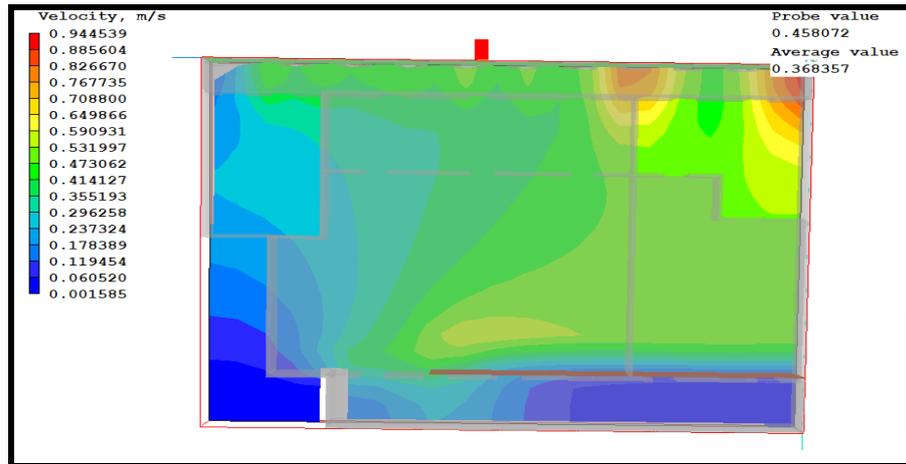


Figure 17: Simulation étage cas 5. Source : auteur

3.1.3 Les résultats des simulations :

Dans le cas 05 on a constaté que :

-La vitesse maximale est 1.2 m/s au RDC et de 0.70 m/s à l'étage dans le coté du minaret

-au centre de la salle de prière la vitesse est 0.8 m/s dans le RDC et 0.35 m/s à l'étage.

-La vitesse minimale est 0.1 m/s au RDC et de 0.1 m/s à l'étage dans le coté du minbar et la coté latérale gauche.

Après la comparaison de C5 avec le C0 on obtient qu'il y'a une augmentation de :

- 0.65 m/s au RDC l'équivalent de 1.8 °C de refroidissement
- 0.73 m/s à l'étage l'équivalent de 2 °C de refroidissement

3.2 La simulation du cas n 06 (2 minarets)

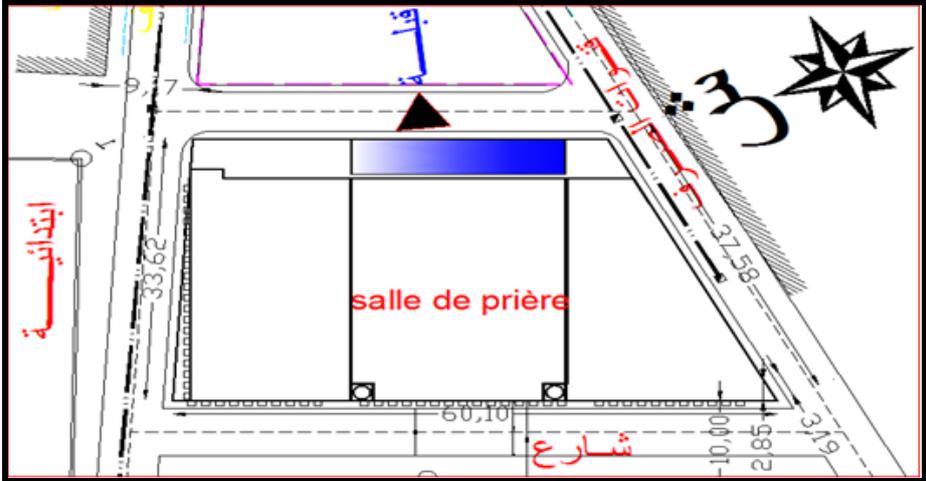


Figure 18: nombre des minarets cas 6. Source : auteur

3.2.1 Simulation RDC :

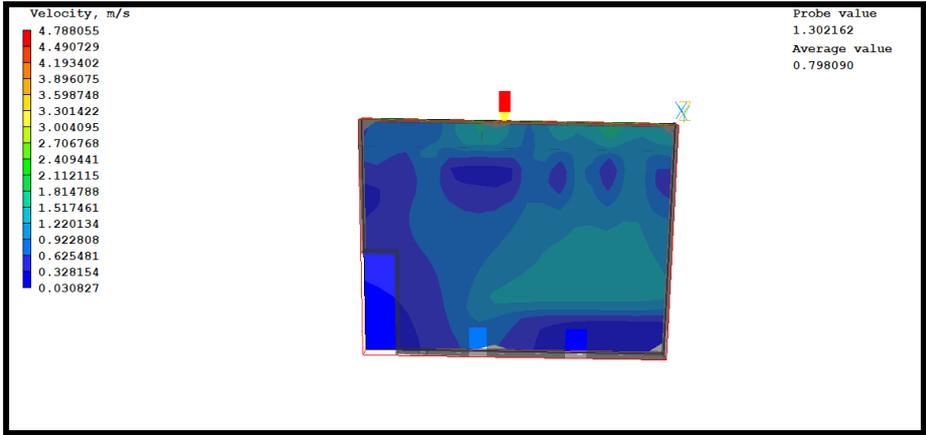


Figure 19: Simulation RDC cas 6. Source : auteur

3.2.2 Simulation étage :

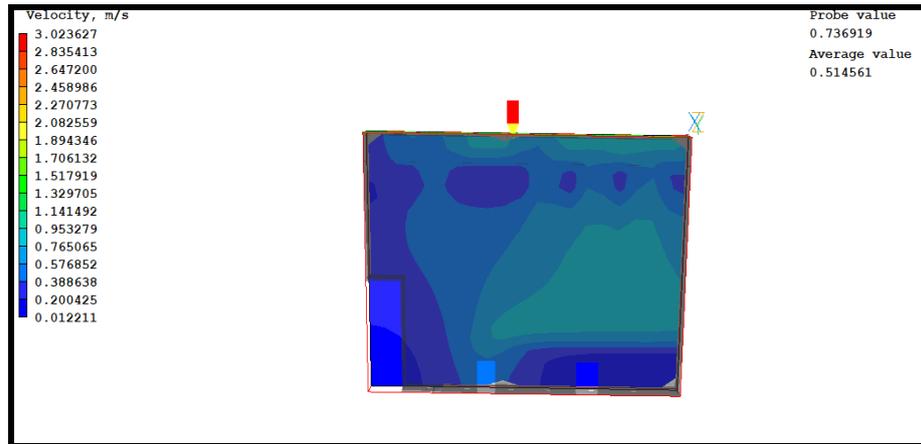


Figure 20 : Simulation étage cas 6. Source : auteur

3.2.3 Les résultats des simulations :

Dans le cas 06 on a constaté que :

-La vitesse maximale est 1.51 m/s au RDC et de 1.14 m/s a l'étage dans le coté latérale droite de la salle de prière.

-au centre de la salle de prière la vitesse est 1.22 m/s dans le RDC et 0.95 m/s à l'étage.

-Dans le coté latérale gauche une vitesse de 0.92 m/s au RDC et 0.76 m/s à l'étage

-La vitesse minimale est 0.62m/s au RDC et de 0.38 m/s a l'étage dans le coté du minbar

Après la comparaison de C2 avec le C0 o obtient qu'il y'a une augmentation de :

- 1 m/s au RDC l'équivalent de 3 °C de refroidissement
- 0.56 m/s à l'étage l'équivalent de 1.5 °C de refroidissement

3.3 La simulation du cas n 07 (3 minarets)

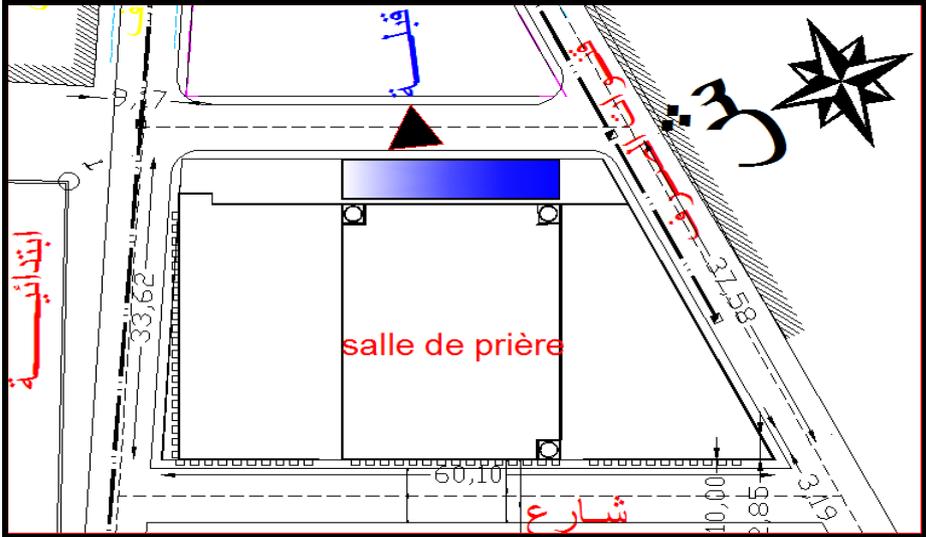


Figure 21: nombre des minarets cas 7. Source : auteur

3.3.1 Simulation RDC :

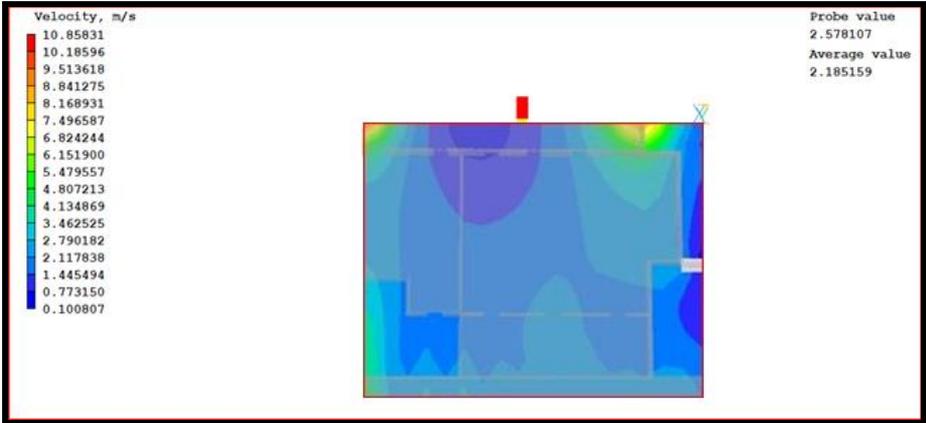


Figure 22: Simulation RDC cas 7. Source : auteur

3.3.2 Simulation étage :

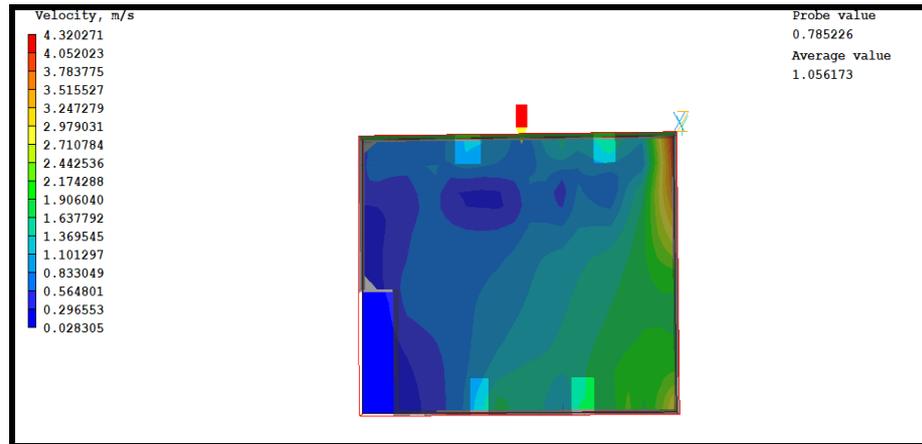


Figure 23: Simulation étage cas 7. Source : auteur

3.3.3 Les résultats des simulations

Dans le cas 7 on a constaté que :

-La vitesse maximale est 3.46 m/s au RDC et de 2.17 m/s à l'étage dans les 3 côtés des minarets

-au centre de la salle de prière la vitesse est m/s dans le RDC et m/s à l'étage.

-Le coté de minbar une vitesse de 2.11 m/s au RDC et 1.36 m/s à l'étage

-La vitesse minimale est 1.44 m/s au RDC et de 1.1 m/s à l'étage entre coté minbar et coté latéral gauche

Après la comparaison de C 8 avec le C0 on obtient qu'il y'a une augmentation de :

- 2.45 m/s au RDC l'équivalent de 5.5 °C de refroidissement
- 1.63 m/s à l'étage l'équivalent de 4 °C de refroidissement

3.4 La simulation du cas n 08 (4 minarets)

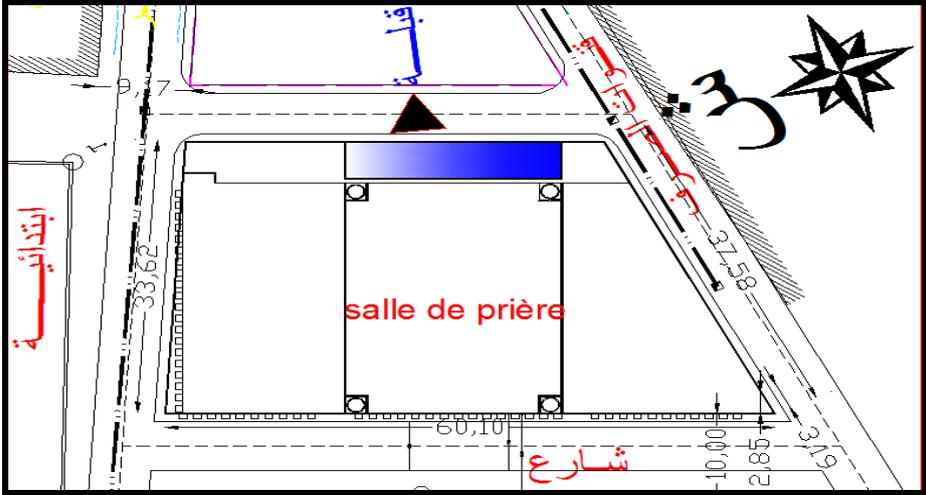


Figure 24: nombre des minarets cas 8. Source : auteur

3.4.1 Simulation RDC :



Figure 25: Simulation RDC cas 8. Source : auteur

3.4.2 Simulation étage :

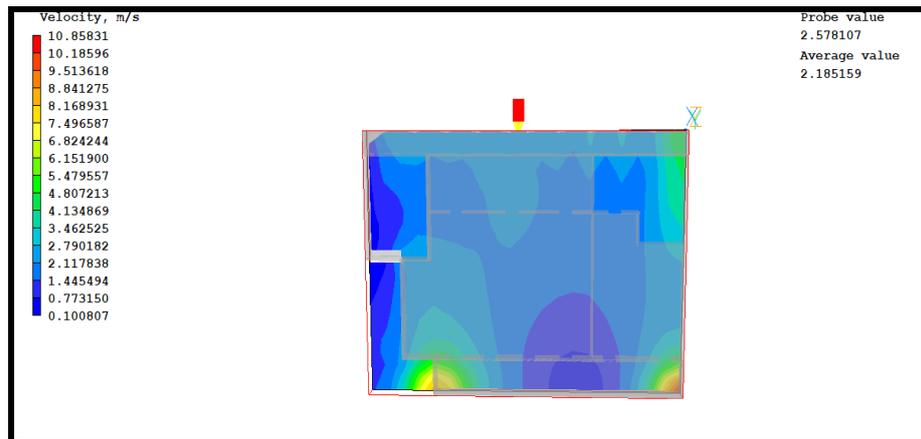


Figure 26: Simulation étage cas 8. Source : auteur

3.4.3 Les résultats des simulations

Dans le cas 8 on a constaté que :

- La vitesse 5 maximale est m/s au RDC et de 2.20 m/s a l'étage dans le coté
- La vitesse minimale 2.58 est m/s au RDC et de 1.49 m/s a l'étage dans le centre de la salle de prière

Après la comparaison de C 7 avec le C0 on obtient qu'il y'a une augmentation de :

- 3.79 m/s au RDC l'équivalent de 6.5 °C de refroidissement
- 1.84 m/s à l'étage l'équivalent de 4.5 °C de refroidissement

4. Tableau récapitulatif des résultats

On a montré les résultats de simulation dans le tableau suivant :

| | | C0 | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 |
|---------|-------------|----|-------|------|-------|-------|------|------|------|-------|
| RDC | vitesse | 0 | 0,91 | 1 | 1,93 | 1,42 | 0,65 | 1 | 2,45 | 3,79 |
| | temperature | 0 | 2,7 | 3 | 4,8 | 3,5 | 1,8 | 3 | 5,5 | 6,5 |
| R+1 | vitesse | 0 | 0,76 | 0,56 | 0,96 | 0,71 | 0,37 | 0,56 | 1,63 | 1,84 |
| | temperature | 0 | 2 | 1,5 | 2,8 | 2 | 1 | 1,5 | 4 | 4,5 |
| Globale | vitesse | 0 | 0,835 | 0,78 | 1,445 | 1,065 | 0,51 | 0,78 | 2,04 | 2,815 |
| | temperature | 0 | 2,35 | 2,25 | 3,8 | 2,75 | 1,4 | 2,25 | 4,75 | 5,5 |

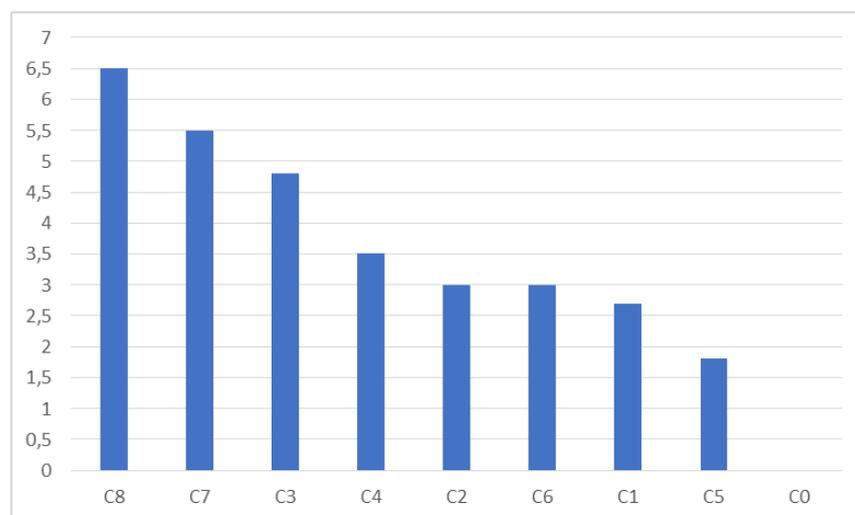
Tableau 1 :Tableau récapitulatif des résultats. Source : auteur

4.1 Classement selon les gains de refroidissement RDC

D’après le classement selon les gains de refroidissement RDC on obtene les résultats suivants :

| | | C8 | C7 | C3 | C4 | C2 | C6 | C1 | C5 | C0 |
|-----|-------------|-----|-----|-----|-----|----|----|-----|-----|----|
| RDC | temperature | 6,5 | 5,5 | 4,8 | 3,5 | 3 | 3 | 2,7 | 1,8 | 0 |
| | Classement | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |

Tableau 2 : Classement selon les gains de refroidissement RDC. Source : auteur



Graph 1 :Classement selon les gains de refroidissement RDC. Source : auteur

Dans notre cas pour vérifier l'effet du minaret comme un tour a vent au RDC et d'après la comparaison des cas proposé avec le cas 0 (sans minaret) et apartir de graphe 01 on constat qu'il existe un effet de minaret comme un elemnet de refroidissement .

L'effet le plus grand entre 6.5 m/s et 5.5 m/s dans les cas C8 et C7 ou on a augmanté le nombre au 3 et 4 minarets.

Mais les resultats rapprocher ente 3.5 m/s et 2.8 m/s dans les cas C4 , C2, C6 et C1 quand on a changé les position des minarets, sauf le C3 5m/s ou la position des minarets dans le mur de qibla (coté sud est)

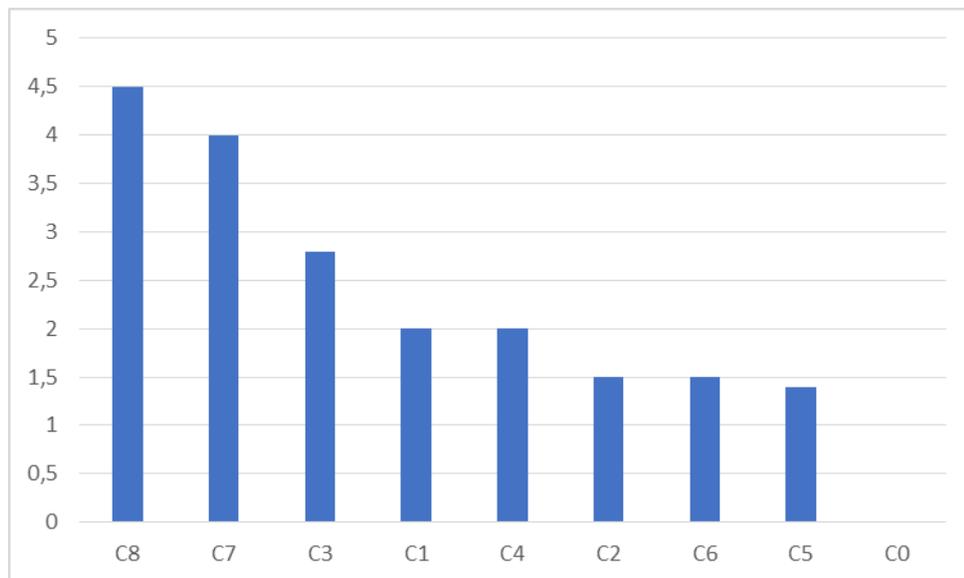
L'effet le plus moindre 1.8m/s dans le C5 d'une seul minaret

4.2 Classement selon les gains de refroidissement r+1

D'après le classement selon les gains de refroidissement R+1 on obtenue les résultats suivants :

| | | C8 | C7 | C3 | C1 | C4 | C2 | C6 | C5 | C0 |
|-----|-------------|-----|----|-----|----|----|-----|-----|-----|----|
| R+1 | temperature | 4,5 | 4 | 2,8 | 2 | 2 | 1,5 | 1,5 | 1,4 | 0 |
| | Classement | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |

Tableau 3 : Classement selon les gains de refroidissement r+1. Source : auteur



Graphe 2 : 4 Classement selon les gains de refroidissement r+1. Source : auteur

Dans notre cas pour vérifier l'effet du minaret comme un tour a vent au R+1 et d'après la comparaison des cas proposé avec le cas 0 (sans minaret) et apartir de graphe 02 on constat qu'il existe un effet de minaret comme un elemnet de refroidissement .

L'effet le plus grand entre 4.5 m/s et 4 m/s dans les cas C8 et C7 ou on a augmanté le nombre au 3 et 4 minarets.

Mais les resultats rapprocher ente 2 m/s et 1.5 m/s dans les cas C4 , C2, C6 et C1 quand on a changé les position des minarets, sauf le C3 2.8 m/s ou la position des minarets dans le mur de qibla (coté sud est)

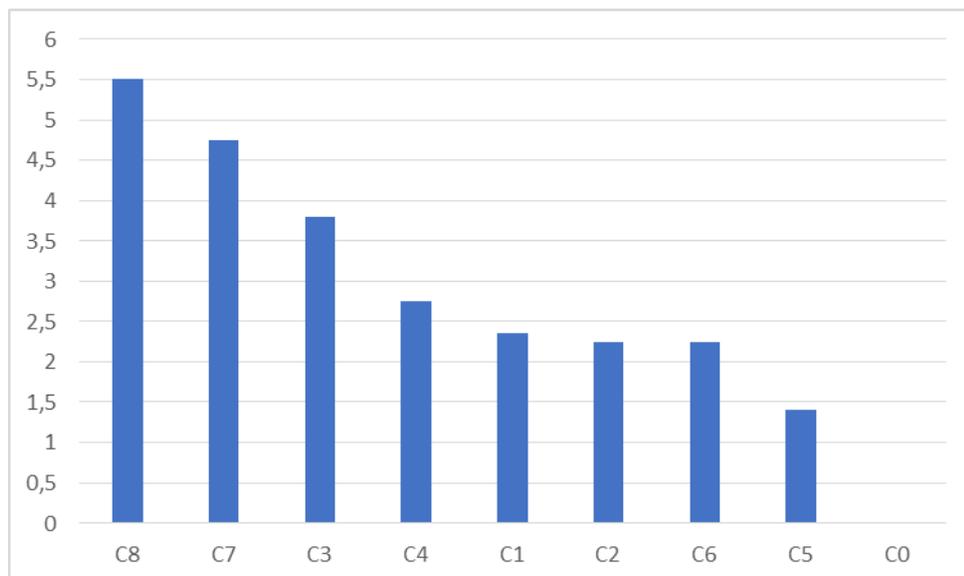
L'effet le plus moindre 1.4 m/s dans le C5 d'une seul minaret

4.3 Classement récapitulatif des résultats

D'après le classement selon les gains de refroidissement globale on obtenue les résultats suivants :

| | | C8 | C7 | C3 | C4 | C1 | C2 | C6 | C5 | C0 |
|---------|-------------|-----|------|-----|------|------|------|------|-----|----|
| Globale | temperature | 5,5 | 4,75 | 3,8 | 2,75 | 2,35 | 2,25 | 2,25 | 1,4 | 0 |
| | Classement | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |

Tableau 5 : Classement récapitulatif des résultats. Source : auteur



Graphe 3 : Classement récapitulatif des résultats. Source : auteur

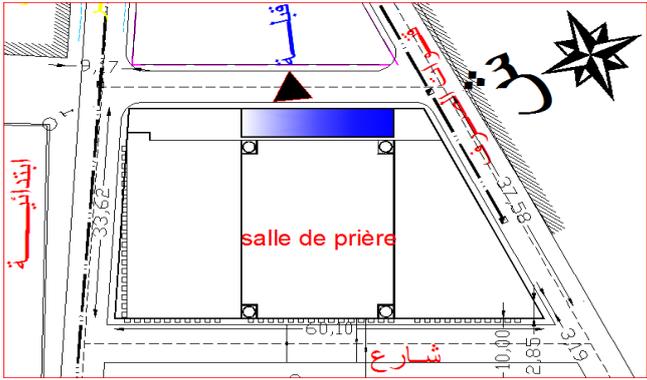
5. Synthèse generale :

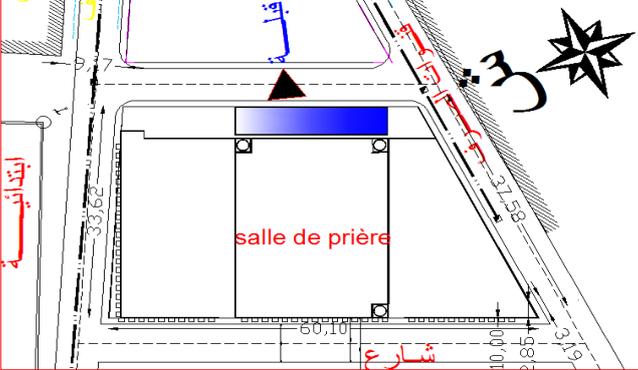
D'après l'analyse des résultats de la simulation on peut constater que le minaret joue le rôle d'un tour à vents par le refroidissement

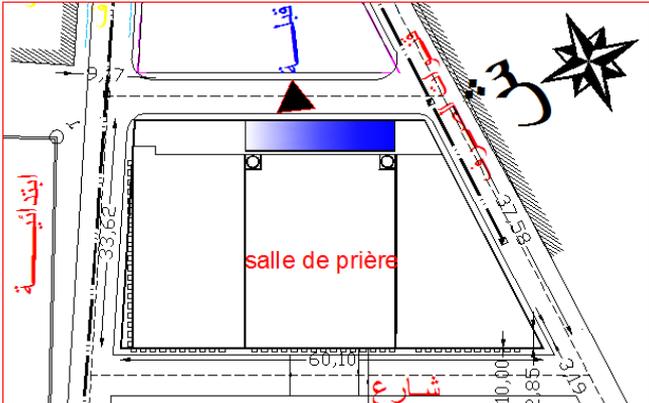
L'effet le plus grand entre 5.5 m/s et 4.75 m/s dans les cas C8 et C7 ou on a augmenté le nombre au 3 et 4 minarets et le plus moindres 1.4 m/s dans le C5 d'une seul minaret donc le nombre des minarets influence sur le refroidissement globale .

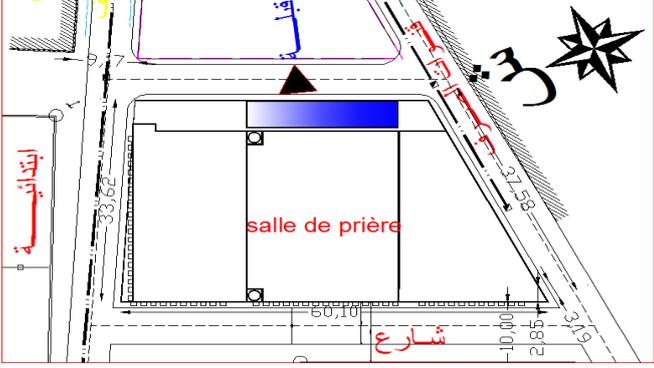
les resultats se rapprochent entre 2.75 m/s et 2.25 m/s dans les cas C4 , C2, C6 et C1 quand on a changé les position des minarets donc le changement des positions des minarets ne change pas les resultats de refroidissement, sauf le C3 2.8 m/s ou la position des minarets dans le mur de qibla la coté sud est .

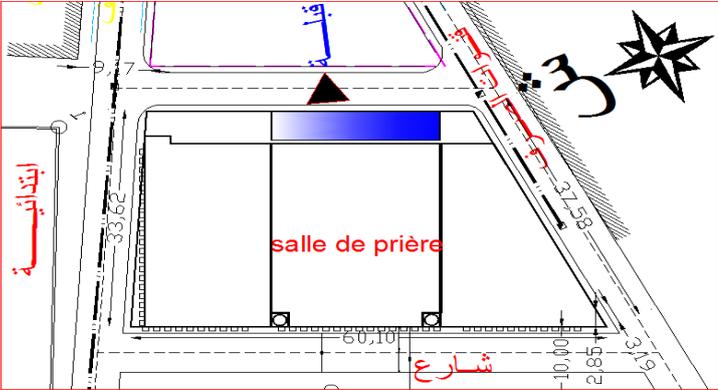
6. Décodification du classement finale des scénarios :

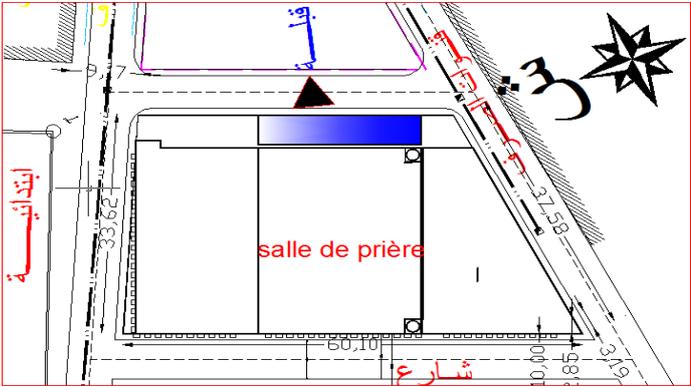
| | | |
|---|--------------------------|--------------|
|  | Classement | 1 |
| | Code | Cas 8 |
| | Nombre de minaret | 4 |
| | Position | / |

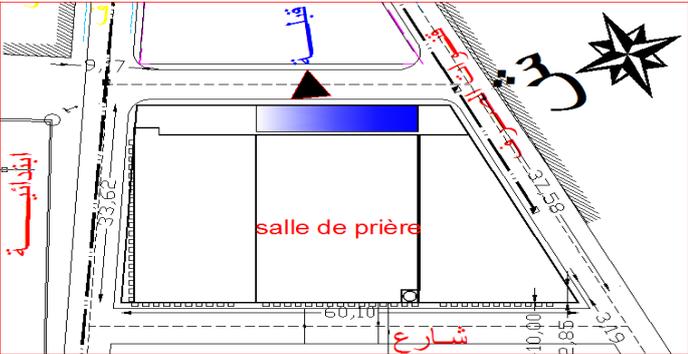
| | | |
|---|--------------------------|--------------|
|  | Classement | 2 |
| | Code | Cas 7 |
| | Nombre de minaret | 3 |
| | Position | / |

| | | |
|---|--------------------------|----------------|
|  | Classement | 3 |
| | Code | Cas 3 |
| | Nombre de minaret | 2 |
| | Position | Sud-est |

| | | |
|---|--------------------------|-----------------|
|  | Classement | 4 |
| | Code | Cas 4 |
| | Nombre de minaret | 2 |
| | Position | Nord-est |

| | | |
|--|--------------------------|------------------------------|
|  | Classement | 5 |
| | Code | Cas 1 Cas 6 |
| | Nombre de minaret | 2 |
| | Position | Nord-ouest |

| | | |
|--|--------------------------|------------------|
|  | Classement | 6 |
| | Code | Cas 2 |
| | Nombre de minaret | 2 |
| | Position | Sud-ouest |

| | | |
|---|--------------------------|--------------|
|  | Classement | 8 |
| | Code | Cas 5 |
| | Nombre de minaret | 1 |
| | Position | / |

Conclusion générale :

En tant que lieu de rassemblement densément occupé, une mosquée mérite une ventilation adéquate. L'efficacité de la ventilation transversale à travers les fenêtres est limitée à certaines profondeurs prévues et plusieurs mosquées communautaires avec une énorme capacité dépassent cette limite.

Cette recherche met en lumière la postulation selon laquelle un minaret peut servir une fonction supplémentaire en complétant la ventilation naturelle dans une mosquée durant la période estivale.

Nous rappelons que cette recherche a nécessité deux phases précédemment détaillées, une partie relative à l'approche théorique issue sous forme d'une recherche bibliographique dans différents domaines répartie sur 3 chapitres nous a permis d'introduire le thème de recherche et de tirer les notions générales, ainsi que les méthodes et les outils élaborés dans les recherches antérieures et la deuxième partie analytique issue sous forme d'une simulation.

Nous avons pu vérifier les hypothèses de cette recherche à travers une simulation menée à l'aide du logiciel PHOENICS. D'après les simulations, on a remarqué que le minaret joue le rôle d'un tour à vents par le refroidissement

La position et le nombre des minarets ont une influence sur l'effet du minaret comme un élément de refroidissement, le changement de nombre change les résultats mais le changement des positions ne change pas les résultats, sauf la position des minarets dans le mur de qibla la côté sud est.

Il reste un vaste champ de recherche et d'analyse permettant d'explorer l'ampleur et le type de ventilation qu'elle peut fournir selon divers paramètres. Les résultats pourraient inspirer et guider les architectes et les concepteurs pour une solution de conception efficace. Cette volonté finalement paver au moins une pierre sur la voie du succès du plaidoyer mondial pour la préservation de l'environnement grâce à des bâtiments sains économes en énergie.

Bibliographie :

- Abideen (1997). Aspects of Passive Cooling and the Potential Savings in Energy, Money and Atmospheric Pollutants Emissions in Existing Air Conditioned Mosques in Saudi Arabia, University of Edinburgh.
- Al-Najim A., A.-M. (1999). The Role of Courtyard in Power Consumption of the Mosque.
- alfraidi, S. (2016). étudié le système de refroidissement par évaporation et son aptitude avec les minarets dans les mosquées.
- algerie360 (2019). "consomment en électricité l'équivalent d'une ville moyenne des mosquées énergivores." from <https://www.algerie360.com/elles-consomment-en-electricite-lequivalent-dune-ville-moyenne-des-mosquees-energivores/>.
- belghith, a. (2018). Optimisation de la ventilation et l'aération naturelles dans l'habitat Individuel, cas du lotissement « Cheikh Aarbi Tbessi» ville de Tébessa. Département d'Architecture, Université Laarbi Tébessi – Tébessa. diplôme de master Académique.
- BENTIBA, B. (2017/2018). L'optimisation de la performance énergétique dans les mosquées Chikh elarbi Tebessi: 87.
- Ahriz atef et al , 2016 , To an Optimized thermal design of mosques in hot deserts ,the first international conference on mosque architecture , Dammam- arabie saoudite.
- Boloorch, E. (2014). "Investigation of the Middle East Windcatchers and (Comparison between Wind catchers in Iran and Egypt in Terms of Components)." Architecture and Urban Development.
- Boussaid, B. (2017/2018). L'effet des tours à vent sur le confort thermique et aérodynamique des maisons sous le climat de Touggourt. architecture, UNIVERSITE L'ARBI BEN M'HIDI OUM EL BOUAGHI. diplôme 2ème année mastère.
- faceiran (2019). "fonction de mosquee en islam." from <http://faceiran.fr/fonction-mosquee-islam/>.
- fajjianelli, G. A. (2014) Raffraichissement par la ventilation naturelle traversante es batiments en climat méditerranéen.
- gherzouli, L. (2007).
- Imam, N. (2003). Ventilation in mosque an additional purpose the minarets may serve.
- KHaldi, s. (2012/2013). étude numérique de la ventilation naturelle par la cheminée solaire, un université Abu Bakr Belkaid. diplôme magistère.

Bibliographie

- Khoutir, k. e. l. (2013). "les minarets." from <https://fr.slideshare.net/kmaroua/la-revolution-et-les-types-des-minarets>.
- Mahmoudi, M. (2009). "Analysis on Iranian Wind Catcher and Its Effect on Natural Ventilation as a Solution towards Sustainable Architecture (Case Study: Yazd) " Qazvin Islamic Azad University).
- MANSOURI (2008). LES PROPORTIONS DANS L'ARCHITECTURE MUSULMANE L'influence Des Facteurs : Technologique Et Climatique.. Département d'Architecture et d'urbanisme Université Mentouri de Constantine Doctorat en Science
- MANSOURI (2015/2016). L'intérêt des éléments architectoniques musulmans dans la conception des projets culturels, Université Larbi Tébessi - Tébessa diplôme de master en Architecture
- Maud, R. (2012). la ventilation dans les batiments
- MENHOUR, A. (2012). Evolution de la mosquée en tant que patrimoine architectural religieux Cas de la mosquée ottomane à Constantine DEPARTEMENT D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME UNIVERSITE MENTOURI MAGISTER
- MERZOUG, N. (2012). minarets des mosquées de Telemcen, université Abu Bakr Belkaid de Telemcen.
- meteo (2019). "les vents." from <http://meteo.org/phenomen/vent.htm>.
- Sudany, J. A. A. W. J. A. (2015). "employment minarets wind catcher natural ventilation and passive cooling in mosques of baghdad." international journal of current engergeering and technology.
- Toufik, G. (cahier de charge du mosquée othman ibn affan a chraia). 2007.
- vent, f. l. (2019). from <https://www.fondation-lamap.org/fr/page/11299/le-vent>.
- سعود, ا. و. ب. م. آ. (1999). (ابراج التبريد الطبيعي و اثرها على الاداء الحراري للمساجد, الرياض جامعة الملك سعود.
- لخازمي, أ. م. م. (2016). عناصرها -نشأتها - المندنة: أصلها. مجلة الآثار الإسلامية للعلوم الأساسية و التطبيقية جامعة المرقب - ليبيا 2016, فبراير 14.
- الجبلاوي, ك. م. ك. م. (2014). المعنى في ما وراء المآذن (المنارات). (اكاديمية شروق القاهرة.
- ريتا خليل. (2014). المساجد. الجامعة اللبنانية مركز اللغات و الترجمة; لبنان