

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Mohamed Khider-Biskra
Faculté des Sciences et de la technologie
Département : Architecture



جامعة محمد خيضر بسكرة
كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم: الهندسة المعمارية

Ref :

المرجع:

Mémoire présenté en vue de l'obtention Du diplôme de :
Magister

Ecole doctorale : Ville et architecture au Sahara

INTITULE : ETUDE DE L'IMPACT DU RAFRAICHISSEMENT DES
FONTAINES D'EAU DANS LES MAISONS A PATIO, CAS DES ZONES
SAHARIENNES.

Présenté par :

BEN AMEUR Okba

Soutenu publiquement le :

Devant le jury composé de :

Dr. Benabbess Moussadek
Pr. Nouredine Zemmouri
Pr. Brima Abdelhafid
Dr. Belghar Nouredine

Président
Directeur de mémoire
Examineur
Examineur

Université de Biskra
Université de Biskra
Université de Biskra
Université de Biskra



Dédicace

Afin d'être reconnaissant envers ceux qui m'ont appuyé et encouragé à effectuer ce travail de recherche, je dédie ce mémoire :

À la mémoire de ma grand-mère paternelle, qui a été toujours dans mon esprit et dans mon cœur

À mon très cher grand-père Baba Hadj pour son soutien moral, et pour tous les sentiments d'affection et d'amour qui représentent pour moi le pilier de tous mes efforts.

À ma très chère mère et à mon très cher père qui n'ont cessé de me combler par leur amour et leur tendresse.

À tous les membres de ma famille sans aucune exception.

À tous mes amis et collègues.

Et à tous ceux que ma réussite leur tient à cœur.

Remerciement

Louanges à ALLAH le tout puissant, qui m'a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

En second lieu, je tiens à remercier profondément mon directeur du mémoire et le directeur du Laboratoire de Conception et de Modélisation des Formes et des Ambiances Architecturales et Urbaines « LACOMOFA » : Pr.Noureddine Zemmouri, pour ses précieux conseils et son aide durant toute la période du travail.

Je tiens à remercier Dr. Saddok Houda et Dr. Noureddine Belghar, à qui j'adresse mes remerciements les plus sincères pour leurs disponibilités, leurs conseils, leurs encouragements et leurs qualités humaines. Vos remarques pertinentes et vos conseils précieux m'ont beaucoup aidé à améliorer la qualité de ce travail. Soyez assurés, chers professeurs, de mon estime et de ma profonde gratitude.

Mes sincères remerciements et ma gratitude vont aussi à mon frangin Dr. Tarek Benameur pour son aide, ses encouragements, sans lesquelles ce travail ne serait arrivé à terme.

Mes vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce thème d'étude en acceptant d'examiner mon travail et de l'enrichir par leurs propositions. Enfin, je tiens également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Les régions sahariennes se caractérisent par un climat chaud et aride avec des conditions climatiques hostiles spécialement durant la période estivale qui s'étend généralement du mois de Mars au mois d'Octobre. Un système de conditionnement d'air est nécessaire tout au long de la journée pour atteindre un confort thermique favorable. Les maisons à patio représentent une configuration passive qui a la capacité d'améliorer les conditions thermiques et le confort des habitants. Cependant, ce modèle architectural passif et régulateur thermique a été abandonné pour d'autres modèles sophistiqués et plus complexes. L'objectif de ce travail de recherche est d'évaluer l'impact du rafraîchissement par évaporation à travers l'utilisation des fontaines d'eau dans quelques typologies de maisons à patio sur le confort intérieur des habitants. Plusieurs configurations et scénarios sont testés incluant les dimensions des patios, leurs formes, positions et profondeurs. L'outil de simulation utilisé est Ansys fluent CFD, combiné à ICEM-CFD une extension génératrice de maillage, le logiciel évalue l'impact de ces fontaines d'eau dans un régime instationnaire d'après l'introduction des Fonctions Défini par l'Utilisateur (UDF), compilée sur C++. Des fonctions mathématiques déterminées par Matlab pour décrire les graphes de tendance de la vitesse de l'air, la température et l'humidité relative d'une journée typique à Biskra, Algérie. Après une série de simulation, nous avons déterminé l'efficacité du rafraîchissement des fontaines d'eau dans les différentes configurations du patio dans un climat chaud et aride. D'après les résultats, le patio carré centré avec une profondeur de un ou deux étages peut atteindre un meilleur taux de confort thermique. Le patio polygonal excentré en forme de «L» représente la configuration optimale par rapport aux autres typologies excentrées à deux étages.

MOTS CLES: *Sahara, CFD, rafraîchissement passif, patio, Fluent, fontaines d'eau.*

Saharan regions are characterized by a hot and arid climate and very harsh weather conditions especially during summer season which generally extends from March to October. An air conditioning system is essential throughout the day in order to achieve thermal comfort conditions. Courtyard houses as a passive configuration are known to have the capacity to improve thermal conditions and the comfort of the inhabitants. However, this passive architectural thermal regulator model has been abandoned for a more sophisticated and complicated slab model. The purpose of this study is to evaluate the ability of an evaporative system, i.e. a water fountain in a typical courtyard house in achieving indoor thermal comfort. Different design configurations and scenarios have been tested including dimensions, geometry, position and depth. The simulation tool used is Ansys Fluent CFD code, combined with the Mesh generator ICEM-CFD, the software evaluates the impact of water fountain in an unsteady state through the introduction of a User Defined Functions (UDF), which was compiled in C ++. Mathematical functions have been determined using Matlab to describe the trend of air velocity, temperature and relative humidity of a typical design day in Biskra, Algeria. It is clear from the results that the evaporative cooling in hot and arid zones is very useful in reducing heat in the courtyard and interior spaces. And after a series of simulation, we have defined the most appropriate configurations courtyard in a hot, arid climate. The study shows that a house with both one and two stories and a square centered shape courtyard, can achieve an acceptable level of thermal comfort. The polygonal “L” shaped” eccentric courtyard shape presents an optimal configuration for eccentric courtyard houses with two stories.

KEY WORDS: *Sahara, CFD, Passive cooling, Thermal comfort, Courtyard, Fluent, Water fountains.*

تتميز المناطق الصحراوية بمناخ حار وجاف، وبظروف مناخية قاسية خاصة خلال الفترة الصيفية التي تمتد عادة ما بين شهر مارس وشهر أكتوبر. لذلك وجب استعمال نظام تكييف هوائي طوال اليوم لتحقيق الرفاهية الحرارية المطلوبة. تعتبر المنازل ذات الفناء الداخلي النموذج الطبيعي الأنسب والغير مكلف طاقيًا لتحسين الظروف الحرارية وتوفير الراحة اللازمة للسكان. بالرغم من ذلك فقد تم التخلي عن هذا النموذج المعماري ذو التبريد السلبي واستبدل بنماذج أخرى تعتبر أكثر حداثة وتعقيدًا. الهدف من خلال هذا العمل هو تقييم أثر التبريد عن طريق نافورة المياه من خلال استعمالها داخل بعض أنماط الأفنية لمعرفة تأثير ذلك على الرفاهية الحرارية لسكان المنزل. تم اختبار عدة نماذج للأفنية وذلك اعتمادًا على شكل الفناء، أبعاده، وضعيته بالنسبة للمنزل و عمقه. يتم محاكاة هذه النماذج باستعمال برنامج أنسيس فلونت « Ansys Fluent »، إضافة لمحاكاة ضبط الشبكة الخاص به « ICEM-CFD ». قصد دراسة تأثير هذا التجهيز المائي طوال يوم كامل نقوم بإدراج وظيفة محددة إلى البرنامج (UDF) وذلك بعد كتابتها وبرمجتها بلغة ++C. يمكننا الاعتماد على برنامج « Matlab » لتحديد الدوال الحسابية المستعملة و الخاصة بسرعة الهواء، درجة الحرارة وكذا الرطوبة النسبية ليوم نموذجي ومعبّر للفترة الصيفية الحرجة لمدينة بسكرة، الجزائر. نستخلص أن التبريد عن طريق نافورات المياه يعتبر حل مفيد لخفض درجة الحرارة وتحقيق رفاهية أكثر داخل المجالات الداخلية للمنازل المصممة في مناطق حارة وجافة. تبين نتائج المحاكاة أن بإمكان الفناء المربع، الذي يتوسط المنازل تحسين الرفاهية الحرارية الداخلية بدرجة ملحوظة وجد ملائمة سواء بالنسبة للمنازل المصممة بطابق أرضي أو طابقين. كما يعتبر الفناء المتعدد الأضلاع (شكل « L ») هو التنظيم الفراغي الأمثل بالنسبة للأفنية اللامركزية بطابقين.

الكلمات المفتاحية: الصحراء، ديناميكية الموائع الحسابية، التبريد السلبي، الرفاهية الحرارية، الفناء، نافورة المياه.

Sommaire :

NOMENCLATURE :	VI
LISTE DES FIGURES :	VII
LISTE DES TABLEAUX :	XI

Introduction générale

Problématique :	1
Questions de la recherche :	2
Hypothèses :	2
Objectifs :	2
Méthodologie :	3
Structure du mémoire :	3

Chapitre I: L'eau et la fontaine d'eau

Introduction:	5
I. L'eau :	6
1. Définition	6
2. L'eau, Croyances et religions :	6
2.1. Mésopotamie :	6
2.2. Grèce :	7
2.3. Christianisme :	7
2.4. Judaïsme :	8
2.5. Islam :	8
3. Cycle humain de l'eau:	9
3.1. Captage de l'eau :	9
3.2. Le transport d'eau :	9
II. La fontaine d'eau :	12
1. Définition :	12
2. Dimension historique :	12
2.1. L'antiquité :	12
2.2. Les moyens âges :	14
2.3. Les temps modernes :	15
3. Dimension technique :	16
Conclusion :	17

Chapitre II: Notions sur le confort thermique

Introduction :	18
1. La leçon de Vitruve :	18
2. Définition du confort thermique:	19
3. La thermorégulation :	19
4. La subjectivité du confort thermique :	20
5. Mesure du confort thermique :	21
5.1. Approche analytique :	21
5.1.1. Le modèle de Fanger :	21
5.1.2. Le modèle de Stolwijk :	23
5.1.3. Le modèle de Gagge :	23
5.1.4. Le modèle de l'université de Berkley :	23
5.2. Approche adaptative :	23
6. Les facteurs agissant sur le confort thermique:	24
6.1. Orientation :	24
6.2. Forme et compacité :	25
6.3. Inertie thermique :	25
6.4. Dimension des ouvertures :	25
6.5. Couleur :	26
Conclusion :	26

Chapitre III: Le rafraichissement passif

Introduction :	27
1. Définition du rafraichissement passif :	27
2. Conditions clés du rafraichissement passif :	28
3. Types du rafraichissement :	29
3.1. Le rafraichissement par ventilation :	29
3.1.1. Définition :	29
3.1.2. Les tours de refroidissement :	29
3.1.3. Effets des vents :	32
3.2. Le rafraichissement par évaporation :	36
3.2.1. Définition :	36
3.2.2. Efficacité de la ventilation par évaporation :	36
3.2.3. La création d'un élément innovant pour le rafraichissement par évaporation :..	37

3.3. Le rafraîchissement par radiation et évaporation :.....	39
3.3.1. La toiture radio-évaporative :.....	39
3.3.2. Le rafraîchissement radio-évaporatif d'un bassin d'eau ouvert.....	41
3.3.3. L'influence de l'altitude et la latitude sur le rafraîchissement passif par évaporation et radiation :.....	42
Conclusion:.....	44
<i>Chapitre IV: Les maisons à patio</i>	
Introduction :	45
1. La définition du patio :	45
2. La progression historique des maisons à patio:	46
2.1. La maison à patio de l'inde :.....	47
2.2. La maison mésopotamienne :	49
2.3. La maison à patio grecque :	50
2.3.1. Les maisons à prostas :.....	50
2.3.2. Les maisons à péristyle :	50
2.4. La Domus romaine :	52
2.4.1. Les maisons romaines à atrium :.....	53
2.4.2. Les maisons romaines à péristyle :.....	54
2.4.3. Les aménagements liés à l'eau :.....	56
2.5. La maison islamique à patio:	56
2.5.1. La maison de Bagdad :.....	57
2.5.2. La maison de Cordoue :	58
2.6. Le patio dans le Sahara algérien :	59
2.6.1. La maison mozabite :	59
2.6.2. La maison à patio à Biskra :.....	61
3. La dimension socio-culturelle :	63
3.1. L'intimité :	64
4. La dimension bioclimatique des patios :	65
4.1. Confort thermique :.....	65
4.2. Lumière et ombrage :.....	66
4.3. Performance énergétique :	66
4.4. Effet acoustique:	67
5. La typologie des maisons à patio :.....	68

Conclusion:.....	70
<i>Chapitre V: Méthodologie</i>	
Introduction :	71
I. Le contexte climatique de Biskra	72
1. Présentation de la ville de Biskra:.....	72
2. Climat de la wilaya de Biskra :	72
2.1. Température :	73
2.2. Vitesse des vents :	73
2.3. Humidité relative :	74
2.4. Précipitations :	75
3. La journée de simulation :	75
II. CFD et ANSYS Fluent	76
1. Une introduction à CFD :.....	76
1.1. Définition du CFD :.....	77
1.2. Fonctionnement d'un code CFD :	77
2. Présentation du logiciel de simulation « ANSYS Fluent » :.....	79
3. Présentation de « ICEM-CFD » :.....	79
III. Définition des modèles :.....	79
1. Paramètres constants :.....	80
1.1. Forme :	80
1.2. Nombre d'étage :	80
1.3. Matériaux de construction :.....	80
1.4. Orientation :.....	81
1.5. Ouvertures :	81
2. Paramètres variables :	81
2.1. Forme :	82
2.2. Dimensions et profondeur :	82
2.3. Positionnement :.....	83
3. Les modèles proposés :.....	84
4. Conditions initiales :	85
4.1. Les dimensions du domaine de calcul:.....	85
4.2. Type de maillage :	85
4.3. Modélisation de la turbulence :	86

4.4. Les conditions aux limites :.....	89
Conclusion :.....	91
<i>Chapitre VI : Résultats et interprétations</i>	
Introduction:	92
1. Résultats du maillage :.....	92
2. Résultats des simulations :.....	94
2.1. L'impact de la géométrie et le positionnement du patio sur le rafraichissement : ...	94
2.1.1. Les patios centrés :	94
2.1.2. Les patios excentrés :	99
2.1. L'impact de la profondeur du patio sur le rafraichissement	103
Conclusion :.....	114
<i>Conclusion Générale:</i>	
Limites et perspectives de recherche :.....	119
<i>Références bibliographiques.....</i>	119
<i>Annexes :</i>	126
Annexe I :.....	127
Glossaire :.....	127
Outils et logiciels :.....	128
Annexe II : Fonctions Définis par Utilisateurs (UDF).....	132
Annexe III : Détails des résultats de simulation	133

NOMENCLATURE :

$C_{1\varepsilon}$ $C_{2\varepsilon}$	Constantes de turbulence (modèle k- ε)
G_k	Terme de production de l'énergie cinétique turbulente due aux gradients moyens de vitesse
k	Energie cinétique turbulente (m^2/s^2)
P	Pression (Pascal)
U_i	Composante de vitesse moyenne suivant la direction i (m/s)
u_i	Composante de vitesse fluctuante suivant la direction i (m/s)
x_i	Coordonnées

Lettres grecques :

ρ	Masse volumique (kg/m^3)
ε	Taux de dissipation de l'énergie cinétique turbulente (m^2/s^3)
μ	Viscosité dynamique (kg/ms)
μ_t	Viscosité dynamique turbulente (kg/ms)
$\sigma_k, \sigma_\varepsilon$	Nombres de Prandtl turbulent associés à k et ε respectivement
δ	Indice de Kronecker
ν	Viscosité cinématique (m^2/s)
ν_t	Viscosité cinématique turbulente (m^2/s)
τ_{ij}	Tenseur de contraintes

LISTE DES FIGURES :

Fig.I.1. <i>Tablette XI « tablette du déluge »</i>	6
Fig.I.2. <i>Mosaïque représentant la tête d'Okéanos</i>	7
Fig.I.3. <i>Moïse sauvé des eaux du Nil</i>	8
Fig.I.4. <i>Croissant de bois provenant de Deir el-Medineh; L=18 cm</i>	10
Fig.I.5. <i>Détails techniques de deux aqueducs en France</i>	11
Fig.I.6. <i>Détails d'un ancien moulin hydraulique à roue verticale</i>	11
Fig.I.7. <i>Fontaine à Zakros palace, Egypte</i>	12
Fig.I.8. <i>Trombes de types zoomorphes</i>	13
Fig.I.9. <i>Fontaine étrusque de Marzabotto, Italie</i>	13
Fig.I.10. <i>Fontaine dans l'Agoras de Corinth</i>	13
Fig.I.11. <i>Fontaine à l'intérieur d'un bâtiment commercial, Ostia, Italie</i>	14
Fig.I.12. <i>Structure typique d'une fontaine byzantine autonome</i>	14
Fig.I.13. <i>Lavatorium dans le monastère de Santa Maria de Poblet, Espagne</i>	15
Fig.I.14. <i>Fontaine des Lions, Grenade, Alhambra en Espagne</i>	15
Fig.II.1. <i>Conditions physiologique du confort thermique</i>	19
Fig.II.2. <i>Subjectivité du confort thermique</i>	20
Fig.II.3. <i>Température opérative idéale en fonction de l'habillement et du métabolisme</i>	21
Fig.II.4. <i>Relation entre le pourcentage d'insatisfaits (PPD) et le vote moyen (PMV)</i>	22
Fig.II.5. <i>Boucle de rétroaction de l'ajustement comportemental</i>	24
Fig.III.1. <i>Stratégie de rafraichissement</i>	28
Fig.III.2. <i>Tours de refroidissements industriels passifs</i>	30
Fig.III.3. <i>Système de pulvérisation d'eau « Sprays »</i>	30
Fig.III.4. <i>Cheminées thermiques et cheminées solaires</i>	31
Fig.III.5. <i>Illustration de l'effet cheminée</i>	31
Fig.III.6. <i>Conception aérodynamique des tours à vent</i>	32
Fig.III.7. <i>Modèle d'écoulement autour d'un bâtiment isolé</i>	33

Fig.III.8. <i>Effet de coin</i>	33
Fig.III.9. <i>Effet de sillage</i>	34
Fig.III.10. <i>Effet de sillage, vue en plan</i>	34
Fig.III.11. <i>Effet de passage sous immeuble</i>	34
Fig.III.12. <i>Rouleau de tourbillonnaire</i>	35
Fig.III.13. <i>Effet de barre</i>	35
Fig.III.14. <i>Classification des maisons solaire et les techniques du rafraichissement passif</i>	37
Fig.III.15. <i>Composantes de l'élément proposé à l'expérimentation</i>	38
Fig.III.16. <i>Schémas des deux cellules comparées théoriquement</i>	39
Fig.III.17. <i>Température intérieur avec ventilation nocturne</i>	40
Fig.III.18. <i>Vue sur la toiture radio-évaporative</i>	40
Fig.III.19. <i>Température intérieure mesurée avec ventilation nocturne</i>	41
Fig.III.20. <i>Bassins de l'expérience</i>	42
Fig.III.21. <i>Diagramme schématique montre les composants de l'énergie</i>	42
Fig.III.22. <i>Potentiel des rayonnements efficace</i>	43
Fig.III.23. <i>Potentiel de l'évaporation de l'eau</i>	43
Fig.IV.1. <i>Le patio à travers le temps</i>	46
Fig.IV.2. <i>Le site de Mehrgarh</i>	47
Fig.IV.3. <i>Une maison à patio dans la civilisation de la vallée d'Indus</i>	48
Fig.IV.4. <i>La disposition de plusieurs maisons à patio en Jaisalmer en inde</i>	48
Fig.IV.5. <i>L'accès aux maisons à patio</i>	49
Fig.IV.6. <i>Une maison sumérienne d'Ur</i>	49
Fig.IV.7. <i>Un plan d'une maison à prostas à Olynthe</i>	50
Fig.IV.8. <i>Un plan d'une maison grec à deux cours péristyle</i>	51
Fig.IV.9. <i>une maison à péristyle à Eretria</i>	51
Fig.IV.10. <i>Localisation des dispositifs d'entrée et des péristyles et des pièces d'apparat dans quelques Domus (a :August, insula 30; b :August, insulat 23; c:Metz, domus de l'Arsenal)</i>	52
Fig.IV.11. <i>Une maison à péristyle : la maison PC 1 de Bibracte (Mont Beuvray), France</i>	52

Fig.IV.12. <i>Une domus à atrium</i>	53
Fig.IV.13. <i>La cour à péristyle de la maison fresque à Tipasa, Algérie</i>	54
Fig.IV.14. <i>Les péristyle à deux et à trois ailes ; a : Metz, domus de l'arsenal : péristyle en U ; b :Avenches, domus 12 Est : péristyle en L</i>	54
Fig.IV.15. <i>Restitution des maisons avec un péristyle en L, Besançon, France</i>	55
Fig.IV.16. <i>Maison à la Rosace, Reims, France</i>	55
Fig.IV.17. <i>Bassin en U avec jets d'eau (en plomb) et bassin rectangulaire accolé au côté sud d'un des péristyles de la Maison au Vestibule à Colonne à Saint-Romain-en-Gal (Rhône)</i>	56
Fig.IV.18. <i>Plan RDC d'une maison à patio à Baghdâd</i>	57
Fig.IV.19. <i>Sketch intérieur d'un patio à Bagdad</i>	57
Fig.IV.20. <i>Plan RDC d'une maison à patio de Cordoue</i>	58
Fig.IV.21. <i>Le patio de Cordoue avec la végétation</i>	58
Fig.IV.22. <i>Plan RDC d'une maison mozabite</i>	59
Fig.IV.23. <i>Plan terrasse avec « Chebek »</i>	60
Fig.IV.24. <i>Vue axonométrique d'une maison mozabite</i>	60
Fig.IV.25. <i>Les caractéristiques des éléments qui constituent la maison Mozabite</i>	61
Fig.IV.26. <i>Plan d'une maison à patio durant la période précoloniale à hai (quartier) -El- Msid, Biskra</i>	62
Fig.IV.27. <i>La façade principale d'une maison à patio durant la période précoloniale à hai (quartier) -El-Msid, Biskra</i>	62
Fig.IV.28. <i>La maison à patio reflète l'intimité telle que le voile d'une femme musulmane</i>	64
Fig.IV.29. <i>Conception d'une maison à patio (A) et une maison occidentale (B)</i>	65
Fig.IV.30. <i>L'effet du patio sur la ventilation diurne et nocturne</i>	66
Fig.IV.31. <i>Processus typologiques d'une maison à patio</i>	68
Fig.IV.32. <i>Quelques typologies de maisons à patio</i>	69
Fig.V.1. <i>Limites administratives de la ville de Biskra</i>	72
Fig.V.2. <i>Températures mensuelles</i>	73
Fig.V.3. <i>Vitesses mensuelles des vents</i>	74

Fig.V.4. <i>Humidité relative mensuelle</i>	74
Fig.V.5. <i>Précipitations mensuelles</i>	75
Fig.V.6. <i>La température de la journée de simulation</i>	75
Fig.V.7. <i>La vitesse de l'air de la journée de simulation</i>	76
Fig.V.8. <i>L'humidité relative de la journée de simulation</i>	76
Fig.V. 9. <i>Processus du fonctionnement d'un code CFD</i>	77
Fig.V.10. <i>Les étapes du prétraitement d'un code CFD</i>	78
Fig.V.11. <i>Les paramètres qui agissent sur la conception d'une maison à patio</i>	81
Fig.V.12. <i>Les formes choisies des patios</i>	82
Fig.V.13. <i>La relation entre les proportions de la hauteur du patio et la profondeur de la maison</i>	82
Fig.V.14. <i>Positionnements du patio</i>	83
Fig.V.15. <i>Exemple du maillage tétraédrique utilisé pour le modèle CC1</i>	85
Fig.V.16. <i>La transition d'un fluide du régime laminaire au régime turbulent</i>	86
Fig.VI.1. <i>Comparaison entre le patio centré carré dans un et deux étages à 14h</i>	108
Fig.VI.2. <i>Taux d'humidité relative du patio PE2 à 13h</i>	113
Fig.VI.3. <i>Température à l'intérieur du patio PE2 à 13h</i>	113

LISTE DES TABLEAUX :

Tab.I.1. <i>Caractéristiques de quelques types d'ajutages.....</i>	16
Tab.II.1. <i>Echelle de sensation thermique.....</i>	22
Tab.IV.1. <i>Les objectifs du design bioclimatique d'un patio dans un climat chaud et sec.....</i>	67
Tab.V.1. <i>Données climatique annuelle de la ville de Biskra.....</i>	73
Tab.V.2. <i>La hauteur optimal en fonction des surfaces ombragée dans différentes régions.....</i>	83
Tab.V.3. <i>Dimensionnement des patios.....</i>	83
Tab.V.4. <i>Tableau récapitulatif sur les paramètres constants.....</i>	84
Tab.V.5. <i>La matrice des modèles de simulation.....</i>	84
Tab.V.6. <i>Les dimensions des domaines de calculs.....</i>	85
Tab.V.7. <i>le dimensionnement du maillage partiel des modèles.....</i>	86
Tab.V.8. <i>Conditions aux limites sur ICEM-CFD.....</i>	89
Tab.V.9. <i>Paramètres de la fontaine d'eau.....</i>	90
Tab.VI.1. <i>Maillage des patios centrés.....</i>	92
Tab.VI.2. <i>Maillage des patios excentrés</i>	93
Tab.VI.3. <i>Résultats de la température et la vitesse de l'air dans les patios centrés à un seul étage.....</i>	95-98
Tab.VI.4. <i>Résultats de la température et la vitesse de l'air dans les patios excentrés à un seul étage.....</i>	99-103
Tab.VI.5. <i>Résultats de la température et la vitesse de l'air dans les patios centrés à deux étages.....</i>	103-107
Tab.VI.6. <i>Résultats de la température et la vitesse de l'air dans les patios excentrés à deux étages.....</i>	108-112

Introduction générale

« A l'échelle cosmique l'eau est plus rare que l'or. »

(Hubert Reeves)

Problématique :

Les régions sahariennes sont en face de contraintes climatiques hostiles. Il s'agit du règne d'un climat chaud et sec, surtout durant la période estivale qui s'étend généralement depuis le mois de Mars jusqu'au mois d'Octobre, et qui se caractérise par des fluctuations annuelles et journalières importantes. L'amplitude thermique entre le mois le plus froid et le mois le plus chaud dépasse parfois 20°C.

Selon le classement mondial des zones climatique établi par Kotték *et al.* (2006), la région des Zibans, et plus précisément la ville de Biskra, (situé à 400 Km, Sud-Est du capital « Alger ») est classée dans la catégorie « BWH » avec un climat désertique sec et chaud. L'amplitude thermique journalière pour la saison chaude dans cette ville avoisine les 22°C. (Côte, 2005)

Un système de conditionnement d'air énergivore est nécessaire tout au long de la journée, afin d'assurer des conditions thermiques ambiantes adéquates aux habitants. La réduction des consommations énergétiques des bâtiments, dans ce cas, présente un souci majeur dans le domaine de la construction et un problème qui nécessite la collaboration de plusieurs disciplines.

Le recours à des ressources locales, naturelles et renouvelables telles que l'énergie solaire et la ventilation naturelle semble être indispensable. Il existe plusieurs techniques et systèmes de rafraîchissement comme les puits canadiens, les cheminées d'air, les cheminées solaires, les façades en double peau, les façades actives, les échangeurs adiabatiques, l'inertie thermique, les toitures et les façades végétalisées...etc., et l'adaptation de chaque technique de rafraîchissement ne dépend pas seulement des conditions climatiques dont lesquelles elle est inscrite, mais aussi des besoins socio-culturelle de ses habitants.

La maison à patio présente aussi l'une de ces techniques de refroidissement les plus efficaces dans un climat chaud et sec. Son apparition remonte à un passé lointain, environ 6000 ans avant notre ère aux pays de l'Inde (Maheswari et Garg, 2001).

L'homme construisait ces modèles passifs grâce à son environnement immédiat et l'utilisation des matériaux locaux, avec des murs massifs qui garantissent une bonne inertie et une cavité centrale qui assure une bonne ventilation aux espaces habités et des bonnes conditions thermiques.

Plusieurs exemples, à travers l'histoire, témoignent la présence d'un dispositif d'eau à l'intérieur des patios, mais les premières apparitions de ces dispositifs remontent à la

civilisation romaine. Les romains construisaient des domus à cour, et ils ont équipés ces espaces ouverts avec des bassins d'eau qui pourraient recueillir les eaux pluviales. (Blauuw, 2011)

Ces maisons à patio existaient aux régions du bas-Sahara depuis bien longtemps. Mais actuellement, ce type d'habitat vernaculaire, et cette stratégie de conception et de rafraîchissement est presque abandonnée et parfois remplacé par des résidences principale ou secondaire avec des configurations plus complexes et sophistiqués.

Tandis que les fontaines d'eau sont rarement utilisé à l'intérieure des demeures, et la majorité des concepteurs et des propriétaires de maisons s'intéressent à ces fontaines comme étant des objets décoratifs, et ignorent l'effet bénéfique que peuvent produire.

Questions de la recherche :

Les questions de recherches qui peuvent être adressées à ce propos sont :

Peut-on optimiser l'effet bénéfique du rafraîchissement par évaporation d'eau dans un milieu Saharien?

En terme de performance thermique, qu'elles sont les configurations géométriques des patios les plus appropriés dans des conditions pareil?

Hypothèses :

Afin de répondre à cette problématique, nous avons construit les hypothèses suivantes :

- La présence de l'eau à l'intérieur des patios pourra créer un microclimat ambiant à l'intérieur de tous les espaces habités des demeures.
- La forme carrée du patio est celle la plus répandu dans les zones sahariennes et elle peut représenter une forme optimale.

Objectifs :

Face à la rareté de l'utilisation des dispositifs en eaux dans les maisons résidentielles à patio, un premier but de ce travail est d'aborder le potentiel du rafraîchissement par une ressource infinie « l'eau », en élaborant des modèles de simulation afin de quantifier l'impact de la présence d'une fontaine d'eau à l'intérieur d'une maison située dans les régions sahariennes.

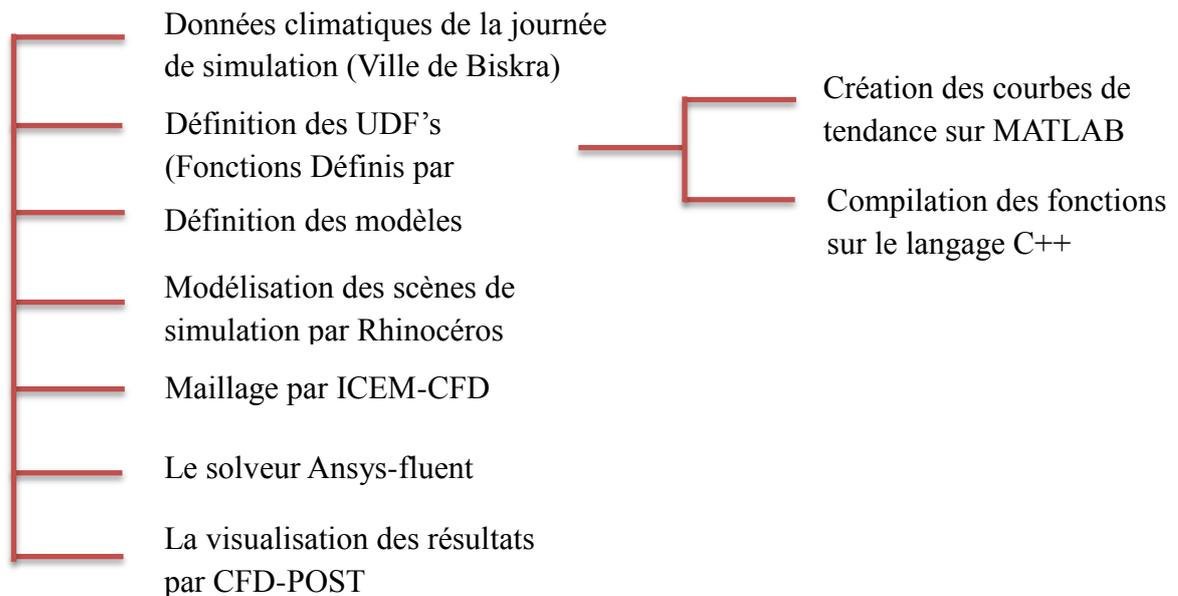
Le deuxième objectif est d'optimiser cette impact sur certaines typologies de maisons, en fixant les critères propres aux maisons qui englobent la forme, les dimensions, l'orientation, les matériaux de construction et le dimensionnement des ouvertures, et en changeant à chaque fois les critères propres aux patios tels que leurs formes, proportions, positionnement et profondeur.

Méthodologie :

Ce travail utilise deux méthodes de recherche :

- Une réflexion basée sur une étude bibliographique étendue.
- Des simulations numériques. Cette approche se base sur un outil de pointe : un logiciel de CFD (Computational Fluid Dynamics) « Fluent », en le combinant à un logiciel mathématique Matlab et un logiciel de compilation en C++.

Notre démarche méthodologique est illustrée par l'organigramme suivant:



Structure du mémoire :

Ce mémoire est divisé en deux grandes parties, une partie théorique et une partie pratique :

La partie théorique concerne une recherche bibliographique, comprenant quatre chapitres sur : l'eau et la fontaine, quelques notions sur le confort thermique, le rafraîchissement passif et les maisons à patio.

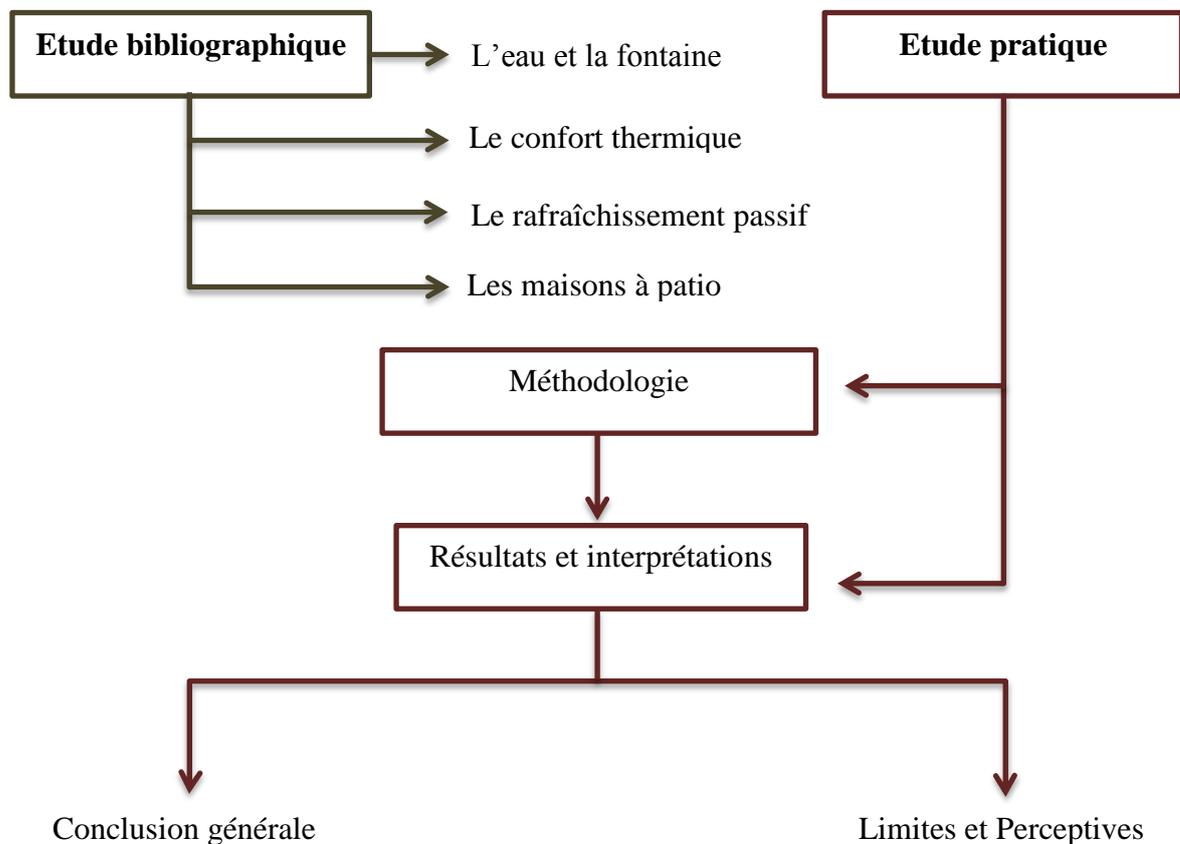
Le premier chapitre étudie l'importance symbolique et significative de l'eau dans quelques religions et civilisations voire la genèse des fontaines d'eau à travers l'histoire tout en révélant sur leurs aspects techniques afin d'en choisir un type approprié. Dans le second chapitre, des notions sur la thermorégulation, le confort thermique et hygrothermique des usagers et la subjectivité du confort sont traités.

Le troisième chapitre traite les différents systèmes de refroidissement passifs, qui peuvent être résumés dans trois grandes familles telles que le rafraîchissement par ventilation, évaporation et radio-évaporation.

Dans le quatrième chapitre, ce mémoire approfondit l'étude des maisons à patio, et les traite dans quatre dimensions. Une dimension historique afin de comprendre le génie de ce modèle architecturale depuis son apparition jusqu'au nos jours, une dimension socio-culturelle propre aux traditions et aux habitudes des habitants, une dimension bioclimatique qui englobe l'effet de ces patios sur l'ombrage et la lumière, le confort thermique, la consommation énergétique et même leurs effets sur le plan acoustique, et finalement une dimension typologique afin de définir les typologies qui peuvent existés.

La partie pratique (numérique) de ce travail consiste en une série de simulations réalisée à l'aide du logiciel Fluent combiné à une extension de génération et d'optimisation de maillage « ICEM-CFD ». Le premier chapitre de cette section comprend la présentation climatique de la ville de Biskra et l'élaboration des différents modèles de simulation en se basant sur les typologies et les différentes dimensions des maisons à patios déjà développées, tandis que le dernier chapitre est consacré pour l'interprétation et la discussion des résultats obtenus.

On peut résumer la structure de ce mémoire par le schéma ci-après:



Partie bibliographique

« Deçà, delà, en haut, en bas, courant, jamais elle ne connaît de quiétude, pas plus dans sa course que dans sa nature, elle n'a rien à soi mais s'empare de tout, empruntant autant de natures diverses que sont divers les endroits traversés, comme le miroir accueille en soi autant d'images qu'il y a d'objets passant devant lui »

(Léonard de Vinci, 1942)

Chapitre I :

L'eau et la fontaine d'eau

Introduction:

Dans ce premier chapitre nous allons dévoiler dans un premier lieu l'importance de l'eau dans l'histoire de l'humanité et ses dimensions symboliques et significatives, puis les différentes manières de transport d'eau qui existent, commençant par la manière traditionnelle, qui est devenue un métier de « porteur d'eau » et le transport souterrain de l'eau connu chez les égyptiens, passant par les aqueducs romains et arrivant jusqu'aux fontaines d'eau contemporaines.

Dans sa deuxième partie, ce chapitre sera consacré à la fontaine d'eau, cette invention qui a résolu plusieurs problèmes urbains voire domestiques, ce moyen de transport d'eau potable, et cette portion qui a toujours décoré les placettes des grandes villes et qui a occupé l'intérieur de plusieurs demeures de l'antiquité à nos jours.

L'eau, source de vie, et le besoin de tous les êtres vivants, une source de fortune pour certaines personnes, et un souci majeur pour plusieurs d'autres. Dans sa pureté elle présente une source d'inspiration, et une solution à plusieurs problèmes de santé, de confort voire de commodité.

Le thème de l'eau a été mentionné dans plusieurs légendes, et dans de nombreuses civilisations, elle a des fois une symbolisation mythique surréaliste et parfois des dimensions religieuses bien réelles.

Ci-après quelques données de la littérature qui illustrent l'importance de l'eau à travers les siècles indépendamment des différentes cultures et différentes civilisations.

I. L'eau :

1. Définition

L'eau est un nom féminin dérivé du mot latin aqua, et par définition littéraire : « C'est un corps liquide à la température et à la pression ordinaires, incolore, inodore, insipide, dont les molécules sont composées d'un atome d'oxygène et de deux atomes d'hydrogène, ce corps liquide, contenant en solution ou en suspension toutes sortes d'autres corps (sels, gaz, micro-organismes, etc.), très répandu à la surface terrestre (eau de pluie, eau de mer, eau du robinet, etc.). » (Dictionnaire Larousse Français, 2015)

2. L'eau, Croyances et religions :

L'histoire de l'eau est intimement liée à toute forme de vie, à toutes activités humaines et à toutes les formes de spiritualités. Le thème de l'eau a toujours été évoqué dans les mythes (en Mésopotamie et en Grèce...) et dans les différentes religions tels que le christianisme, le judaïsme et l'islam.

2.1. Mésopotamie :

Selon l'ouvrage intitulé « Le grand livre de l'eau » de Mercier (2000), la légende d'Outa-napishtim et le roi d'Uruk écrite dans l'épopée de Gilgamesh ⁽¹⁾. Une légende très connue raconte l'histoire d'un sage vieillard nommé Outa-napishtim qui a sauvé l'existence de l'humanité contre la rage de Anou et Enlil, les dieux de cette époque qui ont décidé de noyer la terre sous un déluge de sept jours et sept nuits, pour anéantir la race humaine, cause de tous les maux.

« Ea »; le dieu des eaux douces avertit Outa-napishtim et lui ordonne de construire un bateau où il embarque avec sa famille et quelques espèces vivantes, et il vivra dans une autre île isolée après la noyade totale de sa ville, la légende est écrite en cunéiforme dans une tablette d'argile néo assyrienne réservée dans le musée britannique de Londres (Fig.I.1). (Mercier, 2000). Cette légende est semblable à l'histoire réelle de Noé, citée dans la bible et le Coran.



Fig.I.1. *Tablette XI « tablette du déluge » (Source : musée britannique de Londres)*

2.2. Grèce :

Dans la mythologie grecque, l'eau comme toute les créatures a un dieu, Okéanos est le dieu des eaux, sa femme s'appelé : Téthys synonyme de mer.

Poséidon ; le dieu des océans et le frère de Zeus est surnommait « Celui qui fait trembler le monde », ce dernier est représenté avec un trident⁽²⁾ magique avec laquelle il soulève et disperse tout.

Il existe aussi d'autres dieux moins importants que Poséidon mais ils ont aussi un rapport avec l'eau tels que Triton : le dieu du bruit de la mer, Glaucos, celui de la vie de la mer, Typhon : le dieu de l'ouragan, Ino : déesse du secours des marins, Eole : le dieu des vents de la mer et plusieurs d'autres divinités. (Mercier, 2000)



Fig.I.2. Mosaïque représentant la tête d'Okéanos (Source : Mercier, 2000)

2.3. Christianisme :

La bible a affirmé l'histoire du prophète Noé, le seul homme dans sa population qui obéit aux ordres du Dieu et qui agit toujours selon sa volonté.

Dieu lui a ordonné avant que l'eau recouvre la terre et noyer tous les êtres vivants, responsables de crimes et de pêchés, de construire une arche pour la survie de sa famille sauf l'un de ses fils et la survie de quelques espèces animales puis Le Seigneur bénit Noé et les siens. Il leur ordonne de remplir la terre et leur donne pouvoir sur les animaux. Ils pourront utiliser tous les animaux et tous les végétaux pour se nourrir et pour accomplir leur tâche de culte.

La bible a toujours parlé de la purification, « l'eau du baptême lave du péché originel et scelle l'alliance avec Dieu » (Mercier, 2000), Cela signifie que plusieurs religions et traditions ont ce rite de purification par l'eau.

⁽¹⁾ L'épopée de Gilgamesh : Œuvre composite rédigée entre le IIe millénaire et le IIIe siècle av.J.C, par la version qui a été retrouvée dans les ruines de la bibliothèque d'Assurbanipal à Ninive (Assyrie).

⁽²⁾ Trident : une arme antique ; une lance à trois pointes.

2.4. Judaïsme :

Cette religion aussi a associé la naissance de l'une de ses figures à l'eau, c'est la naissance du prophète Moïse, comme le Coran, la Bible et la Torah l'affirment, le petit bébé « Moïse » a été abandonné par sa mère au fil du Nil dans un panier, ensuite recueilli et élevé par la femme du pharaon.



Fig.I.3. Moïse sauvé des eaux du Nil (Source : Sébastien Bourdon⁽³⁾)

2.5. Islam :

L'eau a toujours préoccupé une importance primordiale dans la vie des musulmans. C'est l'élément clé dans la création de la faune et la flore et la source de la purification physique et spirituelle de chaque musulman.

Lorsqu'on demanda au prophète (que la prière et le salut d'Allah soient sur lui) quel est le début de la création – c'est-à-dire comment cet univers a commencé ? -, il a dit :

« كان الله ولم يكن شيء غيره وكان عرشه على الماء وكتب في الذكر كل شيء ثم خلق السماوات والأرض »

Ce qui signifie : « Allah existe de toute éternité alors que rien d'autre que Lui n'est de toute éternité, Son Trône ('al-'arch) fut créé sur l'eau et Il a fait écrire toute chose sur la Table préservée, puis Il a créé les cieux et la terre», [rapporté par Al-Boukhâriyy]

Cela affirme que l'eau est la première chose que Dieu a créée, et c'est la chose à travers laquelle à désigner la plupart des autres créatures. Allah dit dans le coran: « Puis, Nous avons fait de l'eau toute chose vivante. » (Coran 21:30)

﴿وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ﴾

[سورة الأنبياء الآية: 30]

⁽³⁾ Sébastien Bourdon : un peintre français né le 2 février 1616 à Montpellier, mort le 8 mai 1671 à Paris.

Allah dit aussi: « *N'est-ce pas Lui qui a créé les cieux et la terre? Et qui fait descendre du ciel une eau par laquelle Nous faisons croître de splendides vergers dont vous ne seriez jamais capables, autrement, de faire pousser les arbres? Y a-t-il quelque autre divinité en dehors de Dieu? Non, mais voilà des gens qui Lui attribuent des associés!* » (Coran 27:60)

﴿أَمْ مَنْ خَلَقَ السَّمَاوَاتِ وَالْأَرْضَ وَأَنْزَلَ لَكُمْ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَنْبَتْنَا بِهِ حَدَائِقَ بَاهٍ فَتَبْتَئُوا بِهِ حَذَائِقَ ذَاتَ بَهْجَةٍ مَا كَانَ لَكُمْ أَنْ تُشْبِتُوهَا شَجَرَهَا

أَلِلَّهِ مَعَ اللَّهِ بَلْ هُمْ قَوْمٌ يَعْدِلُونَ ﴿

[سورة النمل الآية: 60]

Allah qui a créé l'eau nous a donné aussi des recommandations, dans plusieurs versets du saint Coran et dans plusieurs Hadiths incontestables, sur l'utilisation de l'eau et la manière de sa préservation, voire la façon de sa consommation et l'interdiction de sa pollution.

3. Cycle humain de l'eau:

L'eau passe par plusieurs étapes avant son utilisation. Tout d'abord le captage, ou l'extraction de ces eaux depuis des sources naturelles (source, forage, barrage, points d'eau...). L'eau est ensuite traitée, transportée et distribuée aux consommateurs.

3.1. Captage de l'eau :

Le captage de l'eau est cette opération de puisage. Selon le dictionnaire relatif au « Zonages techniques et réglementaires du domaine de l'eau » publié par le Service d'Administration Nationale des Données et Référentiels sur l'Eau (SANDRE, 2011) , le terme de captage devrait être employé au sens d'un « ouvrage de prélèvement » destiné, dans le cas présent, à l'alimentation en eau potable , qu'elle soit individuelle ou collective. Un ouvrage de prélèvement désigne « *l'ensemble des aménagements d'origine humaine, connectés entre eux et destinés au prélèvement, au stockage et à l'adduction de l'eau provenant d'une même ressource, qu'elle soit superficielle ou souterraine.* »

3.2. Le transport d'eau :

L'eau circule généralement dans des rigoles et des canaux, des fontaines et auparavant dans des seaux portés manuellement.

3.2.1. Porteur d'eau :

L'homme porteur d'eau est un métier très ancien, répandu après le XIIIème siècle en Europe et spécialement en France et soumis à des réglementations durant le XIXème siècle.

L'archéologue Bruyère⁽⁴⁾ lors de ses fouilles de Deir el-Medineh en Egypte a trouvé des objets qui remontent au nouvel empire de la civilisation égyptienne.

Ces objets ont une forme de croissant en bois de 17 à 21.5 cm de longueur montré par la figure I.4, et il a pris comme hypothèse que ces derniers ont été utilisés comme étant des accessoires pour les porteurs d'eau à cette époque. Cela signifie que même l'homme antique a exercé ce métier qu'il considérait comme exigence vitale, pour que les habitants des villes s'approvisionnaient en eau potable vu l'absence des installations des réseaux hydrauliques.

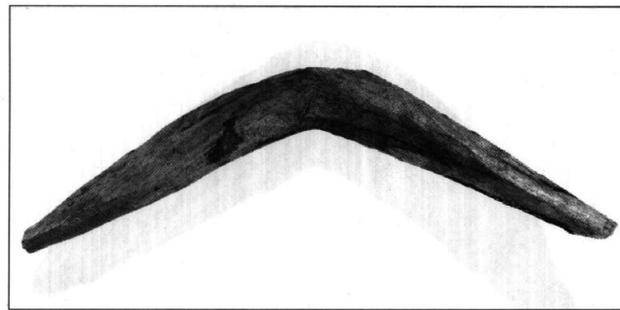


Fig.I.4. Croissant de bois provenant de Deir el-Medineh; L=18 cm. (Source : musée du louvre; E14523A ; prise par Ch. Laurrieu/La licorne)

3.2.2. Les aqueducs :

Un aqueduc est un ouvrage destiné à l'adduction d'eau pour la consommation d'une ville. Le mot aqueduc vient du latin « *aquaeductus* », de « *aqua* » c'est-à-dire : eau et de « *ductus* » ; dérivé de « *ducere* » qui veut dire: conduire. Le principe de fonctionnement des aqueducs se base sur la force de gravitation pour acheminer l'eau, et cela se fait à travers une pente légère, que Vitruve a fixé pour la première fois pour un minimum de 1/200 c'est-à-dire à 5 mètres par kilomètre, afin de diriger les conduites vers leur source. Dans le cas des collines, et pour que l'eau puisse descendre naturellement, il faut les contourner, ou creuser un tunnel. Dans le cas des vallées il faut utiliser des ponts ou un siphon. La longueur de ces aqueducs romains se compte généralement en « pas romains ». (Belgrand, 1875)

⁽⁴⁾ Bernard Bruyère est un archéologue français spécialiste en Egypte (égyptologue), né le 10 novembre 1879 à Besançon, et décédé le 4 décembre 1971 à Chatou en France.

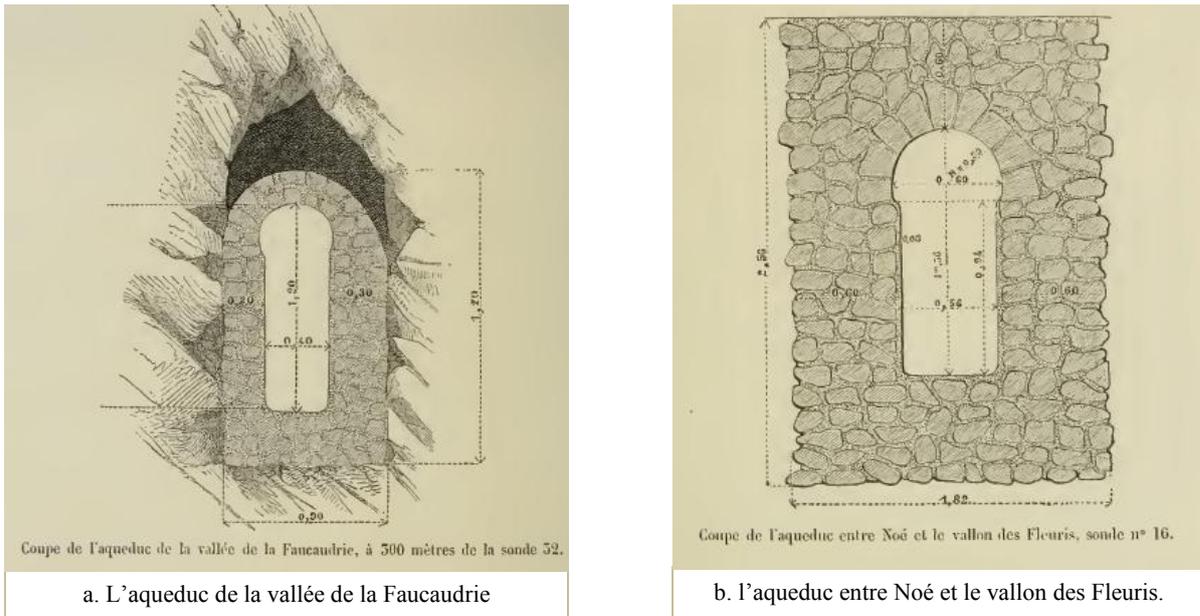


Fig.I.5. Détails techniques de deux aqueducs en France (Source: Belgrand, 1875)

3.2.3. Les moulins hydrauliques :

Les moulins hydrauliques sont des machines élévatrices d'eau, connu depuis l'antiquité, ces moulins sont équipés d'une roue à godets munie d'aubes, et leurs rotation se fait par l'écoulement de la rivière dans laquelle est immergée. (Viollet, 2005)

Vitruve a donné une description bien détaillée sur les moulins à eau à roue verticale et il disait : « C'est encore suivant le même principe que l'on fait tourner les moulins à eau (*hydraletae*), où se retrouvent tous ces éléments, avec pourtant cette différence qu'à l'extrémité de l'essieu est emboité un tambour denté ; ce tambour, placé verticalement, de chant, tourne de concert avec la roue. Contre lui est disposé, horizontalement un tambour plus grand, également denté, sur lequel il engrène. Ainsi les dents du tambour, qui est emboité sur l'axe en entraînant les dents du tambour horizontal, déterminent le mouvement tournant des meules... » (Callebat, 1986)

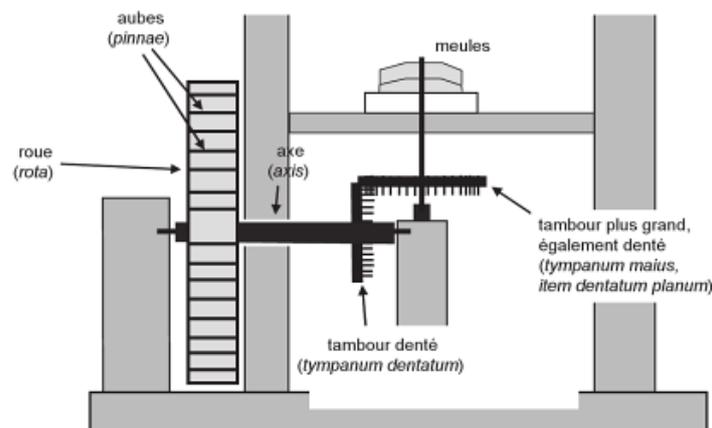


Fig.I.6. Détails d'un ancien moulin hydraulique à roue verticale (Source: Viollet, 2005)

II. La fontaine d'eau :

1. Définition :

Par définition littéraire, une fontaine est dérivée du mot latin « Fons » ayant le sens de « Printemps naturel » et de construction artificielle construite pour l'approvisionnement en eau avec quelques fins décoratives ou symboliques. (Larousse, 2015)

Une fontaine est un ouvrage hydraulique qui se définit habituellement par la présence d'un bassin, parfois non apparent, et d'une œuvre esthétique qui joue avec l'eau.

Les fontaines d'eau ont également été utilisées dans plusieurs régions non seulement comme une source d'eau potable mais aussi comme des éléments de décoration, ou des monuments significatifs pour quelques endroits ou même pour célébrer leurs constructeurs. (Juuti *et al.*, 2015)

2. Dimension historique :

En 2015, Juuti *et al.* ont établis une enquête qui préambule les différentes périodes historiques de l'existence des fontaines d'eau. Ils ont divisé ces périodes sous trois grandes époques :

2.1. L'antiquité :

Cette époque vise la progression de la fontaine d'eau durant la période de l'Egypte antique, l'étrusque, la gréco-romaine, voire romaine.

2.1.1. Egypte antique :

Les fontaines de cette période sont des structures souterraines situées dans une chambre spécifique « chambre de la fontaine » dont ses murs sont construits en blocs de pierre calcaire et recouverts de l'intérieur par le gypse (Fig.I.7). Ces fontaines sont fournies d'eau, directement ou à partir d'autres sources, par des conduites.



Fig.I.7. Fontaine à Zakros palace, Egypte (Source : Juuti *et al.*, 2015)

Les conduites de l'eau sont équipées par deux tubes fabriqués à la main, environ 30 cm de long avec une ouverture étroite sur le côté zoomorphique (Fig.I.8)

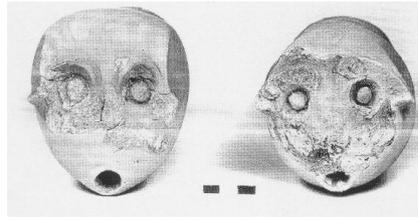


Fig.I.8. Trombes de types zoomorphes (Source : Juuti et al., 2015)

2.1.2. Etrusque :

Tous les vestiges pertinents aux bassins et aux structures hydrauliques font partie des temples et sanctuaires. Plusieurs fouilles telles que celles de la ville de Marzabotto au nord de l'Italie (fig.I.9) affirment l'existence des fontaines alimentées par un aqueduc et datent entre 500 et 350 avant notre ère.



Fig.I.9. Fontaine étrusque de Marzabotto, Italie (Source : Juuti et al., 2015)

2.1.3. Greco romaine :

Durant cette période la fontaine est liée à la vie sociale et publique du peuple, elle est souvent utilisée dans l'Agoras des villes grecques telles que : Athènes, Corinth (comme le montre la figure I.10), Mégare, et les sanctuaires tels que la ville de Delphi.



Fig.I.10. Fontaine dans l'Agoras de Corinth (Source : Juuti et al., 2015)

2.1.4. Romaine :

Les édifices publics romains sont équipés de fontaines d'eau parce qu'ils sont visés par des nombres importants de personnes. Certains bâtiments commerciaux privés avaient des petites fontaines situées dans la cour intérieure (fig.I.11).

Les tuyaux et les conduites romaines ont été faits de bois, de pierre, mortier, terre cuite et de plomb, et les robinets et vannes étaient des alliages de bronze de haute qualité.



Fig.I.11. Fontaine à l'intérieur d'un bâtiment commercial, Ostia, Italie
(Source : Juuti et al., 2015)

2.2. Les moyens âges :

La fontaine du moyen âge a toujours été présente à l'intérieur des demeures et des palais, vu son aspect humidificateur et décoratif, et même symbolique dans certains édifices culturels.

2.2.1. Byzantine:

Les fontaines typiques de cette époque étaient des simples niches voûtées soit autonomes comme le montre la figure 12, soit attaché aux murs des bâtiments, construites en pierre avec des robinets simples ou légèrement ornés. L'approvisionnement en eau, pour la plupart des fontaines à Byzance, a été fourni par des ressorts et des systèmes d'aqueducs préexistants.

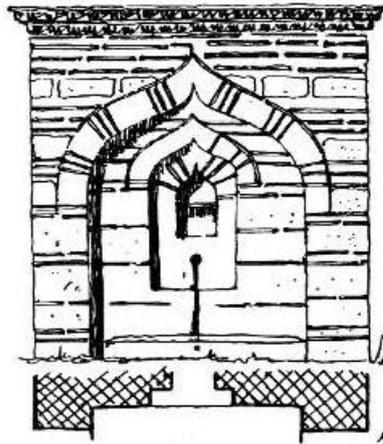


Fig.I.12. Structure typique d'une fontaine byzantine autonome (Source : Juuti et al., 2015)

2.2.2. Renaissance:

Cette période a connu l'utilisation des fontaines publiques ornementées dans les grandes places des villes, telles que Paris, avec une influence romaine sur les matériaux utilisés ; des tuyaux fabriqués localement en plomb.

L'apparition d'un espace à l'entrée des monastères réservé pour une fontaine ou une source d'eau appelé : « lavatorium » ; mot latin synonyme de l'espace de lavage comme l'illustre la figure 13.



Fig.I.13. *Lavatorium dans le monastère de Santa Maria de Poblet, Espagne (Source : Juuti et al., 2015)*

2.2.3. Islamique:

Les fontaines islamiques telle que celle du palais d'Alhambra à Grenade en Espagne (Fig.14), constituent une attraction culturelle bien connue vu leurs petites dimensions par rapport à celles romaines, et leurs raffinements qui reflètent la légèreté et la beauté de l'architecture islamique et la paix de cette religion.

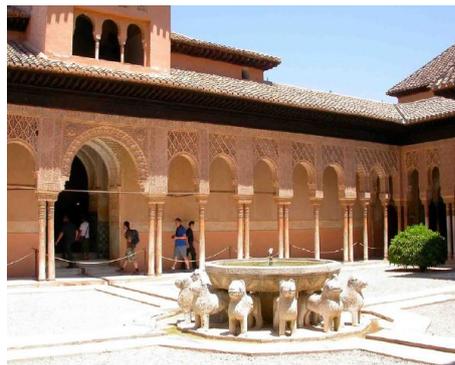


Fig.I.14. *Fontaine des Lions, Grenade, Alhambra en Espagne (Source : Juuti et al, 2015)*

2.3. Les temps modernes :

Avec l'industrialisation et les progressions techniques, les fontaines ont connues une évolution en termes de matériaux de constructions, et de contrôle des débits et des directions de l'eau.

La fontaine moderne et contemporaine d'eau est considérée comme un monument esthétique qui fait le plaisir et la jouissance des gens à travers l'appréciation des jaillissements de l'eau.

3. Dimension technique :

L'aspect technique des fontaines englobe le débit d'eau qui circule dans les conduites et le type d'ajutage choisis selon la forme souhaité du jet. Le choix de ces derniers dépend de plusieurs critères tels que leur effet d'eau, leur matériaux de construction et de finition, et de leurs niveau sonore (leurs capacité de faire du bruit) comme le montre le tableau I.1, voire d'autres caractéristiques physiques et mécaniques qui diffèrent d'un fabriquant à un autre. Quelques exemples de ces caractéristiques : la résistance du jet d'eau aux vents, le rayon d'éclaboussure⁽⁵⁾ et le potentiel de colmatage⁽⁶⁾.

Tab.I.1. Caractéristiques de quelques types d'ajutages (Source : Fountain People Inc, 2004) :

Types Caractéristiques	Geyser	Cascade	Chandelier	Boule de neige	Aérateur
<i>Effet d'eau</i>	Un jet très aéré sous forme de « pin » 	Un cône très aérée de l'eau. 	Jet d'eau en sphère ellipsoïde. 	un hémisphère de gouttelettes d'eau. 	Un flux d'eau mousseuse 
<i>Matériaux de construction</i>	Bronze coulé à l'usine	Laiton usinée	Fonte, bronze, laiton	Fonte, bronze, laiton	Laiton usinée et bronze
<i>Matériaux de finition</i>	Bronze naturelle	Laiton naturelle	Laiton naturel et bronze	Laiton naturel et bronze	Laiton naturel et bronze
<i>Niveau sonore</i>	Haut	Haut	Moyen	Haut	Moyen
<i>Résistance au vent</i>	Très bon	Très bon	Faible	Moyen	Bon
<i>Rayon d'éclaboussure</i>	1.5	1.5	2.0	2.0	1.0
<i>Le potentiel de colmatage</i>	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible

⁽⁵⁾ Le rayon d'éclaboussure est la distance entre le centre de la fontaine et la tache formée par l'eau qui a jailli depuis ce centre.

⁽⁶⁾ Le potentiel de colmatage est l'obturation progressive de tuyaux et des conduites ; produite par les dépôts des liquides qui les traversent.



Après avoir comparé les différents types d'ajutages, nous avons déduit que le type « Aérateur » est le plus convenable pour notre étude ; vu qu'il ne présente pas une source de nuisance sonore à l'intérieur de la maison, en outre son faible rayon d'éclaboussure permet un petit dimensionnement du diamètre de la fontaine.

Conclusion :

Après avoir dévoilé l'importance que joue l'eau dans les anciennes civilisations et les différentes religions non seulement comme étant un élément vital et purificateur mais aussi comme un élément régulateur de climat, qui peut être utilisé de différentes manières selon le contexte naturel et climatique de chaque région.

La fontaine a toujours été une partie essentielle pour l'approvisionnement en eau, vu qu'elle assure la durabilité de cette ressource pour la survie des humains et leur bien-être. Elle ne représente guère un simple objet historique mais plutôt un modèle potentielle pour la technologie durable de l'eau dans le monde entier.

Le dimensionnement d'une fontaine, ses techniques et matériaux de construction reflètent la période dont elle est édifiée. Ces paramètres dépendent essentiellement des besoins des occupants, et l'emplacement de ces fontaines voire les objectifs de leurs installation (rafraichissement, ablution, décoration...etc).

Dans notre travail nous avons choisis un type d'ajutage « Aérateur », qui nous assure une faible nuisance sonore à l'intérieur de la maison et un rayon d'éclaboussure faible afin de réduire le diamètre de la fontaine.

En outre, son rôle décoratif et celui d'approvisionnement en eau potable, la fontaine d'eau peut assurer plus de fraîcheur durant la période estivale, et elle est considérée comme l'une des solutions passives pour le rafraichissement d'air. Mais avant de voir ce rôle environnemental de refroidissement, il faudra tout d'abord mettre l'accent sur la notion du confort thermique des occupants, ses diverses manières de mesure et ses différentes approches.

Chapitre II :

Notions sur le confort thermique

Introduction :

L'être humain de par sa constitution physiologique, trouve des difficultés de s'adapter aux conditions climatiques hostiles et extrêmes. Il cherche toujours à utiliser des matériaux et des techniques qui lui assurent sa commodité, comme il intègre et optimise des éléments architecturaux dans l'objectif d'atteindre les conditions de confort thermique souhaitées.

Actuellement, le sujet de confort prend plusieurs dimensions dans le domaine de la construction comme le confort visuel, olfactif et acoustique. Alors que le confort thermique, présente une priorité et une nécessité justifiée vu son impact sur la qualité des ambiances intérieures, et la santé des occupants.

Par le biais de ce chapitre, nous allons montrer l'importance du confort thermique intérieur et ses différentes approches de mesures, basés parfois sur des modèles statistiques et analytiques et d'autres fois sur une approche adaptative qui met l'accent sur la subjectivité des occupants après leurs exploitations aux espaces habités.

La dernière partie de ce chapitre est consacré aux facteurs agissant sur le confort thermique dès les premières lignes d'esquisse tel que l'implantation du projet, l'orientation, la forme et la compacité jusqu'aux éléments de détails tels que les dimensions des ouvertures, le type de vitrage et la couleur de son enveloppe.

1. La leçon de Vitruve :

Le confort a toujours été l'un des paramètres clés dans la conception architecturale. Les principes exposés par Vitruve vont servir de référence à tous ceux qui s'intéressent à l'architecture :

1. Confort (*Comoditas*): il faut concevoir un projet fonctionnel et confortable et cela conforme aux besoins des usages.
2. Résistance (*Firmitas*) ou (*Necessitas*): la solidité de l'édifice est indispensable; le projet doit tenir debout durant la période de son exploitation.
3. Esthétique (*Voluptas*) ou (*Venustas*) : le concepteur ne devra pas négligé l'aspect esthétique, et la beauté de son œuvre.
4. Localisation (*Localitas*) : le projet doit être bien situé et bien intégré à son environnement (Claude Perrault, 1995)

2. Définition du confort thermique:

Le mot confort est dérivé du mot anglais « *Comfort* », et signifie selon Depecker (1989) : « contribue au bien-être des individus par la commodité de la vie, matérielle, intellectuelle et sociale »

Tandis que le confort thermique se définit comme la satisfaction exprimée à l'égard de l'ambiance thermique du milieu environnant. Selon Roulet (2004) Il peut être défini par :

- L'absence de plaintes pour inconfort
- Une sensation de bien être
- Les conditions pour lesquelles les mécanismes du corps sont à un niveau minimum d'activité.

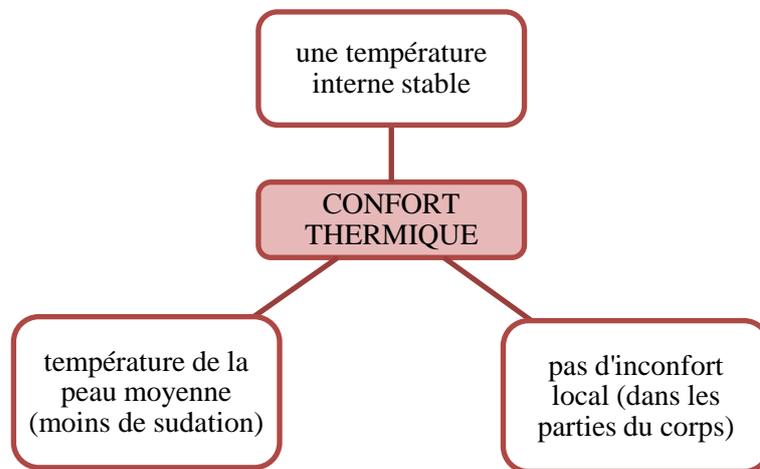


Fig.II.1. Conditions physiologique du confort thermique (Source : Auteur d'après Charbonneau, 2004)

3. La thermorégulation :

La notion de thermorégulation désigne la régulation de la température par les mécanismes corporels. Le corps humain échange la chaleur avec l'environnement ambiant par conduction, convection, rayonnement, vaporisation d'eau (évaporation et transpiration) et respiration. Cette action permet donc à l'être humain de maintenir une température centrale proche de 37°C, et cela se préserve grâce à une thermorégulation « physique », à travers la sueur dans des conditions climatiques chaudes, ou grâce à une thermorégulation « chimique », là où le corps humaine produit plus de chaleur interne dans les ambiances froides. (Bicego *et al.*, 2007).

4. La subjectivité du confort thermique :

Il existe plusieurs approches analytiques pour le confort thermique, mais cette notion reste toujours subjective parce qu'elle dépend de plusieurs paramètres non thermique tels que le sexe et l'âge, les activités humaines, les habitudes et l'environnement (Berger, 1995), comme l'illustre la figure II.1.

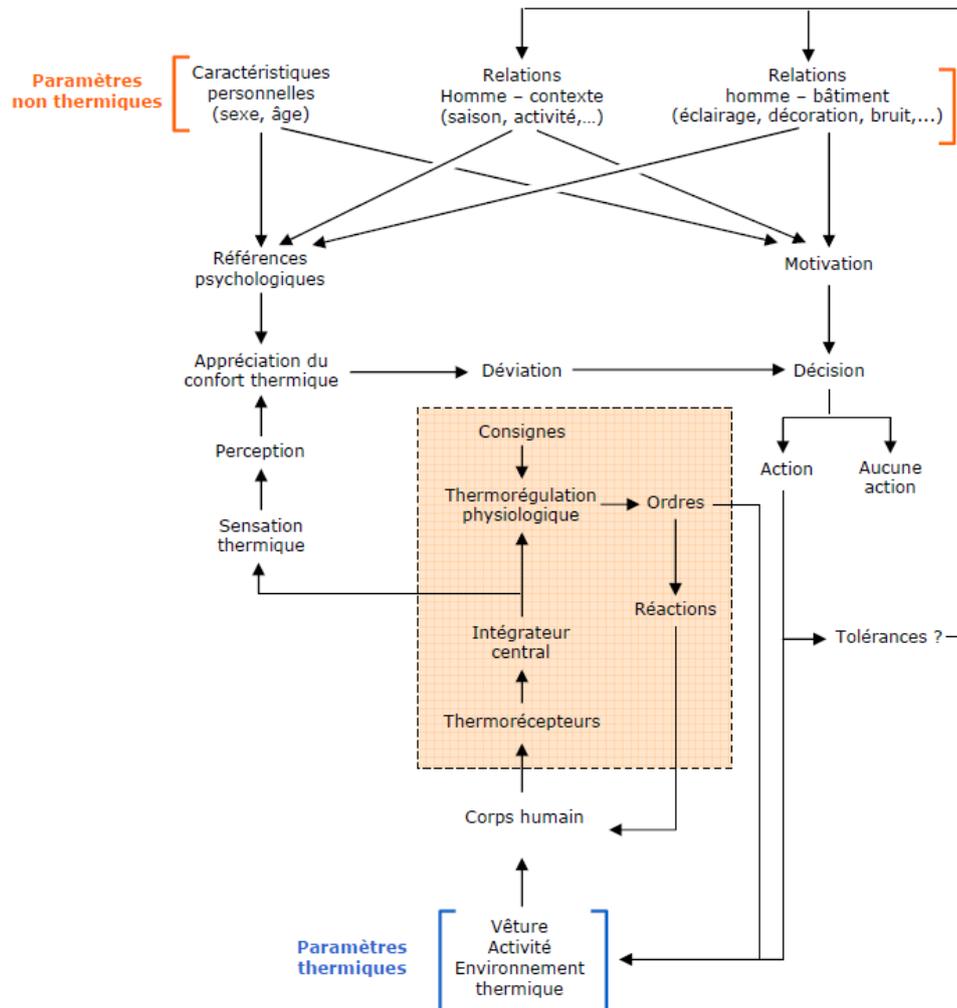


Fig.II.2. Subjectivité du confort thermique (Source : Berger, 1995)

Kurt Lewin en 1938 a formalisé l'influence conjointe des variables personnelles et les variables situationnelles, qui est connu comme l'interaction personne-situation, dans une équation:

$$B = f(P, E)$$

Où :

B : sensation ; comportement

P : Personne

E : Environnement

L'équation de Lewin indique que le comportement d'une personne donnée à un moment donné dépend à la fois des caractéristiques de la personne et l'influence de son environnement. (Bond, 2013)

5. Mesure du confort thermique :

La mesure du confort thermique consiste en deux approches, une première analytique qui cherche à déterminer les conditions du confort thermique par un ensemble de modèles physiques et physiologiques qui prévoit la sensation et l'état thermique du corps humain. La deuxième approche est adaptative parce qu'elle traite la subjectivité du confort et l'adaptation de l'être humain après son exploitation de l'espace.

Les modèles de l'approche analytique utilisent les grandeurs physiques liés à l'ambiance thermique telles que la température d'air, température de rayonnement, l'humidité relative et la vitesse de l'air, ainsi que les caractéristiques de l'individu tel que la taille et poids de l'individu, indice d'habillement et le taux métabolique, les gains thermique internes et l'activité. (Voir Fig.II.3)

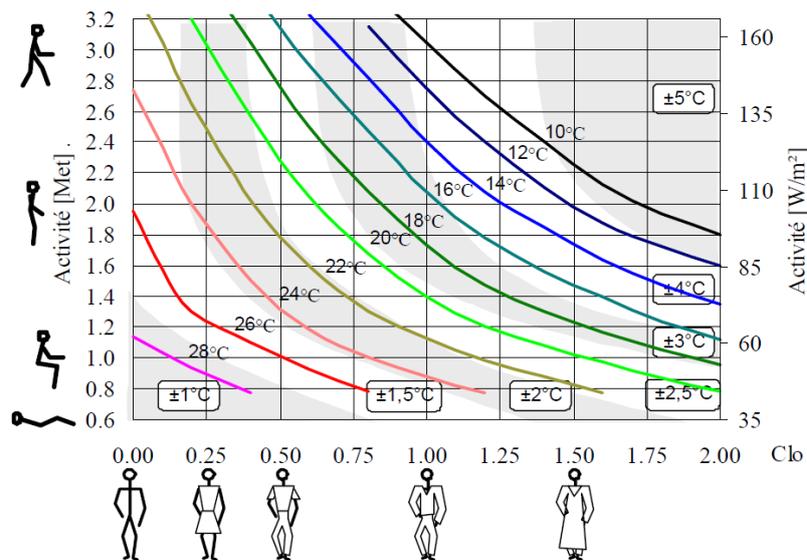


Fig.II.3. Température opérative idéale en fonction de l'habillement et du métabolisme (Source : ISO, 1993)

5.1. Approche analytique :

5.1.1. Le modèle de Fanger :

Fanger (1982) a proposé une échelle pour mesurer la sensation de confort thermique. Cette échelle se varie de -3 à +3, du très froid jusqu'au très chaud comme le montre le tableau II.1. Cette proposition est officialisée par la norme EN-ISO-7730 (ISO,1993).

Tab.II.1. Echelle de sensation thermique (Source : Fanger, 1982) :

-3	-2	-1	0	1	2	3
très froid	froid	légèrement froid	Neutre	légèrement chaud	chaud	très chaud

Fanger a associé cette échelle à une autre méthode qui a pour objectif de compter le pourcentage de personnes insatisfaites de conditions de confort. Ce pourcentage est directement lié au vote moyen d'une population donnée.

On a ainsi deux paramètres permettant de mesurer le confort thermique :

- Le vote moyen, appelé PMV (Predicted Mean Vote) qui est l'appréciation moyenne d'une population dans un environnement donnée, sur l'échelle de -3 à +3. Le confort optimal correspond à un PMV nul.
- Le pourcentage prévisible d'insatisfaits, appelé PPD (Predicted percentage of dissatisfied) qui exprime la part des sujets insatisfaits dans une condition donnée. (Roulet, 2004)

La relation entre le PPD et le PMV s'exprime dans la figure suivante :

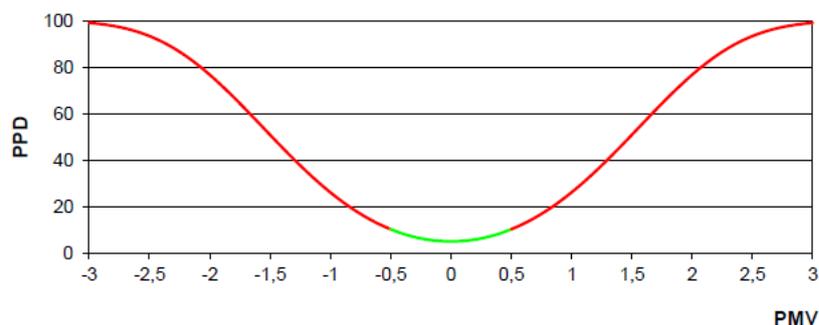


Fig.II.4. Relation entre le pourcentage d'insatisfaits (PPD) et le vote moyen (PMV) (Source : Fanger, 1982)

Selon Fanger, la satisfaction des personnes vis-à-vis d'une ambiance thermique est symétrique, c'est-à-dire que le froid gêne dans les mêmes proportions que le chaud. Il existe toujours 5% de la population qui est insatisfaite quelle que soit la situation.

A cause de la symétrie de son modèle, Fanger a subi plusieurs critiques (Van Hoof, 2008), ce qui mène à d'autres propositions pour des modèles excentrés et non symétriques.

Ce modèle ne prend pas en considération les effets transitifs et l'inertie thermique qui brulent les mesures lorsque les fluctuations climatiques sont fréquentes (Talotte *et al.*, 2006). Comme il ne tient pas l'interaction du confort thermique avec d'autres paramètres de confort (auditif, olfactif, visuel...) (Roulet, 2004)

5.1.2. Le modèle de Stolwijk :

Le modèle de Stolwijk a été conçu initialement pour la NASA (Stolwijk, 1971). Il modélise le corps humain par 25 nœuds; six segments représentant la tête, le tronc, les bras, les mains, les jambes et les pieds. Chaque segment étant constitué de 4 couches (Noyau, Muscles, Graisse, Peau). Le vingt-cinquième nœud illustre le flux sanguin.

5.1.3. Le modèle de Gagge :

Dans le modèle de Gagge (1973), le corps humain est composé de deux compartiments cylindriques (La peau et le noyau central). C'est le modèle simplifié de celui de Stolwijk. Ce modèle, qui est l'un des plus simples, a été développé pour un individu se trouvant dans un milieu homogène.

Contrairement au modèle statique de Fanger, ceci est un modèle dynamique qui permet de prévoir les variables physiologiques sous des conditions instationnaires.

Gagge a développé l'indice « SET ». Cet indice représente la température équivalente d'une enceinte isotherme à 50 % d'humidité relative, dans laquelle une personne portant une vêtue standard échangerait la même quantité de chaleur et aurait la même réponse physiologique que dans l'enceinte réelle dans laquelle elle se trouve. (ASHRAE Handbook, 1997)

5.1.4. Le modèle de l'université de Berkley :

Ce modèle de mesure de confort thermique appartient à l'université de Berkeley (Huizenga *et al.*, 2001). Ce modèle divise le corps en seize segments, chaque segment est composé de : Noyau, Muscles, Graisses et la Peau. Ce modèle prédit la réponse physiologique en régime transitoire et pour des conditions extérieures non uniformes. Une interface graphique permet de visualiser les détails de la distribution de la température locale et du flux de chaleur sur un mannequin en trois dimensions.

5.2. Approche adaptative :

L'approche adaptative considère que les personnes jouent un rôle actif dans le maintien de leur confort thermique. L'homme peut agir sur son environnement en fonction de ses besoins et de sa perception du climat (Baker et Standeven, 1995).

Cette approche est basée sur les constatations des investigations menées dans des bâtiments in situ. Il s'agit de construire une large base de données sur les conditions thermiques qui règnent dans différents types de bâtiment, pour différents climats et régions, par les mesures des différents facteurs de l'ambiance thermique.

Ces grandeurs physiques mesurées sont accompagnées par des réponses subjectives des occupants et de leurs sensations thermiques.

La dernière étape de cette approche consiste en l'analyse de ces informations par des logiciels de statistique afin de déterminer l'ensemble de variables jugée neutre, confortable ou inconfortable par les occupants. (Cantin *et al.*, 2005)

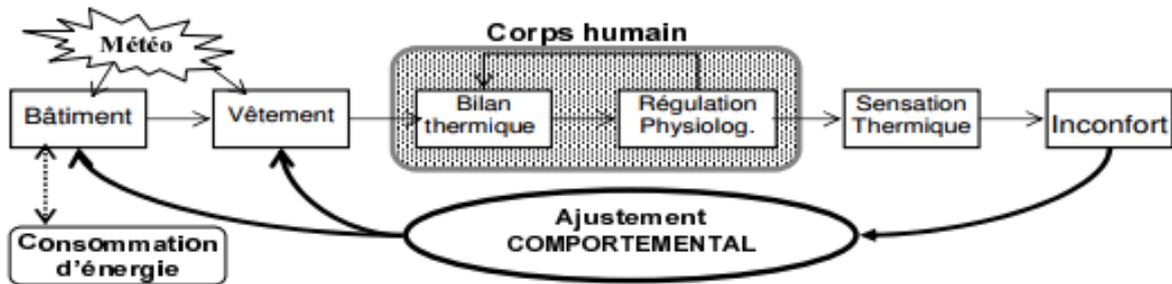


Fig.II.5. Boucle de rétroaction de l'ajustement comportemental (Source : De Dear et Brager, 1998)

6. Les facteurs agissant sur le confort thermique:

Durant le processus de conception, l'architecte prend en considération l'environnement dans lequel sont projet est inscrit.

Il tâche aussi de réaliser des techniques qui permettent une bonne réduction d'énergie à travers l'intégration des éléments architecturaux d'isolation, d'inertie voire le bon dimensionnement des ouvertures, le contrôle de la ventilation naturelle et même le choix d'un bon couleur de l'enveloppe extérieur.

Tous ces éléments conceptuels, et autres ont une influence directe sur le comportement thermique des bâtiments.

6.1. Orientation :

«L'orientation d'une construction et la prise en compte du climat sont actuellement considérées par certains comme une originalité, une innovation apportée par le concept de bâtiment de haute qualité environnementale (HQE). Le bon sens avait-il disparu chez les concepteurs ?» (Déoux et Déoux, 2004).

L'orientation des bâtiments joue un rôle régulateur de deux facteurs climatiques distincts :

- L'effet de l'ensoleillement, et l'échauffement sur les murs et les différentes pièces orientées selon divers directions.
- La ventilation naturelle en rapport avec la direction des vents dominants et l'orientation du bâtiment et des ouvertures.

Pour le choix d'une orientation optimal pour les zones sahariennes tels que dans la ville de Biskra, Mazria (2005) a déduit que durant l'hiver la façade Sud d'un bâtiment reçoit près

de trois fois plus de soleil que les façades Est et Ouest, alors que les proportions s'inversent pendant l'été, et la façade Sud reçoit moins de soleil que les façades Est et Ouest. La façade Nord reçoit peu de rayonnement durant toute l'année. Cela veut dire que l'exposition Sud est l'orientation idéale pour ces régions.

6.2. Forme et compacité :

Plusieurs recherches ont démontré qu'une habitation confortable ne peut être que de forme compacte (Chatelet *et al.*, 1998) , (CAUE, 2005). Une forme simple et compacte est plus économe en énergie qu'une forme éclatée parce que les déperditions sont proportionnelles à la surface d'échange entre l'intérieur conditionné et l'extérieur. Autrement dit, la forme optimale d'un bâtiment correspond à celle qui lui permet de perdre un minimum de chaleur en hiver et de gagner un maximum de fraîcheur en été.

La forme du bâtiment a une influence directe sur :

- L'éclairage énergétique du soleil ;
- Les déperditions thermiques ;
- L'écoulement des flux de vents aux abords du bâtiment.

6.3. Inertie thermique :

L'inertie thermique est une notion qui recouvre à la fois l'accumulation de chaleur et sa restitution, avec un déphasage dépendant des caractéristiques physiques, dimensionnelles et d'environnement de la paroi de stockage. Cette technique permet de récupérer une bonne quantité de chaleur stockée durant la journée afin de la restituer la nuit.

Ce système d'inertie thermique assure un ralentissement du déphasage aux apports solaires et peut servir de système de chauffage de base pour couvrir de 3 à 4 jours de mauvais temps durant la période hivernale.

En été, plus l'inertie augmente, plus la température maximale atteinte est faible et plus les fluctuations de température diurne/nocturne sont faibles. Cela se réalise à travers l'utilisation des matériaux lourds, qui aident à la stabilisation de la température (Liébard et De herde, 2006)

6.4. Dimension des ouvertures :

Les parties vitrées dans une paroi extérieure d'une construction participent activement dans les échanges thermiques entre l'environnement extérieur et les ambiances intérieurs de ce même bâtiment à travers des apports et des déperditions thermiques. Cependant, une attention particulière quant aux dimensions des ouvertures est recommandée selon l'implantation, l'orientation et la conception (disposition, type de vitrage, ...etc).

6.5. Couleur :

La couleur des parois extérieures d'un bâtiment a une certaine influence sur le comportement thermique et le rendement énergétique de ces dernières.

Selon Gatz et Achterberg (1967), la température générée par le rayonnement solaire directe varie en fonction de la couleur.

Les enduits à couleur claires, telles que la couleur blanche, crème, orange et rouge claire, sont très utilisés dans les zones chaudes parce qu'elles ont la capacité de mieux réfléchir les rayons solaires.

Conclusion :

D'après les notions abordées dans ce chapitre, on déduit que le confort thermique correspond à un état d'équilibre entre le corps humain et les conditions d'ambiance.

Plusieurs modèles analytiques (Fanger, Stolwijk, Gagge et le modèle de l'université de Berkley...etc.) ont été développés dans l'objectif de mesurer le confort thermique et d'ajuster des plages optimal au confort thermique.

Cependant, la notion du confort thermique est subjective, elle restera toujours variable en fonction des individus, et une intervention personnelle sur les caractéristiques de l'ambiance de son lieu d'activité est importante si on veut éviter tout sentiment d'inconfort.

Les recommandations tirées d'après les travaux des auteurs cités, dans notre contexte d'études sont les suivantes :

- L'orientation optimale pour le contexte Saharien est celle Nord-Sud.
- Une forme compacte et allongée des maisons à patio est favorable en termes de performance énergétique.
- Des parois lourdes et épaisses favorise l'effet de l'inertie thermique, stocke mieux la chaleur et ralentissent le déphasage.
- La diminution des dimensions d'ouvertures est impérative afin de minimiser les apports thermiques. Vu la présence du patio, la majorité des espaces habités sont ouverte sur l'intérieur.
- Le choix d'une couleur claire afin d'éviter l'absorption de la chaleur.

Toutes ces recommandations vont nous servir à bien choisir notre modèle de simulation. Elles nous aident aussi à bien comprendre l'utilité des différents techniques du rafraichissement passif qu'on va traiter dans le chapitre suivant dans le but d'assurer des conditions adéquats aux habitants et de minimiser l'utilisation des systèmes de refroidissements actifs.

Chapitre III:

Le rafraichissement passif

Introduction :

Le refroidissement est le transfert d'énergie à partir d'un espace ou de l'air vers un autre espace, afin d'atteindre une température inférieure à celle de l'environnement naturel. Cette décennie est marquée par l'utilisation des systèmes de conditionnement d'air énergivores pour contrôler la température.

Dans un climat chaud et aride le besoin de rafraîchir notamment durant la période estivale de l'année est indispensable, mais peut-on rafraîchir et assurer un air ambiant agréable en consommant moins d'énergies?

Par le biais de ce chapitre nous allons mettre l'accent sur la stratégie du rafraîchissement passif. Cette dernière nécessite toute une série de conditions, et elle englobe plusieurs types qui se varient en fonction des besoins humains et des conditions climatiques. Les différentes techniques du rafraîchissement d'air telles que la ventilation, l'évaporation et la radiation, sont détaillées afin de cerner la technique qui semble être convenable vis-à-vis de notre contexte d'étude.

1. Définition du rafraîchissement passif :

Le rafraîchissement passif est un terme global qui couvre les différents processus et les techniques de modulation et de dissipation de la chaleur, et qui englobe toutes les mesures préventives pour éviter la surchauffe à l'intérieur des bâtiments, et cela à travers des ressources naturelles environnantes et sans faire recours à l'utilisation des autres formes d'apport énergétique ni aux systèmes de rafraîchissement mécaniques (Santamouris et Asimakopoulos, 1996).

Le refroidissement passif donc, est une stratégie qui contribue à la maîtrise et la réduction des besoins de climatisation. Ceci génère à l'intérieur des bâtiments tout le confort thermique dont les occupants ont besoin.

Les bâtiments peuvent être refroidis par des systèmes passifs à travers l'utilisation de plusieurs dissipateurs de chaleur naturelle entre autres, l'air ambiant, les cheminées d'air et solaires, l'eau, la végétation et les puits souterrains. Chacune de ces sources de refroidissement peut être utilisée de diverses façons, ce qui crée une diversification importante de ces systèmes. (Givoni, 1994)

2. Conditions clés du rafraîchissement passif :

Selon Potvin et al. en 2004, il existe quatre conditions essentielles afin de réussir une stratégie de rafraîchissement passif durant la période estivale, commençant par la protection du bâtiment contre les apports solaire, et la minimisation des apports internes, et la dissipation de l'air chaud et finalement le refroidissement via des techniques naturelle, la figure III.1 illustre cette stratégie de refroidissement.

Nous détaillons ci-dessous les quatre éléments essentiels pour assurer un refroidissement adéquat :

1. Protéger : La première condition consiste à protéger le bâtiment depuis son enveloppe extérieure, contre les rayonnements solaires estivaux nuisibles afin de diminuer les risques de surchauffe. Cela se réalise à travers l'utilisation de techniques et de dispositifs de protection, tels que les matériaux isolants et parfois la végétation qui assure plus d'air fraîche, ou par la création de simple masque d'ombrage ... etc.
2. Minimiser : L'architecte tâche d'optimiser les gains internes des bâtiments à travers la rationalisation de la consommation énergétique, et la proposition des solutions alternatives naturelles, comme l'éclairage naturel à la place de l'éclairage artificiel et la ventilation naturelle qui remplace le conditionnement d'air énergivore.
3. Dissiper : Le concepteur doit prendre en considération l'excès de chaleur qui peut exister à l'intérieur des bâtiments et il doit le dissiper à travers les fenêtres et les baies orientés vers la direction des vents. En l'absence des vents, il fera recours à la ventilation naturelle transversale ou par effet de cheminée.
4. Refroidir : La dernière condition a pour objectif de remplacer l'air ambiant évacué par un air frais, et cela par la création des dispositifs de refroidissements naturels tels que la végétation et les plans d'eau. De plus, la ventilation nocturne utilise la structure thermique du bâtiment pour emmagasiner l'air refroidi afin de le réutiliser tout au long de la journée.

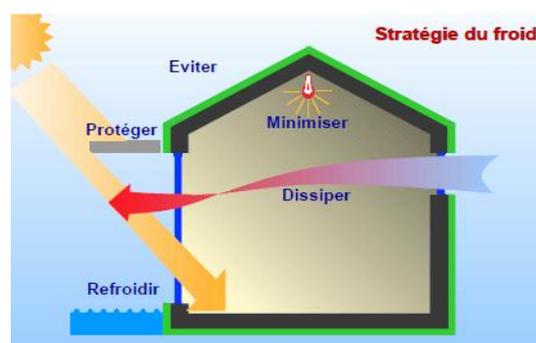


Fig.III.1. Stratégie de rafraîchissement (Liébard et De Herde, 2006)

3. Types du rafraîchissement :

3.1. Le rafraîchissement par ventilation :

3.1.1. Définition :

La ventilation naturelle est une partie essentielle dans la conception des bâtiments vu le confort thermique optimal et la qualité adéquate qu'elle peut offrir aux espaces. Elle joue un rôle essentiel dans l'amélioration de la performance énergétique des bâtiments (Allard et Santamouris, 1998). De plus, elle a comme avantages de fournir suffisamment d'oxygène aux espaces, diluer les odeurs corporelles et diluer à un niveau acceptable le dioxyde de carbone produit par les occupants et les combustions et aussi les différents types de pollution générés. (BRE, 1994)

L'utilisation de la ventilation diurne sert à refroidir l'air ambiant intérieur si la température extérieure est inférieure à celle de l'intérieure. En outre, elle a un effet direct sur le corps humain par convection et évaporation.

L'objectif de la ventilation nocturne est d'utiliser la masse thermique du bâtiment comme un support intermédiaire de stockage qui permet au cours de la journée d'utiliser la fraîcheur stockée durant la nuit précédente (Allard et Santamouris, 1998)

3.1.2. Les tours de refroidissement :

Dans le domaine de l'industrie, les bâtiments et les machines industrielles génèrent d'énormes quantités de chaleurs qui doivent être dissipées par de diverses méthodes d'évaporation naturelle, ces tours ont plusieurs types selon la nature de rafraîchissement utilisé :

3.1.2.1. Les tours atmosphériques :

Ce type est qualifié de passif car il n'utilise aucun dispositif mécanique pour créer un mouvement d'air, ces tours sont aussi connues par les tours à tirage hyperbolique (Fig.III.2) parce qu'elles tirent un flux d'air d'après l'induction naturelle fournie par un système de pulvérisation d'eau « Sprays » (Fig.III.3).

L'écoulement d'air est produit par la densité différentielle qui existe entre l'air chauffé à l'intérieur et l'air ambiant qui est relativement frais à l'extérieur. (Hensley, 1987)

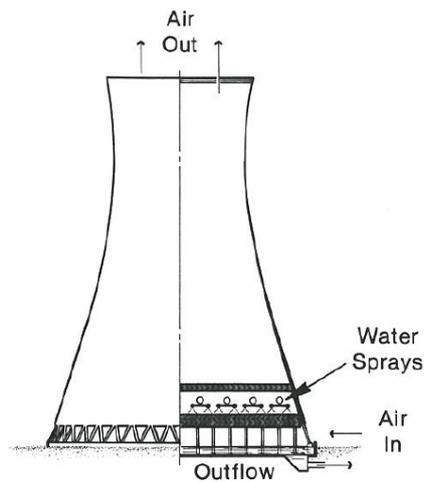


Fig.III.2. Tours de refroidissements industriels passifs (Source : Hensley, 1987)

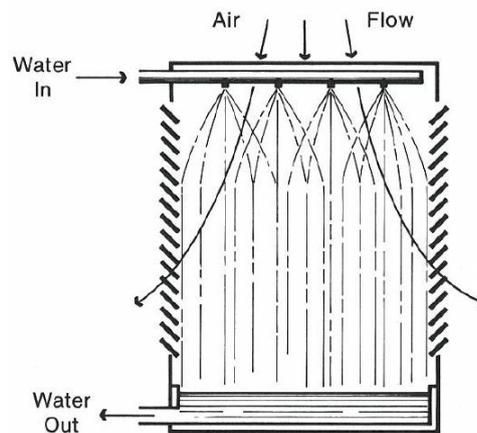


Fig.III.3. Système de pulvérisation d'eau « Sprays » (Source: Hensley, 1987)

NiRiain et Kolokotroni ont aussi classifié les tours de refroidissement passif en deux catégories : les cheminées thermiques et les cheminées de vent.

a. Les cheminées thermiques :

Les différences de température sont causées par des gains de chaleur générée dans les espaces, par les occupants et les équipements électriques et ceux du chauffage. (Fig.III.4.a) Si les gains thermique proviennent du soleil dans ce cas on les appels des cheminées thermique solaire (Fig.III.4.b), ces cheminées sont souvent positionnées sur la façade sud des bâtiments et conçues pour augmenter la ventilation pendant les mois d'été dans les climats chauds.

L'objectif de ces tours donc est d'enlever l'air chaud pour le dissiper à un niveau élevé. (NiRiain et Kolokotroni, 2000)

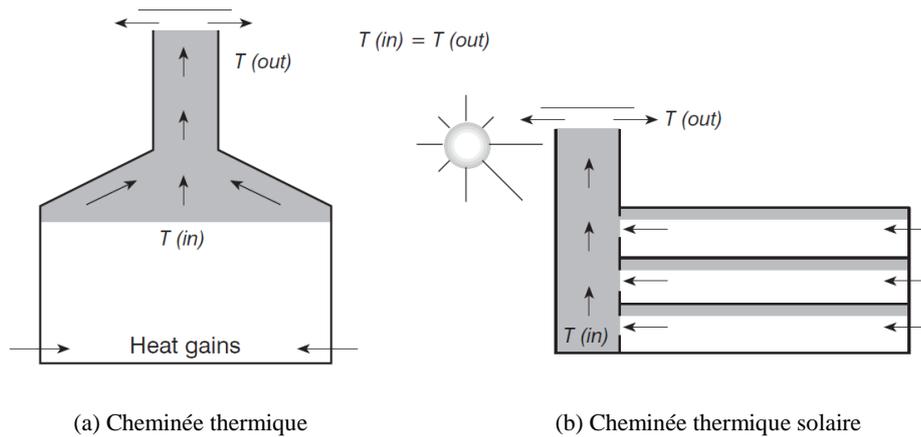


Fig.III.4. Cheminées thermiques et cheminées solaires (NiRiain et Kolokotroni, 2000)

La dissipation de chaleur se fait par l'effet cheminé qui se traduit par une différence de pression parce que l'air chaud est moins dense que l'air froid. Quand il y a une ouverture dans le bâtiment, l'air va circuler à travers la toiture pour équilibrer la pression comme le montre la figure .III.5. (Walker, 2010)

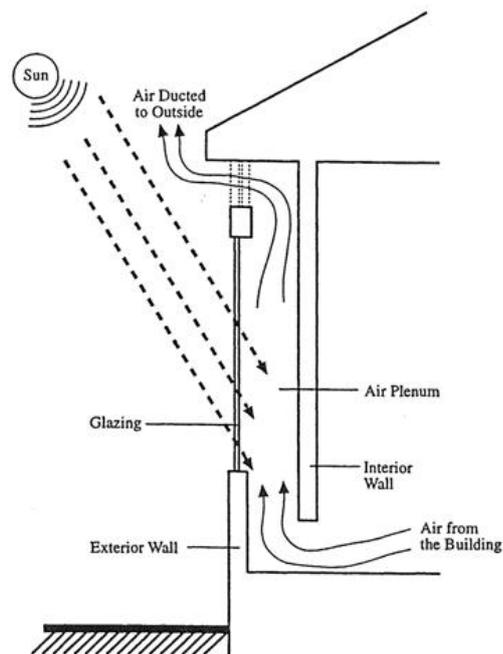


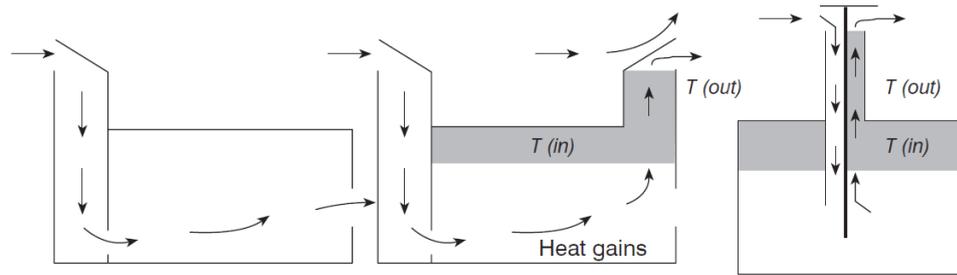
Fig.III.5. Illustration de l'effet cheminée (Source : Goswami et al., 1999)

b. Les cheminées de vent :

Les cheminées de vent ou les tours à vent sont aérodynamiquement conçus pour améliorer les différences de pression du vent qui se produisent lorsque l'air circule autour des obstacles. Ces tours ont des capteurs de vent (zone d'entrée) qui est la zone de pression, et une sortie pour l'extraction de l'air (zone de dépression). La (figure III.6.a) représente la conception aérodynamique de ces capteurs.

Parfois, une tour de dissipation est nécessaire pour extraire les vents de l'immeuble soit à l'aide des pressions négatives créées à la sortie (effet de cheminé) soit par l'effet de venturi⁽⁷⁾ créée à la limite de la toiture (dans la zone du sortie comme le montre la figure III.6.b)

Les tours de vents peuvent être combinés en une seule stratégie à travers une conduite répartie qui sera efficace aussi bien pour l'alimentation que l'extraction. (Fig.III.6.c) (NiRiain et Kolokotroni, 2000)



- (a) Capteur de vent unidirectionnel
- (b) Capteur de vent avec un dissipateur unidirectionnel
- (c) Tour à vent omnidirectionnel

Fig.III.6. Conception aérodynamique des tours à vent (Source : NiRiain et Kolokotroni, 2000)

3.1.3. Effets des vents :

Lorsque le vent rencontre un obstacle tels qu'un bâtiment isolé, il est obligé de le contourner. En effet, la face d'un obstacle exposée directement au vent subit une surpression tandis que sa face opposée est soumise à une dépression, les pressions engendrées par les débits de vent dépendent essentiellement de la forme du bâtiment et l'environnement dans lequel il est inscrit qui est définis par la répartition des surfaces de pression voire des vitesses d'air différentes.

On peut synthétiser la complexité de ce phénomène par la figure (Fig.III.7) ; le flux autour du gabarit du bâtiment se caractérise par une région de stagnation « **St** », les niveaux de séparation de flux « **S** » et une région de rattachement là ou l'écoulement est fortement turbulent (Etheridge, 2012).

⁽⁷⁾ Nom du physicien italien « Giovanni Battista Venturi », c'est l'effet physique par lequel le resserrement d'un conduit où circule un fluide provoque l'accélération de son écoulement et donc une dépression dans l'étranglement.

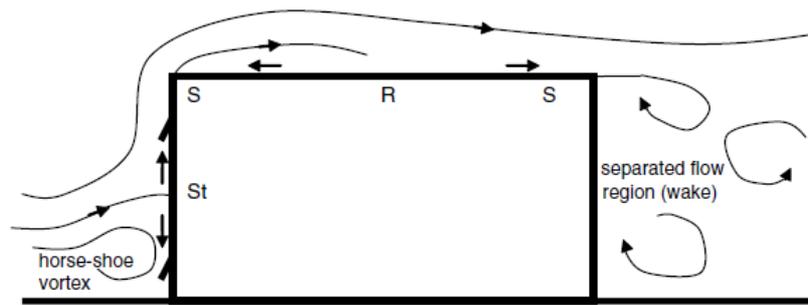


Fig.III.7. Modèle d'écoulement autour d'un bâtiment isolé (Source: Etheridge, 2012)

Il existe cinq mécanismes de base décrivent les zones critiques autour d'un bâtiment isolé et leurs influence sur le confort aéraulique des usagers : l'effet de coin, l'effet de sillage, l'effet de passage sous immeuble, le rouleau de tourbillonnaire et l'effet de barre (Gendemmer, 1975)

- L'effet de coin :

La cause de cet effet réside dans le fait que des zones de surpression en amont et de la dépression inférieure latérale se rejoignent aux angles des bâtiments, et engendre des vitesses importantes d'air.

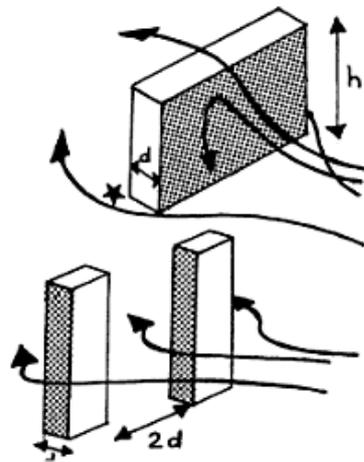


Fig.III.8. Effet de coin (Source : Gandemer, 1975)

- L'effet de sillage :

Le sillage d'un bâtiment est créé par la circulation du fluide derrière ce bâtiment entre les lignes de séparation, c'est ce qui crée des zones de cisaillement (Fig.III.10) inconfortable et qui persiste pour une longue période (Gandemer, 1978), par contre la zone de protection au vent située dans le sillage d'un bâtiment est bordée par des zones où le gradient de vitesse du vent est important avec des très hauts taux de turbulence. (Reiter, 2007)

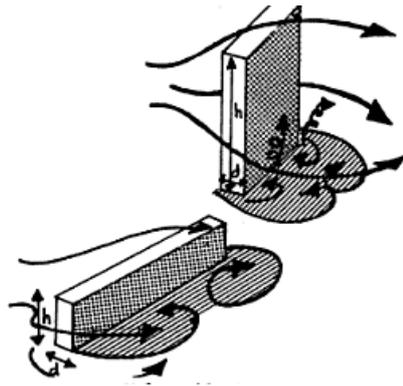


Fig.III.9. Effet de sillage (Source : Gandemer, 1975)

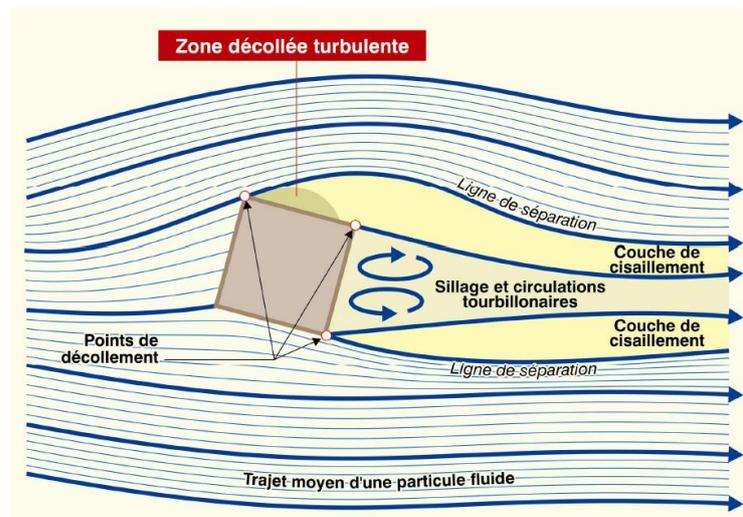


Fig.III.10. Effet de sillage, vue en plan (Source: Reiter, 2007)

- L'effet de passage sous immeuble :

Cet effet est spécifique aux passages des vents sous les bâtiments, soit par la création des trous, ou par la conception d'un édifice supporté par des pilotis, connectant l'avant du bâtiment en surpression et son arrière en dépression.

Ces ouvertures sous le bâtiment engendrent de très hautes vitesses de vents qui seront par la suite plus directionnelle par rapport à l'axe de vent.

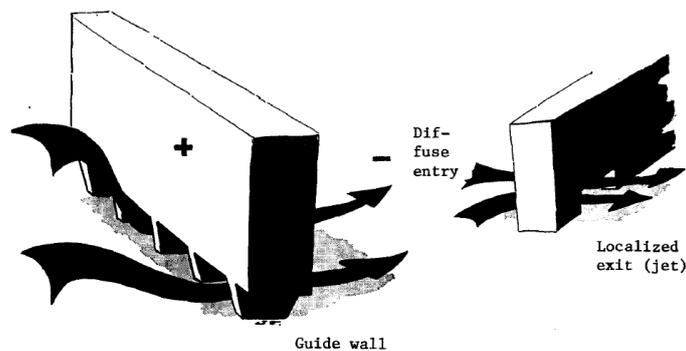


Fig.III.11. Effet de passage sous immeuble (Source : Gandemer, 1978)

- Le rouleau de tourbillonnaire :

Le profil du vent et de la turbulence se change en fonction du changement des dimensions des masses structurales des bâtiments et spécialement la hauteur, Ce dernier provoque l'effet d'un rouleau tourbillonnaire avec des grandes valeurs des indices de turbulence au niveau du sol.

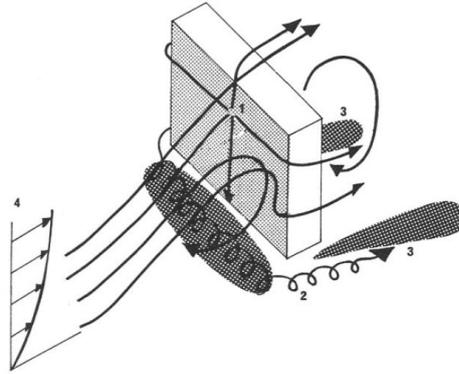


Fig.III.12. Rouleau de tourbillonnaire (Source : Gandemer, 1978)

- L'effet de barre :

La construction en barre désigne le développement d'un bâtiment dans le même axe longitudinal avec une proportion de $8H$, dont H est la hauteur de la construction en bar. (Gandemer, 1975), cet effet est une déviation en vrille de l'écoulement au passage d'un élément de type barre pour une incidence de vent de l'ordre de 45 degrés et la zone de l'inconfort se caractérise par une forte turbulence verticale et se situe au centre arrière de la barre. (Reiter, 2007)

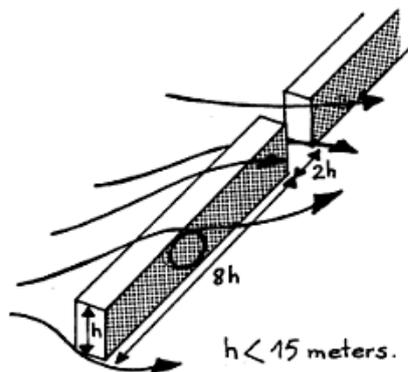


Fig.III.13. Effet de barre (Source : Gandemer, 1975)

3.2. Le rafraîchissement par évaporation :

3.2.1. Définition :

Le refroidissement par évaporation est un processus qui utilise l'effet de l'évaporation comme un dissipateur thermique naturelle. La chaleur sensible de l'air est absorbée et sera utilisé en tant que chaleur latente nécessaire pour évaporer l'eau. La quantité de chaleur sensible absorbée dépend de la quantité d'eau qui peut être évaporée. Le refroidissement par évaporation est un procédé très ancien, ayant son origine il y'a quelques milliers d'années, dans l'ancienne Egypte et la Perse (Santamouris et Asimakopoulos, 1996). Ce système passif comprend l'utilisation de la végétation pour l'évaporation, l'utilisation des fontaines, des sprays, des piscines et des étangs ainsi que l'utilisation des matériaux poreux saturé d'eau.

3.2.2. Efficacité de la ventilation par évaporation :

Dans une étude comparative établie par Tiwari et al, en 1994 et qui a pour objectif de comparer l'efficacité de différentes techniques de rafraîchissements passifs tels que l'effet d'ombre, le rafraîchissement par évaporation, aussi l'impact de la toiture jardin, les brises soleil mobiles, la cavité d'air dans les parois...etc., sur le refroidissement d'un bâtiment résidentiel, et cela à travers des calculs numériques effectués en appliquant sur les conditions climatiques de Delhi.

Les résultats de cette recherche ont montré que :

- Le refroidissement par évaporation est la meilleure technique pour minimiser le flux de chaleur dans un climat chaud.
- La ventilation nocturne par les fenêtres est très utile pour le refroidissement du bâtiment.

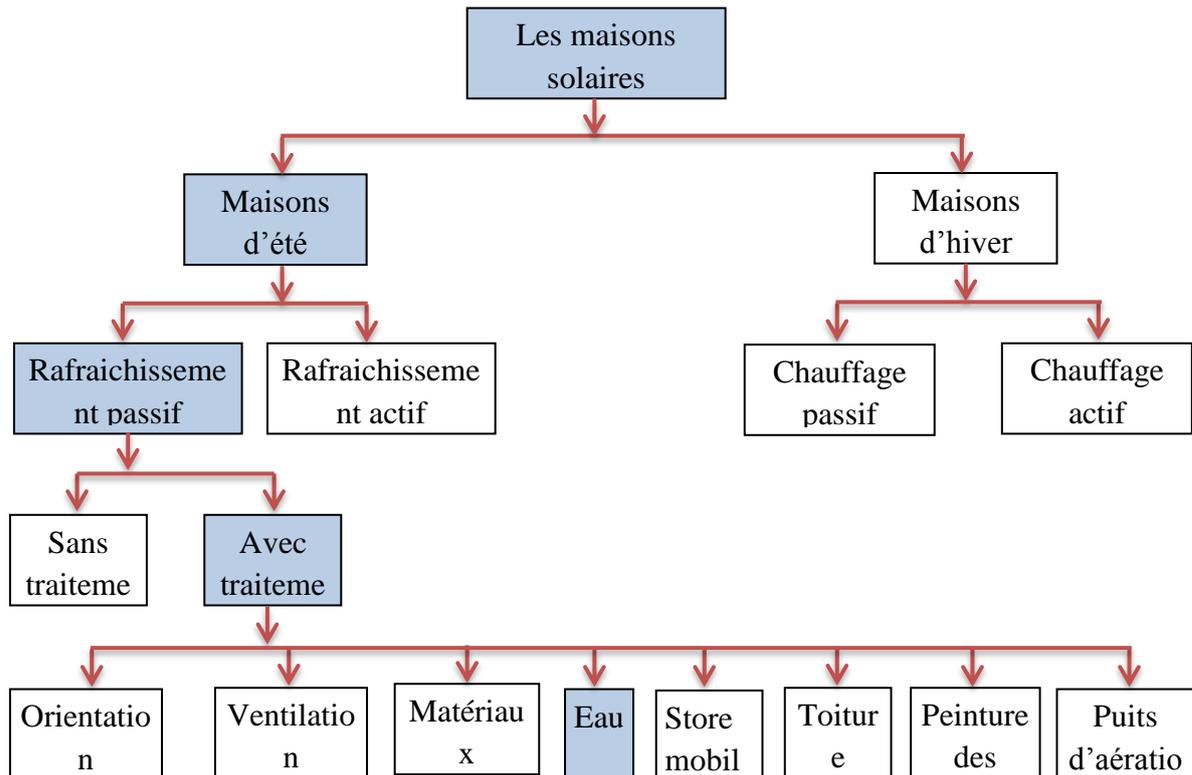


Fig.III.14. Classification des maisons solaire et les techniques du rafraîchissement passif (Tiwari et al., 1994)

3.2.3. La création d'un élément innovant pour le rafraîchissement par évaporation :

En 2013, Pires et al ont fait une étude expérimentale sur un élément innovant pour le rafraîchissement passif des bâtiments, cette étude vise à intégrer à l'enveloppe des bâtiments un élément qui permet de réduire les consommations d'énergie et diminue le recours aux systèmes de conditionnement d'air.

L'utilisation de cet élément a pour objectif de combiner les différentes techniques de rafraîchissement tel que le refroidissement par évaporation, la ventilation nocturne et le stockage thermique de la chaleur latente.

L'élément proposé possède une forme Parallélépipédique entourée par des murs extérieurs en MDF ⁽⁸⁾ qui résiste à l'eau avec des poutrelles en bois et isolé par des panneaux de polystyrène extrudé et il se compose d'un panneau interne de 760X600X12 mm³ fait de mortier de ciment avec de la paraffine ⁽⁹⁾ (voir Fig.II)

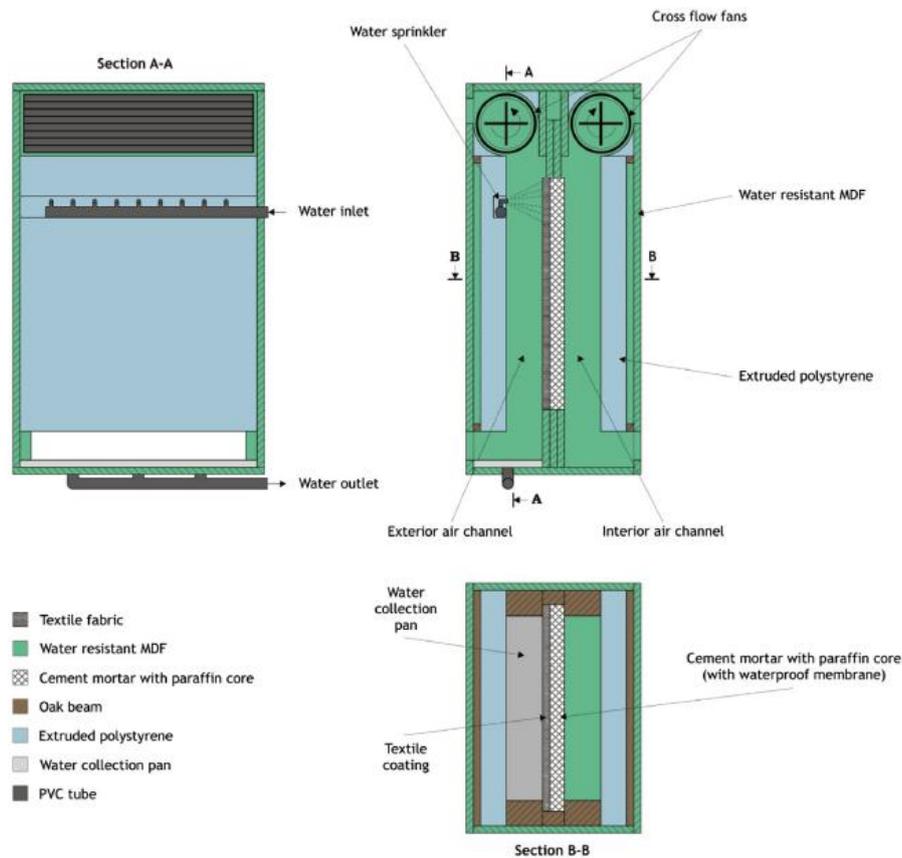


Fig.III.15. Composantes de l'élément proposé à l'expérimentation (Source : Pires et al, 2013)

Le panneau a été scellé en appliquant une membrane imperméable à l'eau afin de mouiller continuellement l'une de ses surfaces et donc assurer la permanence du fonctionnement, qui sera recouverte par un tissu textile. Pour mieux optimiser le processus de refroidissement par évaporation le noyau de l'élément contient deux canaux adjacents pour la circulation de l'air avec une entrée et une sortie d'air sur ses faces opposées.

L'écoulement d'air dans chaque canal est fourni à l'aide des ventilateurs tangentiels installés en dessus de l'élément, ce même noyau est aussi équipé d'un gicleur d'eau intégré, et afin de mesurer la température des thermocouples de type T ont été placé dans le noyau avec deux capteurs pour mesurer les flux de chaleurs entrant et sortant de l'élément (un système en circuit fermé d'eau est nécessaire pour poursuivre l'opération).

⁽⁸⁾ MDF : « Panneaux de fibres à densité moyenne »

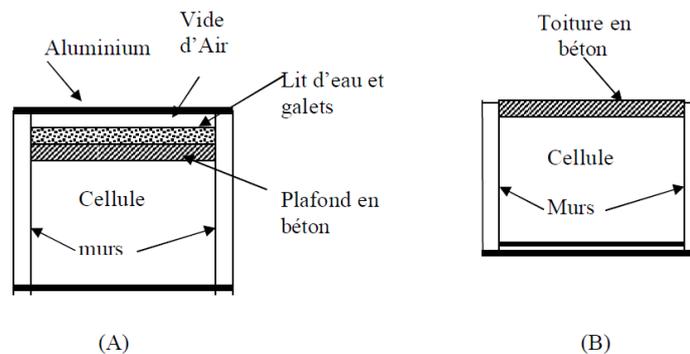
⁽⁹⁾ Paraffine : d'après Larousse 2015, c'est un mélange d'alcane naturel (ozocérite) ou résiduel de la distillation du pétrole.

Après une série d'étude expérimentale sur l'élément dans deux chambres à climatisation autonomes et contrôlée, les résultats calorimétrique sur le mortier de ciment avec de la paraffine ont montrés sa bonne capacité de stocker la chaleur durant la transition de phase solide/liquide de la paraffine et durant la nuit la présence du processus d'évaporation permet le refroidissement de l'élément du noyau à des températures bien en dessous de la température extérieur grâce à l'effet de la ventilation nocturne.

3.3. Le rafraîchissement par radiation et évaporation :

3.3.1. La toiture radio-évaporative :

Plusieurs études ont été faites sur les toitures des bâtiments afin d'améliorer leur performance thermique à travers plusieurs techniques. En 2007, Bencheikh a réalisé une étude à deux volets, théorique et expérimentale afin de montre l'effet de la radiation et l'évaporation sur les toitures. La partie théorique consiste à comparer deux cellules cube de 9m^3 , la première a une toiture en béton armé et la deuxième avec une toiture équipée d'un système de refroidissement passif. Ce système se compose d'une dalle en béton armé sur laquelle sont disposés des galets et de l'eau et recouverte d'une tôle en aluminium peinte en couleur sélective froid (blanc). Cela à travers un modèle mathématique afin de déduire la température de l'air ambiant en fonction de la température extérieur, et la température radiante et celle de la ventilation avec les caractéristiques physiques de tous les matériaux utilisé dans la cellule. (Fig.III.16).



(A) Avec une toiture radio-évaporative

(B) avec une toiture en béton

Fig.III.16. Schémas des deux cellules comparées théoriquement (Bencheikh, 2007)

Les résultats présentés par Bencheikh et obtenus par les calculs numériques ont montré que le volume des galets et d'air avec l'épaisseur de la feuille d'aluminium et la largeur de la lame d'air ont une grande influence sur le système. De plus, ils ont prouvé l'efficacité significative du système de refroidissement proposé, et cela à travers la baisse de la température intérieure durant la journée, et aussi favorable avec l'assistance de la ventilation nocturne de 20h à 7h.

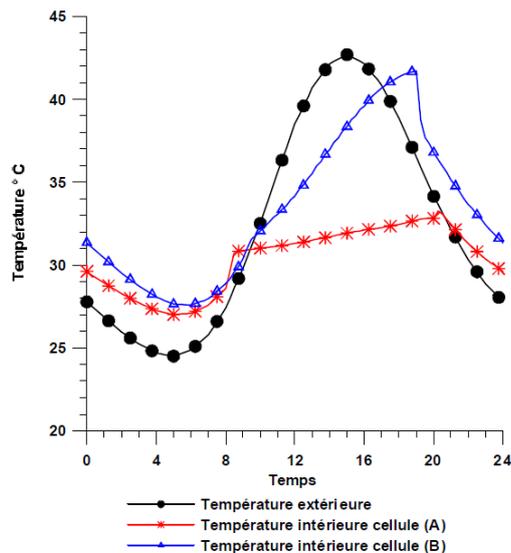


Fig.III.17. *Température intérieur avec ventilation nocturne (Bencheikh, 2007)*

La deuxième partie consiste en la réalisation de deux cellules expérimentales dans la ville de Laghouat tout en appliquant les mêmes conditions climatiques utilisées dans la partie théorique. Ces cellules orientées Nord-Sud et surélevées du sol se composent d'un cadre métallique de 70x70x90cm, avec des murs et planchers isolés par du polystyrène de 4cm d'épaisseur, elle est aussi équipé par deux ouvertures (porte de 30x60cm, et une fenêtre de 35x37cm).

La toiture de la première cellule se compose d'une feuille d'aluminium peinte en couleur sombre, afin de favoriser les échanges radiatifs avec l'intérieur de la cellule, tandis que la toiture de la deuxième cellule est faite de la même façon mais avec l'ajout des galets et de l'eau. Elle est recouverte de l'extérieur par une tôle d'aluminium peinte en couleur sélective froid (blanc). (Fig.III.18)



Fig.III.18. *Vue sur la toiture radio-évaporative (Bencheikh, 2007)*

Les résultats expérimentaux ont affirmés et validés le modèle de simulation numérique après la baisse de la température mesurée à l'intérieur de la cellule avec la toiture radio-évaporative, d'une différence de 10° par rapport à la température extérieure comme l'illustre la figure III.19.

Cette étude prouve l'efficacité du système de refroidissement par l'utilisation d'une toiture radio-évaporative, surtout en l'associant avec une ventilation naturelle nocturne.

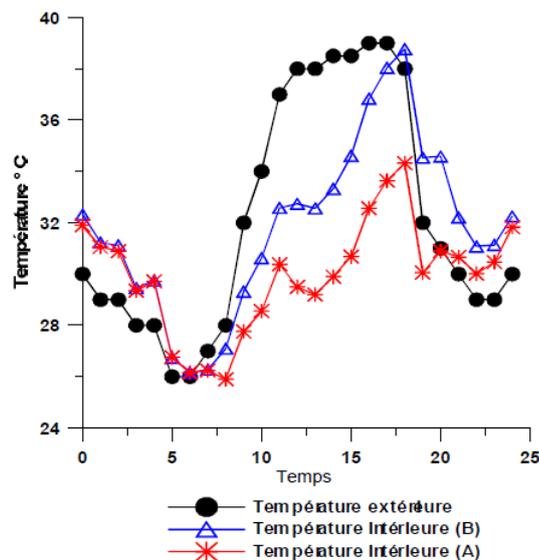


Fig.III.19. Température intérieure mesurée avec ventilation nocturne (Bencheikh, 2007)

3.3.2. Le rafraîchissement radio-évaporatif d'un bassin d'eau ouvert

Ali, en (2007) a établi une investigation analytique et expérimentale afin d'évaluer l'effet du rafraîchissement passif nocturne par évaporation et de la convection du rayonnement dans une cuve ouverte non-isolée thermiquement et remplie d'eau dans les régions chaudes et arides.

Cette expérience consiste à utiliser deux bassins similaires de (1m x 1m x 0.5m), non isolés thermiquement et teints en blanc, l'un est couvert par 2mm d'épaisseur d'une plaque en acier galvanisé tandis que l'autre a été découvert, les deux sont équipés par un tube de verre horizontale pour estimer la quantité d'eau perdue par évaporation ou convection. Rajoutant à ceci un système d'enregistrement de données (A24) Type VIPS T100, avec des thermocouples en T pour mesurer la température des parois latérales, et celle de l'eau et celle ambiante. La vitesse de l'air est mesurée par un anémomètre numérique portable.



Fig.III.20. Bassins de l'expérience (Source : Ali, 2007)

Les résultats expérimentaux présentés dans cet article ont montré que durant la nuit la température de l'eau s'est baissée de 23.8-27.1°C au début de la nuit à 17.2-18.9°C vers la fin de la nuit. En outre, une quantité importante d'eau dans le bassin ouvert (38.74% à 57.4%) s'est évaporée pour rafraîchir l'air ambiant durant cette même nuit.

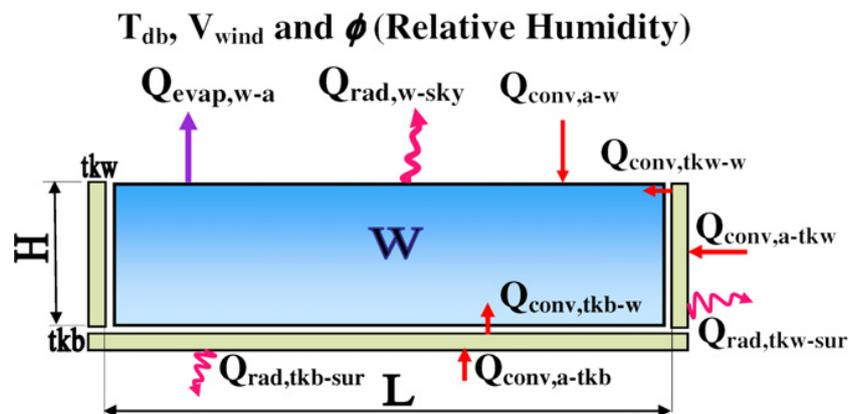


Fig.III.21. Diagramme schématique montre les composants de l'énergie (Source : Ali, 2007)

En ce qui concerne les résultats analytiques de calculs ont indiqué que, pour une profondeur d'eau allant de 0,2 à 0,6 m, le refroidissement passif net de l'eau variait de 10,53 à 19,7 MJ / m² avec des valeurs de température de l'eau finales allant de 14,3 à 18,7°C. Cela signifie l'efficacité de l'eau pour le refroidissement naturel par évaporation nocturne et aussi par radiation.

3.3.3. L'influence de l'altitude et la latitude sur le rafraîchissement passif par évaporation et radiation :

Zhang et Liu (2014) ont aussi évoqué le sujet du refroidissement passif des bâtiments résidentiels dans plusieurs villes chinoises. Le refroidissement a été traité dans deux volets par évaporation et par radiation. Le premier est défini par la chaleur latente de l'eau vaporisée en été tandis que le deuxième est défini par le rayonnement efficace à partir d'une surface horizontale et cela durant une année entière pour 360 emplacements et à travers des équations mathématiques.

D'autre part, ils ont démontré que :

- Le potentiel de refroidissement radiatif augmente avec l'altitude, une fois on atteint des niveaux élevés en altitude le rayonnement descendant du ciel se diminue, par contre la nature du rayonnement ascendant à partir de la surface horizontale est de grande longueur d'onde, donc il ne change point en fonction de l'altitude.

La dispersion de la variation de radiation calculée par les équations en fonction de celle simulée est linéaire, ça affirme la validité de ces calculs avec des erreurs limités (voir, Fig.III.22). Cela s'applique aussi sur la dispersion de la variation d'évaporation calculée et celle simulée comme l'illustre la figure.III.23)

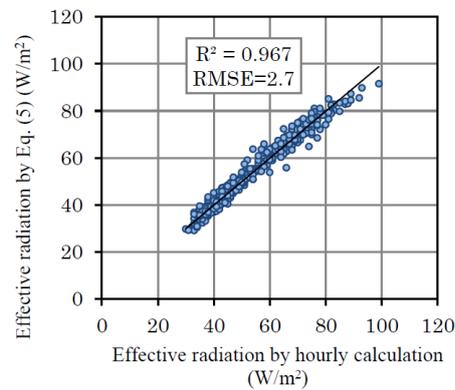


Fig.III.22. *Potentiel des rayonnements efficace (Source : Zhang et Liu, 2014)*

- Le potentiel de refroidissement par évaporation dépend de la différence entre les taux d'humidité de l'air extérieur et celui de la surface d'évaporation.

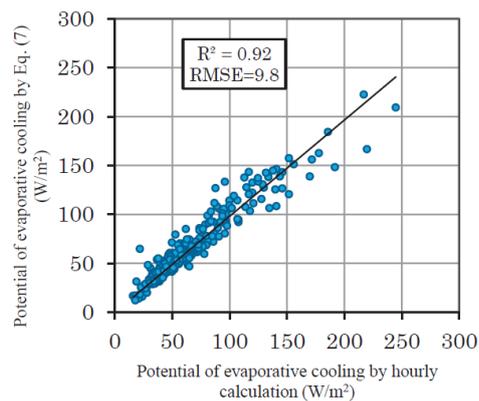


Fig.III.23. *Potentiel de l'évaporation de l'eau (Source : Zhang et Liu, 2014)*

Conclusion:

Après la définition des différents systèmes de refroidissements passifs; et la présentation de quelques analyses de recherches récentes qui portent sur le refroidissement à travers l'évaporation d'eau, nous avons déduit que :

- Il existe quatre éléments clés pour réussir une bonne stratégie de refroidissement : protéger le bâtiment contre les rayonnements solaire, minimiser les apports internes, dissiper l'excès de chaleur à l'intérieur et finalement refroidir l'air ambiant par un air plus frais en utilisant des dispositifs et des techniques passifs.
- La ventilation naturelle nocturne et l'évaporation d'eau semble être très efficace afin de remédier les hautes températures dans la région saharienne.
- L'inertie thermique est un élément indispensable dans un climat chaud parce qu'elle permet le déphasage de la chaleur latente diurne.

Dans une perspective réaliste et applicable on ne peut guère utiliser ces systèmes séparément, donc les rayonnements solaires aident l'eau à s'évaporer et l'humidification de l'air ambiant se propage dans les différentes pièces à travers la ventilation naturelle.

Dans notre travail l'efficacité de la technique de refroidissement par évaporation dépend essentiellement de l'ensemble de caractéristiques des maisons à patio là où elle sera inscrite. Par la suite nous allons mettre l'accent sur les spécificités des maisons à patio, voire leurs différentes typologies.

Chapitre IV :

Les maisons à patio

Introduction :

La présence du patio, cet espace qui relie les différentes pièces dans une maison ou un édifice public remonte à un passé très lointain vu le rôle important qu'il a toujours occupé dans de divers régions et sous le règne de plusieurs civilisations.

Dans cette partie du travail nous allons fouiller dans l'antiquité et dans l'histoire afin de déterminer les différentes configurations architecturales de ces patios qui témoignent un savoir-faire ancestral accumulé au fil des siècles par les populations en fonction de leurs exigences, traditions et spécificités socio-culturel, et nous allons mettre l'accent sur les différentes typologies qui existent dans les régions à climat chaud et aride voire les particularités de ces espaces sur le plan climatique, la consommation énergétique, la génération d'ombre et de lumière et même leur rapport avec le confort acoustique à domicile, et cela notamment dans les régions saharienne. Dans ce chapitre nous allons essayer d'analyser et de déterminer les différentes typologies existantes de ces maisons.

1. La définition du patio :

Le mot patio signifie littérairement « un espace découvert clos autour duquel sont disposées, et sur lequel s'ouvrent, en général par des portiques, les diverses pièces d'une habitation.» (Source : Dictionnaire Larousse Français, 2015)

Auparavant, le mot patio a été utilisé comme un élément traditionnel en particulier dans la conception des maisons. Récemment, il est considéré comme une stratégie de conception passive pour modérer les conditions climatiques. (Heidari, 2000)

Le patio désigne à la fois le centre et le cœur du logement et de la vie familiale. Puis le patio est devenu l'espace à habiter, le puits de vie, l'espace actif, recueillant et intime. C'est le dedans et le dehors, la liaison entre sol et ciel et le lieu de proportion et d'articulation.

D'un point de vue architectural, ce patio peut se présenter de façon plus ou moins simple : sans arcades au rez-de-chaussée, les murs (ou les murs et portiques élémentaires) délimitant alors cet espace central, ou avec des arcades sur les quatre cotés. La présence de l'arcature donne plus de richesse aux espaces avec une jolie transition entre le dedans et le patio. (Braudel, 2002)

Selon les termes utilisés par Georges Alfred Marçais⁽¹⁰⁾ : « *On est chez soi dans la maison, on est chez soi dans la cour, avec un morceau de ciel qui n'appartient qu'à vous.* ». Ces mots confirment que le patio ne cache rien, et met en valeur l'intimité et se connecte avec le ciel, le spirituel, le cosmos.

Dans de nombreuses régions le patio est un espace architectural important et populaire qui implique de nombreuses activités quotidiennes grâce à ses caractéristiques. En effet, c'est l'endroit sécurisé des loisirs pour les enfants ou les activités féminines en particulier dans les pays du tiers monde. En outre, il peut être utilisé comme un lieu de prière dans les mosquées ou comme un lieu de rassemblement dans les écoles, les hôpitaux, les bâtiments commerciaux et même dans les prisons. Par conséquent, la fonction du patio est l'un des facteurs qui définit sa forme et sa taille (Taleghani et al., 2012)

2. La progression historique des maisons à patio:

Plusieurs dynasties ont marquées la présence du patio, on le trouvait déjà comme un élément centré dans la maison indienne, mésopotamienne, égyptienne, grecque, romaine voire contemporaine, aussi comme une stratégie du rafraîchissement passif dans les zones à climat chaud et aride.

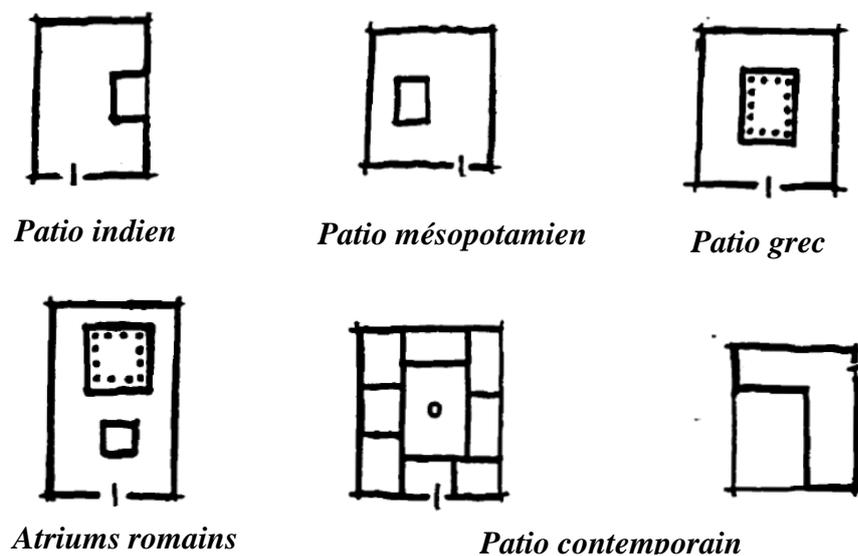


Fig.IV.1. Le patio à travers le temps (Source : Yu, 1999)

⁽¹⁰⁾ Georges Alfred Marçais (1876-1962): un historien et un spécialiste de l'art musulman qui est devenu le premier titulaire de la Chaire d'archéologie musulmane à la faculté des lettres d'Alger et qu'il a occupée pendant plusieurs années. (Golvin, 1972)

2.1. La maison à patio de l'Inde :

Des vestiges historiques ont prouvé que la première apparition des maisons à patio était en Inde environ 6500 à 6000 ans avant notre ère, vu l'existence de l'ancien village de « Mehrgarh ». Ce dernier est situé dans le bassin de Bolan, dans la partie nord-ouest de la plaine de Kachi-Bolan, et se composait d'une dispersion irrégulière de maisons construites en terre. Le plan d'ensemble du village se distingue par l'orientation des rues aux points cardinaux. (Maheswari et Garg, 2001). Actuellement, le site de Mehrgarh représenté sur la figure (Fig.IV.2) est une zone d'une superficie importante d'environ 300 hectares couverte de vestiges archéologiques datant du 8^{ème} au 3^{ème} millénaire avant JC. (Jarrige, 2006)

La plupart des maisons privées avaient des chambres disposées autour d'une cour centrale. Portes et fenêtres s'ouvraient en couloirs secondaires. Des escaliers conduisent jusqu'à la terrasse ou au deuxième étage. (Myneni, 2013)

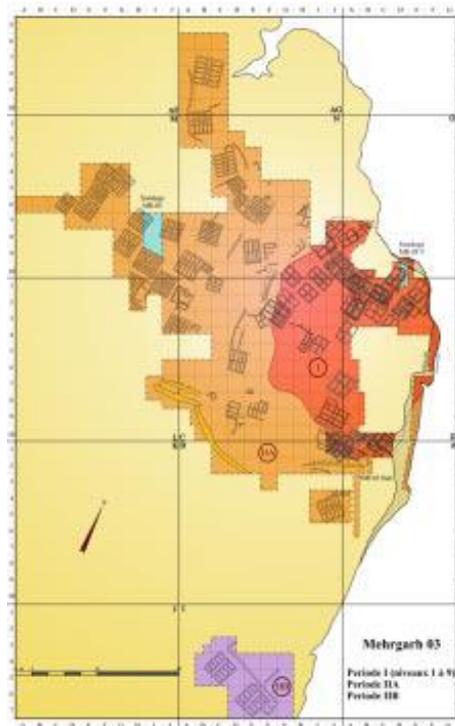


Fig.IV.2. Le site de Mehrgarh (Source : CNRS-MAI, 2006)

L'archéologue John Marshall ⁽¹¹⁾ a pris la responsabilité des fouilles en Inde, et a bien décrit ce type de maison.

⁽¹¹⁾ John Marshall Hubert (1876-1958) l'une des figures reconnues de l'archéologie en Asie du Sud, et le directeur général des enquêtes archéologiques de l'Inde de 1902 à 1928, il a écrit plusieurs ouvrages sur la conservation, l'exploration et les fouilles afin de faire découvrir et reconnaître la civilisation de l'Indus auprès des différents lecteurs et professionnels. (Lahiri, 1997)

Il décrit les maisons indiennes à patio comme suit: "à droite du hall d'entrée un court passage conduit à la cour centrale de la maison, qui était à ciel ouvert afin de permettre le passage de lumière et d'air pour les pièces regroupées dans le même étage et ceux supérieurs. Et là, permettez-moi de dire, entre parenthèses, que le principe du patio ouvert entourée par les chambres était un principe de conception fondamental ..." (Marshall, 1996), et on peut distinguer clairement le rôle organisateur du patio indien, autour duquel toutes les chambres s'organisent (Fig.IV.3).

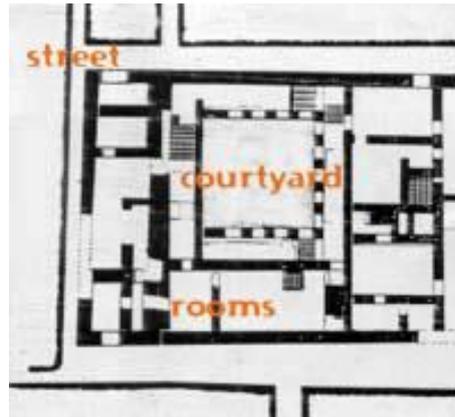


Fig.IV.3. Une maison à patio dans la civilisation de la vallée d'Indus (Source : Mynenie, 2013)

La taille de ces maisons varie selon le besoin de pièce. Les petites maisons ont un seul patio, tandis que les plus grandes en avaient plusieurs. Leurs formes peuvent être allongées suivant un même axe de voirie (Fig.IV.4) ou compactes, en fonction de la région (Schoenauer, 1981a).

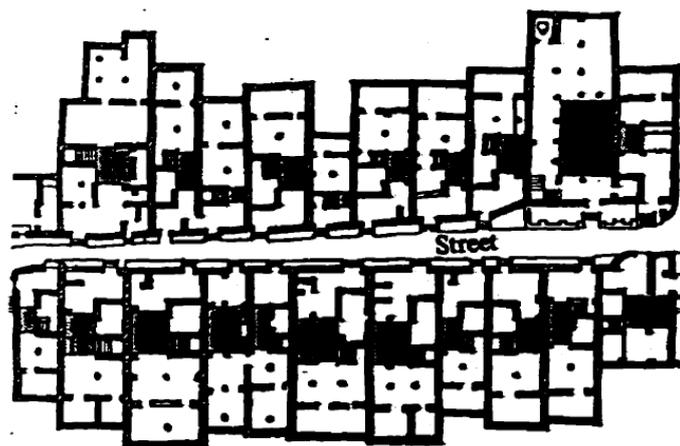


Fig.IV.4. La disposition de plusieurs maisons à patio en Jaisalmer en Inde (Source : Schoenauer, 1981a)

2.2. La maison mésopotamienne :

La ville sumérienne d'Ur ⁽¹²⁾ a été située à proximité des deux rivières de l'Euphrate et du Tigre, à proximité des basses collines près du bord du désert d'Arabie (Schoenauer, 1981a). Le concept de maison à patio de « Ur » a été développé depuis 2400 à 2300 av. JC. Formellement, ces maisons ressemblent à celles du proche orient de nos jours (Bagdad, Syrie... etc).

Selon Mieroop, en 1992, on trouve à l'entrée un petit vestibule mené à la cour centrale, où se déroule la plupart des activités domestiques, le patio facilite donc l'accès envers les différentes pièces de la maison et permet la pénétration de la lumière à travers les portes des chambres qui l'entourent vu l'absence des fenêtres donnant sur l'extérieur.

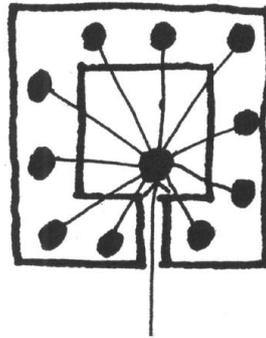


Fig.IV.5. L'accès aux maisons à patio (Source : Rapoport, 2007)

Vu les avantages de ces maisons sur le plan climatique, la typologie de la maison sumérienne sera conservée et développée par l'architecture maure plus tard parce que "son plan est une solution durable pour la vie urbaine. Comme elle est isolée contre l'agitation de la rue, et fortifié contre les ennemis, et protégé contre les intempéries" (Cantacuzino, 1969).

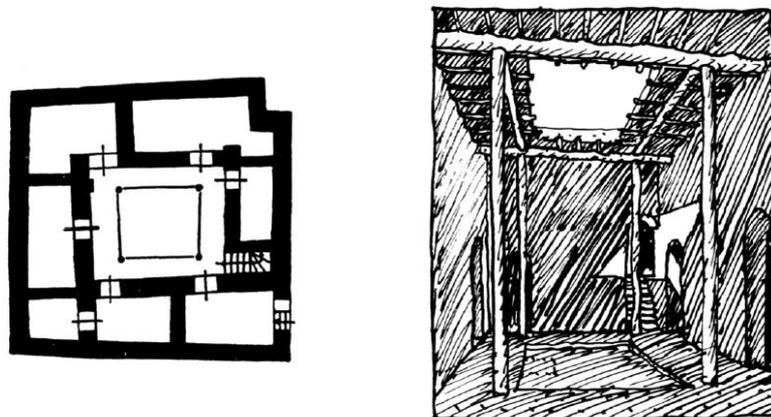


Fig.IV.6. Une maison sumérienne d'Ur (Source : Blaser, 1985)

⁽¹²⁾ Ur : une cité-état sumérienne mésopotamienne du III^{ème} millénaire avant JC.

2.3. La maison à patio grecque :

Les maisons grecques se divisent en deux grandes catégories, soit à prostates ou à péristyle.

2.3.1. Les maisons à prostates :

Vitruve nomme « parastas » ou « prostates », cette partie de la maison grecque fermée sur les 3 côtés et donne sur la première cour péristyle, c'est une sorte de vestibule. (Gail, 1823)

Selon l'investigation de Cahill en 2002, la maison à prostates se compose d'un porche en retrait (prostates) qui mène envers les autres pièces tel que l'andron (une salle de réception), elle est souvent organisée autour d'une cour qui se situe généralement dans la partie Sud de la maison, tandis que la partie nord est réservée pour des chambres (Fig.IV.7).

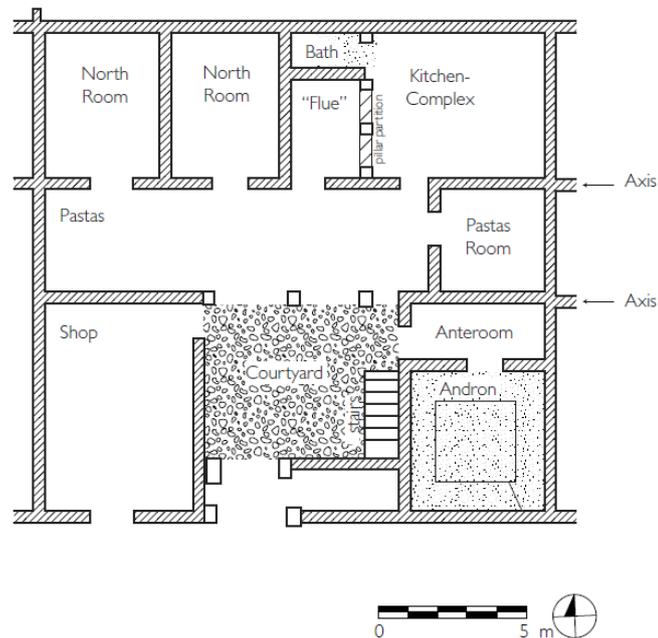


Fig.IV.7. Un plan d'une maison à prostates à Olynthe⁽¹³⁾ (Source : Cahill, 2002)

2.3.2. Les maisons à péristyle :

On peut considérer ce type de maison, selon Aberle, 2012, comme une innovation du deuxième siècle avant JC, tout comme les maisons à prostates, les maisons grecques à péristyle sont aussi conçues à l'aide des axes qui font les limites des pièces intérieures tel que les grandes chambres décorées et les salles à manger avec des rebords soulevés pour manger. Généralement ces maisons sont souvent organisées autour de deux cours centrales entouré par des colonnes (Fig.IV.8).

⁽¹³⁾ Olynthe : Une ancienne ville du nord-est de la Grèce.

Les caractéristiques de ces maisons comprennent des cours carrées entourées par une colonnade de pierre, de grandes chambres bien décorées, et des salles à manger, souvent avec des rebords soulevés pour manger.

Les murs de ces maisons sont construits en brique tandis que la couverture du toit est en tuile, et les colonnes et les éléments qui supportent le toit sont généralement en pierre ou en bois (Schoenauer, 1981b).

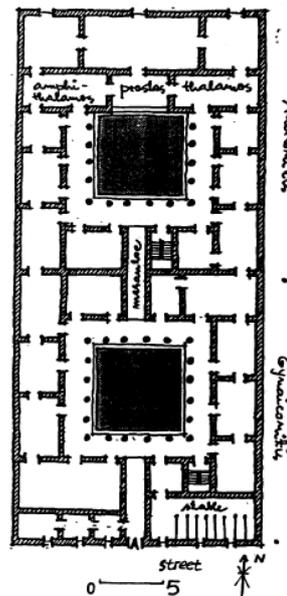


Fig.IV.8. Un plan d'une maison grec à deux cours péristyle (Source : Schoenauer, 1981b)

Parfois le second patio se présente comme une petite cour intérieure qui ne contient pas de colonnade qui l'entoure comme représenté sur la figure (Fig.IV.9).

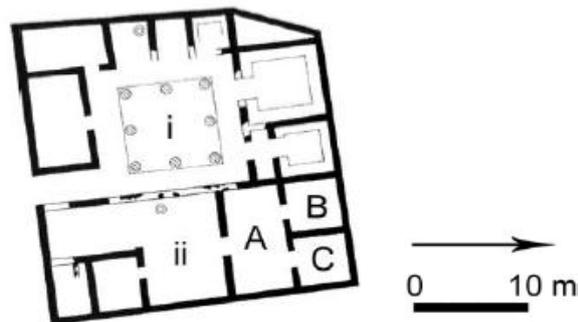


Fig.IV.9. une maison à péristyle à Eretria⁽¹⁴⁾ (Source: Nevett, 1999)

⁽¹⁴⁾ Eretria : Une ancienne ville de la Grèce sur la côte sud de l'Eubée.

2.4. La Domus romaine :

Domus est un terme d'une étymologie indo-européenne (Dom-) désignait la famille sur deux générations et tire son origine de la racine: dem-, construire. C'est donc la maison familiale romaine, et elle se caractérise par un plan axial et par la symétrie de ses salles regroupées autour d'un espace central (cour) et occupé par des salles de dimensions similaires.

Selon une étude établie par Alberti en 2009, sur les différentes domus romaines en France, il a distingué que les domus romaines possèdent généralement un dispositif d'entrée (couloir), et souvent une cour à péristyle et des pièces d'apparat (de réception) comme le montre la figure (Fig.IV.10).

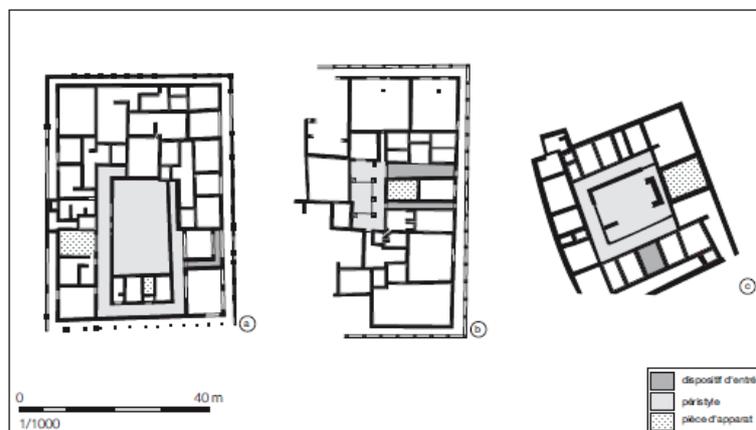


Fig.IV.10. Localisation des dispositifs d'entrée et des péristyles et des pièces d'apparat dans quelques Domus (a :August, insula 30; b :August, insulat 23; c:Metz, domus de l'Arsenal) (Source : Alberti 2009)

Ces maisons ont une hauteur d'un seul étage, et leurs façades sont assez simples et se composent de petites fenêtres ouvertes sur les rues secondaires étroites. Leurs planchers sont richement ornés de mosaïque et de marbre, et leurs murs sont décorés de fresques avec des plafonds souvent dorés (Schoenauer, 1981b). On peut distinguer deux types de domus romaines, celles à atrium et d'autres à péristyle (Fig.IV.11).

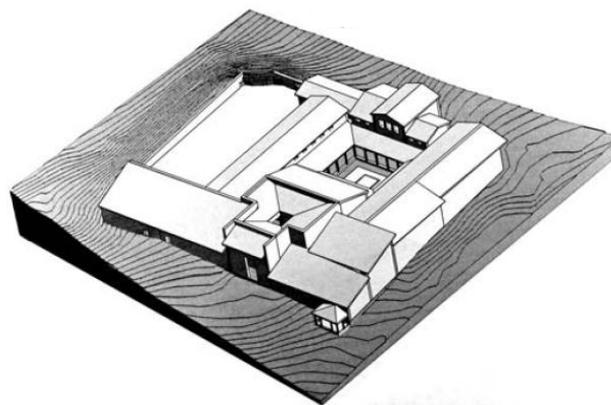


Fig.IV.11. Une maison à péristyle : la maison PC 1 de Bibracte (Mont Beuvray), France (Source : Paunier et Luginbühl, 2004)

2.4.1. Les maisons romaines à atrium :

Dans l'architecture romaine classique l'atrium désigne l'espace central d'une maison privée dite « domus ».

L'utilisation la plus répandue du mot latin atrium dans l'antiquité a effectivement été relié à l'architecture domestique (privé), ainsi pour l'architecture romaine publique et spécialement celle sacrée. Comme il pourrait désigner aussi un palais entier, complexe de temples ou des bâtiments utilisés pour les entreprises telles que les enchères.

A la fin de l'antiquité, l'historien romain Ammien Marcellin ⁽¹⁵⁾ a utilisé le mot atrium plusieurs fois pour indiquer une place monumentale ou la cour, en particulier avec une statue centrale ou bordée de colonnes.

La plupart des maisons romaines à atrium étaient à ciel ouvert au centre, où l'impluvium (le bassin d'eau) pourrait recueillir l'eau de pluie. Certains types avaient des colonnes afin de soutenir les toits. (Blauuw, 2011)

Certaines maisons à atrium, dit Alberti, se caractérisent par la présence d'un péristyle (Fig.IV.12), mais gardent toujours la même disposition intérieure des espaces avec l'axialité du plan, donc une partie de cette demeure s'organise autour d'un atrium tétrastyle (un atrium à quatre colonnes en front), tandis que la deuxième partie s'organise autour d'un péristyle qui distribue vers les pièces arrière par une salle interprétée comme un tablinum ⁽¹⁶⁾.

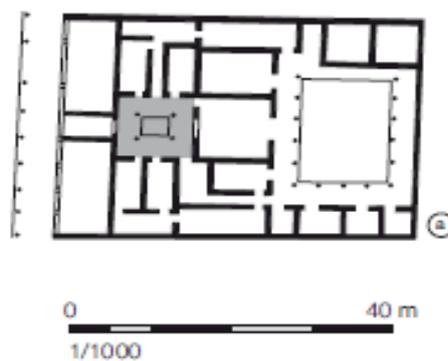


Fig.IV.12. Une domus à atrium (source: Alberti 2009)

⁽¹⁵⁾ Historien latin, d'origine grec, né à Antioche (en Syrie) dans la première moitié du IV^e siècle, environ 330 jusqu'au 400 après JC. (Encyclopédia Universalis)

⁽¹⁶⁾ Tablinum : mot latin qui signifie la salle qui séparait le péristyle de l'atrium dans une maison romaine (Dictionnaire Larousse Français)

2.4.2. Les maisons romaines à péristyle :

Le péristyle est l'un des aménagements indispensables et récurrents propre aux « domus ». Ces cours avec les séries de colonnades qui les entourent occupent une très grande surface dans la maison romaine et sont souvent richement décorés (Alberti, 2009). D'après l'article de Vipard, en 2007, la qualité de réalisation de chaque péristyle semble avoir été très variable selon les régions et les capacités financières des propriétaires. Le péristyle peut avoir plusieurs formes :

2.4.2.1. Le péristyle quadriportique :

C'est un péristyle entouré dans ces quatre faces par une série de colonne. Ce type se situe généralement à l'arrière des pièces de façade dans les maisons qui possèdent un plan linéaire, dans le cas des maisons à plan centré ces péristyles sont placés au centre comme le montre la figure IV.13 qui représente la restitution en 3D d'une maison fresque à Tipasa en Algérie. (Alberti, 2009)



Fig.IV.13. La cour à péristyle de la maison fresque à Tipasa, Algérie
(Source : Chayani ,2009)

2.4.2.2. Les péristyles à deux et trois ailes :

C'est quand les domus possèdent des péristyles dont les galeries sont en forme de U ou bien disposées de part et d'autre du patio en forme de L. La figure IV.14 illustre des exemples concrets de concept des péristyles à deux et à trois ailes.

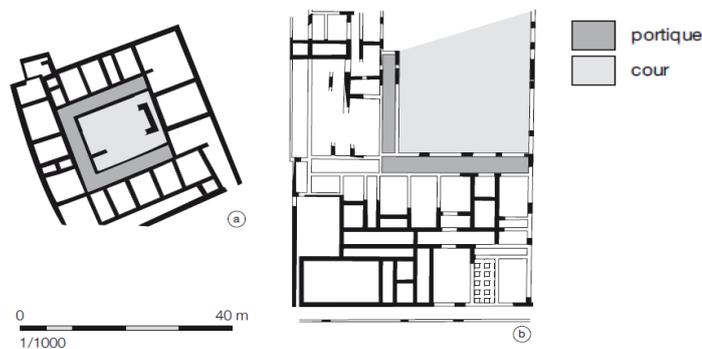


Fig.IV.14. Les péristyle à deux et à trois ailes ; a : Metz, domus de l'arsenal : péristyle en U ; b :Avenches, domus 12 Est : péristyle en L (Source : Alberti, 2009)

Les péristyles en L sont souvent utilisés pour entourer des espaces larges aménagés en verdure et destinés pour la détente, comme le montre la figure IV.15.

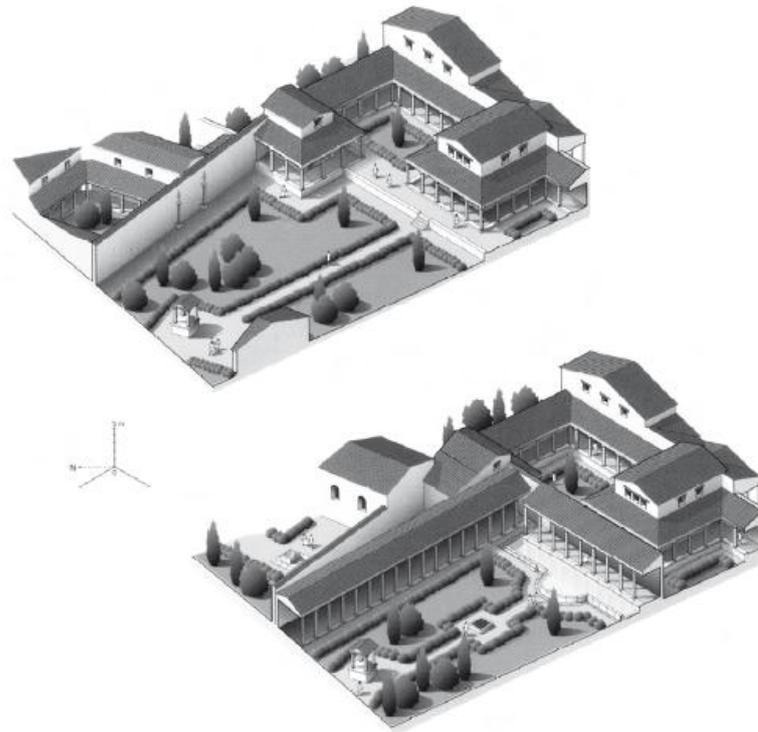


Fig.IV.15. Restitution des maisons avec un péristyle en L, Besançon, France (Source : De Vestonio, 2006)

2.4.2.3. Le péristyle d'une seule galerie :

C'est un type de péristyle d'invention romaine bordé par un seul portique dans un seul côté de la cour comme le montre la figure (Fig.IV.16) tant dis que les autres cotés sont des simples murs. (Alberti 2009)

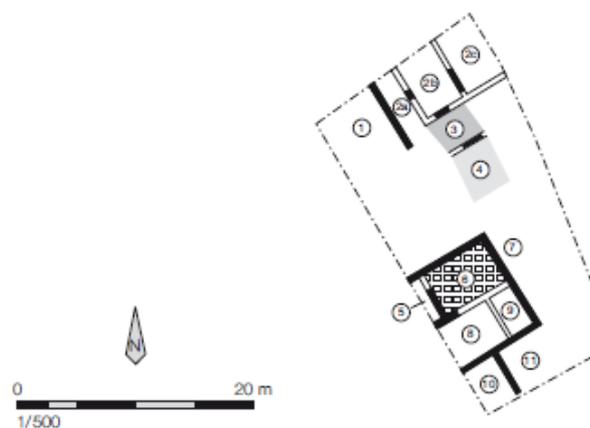


Fig.IV.16. Maison à la Rosace, Reims, France (Source : Sindonino, 2005)

2.4.3. Les aménagements liés à l'eau :

Plusieurs maisons ont livré des traces de bassin, qui sont situés, parfois dans des jardins ou dans les cours secondaires, mais généralement les bassins d'eau sont dans le péristyle même. (Alberti 2009)

Dessales a mentionné dans son article en 2003 que la présence de l'eau, paraît être une caractéristique essentielle des maisons à péristyle et sans doute un élément de différenciation entre elles. Les manifestations les plus élaborées sont constituées par la présence de fontaines et de bassins divers.

Une étude typologique des divers bassins connus est limitée par les incertitudes de leur datation et la multiplicité de leurs formes ou de leurs emplacements : bassins quadrangulaires, circulaires ou polylobés, centraux, décentrés ou accolés à l'un des portiques. (Desbat, 1991)

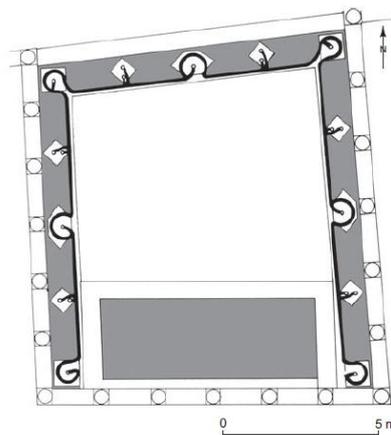


Fig.IV.17. Bassin en U avec jets d'eau (en plomb) et bassin rectangulaire accolé au côté sud d'un des péristyles de la Maison au Vestibule à Colonnes à Saint-Romain-en-Gal (Rhône), vers 70 apr. J.-C. (Source : Desbat et al., 1994, fig. 134, p. 164).

Tous ces bassins et fontaines, dotés de jets d'eau, ne se conçoivent pas sans adduction sous pression. Il en existe quelques cas anciens leur développement est intimement lié aux programmes hydrauliques étatique. (Vipard, 2007)

2.5. La maison islamique à patio:

Le patio islamique prend ses racines d'après les anciennes maisons mésopotamiennes (Schoenauer, 1981a)

Dans cette partie on va prendre deux exemples de maisons, celles de Bagdad et celles de Cordoue car elles reflètent les principes de la maison islamique à patio par excellence.

2.5.1. La maison de Bagdad :

La maison de Bagdad retient toujours les caractéristiques de l'architecture islamique médiévale qui a une forme régulière carré ou rectangulaire avec un espace centré ouvert créée par des arcades et des galeries (Fig.IV.18) et des façades lisses ornées de pierre, de marbre, et de mosaïque. (Blaser, 1985)

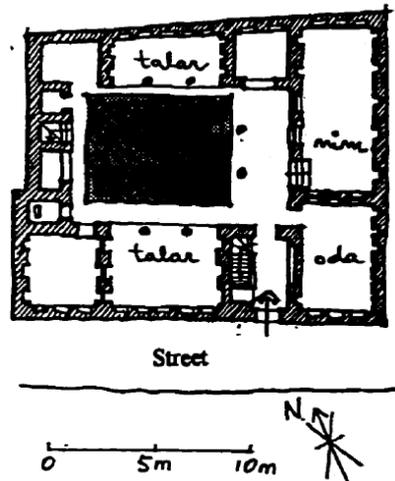


Fig.IV.18. Plan RDC d'une maison à patio à Baghdâd (Source : Schoenauer, 1981a)

La forme de ces maisons à patio est fortement influencée par la religion islamique et ses spécificités, notamment l'orientation vers le sens de la Qibla (la direction de la Mecque) (Mazumdar, 1997). Cette conception dans le climat chaud et aride de l'Iraq crée un micro climat à l'intérieur et améliore le confort thermique grâce à cette compacité des maisons qui réduit l'exposition au soleil et la présence du patio qui peut créer un effet de refroidissement.

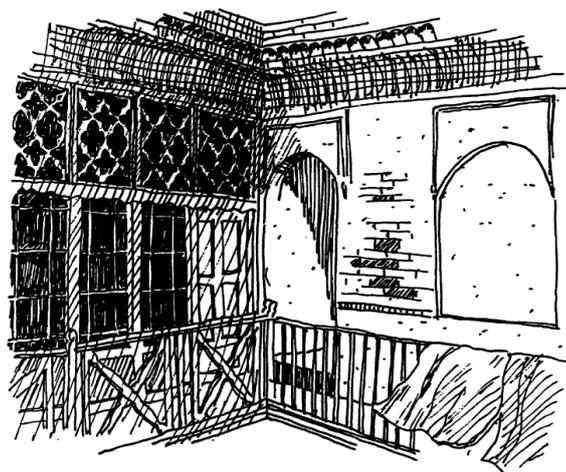


Fig.IV.19. Sketch intérieur d'un patio à Bagdad (Source : Schoenauer, 1981a)

2.5.2. La maison de Cordoue :

Cordoue est une ville espagnole et la capitale de la dynastie omeyyade et de l'art hispano-mauresque, du 8^{ème} au 11^{ème} siècle, c'est à Cordoue que cet art de l'Espagne musulmane avait reçu toutes les influences dont il s'était formé et c'est là où il avait produit ses œuvres et réalisations maitresses (Terrasse, 1932). Comme il a été établi par Reynolds et Lowry en 1996, Ces maisons représentent la culture maure, elles ont une cour de forme carré ou rectangulaire enfermée par des murs ou des bâtiments voisins. (Fig.IV.20)

Le patio a pour fonctions de circuler, jouer, manger, cuisiner, sécher le linge et même dormir la nuit, et parfois aménagé de tables et de chaises comme étant une terrasse extérieur.

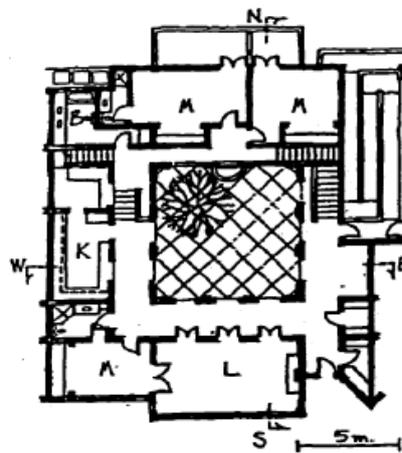


Fig.IV.20. Plan RDC d'une maison à patio de Cordoue (Source : Reynold et Lowry, 1996)

Dans le climat méditerranéen chaud du Cordoue, le patio permet de rafraichir les chambres qui l'entourent grâce à la présence des dispositifs d'eau ou de végétation et aussi à la peinture blanche des murs qui reflètent la moitié des radiations solaires. (Reynolds et Lowry, 1996)

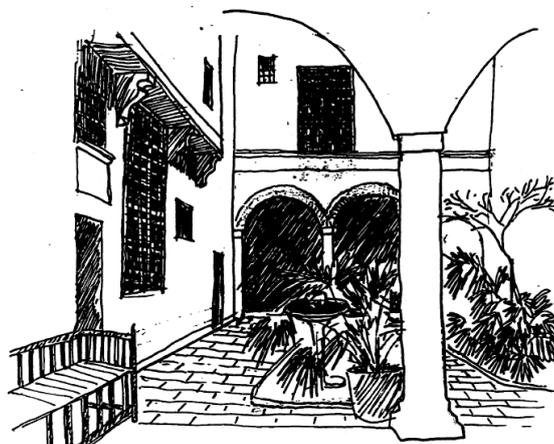


Fig.IV.21. Le patio de Cordoue avec la végétation (Source : Schoenauer, 1981a)

2.6. Le patio dans le Sahara algérien :

2.6.1. La maison mozabite :

Le M'zab est une région située à 600Km au sud d'Alger, sur un plateau rocheux, cette région se caractérise par un climat typiquement Saharien, avec deux saisons : une saison chaude et sèche (Avril à Septembre) et une autre tempérée (Octobre à Mars) avec un écart élevé entre les températures de l'été et celles de l'hiver. On enregistre une moyenne annuelle de 25°C, avec une évaporation de l'ordre de 2000 mm. (Bensaha *et al.*, 2008)

La température ambiante intérieure y dépasse rarement les 30°C en été, dans une ambiance extérieure supérieure à 40°C, et ne descend pas en dessous de 15°C la nuit en plein hiver.

La maison mozabite est construite à partir de briques d'argile crue séchées au soleil, sur une base carrée ou légèrement rectangulaire, et sans aucune isolation, aucun chauffage, aucune climatisation. Juste du savoir-faire. (Dutreix, 2010)

Ces maisons ont généralement une hauteur d'un seul étage, avec des façades largement aveugles ou avec des petites fenêtres basses, parfois masquées par des balcons de bois et une porte massive en bois de palmier qui mène vers le patio à travers un couloir en chicane (Skiffa en arabe, Taskift en berbère), parfois la taskift donne directement sur un petit salon réservé aux hommes et à l'accueil des étrangers masculins, ou bien sur un escalier qui conduit à ce même salon, mais situé à l'étage (Fig.IV.22) (Bousquet, 1986)

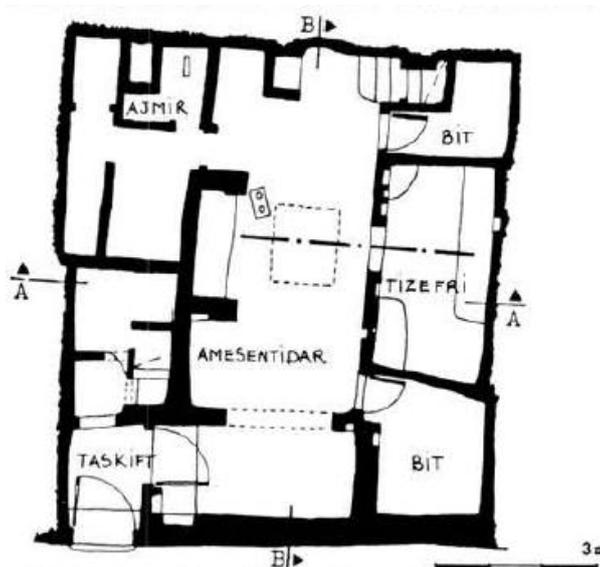


Fig.IV.22. Plan RDC d'une maison mozabite (Source : Bousquet, 1986)

Ce patio est aussi connu par « l'Ouestdar en arabe, Amenstidar en berbère » ce qui signifie le centre de maison, c'est bien le cœur de la maison ou, le point de convergence et l'espace autour duquel les autres pièces sont organisées. Le toit du patio comme illustré dans la figure IV.23, est couvert par un « Chebek en arabe, Tigharghart » (une couverture)

qui a pour rôle de filtrer la lumière pénétrante avec parcimonie, et de rafraîchir les autres espaces intérieurs, ainsi qu'à la fumée de s'échapper. (Dutreix, 2010)

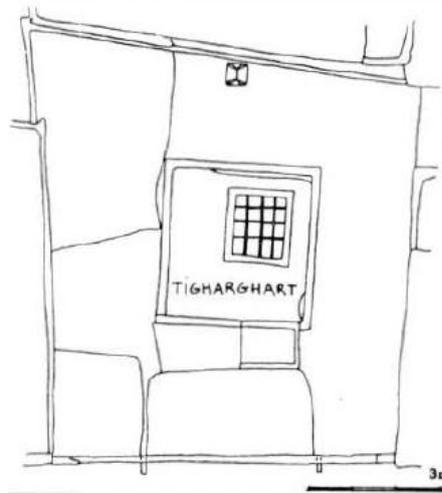


Fig.IV.23. Plan terrasse avec « Chebek » (Source : Bousquet, 1986)

Ces constructions donc respirent principalement par un patio intérieur protégé du soleil et par des petits puits de lumière permettant un flux d'air généré par tirage thermique.

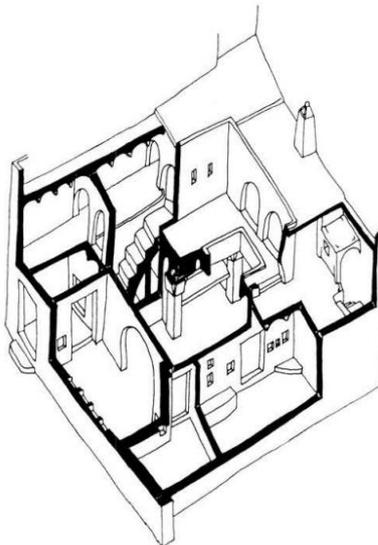


Fig.IV.24. Vue axonométrique d'une maison mozabite (Source : Bousquet, 1986)

A propos du fonctionnement diurne et nocturne du patio, Dutreix a écrit : « *En journée, l'air frais se trouve piégé dans la construction et s'y maintient. L'air progressivement réchauffé à l'intérieur des habitations s'élève lentement, assurant son lent renouvellement. La nuit, la température extérieure chutant fortement, le tirage naturel s'amplifie et recharge la masse des murs en fraîcheur nocturne.* »

2.6.1.1. Les particularités de la maison mozabite :

La maison mozabite et grâce à un savoir-faire ancestral se caractérise par :

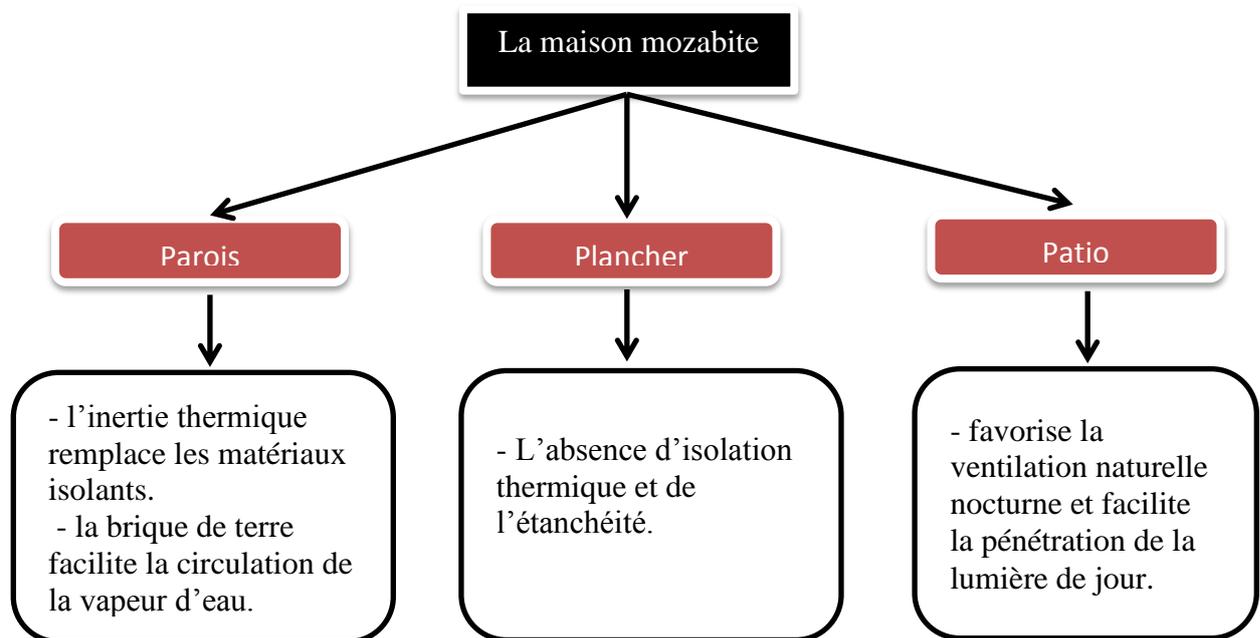


Fig.IV.25. Les caractéristiques des éléments qui constituent la maison Mozabite (Source : Auteur, d'après Dutreix, 2010)

2.6.1.2. L'eau dans la maison mozabite :

En été, les habitants du M'Zab disposent des jarres d'eau poreuses devant les directions dominantes d'air froid, cet eau s'évapore et refroidit l'air ambiant à l'intérieur des demeures. Le sol et les parois épaisses en terre crue absorbent cette humidité générée par l'eau et la stockent de façon qu'elle sera à nouveau rediffusée durant la nuit et via la ventilation nocturne qui permettra de l'évacuer par convection naturelle. L'ensoleillement extérieur condensé pendant la journée par les murs permet à l'eau en surplus de s'évaporer de nouveau ; limitant la surchauffe des murs. (Dutreix, 2010)

2.6.2. La maison à patio à Biskra :

Un autre exemple pertinent des maisons à patio que nous allons aborder dans ce mémoire; celui de la ville de Biskra, cette ville qui se caractérise par un tissu urbain qui résume la succession chronologique de trois étapes historiques distinctes, et la présence du patio semble être indispensable dans chacune de ces périodes.

2.6.2.1. La période précoloniale :

C'est la période du fondement du premier tissu urbain traditionnel de Biskra, ou ce qu'on appelle « L'ancien noyau de la ville », qui assure un bon confort climatique par l'emploi

de matériaux de construction locaux (terre) et des emblèmes culturels locaux qui représentent les habitants de la région et qui sont utilisés pour décorer les bâtiments.

Un certain savoir-faire a menait vers la création d'un micro climat via la présence de l'eau et la palmeraie, voire l'utilisation des rues hiérarchisés dont celles principales sont orientés est-ouest et d'autres ruelles étroites avec des passages couverts menant à des groupements urbains denses de maison à patio qui sont généralement développés sur un ou deux étages avec une terrasse réservée aux activités féminines et une zone plus utilisée pour dormir pendant les nuits d'été (Arrouf, 2006). Ce type de planification qui se base sur la hiérarchie spatiale, la compacité, la proximité, la centralité et la linéarité, présente l'un des modèles de ce que les établissements humains peuvent réaliser en utilisant des maisons à patio dans les zones arides.

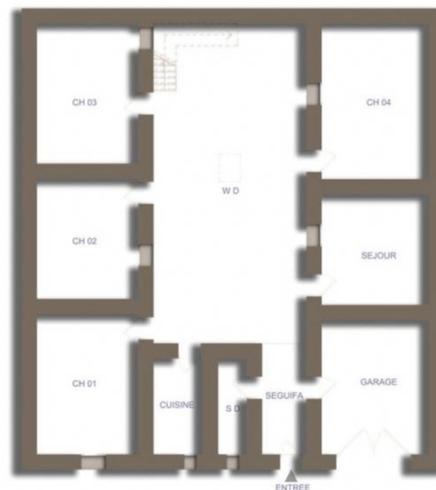


Fig.IV.26. Plan d'une maison à patio durant la période précoloniale à hai (quartier) -El-Msid, Biskra
(Source : Auteur)

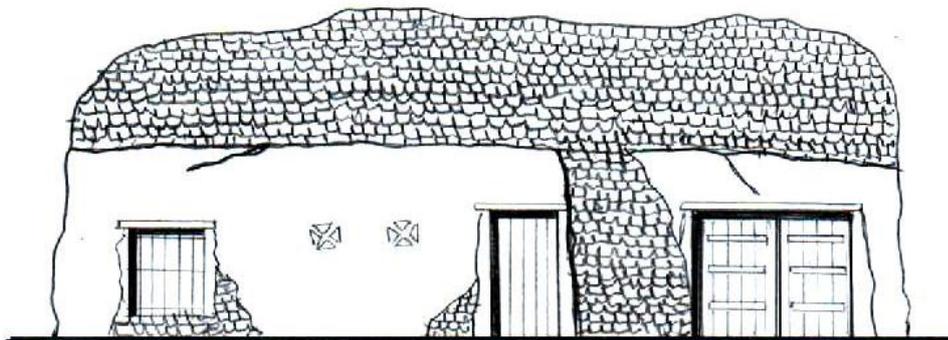


Fig.IV.27. La façade principale d'une maison à patio durant la période précoloniale à hai (quartier) -El-Msid, Biskra (Source : Auteur)

2.6.2.2. La période coloniale :

Durant cette période, les maisons à patio ont deux critères importants ; la compacité et le matériau de construction utilisé assurent une ambiance intérieure agréable tout au long de la période estivale voire l'utilisation de l'eau et de la végétation qui portent plus de fraîcheur et d'ombre à ces habitations.

« Le damier colonial de Biskra possède un caractère compact, les cours intérieures des îlots jouent un rôle dans la régulation thermique en été, l'ensemble de ces maisons à patios sont construites en terre. » (Côte, 2005)

La différence entre le patio traditionnel et le patio colonial ne réside pas dans l'aspect climatique mais plutôt dans l'usage social de cet espace ; le patio français n'est pas un endroit pour les activités domestiques ou la vie sociale, mais plutôt un espace pour accueillir les invités pour la consommation du café et profiter de l'air fraîche du jardin parfumé. (Arrouf, 2006)

2.6.2.3. La période post coloniale :

Cette période est aussi connue par l'auto construction ; c'est-à-dire des maisons gérées et construites par les habitants eux-mêmes sans l'aide des architectes et des planificateurs, et basées sur le système français des parcelles appelées lotissements.

Ces maisons ont généralement une hauteur de deux étages ou plus avec des formes géométriques régulières, des toits horizontaux et elles se caractérisent par leurs introverties vue la présence d'une cour intérieure centrale autour duquel les autres pièces s'organisent et parfois percé par une ouverture zénithal du toit appelée « Rozna », voire l'introduction des nouveaux éléments architectoniques tels que les balcons et les vérandas.

Cet espace central est réservé pour les réunions de famille, les jeux d'enfants et une variété d'activités domestiques telles que la préparation des aliments. (Arrouf, 2006)

3. la dimension socio-culturelle :

Comme c'est déjà mentionné par définition le patio est donc le cœur de la maison, et le centre des activités sociales dans certaines cultures, et il représente juste une image mentale d'un petit jardin parfumé et d'un endroit de détente dans d'autres cultures occidentales.

La religion, les traditions, les habitudes et les comportements donnent à l'architecture son caractère et son propre identité et ces derniers ont toujours contribué à façonner le patio à travers le temps et dans divers régions. Cette dimension prend l'intimité comme un facteur clé commun et nécessaire pour la plupart des sociétés.

3.1. L'intimité :

Le besoin d'intimité est un critère commun et demandé dans plusieurs cultures dans le monde, orientales comme occidentales.

« Une maison de verre pourrait être conçue pour satisfaire nos besoins à un abri physique, mais il y a très peu de gens qui se sentent à l'abri dans l'une de ces maisons; l'abri doit satisfaire le besoin physiologique de protection, le sentiment d'être entouré par une matière solide. » (Gottlieb, 1965, p. 155)

La religion islamique tache de réserver l'intimité de la famille et surtout de la femme et cela dans plusieurs versets du livre sain : le Coran et aussi dans plusieurs hadiths, la maison islamique devra faire la distinction entre l'espace domestique de la famille qui sera privé et rassurant et l'espace extérieur public qui sera complètement ouvert. (Bahammam, 2005)

« Ô Prophète! Dis à tes épouses, à tes filles, et aux femmes des croyants, de ramener sur elles leurs grands voiles: elles en seront plus vite reconnues et éviteront d'être offensées. Allah est Pardonneur et Miséricordieux. ». (59) Sourate al-Ahzab. (Les Coalisés)

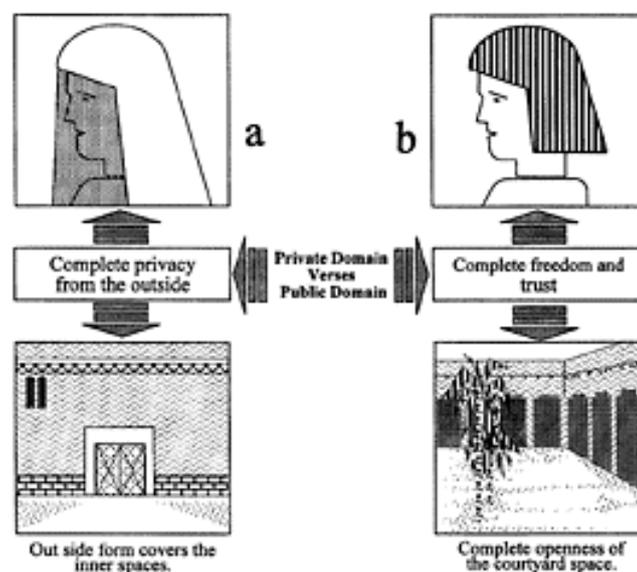


Fig.IV.28. La maison à patio reflète l'intimité telle que le voile d'une femme musulmane
(Source: Bahammam, 2005)

Pour mieux assurer la notion de l'intimité et l'introversion des espaces, le patio est souvent placé au centre des habitations, c'est le point focal autour duquel toutes les pièces de la maison s'organisent et toutes les activités sociales se déroulent. (Bahammam, 2005)

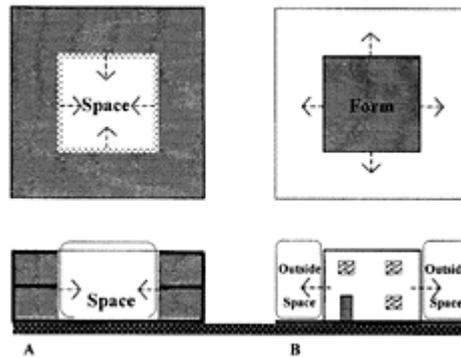


Fig.IV.29. Conception d'une maison à patio (A) et une maison occidentale (B)
(Source: Bahammam, 2005)

L'architecte Hassan Fathy⁽¹⁷⁾ a aussi réclaté la notion de l'intimité dans les maisons à patio en disant :

« Pourtant, à un arabe en particulier, le patio n'est pas seulement un dispositif architectural pour l'obtention de la vie privée et de la protection. Il est, comme le dôme, une partie d'un microcosme qui est parallèle à l'ordre de l'univers lui-même. »

Cela veut dire que le patio a une importance primordiale non seulement d'intimité mais il est aussi considéré comme un élément crucial dans la spatialité d'une maison tout comme le dôme qui représente métaphoriquement le globe céleste.

4. la dimension bioclimatique des patios :

4.1. Confort thermique :

Un des avantages majeurs du patio, pendant les saisons froides, le patio fait augmenter les gains de chaleur solaire directe dans les chambres qui ont une surface vitrée. Sa performance en été est différente, il peut être un protecteur solaire en plantant des arbres à feuilles caduques dans la cour. En outre, la ventilation naturelle pendant les saisons chaudes se fait par ce patio, particulièrement dans les climats chauds. Pendant la journée, l'air dans le patio devient plus chaud et remonte et s'évacue à travers les ouvertures. Par conséquent, il permet une bonne circulation de l'air à l'intérieur du bâtiment adjacent.

Pendant la nuit le processus est inversé, l'air frais ambiant circule dans le patio et entre dans les espaces internes à travers les ouvertures du rez-de-chaussée. Cela provoque des flux d'air dans les chambres et l'air refroidi devient chaude, puis il remonte et s'évacue à travers les ouvertures des chambres à l'étage. (El-Deeb et al., 2012)

⁽¹⁷⁾ Hassan Fathy (1900-1989, en arabe: حسن فتحي) était un architecte égyptien noté pionnier de la technologie appropriée pour la construction en Egypte, en particulier en travaillant à rétablir l'utilisation de briques de terre (ou adobe), il a été reconnu par le Prix Aga Khan (le Prix du Président de l'Architecture en 1980)

En termes de ventilation, Bahbudi et *al.* (2010) soulignent qu'un patio peut être plus efficace pour le refroidissement naturel via évaporation à l'aide de la végétation et des fontaines d'eau.

Le patio peut être entouré par des murs, ce que permet de réduire la température de la surface du sol, donc on peut utiliser le patio pendant la journée.

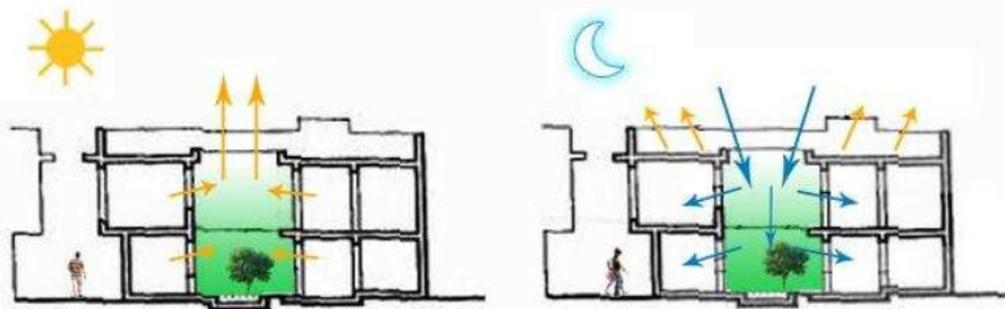


Fig.IV.30. L'effet du patio sur la ventilation diurne et nocturne (Source : Qadir Ahmed, 2013)

4.2. Lumière et ombrage :

Dans des climats divers, le patio est peut être utilisé comme une source d'éclairage le matin, spécialement pour les pièces profondes des maisons. Et pendant l'hiver il sert à protéger le bâtiment des conditions météorologiques tels que les vents (Upadhyay, 2008)

Un patio profond avec n'importe quelle forme géométrique est recommandé pour atteindre un maximum de surfaces ombragées internes durant la période estivale, par contre en hiver, une forme peu profonde semble être avantageuse pour obtenir des zones plus ensoleillées et éclairés. (Muhaisen & Gadi, 2006).

Arjmandi et *al.*, 2010 considèrent que la présence d'un bassin d'eau dans un patio est très importante pour la réflexion de lumière, parce que l'eau est un élément transparent qui joue un rôle important dans la réflexion de la lumière envers les différentes parties de la maison.

4.3. Performance énergétique :

Une étude établie par Safarzadeh et Bahadori (2005) sur la performance énergétique des bâtiments à patio dans des conditions climatiques différentes a montré qu'une meilleure performance a été obtenue aussi bien dans des climats chauds et secs et des climats chauds et humides plutôt que dans ceux froids et tempérés.

L'effet passif d'un patio avec des plantes et un bassin d'eau sur l'énergie consommée pour le chauffage et le refroidissement a été étudié. Il a été constaté que la caractéristique passive seule ne pouvait pas maintenir le confort pendant les périodes chaudes de l'été, et que des effets analogues pourraient être obtenus grâce à des composants d'enveloppe tels que l'isolation thermique et le double vitrage. (Muhaisen, 2006)

Une étude réalisée par El-Deeb et co-auteurs en 2012, cependant, a montré que dans un environnement désertique, la performance énergétique de deux étages d'immeubles résidentiels à patio s'est avéré moins efficace que d'autres formes solides, même lorsqu'il est attaché aux bâtiments voisins de trois côtés dans un tissu urbain compact (El-Deeb et al. 2012)

4.4. Effet acoustique:

Afin de déterminer l'effet acoustique des maisons à patio, une étude expérimentale a été établie et a montré qu'une maison à patio peut être située près des sources de bruit pour obtenir l'atténuation maximale possible, comme on peut considérer ce type comme un bouclier de bruit pour les autres formes d'habitation.

La profondeur du patio devrait être maintenue à un minimum pour obtenir une atténuation maximale des niveaux de bruit sur les parois du patio, mais la détermination d'une profondeur optimale dépend aussi d'autres facteurs, tels que l'éclairage naturel et l'écoulement des vents et la fonction des espaces voire l'utilisation des bon matériaux absorbants pour le sol et les surfaces environnantes. (Ettouney & Fricke, 1972)

Le tableau suivant démontre quelques objectifs à suivre pour la conception d'une maison à patio suivant les indicateurs et les sous indicateurs distingué d'après la dimension bioclimatique :

Tab.IV.1. Les objectifs du design bioclimatique d'un patio dans un climat chaud et sec (Source: Auteur) :

Dimension	Indicateurs	Sous indicateurs	Objectifs du design
Bioclimatique	Confort thermique	-Température -Vitesse de l'air -Humidité	- Il faut orienter le patio dans la direction des vents froids dominante pour favoriser le rafraichissement.
	Lumière et ombrage	Eclairage	- Une solution pour éclairer les espaces profonds
		Ombre	- Le patio profond est favorable en été et le moins profond est plus efficace en hiver.
	Performance énergétique	/	- Une meilleure performance dans un climat chaud et sec. - Une maison à patio situé dans un tissu urbain dense et compact est plus recommandée.
	Effet acoustique	/	- Le patio le moins profond est celui le plus favorable.

5. La typologie des maisons à patio :

En 2006, Petruccioli a distingué plusieurs typologies des maisons à patio selon les fonctions et les exigences humaines, et il les a regroupées en quatre grandes familles selon : une typologie avec un seul étage (RDC), une deuxième avec plusieurs étages, une troisième avec une occupation multiples (les balcons intérieurs), et une dernière typologie avec des modules additionnels au plan

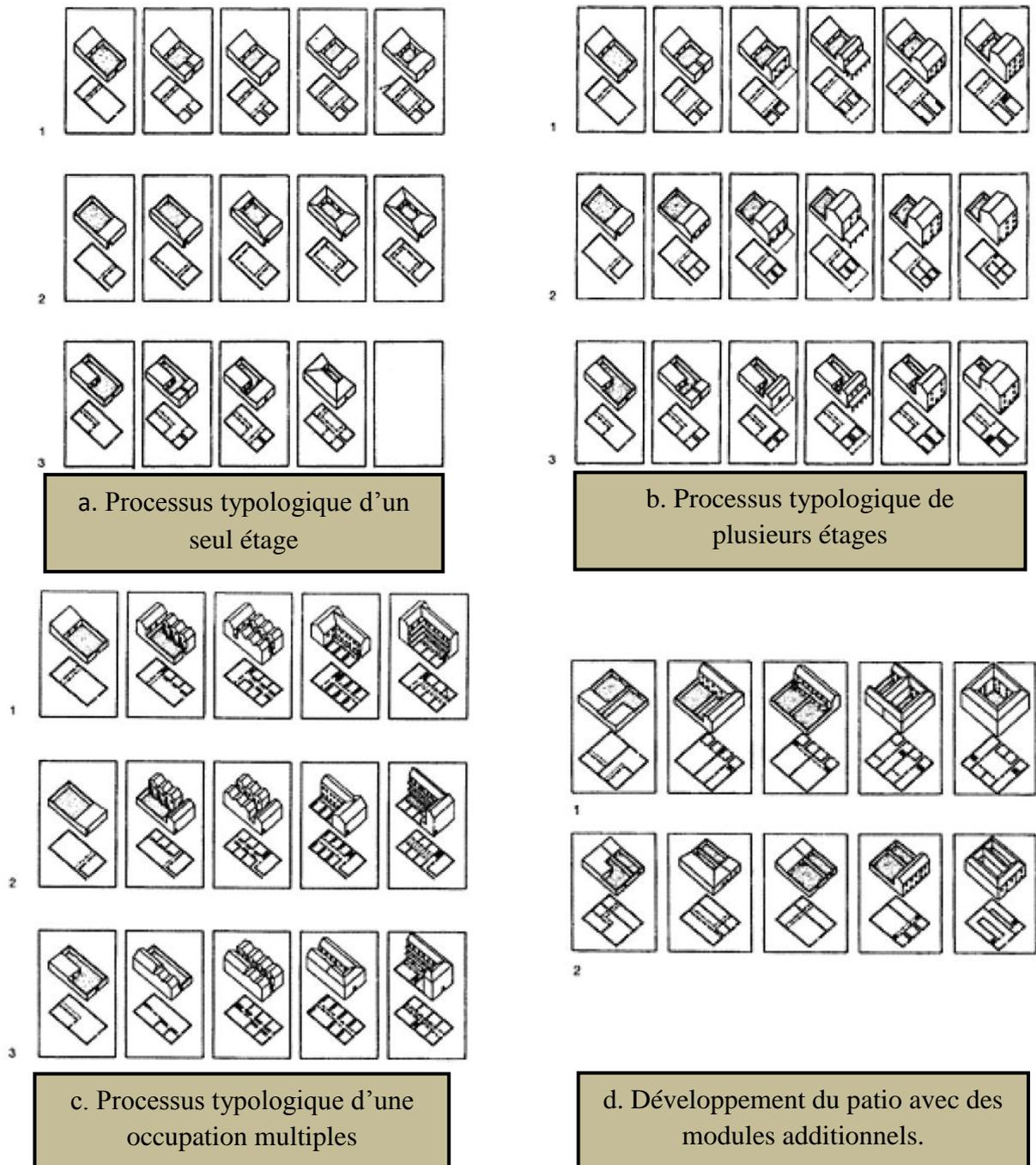


Fig.IV.31. Processus typologiques d'une maison à patio (Source : Petruccioli, 2006)

Pfeifer et Brauneck (2008) ont fixé six types de maisons à patio dont les deux derniers sont des formes de base ; la première est une maison à patio basique avec un espace ouvert au centre, et la deuxième est une maison à atrium couvert, et pour les quatre typologies distinguées ils les définissent comme suite :

1. La maison jardin à patio :

Ce type de maison est entouré par une enceinte extérieure pour préserver plus d'intimité à l'espace ouvert (le patio), et les pièces intérieures sont différemment proportionnées afin de donner une structure rythmée à la maison. Ce modèle semble être idéal pour les tissus urbains compacts.

2. La maison à patio commun :

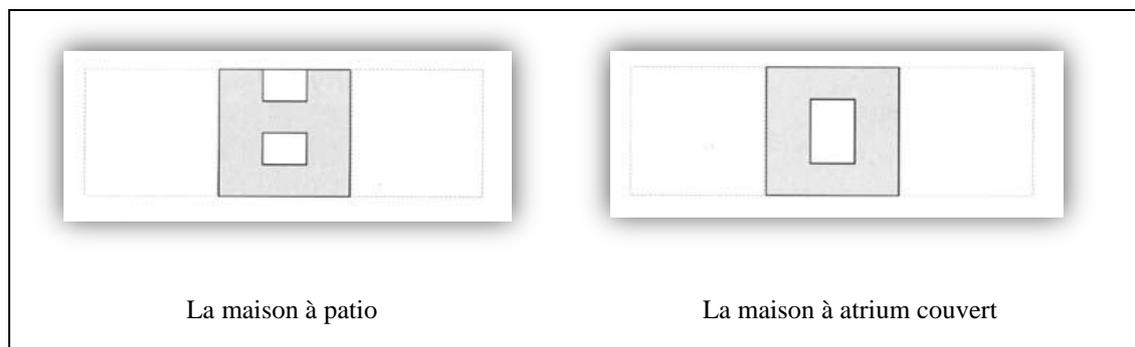
La maison à patio commun reflète la structure de la ferme rurale traditionnelle, qui se caractérise par la complexité de volumes vu la diversité de leurs fonctions (écurie, grange, maison pour les serviteurs, ...), le patio dans ce cas est accessible par une porte et sert comme un espace commun protégé.

3. La maison à patio en forme de L :

Ce type de maison est un module particulièrement économique en matière d'espace, comme il offre une bonne exposition à la lumière du jour aussi une bonne économie d'énergie. Généralement, l'entrée et l'accès à l'étage supérieur sont toujours situés dans la section de coin de la forme L.

4. La maison à patio en forme de groupe de L :

Ce groupe de volumes en forme de L, offre plusieurs possibilités d'organisations spatiales, et plusieurs orientations. Toutes les unités doivent avoir certaines régions face au sud, tandis que la zone de circulation peut être située dans une direction quelconque.



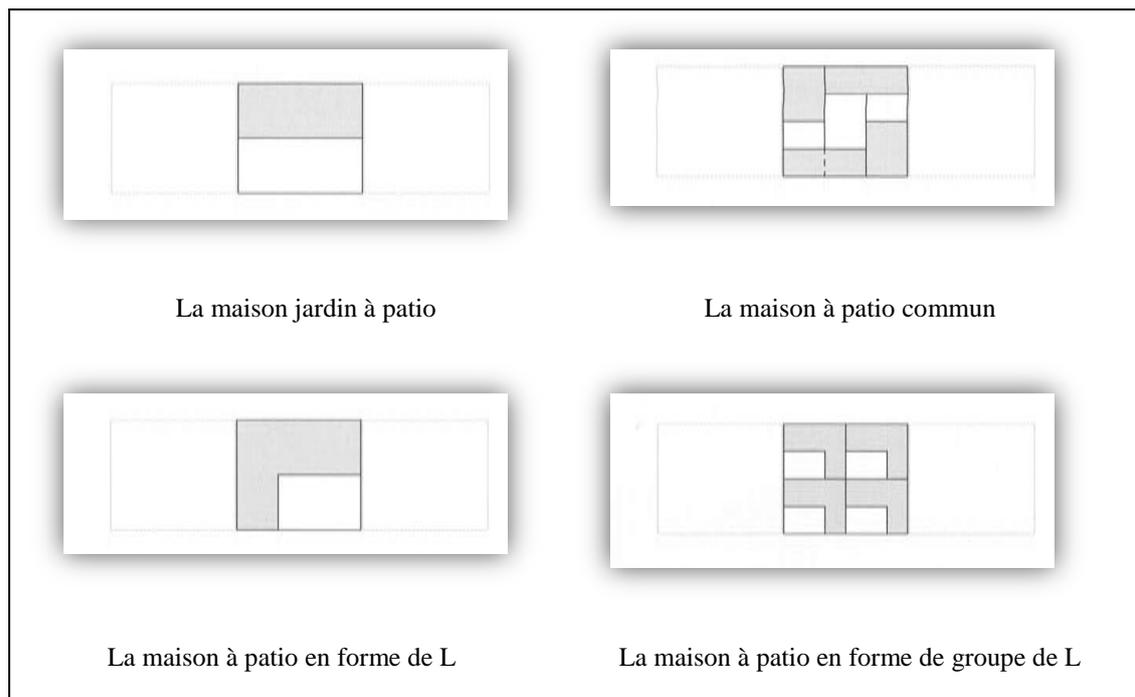


Fig.IV.32. *Quelques typologies de maisons à patio (Source : Pfeifer et Brauneck,2008)*

Conclusion:

Plusieurs civilisations ont témoigné de l'importance des patios depuis plus de 6500 ans avant notre ère, notamment celle indienne, romaine, méditerranéenne et que chacune possède sa propre typologie qui se caractérise par un aspect physique spéciale qui reflète les besoins naturels et socio-culturels de ses occupants.

La majorité des maisons traditionnelles à patio sont introverties, les espaces intérieurs sont arrangés autour d'un espace ouvert rectangulaire ou proche du carré, ce dernier avait toujours ce rôle de créer plus de lumière, de ventilation et d'assurer plus de confort thermique comme il crée cette liaison entre les différentes parties de la maison et offre la possibilité de plusieurs configurations géométriques et spatiales.

Plusieurs exemples de maisons à patio sont marqués par la présence des aménagements liés à l'eau, dont l'effet bénéfique quantitatif de cet élément semble être ambigu et rarement traité.

Les différentes dimensions traitées par le biais de ce chapitre nous donne une idée globale sur la genèse des patios, et leurs effets climatique, et cela nous aident par la suite à générer des modèles de simulation tout en appliquant les conditions climatiques de la ville de Biskra.

Partie Pratique

« La relation existant entre l'humanité et la nature doit être faite de respect et d'amour, non de domination. »

(René Dubos)

Chapitre V :
Méthodologie

Introduction :

Le présent chapitre décrit la démarche méthodologie de ce travail, qui comprend trois grandes parties :

1. La première partie a pour objectif de cerner le contexte climatique de notre cas d'étude (la ville de Biskra), et cela comprend les valeurs moyennes annuelles de température et de la vitesse des vents ainsi que l'humidité relative et les taux de précipitations qui correspondent aux données climatiques de la wilaya de Biskra.

2. La deuxième partie est réservée pour la présentation des systèmes CFD (Computational Fluid Dynamic) afin de comprendre le mode de fonctionnement d'un code CFD, voire la présentation de notre logiciel de simulation « ANSYS Fluent » et l'une de ses extensions « ICEM-CFD » qui va servir comme un outil d'aide afin de définir un maillage approprié.

3. La troisième partie a été consacrée à étudier plus profondément les modèles de simulation et les conditions initiales de simulation, commençant par la modélisation numérique des maisons à patio sur Rhinocéros. Dans un premier temps nous avons fait le choix du bon dimensionnement du domaine de calcul qui dépend essentiellement de notre géométrie, puis le passage à « ICEM-CFD » cette extension qui génère et optimise les différents types de maillage et qui nous permettra de choisir un maillage optimal et raffiné au centre de la fontaine d'eau et sur les parois du patio.

Nous avons procédé, par suite à la configuration initiale de la géométrie sur « Ansys fluent ». Mais peut-on vérifier les facteurs d'humidité relative, vitesse de l'air et température dans un régime instationnaire qui change en fonction du temps?

Fluent permet d'analyser plusieurs phénomènes dans un régime transitoire à l'aide des fonctions définies par utilisateur (UDF). La dernière section de ce chapitre détaille les différentes étapes nécessaires pour la création de ces fonctions qui peuvent changer selon plusieurs variables tels que le temps.

I. Le contexte climatique de Biskra

1. Présentation de la ville de Biskra:

Biskra, la porte de désert et la reine des Zibans, constitue un trait d'union phare entre le nord et le sud de l'Algérie, elle se situe à environ 400 m au sud de la capital Alger, elle compte 33 communes réparties sur 12 Daïras qui s'étalent sur une surface de 21509,80 Km².

La wilaya de Biskra est limitée au Nord par la wilaya de Batna, à l'Est par la wilaya de Khenchela, à l'ouest par la wilaya de Djelfa et au sud par la wilaya de Ouargla. (Fig.V.1)

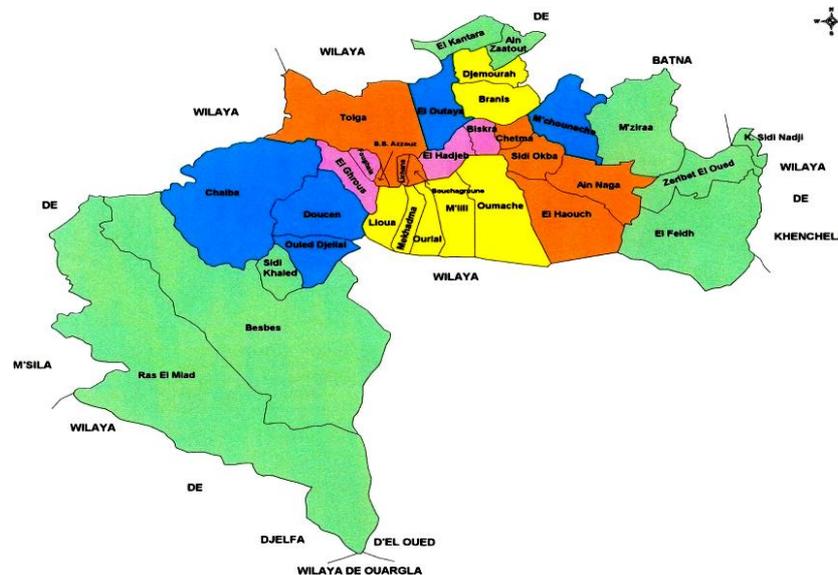


Fig.V.1. Limites administratives de la ville de Biskra (DPAT, 2005)

En matière de ressources naturelles hydriques, la wilaya de Biskra dispose de deux importants barrages d'eau « fontaine des gazelles » à Loutaya, celui de « Foum El-Gharza » situé à Sidi Okba, sans compter les 8150 forages et environ 4 544 puits d'eau.

2. Climat de la wilaya de Biskra :

La ville de Biskra se caractérise par un climat chaud et aride, avec une température moyenne annuelle de 22.8°C, et une vitesse d'air moyenne de 4.4m/s dans la direction Nord-Ouest /Sud-Est, avec un moyen taux d'humidité de 40%, alors que les pluies restent rares au courant de l'année comme illustré sur le tableau I.1.

Tab.V.1. Données climatique annuelle de la ville de Biskra (Source : Données station météo Biskra, 2000-2009) :

	Temperature (°C)	Vitesse des vents (m/s)	Humidité relative (%)	Précipitation (mm)
Valeurs Annuelles	22.8	4.4	40	125

2.1. Température :

Par définition, la température désigne l'ensemble des conditions atmosphériques, variables, traduites subjectivement en sensations relatives de chaud et de froid, et dont l'appréciation exacte est fournie par le thermomètre (Larousse, 2015)

D'après les données climatiques mensuelles de la wilaya de Biskra, on distingue la température maximale qui dépassera la barre des 30°C, à noter un maximum de 35.10°C a été enregistré le mois de Juillet et la température minimale descendait jusqu'à 11.30°C en mois de Janvier.

On peut déduire aussi d'après la figure V.2, que le climat de Biskra se caractérise par deux saisons : une saison chaude qui s'étale du mois de Mai jusqu'à Octobre avec des températures supérieures à la température moyenne annuelle, et une saison froide qui commence depuis le mois de Novembre jusqu'à Avril.

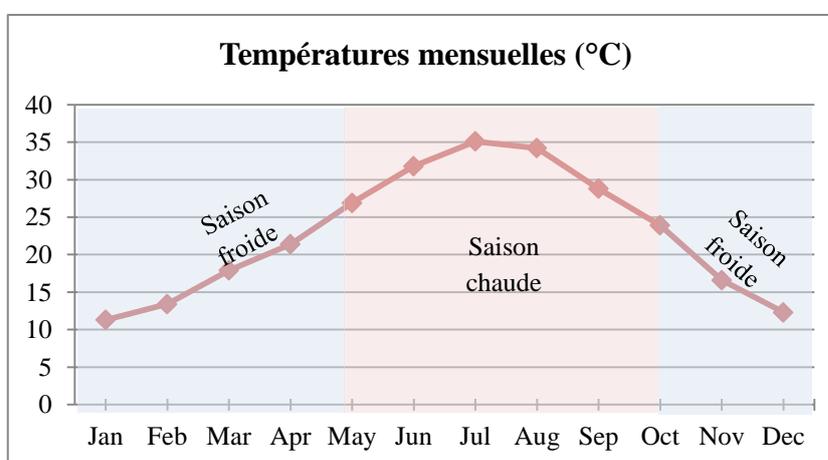


Fig.V.2. Températures mensuelles (Source : Données station météo Biskra, 2000-2009)

2.2. Vitesse des vents :

Les fréquences maximales du vent sont enregistrées aux mois de Mars, Avril et Mai, tandis que celles minimales sont enregistrées durant le reste des mois, notamment le mois d'octobre d'une intensité de 3.6 m/s.

La direction de ces vents dépend des deux saisons :

- Saison hivernale : des vents dominants froids dans la direction «Nord-Ouest »
- Saison estivale : des vents chauds provenant de l'axe « Sud-Est »

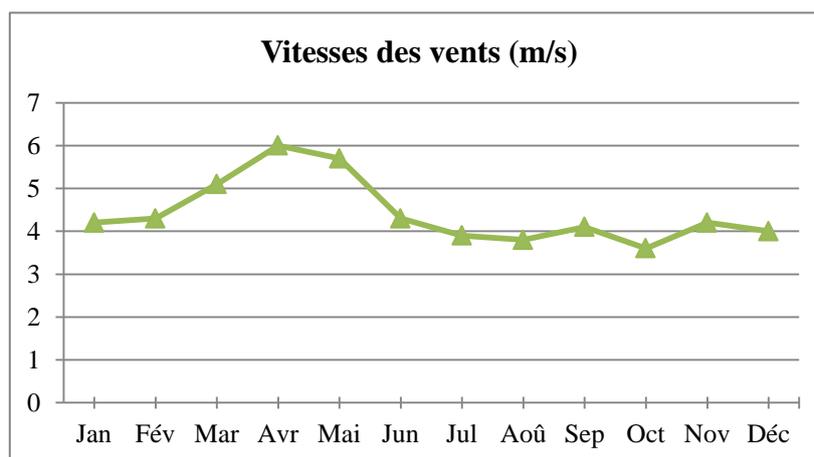


Fig.V.3. Vitesses mensuelles des vents (Source : Données station météo Biskra, 2000-2009)

2.3. Humidité relative :

L'humidité relative est le pourcentage du degré hygrométrique, c'est-à-dire la mesure du rapport entre la quantité d'eau présente dans l'air et la quantité qu'il faudrait pour saturer cet air à une température et une pression données. (Roulet, 2008)

L'humidité relative atteint des valeurs maximale pendant la période hivernale tel qu'en mois de décembre de 60%, par contre durant la période estivale les taux d'humidité relative ne dépasse pas les 40% avec une valeur minimale enregistré pendant le mois de Juillet de l'ordre de 24% ,et cela affirme que la ville de Biskra se caractérise par un hiver très froid et humide, et un été très chaud et assez sec.

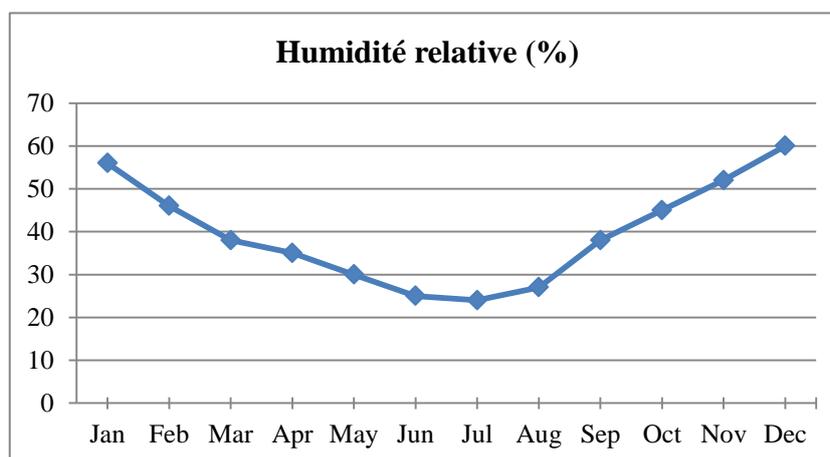


Fig.V.4. Humidité relative mensuelle (Source : Données station météo Biskra, 2000-2009)

2.4. Précipitations :

La pluviométrie de la ville de Biskra est très faible et d'une moyenne annuelle de 125 mm (Tab.V.I) et souvent mal répartie. Généralement, elle est marquée par une période de sécheresse qui s'étend du mois d'Avril jusqu'au mois de Septembre avec des précipitations faibles et oscillatoires (fig.V.5), alors que durant les autres mois elle est approximativement moyenne et accuse parfois un caractère torrentiel et orageux.

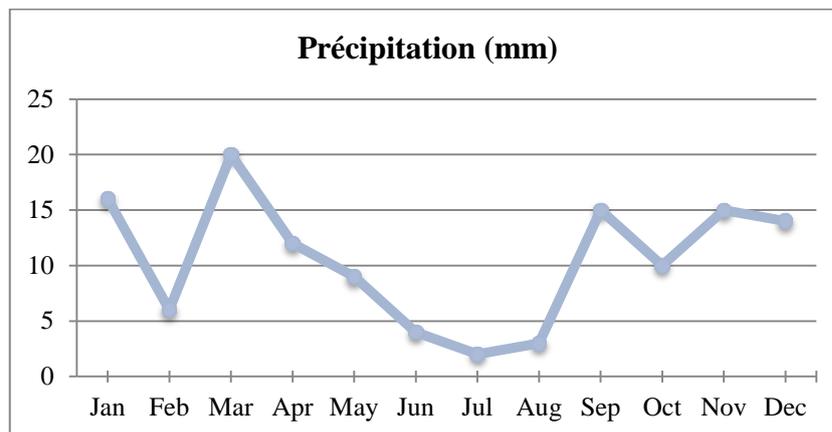


Fig.V.5. Précipitations mensuelles (Source : Donnée station météo Biskra, 2000-2009)

3. La journée de simulation :

Le choix d'une journée de simulation nous permet de réduire le calcul annuel du phénomène étudié en une seule journée critique et représentative. Dans la région de Biskra le 21 juillet présente la journée critique la plus chaude dans la période estivale.

Les données climatiques suivantes correspondant à l'année météorologique typique 2005 (TMY3, 2005) créent en fonction des données mesurées entre l'an 2000 et 2009, proposé par le logiciel Meteonorm version 7, qui présente une base de données météorologique à travers le monde.

- Température :

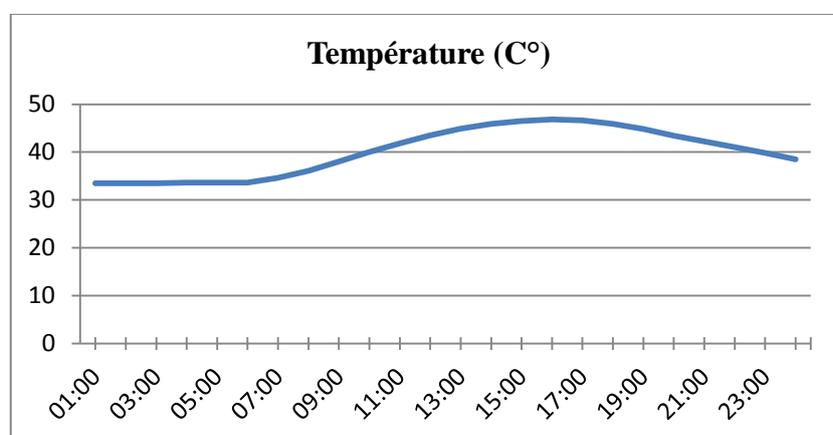


Fig.V.6. La température de la journée de simulation (Source : Meteonorm 7, TMY3, 2005)

- Vitesse de l'air :

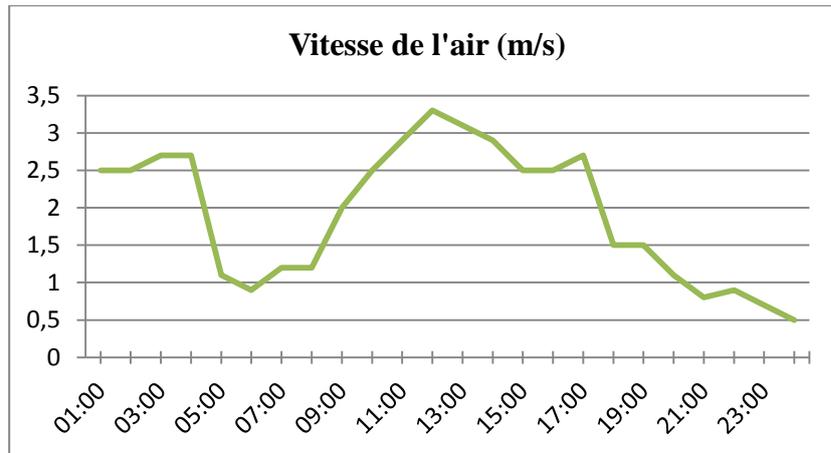


Fig.V.7. La vitesse de l'air de la journée de simulation (Source : Meteonorm 7, TMY3, 2005)

- Humidité relative :

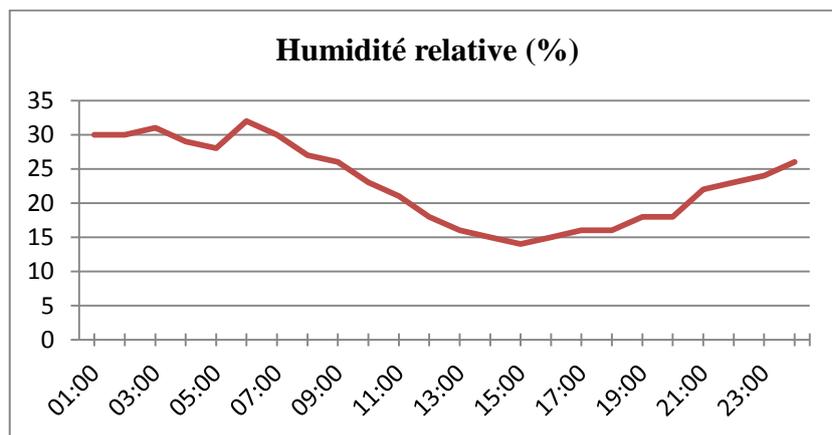


Fig.V.8. L'humidité relative de la journée de simulation (Source : Meteonorm, TMY3, 2005)

II. CFD et ANSYS Fluent

1. Une introduction à CFD :

L'analyse des phénomènes complexes tels que le transfert de chaleur, les écoulements d'eau et d'air nécessitent une bonne compréhension du système analytique des mécaniques des fluides, et les champs d'application de ces systèmes, voire les différentes étapes de traitement du code CFD afin d'obtenir les résultats qui expliquent notre phénomène en question.

Le choix du logiciel de simulation dépend de nos données d'entrée (inputs) et de la nature de notre expérience et les conditions dans lesquelles elle est inscrite.

Ce chapitre sera consacré à présenter le processus de simulation par Fluent et de mettre l'accent sur les modèles de turbulence en montrant et justifiant le choix du modèle qui a été utilisé dans notre étude.

1.1. Définition du CFD :

La dynamique des fluides computationnelle ou CFD (Computational Fluid Dynamics) est l'analyse des systèmes d'écoulement des fluides, le transfert de la chaleur et tous les phénomènes associés tels que les réactions chimiques en utilisant la simulation par ordinateur. La technique est très puissante et couvre un large champ d'applications industrielles et non industrielles tels que : l'aérodynamique, hydrodynamique, centrale électrique, turbomachines, de l'ingénierie de processus chimique, génie maritime, génie de l'environnement, de la métrologie, de l'ingénierie biomédicale, l'hydrologie et l'océanographie voire l'environnement externe et interne des bâtiments. (Versteeg et Malalasekera, 1995)

1.2. Fonctionnement d'un code CFD :

Selon Versteeg et Malalasekera, les codes CDF sont structurés, autour des algorithmes numériques qui peuvent résoudre les problèmes d'écoulement des fluides. Afin de résoudre cette complexité des algorithmes les packages commerciaux CFD proposent des interfaces utilisateur sophistiquées aux paramètres du problème d'entrée (les inputs) afin d'examiner les résultats.

Ces codes comme l'illustre la figure (V.9) passent par trois étapes essentielles : le prétraitement, le calcul et finalement le post-traitement et la visualisation des résultats.

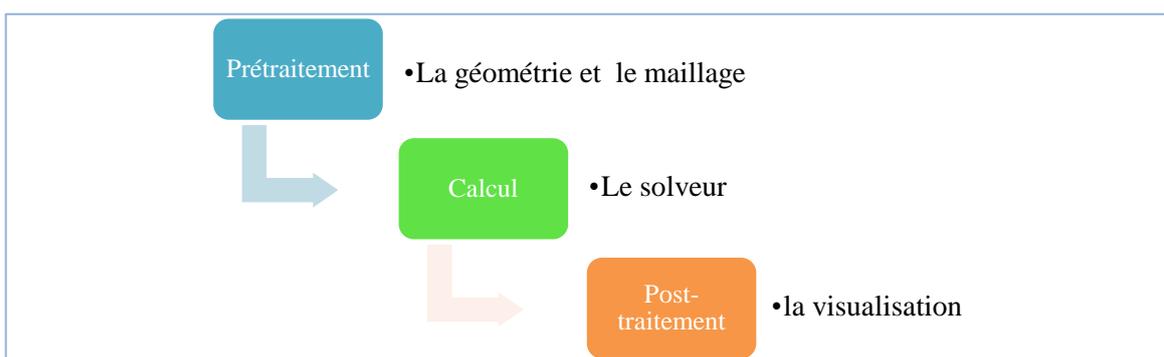


Fig.V. 9. Processus du fonctionnement d'un code CFD (Source : Auteur d'après Versteeg et Malalasekera, 1995)

Ci-dessous nous détaillons les différentes étapes essentielles au fonctionnement du CFD :

1.2.1. Prétraitement :

Le prétraitement permet de transformer les entrées (inputs) en forme appropriée pour une utilisation ultérieure par le solveur, et cela se réalise en plusieurs étapes, comme le montre le diagramme suivant:

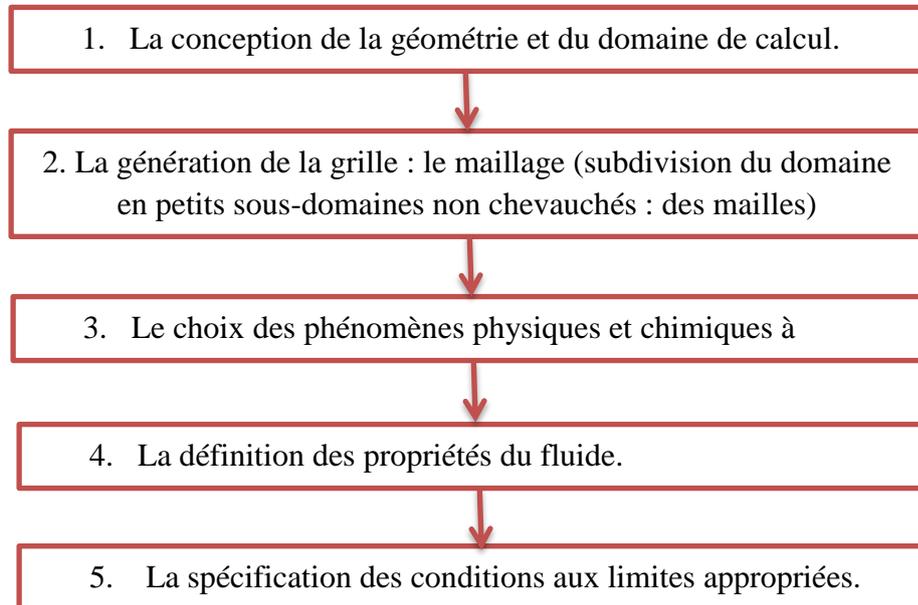


Fig.V.10. Les étapes du prétraitement d'un code CFD (Source : Auteur d'après Versteeg et Malalasekera, 1995)

1.2.2. Calcul :

Le solveur utilise trois techniques numériques distinctes : les différences finies, les éléments finis et les méthodes spectrales. Généralement les méthodes numériques qui forment la base du solveur effectuent les étapes suivantes :

- approximation des variables inconnues d'écoulement à travers des fonctions simples.
- la discrétisation par la substitution des approximations dans les équations d'écoulement avec des manipulations mathématiques
- résolution des équations algébriques.

1.2.3. Post-traitement :

Le post traitement c'est l'étape de la visualisation de données en utilisant des outils et des extensions intégrés aux logiciels de simulation CFD. Ceux-ci comprennent:

- L'affichage de la géométrie de domaine et la grille de maillage
- Les tracés de vecteurs
- Les lignes et les tracés de contours ombrés
- Le trajet des particules

- L'animation (pour un affichage plus dynamique des résultats) (Versteeg et Malalasekera, 1995)

2. Présentation du logiciel de simulation « ANSYS Fluent » :

ANSYS FLUENT est un logiciel de simulation CFD qui permet de modéliser l'écoulement du fluide, le transfert de chaleur, et les réactions chimiques dans des géométries complexes.

Ce programme est écrit dans le langage C de programmation et permet d'utiliser pleinement la flexibilité et la puissance offerte par cette langue.

ANSYS FLUENT utilise une architecture client / serveur, ce qui lui permet d'exécuter des processus simultanés distinctes sur plusieurs postes de travail client et serveurs de calcul puissants. Cette architecture est essentielle pour une exécution efficace, un contrôle interactif, et une flexibilité totale entre les différents types de machines ou de systèmes d'exploitation. (Fluent, 2013)

3. Présentation de « ICEM-CFD » :

ICEM CFD, est l'un des composants d'ANSYS Fluent, est une extension avancée pour la génération et l'optimisation de maillage qui répond aux exigences de toutes les applications d'ingénieries telles que la dynamique des fluides computationnelles et de l'analyse des structures.

Cette extension offre une flexibilité de maillage complet, y compris la capacité à résoudre les problèmes de flux en utilisant des mailles structuré ou non structurés et cela dans de nombreux types tels que : le maillage quadrilatère et surfacique triangulaire, le multi block structuré, hexaédrique non structuré, tétraédrique non structuré, cartésienne avec raffinement de maillage et finalement un maillage tétraédrique hybride comprenant des éléments tétraédriques, pyramidaux et prismatiques (ICEM CFD, 2013)

III. Définition des modèles :

Notre étude n'envisage pas d'analyser tous les éléments qui constituent les maisons à patio par contre elle se focalise sur l'effet bénéfique de l'eau à l'intérieur de quelques typologies sélectionnés d'après un ensemble de caractéristiques optimales que nous avons fixés préalablement. Ensuite, nous avons défini nos modèles par rapport à la forme et les proportions et le positionnement du patio afin de vérifier l'impact de ces paramètres sur le rafraîchissement lors de la présence des fontaines d'eau.

1. Paramètres constants :

Les paramètres constants sont les caractéristiques de notre modèle de maison simulé, et celles-ci comprennent la forme et les dimensions de la maison et les matériaux de constructions utilisés au niveau de son enveloppe extérieure, voire l'axe d'implantation de la maison et le pourcentage d'ouverture à l'extérieur.

1.1. Forme :

Une investigation réalisée par Hakmi, en 2006, a permis de définir les dimensions et la forme optimale des maisons à patios au proche orient et qui répondent aux besoins sociales et bioclimatiques de leurs occupants, et il a vérifié la performance de plusieurs modèles de forme carré et proche du carré avec des dimensions : 12X12m et 12.80X13.20m et 14X14m et plus.

Une partie de ses résultats démontre que :

- La surface optimale d'une maison à patio unifamiliale varie entre 100m² et 250m²
- Le patio constitue de 16 à 30% de la surface totale.
- Tous les modèles proposés de forme carré et proches du carré ont un bon impact sur l'éclairage naturel, et le rafraîchissement.

Conformément à ces résultats nous allons choisir **un modèle de maison de forme rectangulaire avec les dimensions de 12X16 m et une superficie de 192 m².**

1.2. Nombre d'étage :

Pour la hauteur des modèles de simulation, nous avons ajusté le nombre d'étages alternativement à **RDC (Rez-De-Chaussée)** et à **RDC+1**, car plusieurs études ont montré que les proportions de la hauteur ont eu un effet plus faible que la profondeur des espaces et du patio qui a toujours été un élément clé dans les villes à climats chauds et arides. Pour une profondeur fixe, un patio avec des proportions de hauteur inférieure (de 1 :0.25 à 1 :1) consomme moins d'énergie dans les villes du désert parce qu'il dissipe mieux la chaleur. (El-Deeb et al. 2014)

1.3. Matériaux de construction :

Les maisons à patio doivent être construites avec des matériaux lourds afin de stocker la chaleur et atténuer les fluctuations de température, et donc assurer une bonne inertie thermique. (Liébard et De herde, 1996)

L'inertie thermique assure l'équilibre hygrothermique. En été, elle permet de lisser les flux thermiques et les températures extrêmes. En hiver, elle évite les baisses brutales de la

température et met bien en évidence la gestion optimale des apports de chaleur (Mejelakh et Abdou, 2008)

En raison de l'inertie thermique, **des parois en brique de terre crue, avec 50cm d'épaisseur** sont choisies et fixées pour tous nos modèles.

Il est intéressant de noter que la logique des séparations intérieures et de l'organisation n'est pas profondément étudiée mais elle est faite selon les espaces domestiques qui peuvent exister dans une maison traditionnelle dans la région de Biskra.

1.4. Orientation :

Le choix de l'orientation doit être de manière à maximiser les apports solaires provenant du Sud, qui seront utiles même pour l'évaporation des eaux et aussi d'en tirer profit des vents naturels froids provenant du « Nord-Ouest » (voir la partie I.2.2)

Selon le contexte climatique de la ville de Biskra, il est préférable d'implanté nos modèles sur l'axe « **Nord-Sud** ».

1.5. Ouvertures :

Les investigations historique et les besoins socio-culturelle des occupants des maisons à patio ont montrés et affirmé le critère d'introversion de ces maisons (Voir chapitre IV partie 2 et 3), elles sont généralement moins ouvertes sur l'extérieur, et pour cela nous allons minimiser les ouvertures à un pourcentage de **20%** de la façade principale.

2. Paramètres variables :

La disposition intérieure d'une maison à patio se détermine premièrement par la position du patio, et ses proportions. Les autres paramètres tels que l'orientation, l'accès et les besoins des usagers présentent, des différences significatives qui auront par la suite un rôle secondaire (Pfeifer et Brauneck, 2008). Les paramètres variables, donc, englobent la forme du patio et ses dimensions et ses proportions et finalement sa position dans la maison simulée.

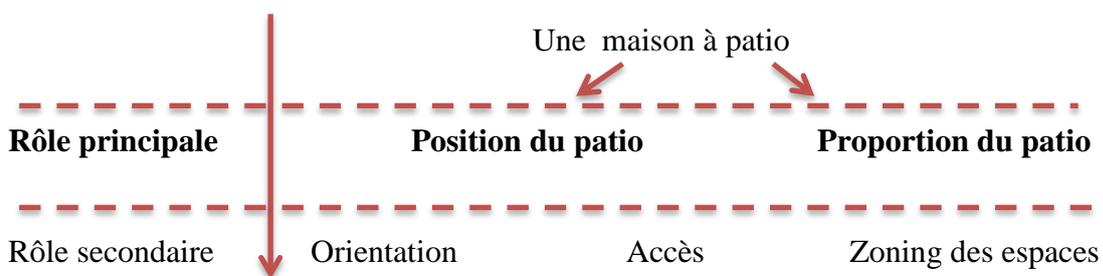


Fig.V.11. Les paramètres qui agissent sur la conception d'une maison à patio (Source : Auteur d'après Pfeifer et Brauneck, 2008)

2.1. Forme :

Le patio à travers l’histoire a pris plusieurs formes, parfois irrégulière dans l’architecture vernaculaire et d’autre parfois une forme géométrique bien défini et simple, carré ou rectangulaire, nous allons choisir dans notre investigation trois formes diverses, carré, rectangulaire et une forme polygonale (Fig.V.12)

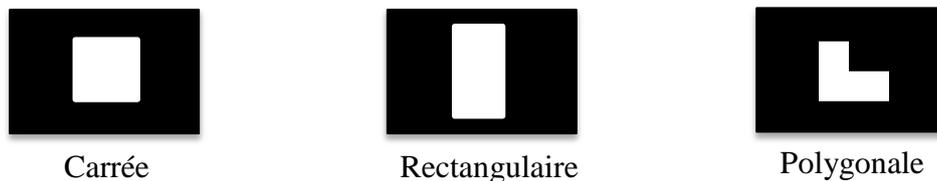


Fig.V.12. Les formes choisies des patios (Source : Auteur)

2.2. Dimensions et profondeur :

Du point de vu énergétique, selon El-Deeb et al. (2014), la réduction des énergies consommées par les maisons à patio est intimement liée à l’augmentation de la profondeur de ces patios et cela à travers une analyse comparative de plusieurs villes qualifiés de climats chauds 3 villes égyptiennes : Khargah, Le Caire, Alexandrie et la ville de Berlin.

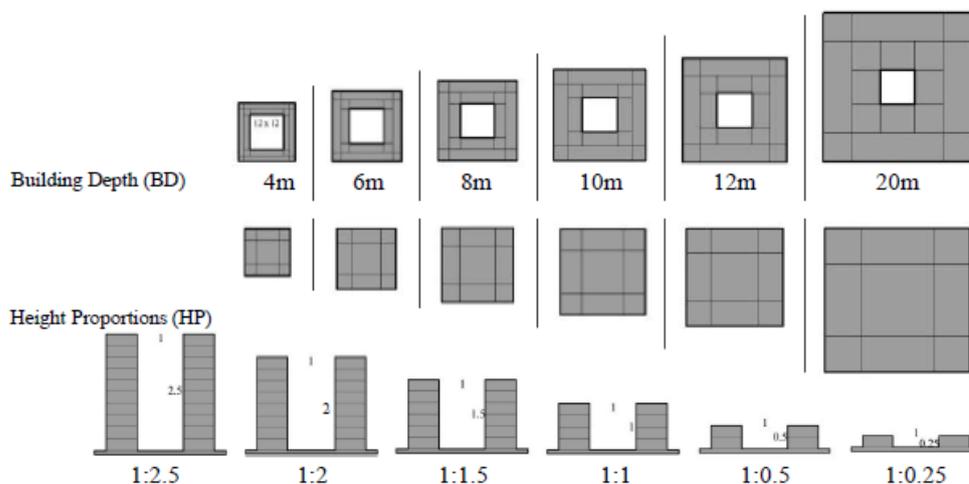


Fig.V.13. La relation entre les proportions de la hauteur du patio et la profondeur de la maison (Source : El-Deeb et al. , 2014)

Et d’un point de vu climatique, Muhaisen (2006) a distingué que dans un climat chaud et aride, deux étages est la hauteur optimal durant les deux saisons estivale et hivernale, parce qu’elle permet au patio de recevoir un rayonnement maximal en hiver et moins en été.

Tab.V.2. La hauteur optimal en fonction des surfaces ombragée dans différentes régions (Source : Muhaisen, 2006) :

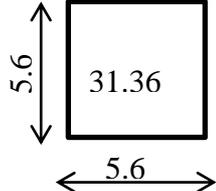
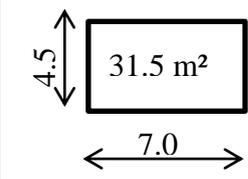
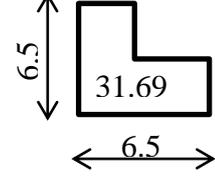
Building height	Kuala Lumpur		Cairo		Rome		Stockholm	
	Summer	Winter	Summer	Winter	Summer	Winter	Summer	Winter
One storey	17	0	10	0	14	0	25	0
Two-storey	14	5	8	14	11	16	19	3
Three-storey	10	11	6	23	7	22	13	4
Four-storey	6	18	3	27	4	25	6	5
Five-storey	0	24	0	30	0	26	0	5

Dans notre cas, en fonction du contexte climatique de la région de Biskra et les recommandations environnementale des patios (voir Tab.IV. 1), on ne peut guère choisir des grandes hauteurs. Tandis que les dimensions des patios qui doivent respecter le pourcentage de **16 à 30%** de la superficie de la silhouette, d’après Hakmi (2006).

La surface de notre silhouette est de = 192m², et en respectant ce pourcentage on aura : **57.60m²> la surface du patio> 30.72m².**

Les dimensions de chaque forme de patio est illustré dans le tableau suivant :

Tab.V.3. Dimensionnement des patios (Source : Auteur) :

Forme	Carrée	Rectangulaire	Polygonale
Dimensions			

2.3. Positionnement :

D’après la dimension typologie (voir Chapitre IV.5), nous notons que le patio, généralement se situe au centre des maisons, et parfois dans une position excentré dans l’un des quatre coins de la maison comme le montre la figure ci-après.



Fig.V.14. Positionnements du patio (Source : Auteur)

3. Les modèles proposés :

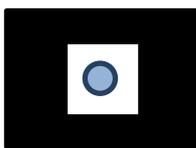
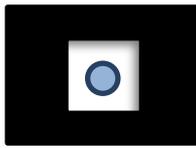
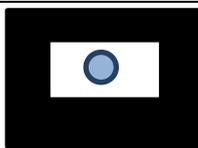
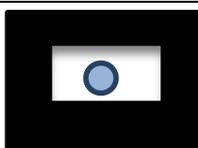
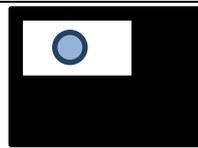
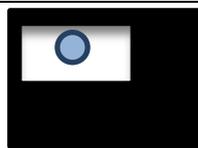
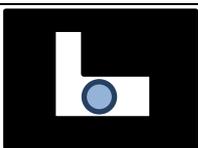
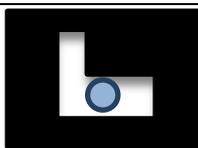
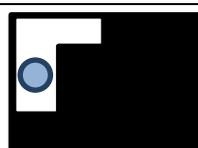
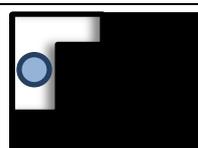
Avant de présenter les modèles à simuler, il est important de faire un récapitulatif pour l'ensemble de paramètres constants propres aux maisons à patio. Le tableau (Tab.V.3) résume ces paramètres.

Tab.V.4. Tableau récapitulatif sur les paramètres constants (Source : Auteur)

Paramètres constants (la maison modèle)	
Forme et dimensions	Rectangulaire 12X 16
Nombre d'étages	RDC, RDC+1
Matériaux de constructions	Des parois en brique de terre crue de 50 cm
Orientation	Nord-Sud
Ouvertures	20% de la façade principale

Selon les typologies proposées par Pfeifer et Brauneck en 2008 et celles de Petruccioli en 2006 et en combinant avec les objectifs du design tirés d'après la dimension socio-culturelle et environnementale et contextuelle de la ville de Biskra (voir Tab.IV. 1). Nous avons proposé la matrice suivante (Tab V.4). Elle se base principalement sur les trois formes géométriques (Carrée, Rectangulaire et Polygonale) des patios, et le positionnement de chaque forme sur un et deux niveaux de hauteur. La matrice consiste à définir les différentes variantes que nous souhaitons examiner leurs confort thermique en la présence d'une fontaine d'eau.

Tab.V.5. La matrice des modèles de simulation (Source : Auteur)

Position Forme	Centré		Excentré	
	1 niveau	2 niveaux	1 niveau	2 niveaux
Carrée	 CC1	 CC2	 CE1	 CE2
Rectangulaire	 RC1	 RC2	 RE1	 RE2
Polygonale	 PC1	 PC2	 PE1	 PE2

4. Conditions initiales :

4.1. Les dimensions du domaine de calcul:

La taille du domaine de calcul, dépend du ratio de blocage qui doit être en dessous de 3% sur la base des expériences établie en soufflerie. Pour un bâtiment isolé, les limites latérales et supérieures recommandées sont ajustées à 5H : dont H est la hauteur du bâtiment simulé. Tandis que la distance entre la limite d'entrée et le bâtiment doit être ajusté à 10H, et similaire pour la distance en amont du bâtiment. (Mochida et al., 2002). Les dimensions des domaines de calculs se changent en fonction de la hauteur de nos modèles, et sont illustrées dans le tableau V.5 :

Tab.V.6. Les dimensions des domaines de calculs (Source : Auteur):

Hauteur d'étage	Dimension du domaine
RDC = 3.50 m	88X47X17.5m
RDC+1 = 7.00 m	158X82X35m

4.2. Type de maillage :

Après avoir détaillés les différents types de maillages que « ICEM-CFD » propose, nous avons choisi un maillage tétraédrique hybride (mixte) qui comprend des éléments tétraédriques, pyramidaux et prismatiques. Ce maillage convient avec la présence d'une fontaine d'eau circulaire à l'intérieur de nos modèles simulés.

Ce maillage comme l'illustre la figure ci-dessous, est élargie tout au long du domaine et plus raffiné d'une manière hiérarchique depuis les parois extérieurs jusqu'aux parois du patio et la fontaine et cela pour tous les modèles de simulation (Voir résultats et interprétations)

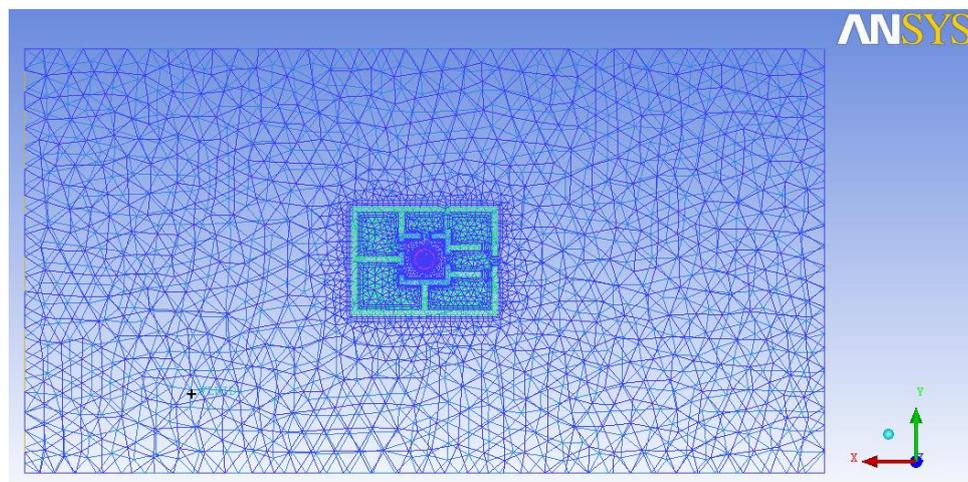


Fig.V.15. Exemple du maillage tétraédrique utilisé pour le modèle CCI (Source: Auteur)

Les dimensions des mailles, comme l'illustre le tableau (V.6), dépendent de l'importance de la visualisation de l'écoulement dans chaque partie des maisons simulées :

Tab.V.7. le dimensionnement du maillage partiel des modèles(Source : Auteur) :

part	prism	hexa-core	max size	height	height ratio	num layers	tetra size ratio	tetra width	min size limit	max deviation	int wall	split wall
CC1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0						0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
COURTYARD	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.5	0	0	0	0	0	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
FLUID	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	4								<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
FOUNTAIN	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.05	0	0	0	0	0	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
GROUND	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4	0	0	0	0	0	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
INLET	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4	0	0	0	0	0	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
INLET_FOUNTAIN	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0.01	0	0	0	0	0	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
OUTLET	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4	0	0	0	0	0	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SYM	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4	0	0	0	0	0	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
WALLS	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1	0	0	0	0	0	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Show size params using scale factor
 Apply inflation parameters to curves
 Remove inflation parameters from curves
 Highlighted parts have at least one blank field because not all entities in that part have identical parameters.

4.3. Modélisation de la turbulence :

4.3.1. Nature de la turbulence :

Le terme « turbulence » est attribué à une grande variété de phénomènes physiques dans lesquels un comportement violent et irrégulier se présente.

La turbulence est utilisée en référence au mouvement d'agitation, tridimensionnel, d'un fluide visqueux et incompressible. Ce type des fluides sont gouvernés par les équations mathématiques de Navier-Stokes.

L'anglais Osborne Reynolds a démontré la transition d'un fluide du régime laminaire à un fluide turbulent (voir Fig.V.15) qui se caractérise par un écoulement fortement chaotique car le terme convectif non linéaire y est prépondérant devant le terme de viscosité. Ces écoulements se caractérisent généralement par leurs diffusions et dissipations d'énergie.

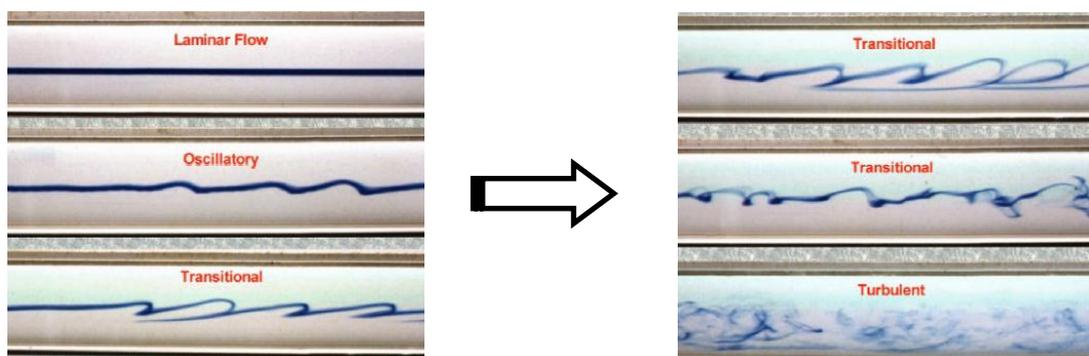


Fig.V.16. La transition d'un fluide du régime laminaire au régime turbulent (Source : Archambeau, 2004)

Les équations régissant l'écoulement de l'air sont : la loi de conservation de la masse (la loi de continuité) et la loi de conservation de la quantité de mouvement (Navier Stokes)

4.3.1.1. Equation de continuité :

L'équation de conservation de la masse, est donnée par l'équation suivante :

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \rho U_i = 0 \quad \text{Eq. (V.1)}$$

4.3.1.2. Equation de quantité de mouvement :

L'équation de conservation de la quantité de mouvement est donnée par l'équation suivante :

$$\underbrace{\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho U_j U_i)}_1 = - \underbrace{\frac{\partial P}{\partial x_i}}_2 + \underbrace{\frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j}}_3 + \underbrace{\rho g_i}_4 \quad \text{Eq. (V.2)}$$

1 : terme convectif

2 : effet de la pression

3 : terme diffusif

4 : effet de la pesanteur

4.3.2. Modèles de turbulence :

Pour un écoulement turbulent les équations de Reynolds moyennées font apparaître un nombre d'inconnues supplémentaires ($-\overline{u_i u_j}$). La fermeture du système d'équations dans ce cas est nécessaire.

Il existe plusieurs modèles de turbulence, les plus utilisés sont les modèles de Reynolds moyennée de Navier-Stockes (RANS), les contraintes différentielles de Reynolds (RSM) et le modèle de simulation Large Eddy (LES).

4.3.2.1. Les modèles de Reynolds moyennée de Navier-Stockes (RANS) :

Les modèles RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes), sont l'ensemble de modèles classiques, ces derniers ne prédisent que la partie moyenne de l'écoulement avec une modélisation pour les termes du tenseur de Reynolds qui utilisent les hypothèses de Boussinesq.

Les trois modèles de turbulence RANS à deux équations sont : le modèle k- ϵ , le modèle k- ω et le modèle SST.

Nous détaillons le premier modèle k- ϵ que nous avons utilisé, parce qu'il est le modèle largement validé. Comme il présente un modèle économique en termes de calcul de la ; il reste un modèle très adapté pour l'analyse de nos données d'entrée viscosité turbulente. (Ansys 14, interface)

• Le Modèle k- ε :

Le modèle k- ε standard (Launder et Spalding, 1972) se base sur le concept Bousinesq (1977). Les termes des contraintes de Reynolds sont:

$$-\rho \overline{u_i u_j} = 2\mu_t s_{ij} - \frac{2}{3}\rho k \delta_{ij} \quad Eq.(V.3)$$

$$s_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \quad \text{Le tenseur de Reynolds} \quad Eq.(V.4)$$

$$\mu_t = \rho \nu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad \text{La viscosité turbulente} \quad Eq.(V.5)$$

L'énergie cinétique turbulente est définie par :

$$k = \frac{1}{2} \overline{u_i u_i} = \frac{1}{2} (\overline{u_1^2} + \overline{u_2^2} + \overline{u_3^2}) \quad Eq.(V.6)$$

Le taux de dissipation ε de l'énergie cinétique k est donné par :

$$\varepsilon = \nu \overline{\frac{\partial u_i \partial u_i}{\partial x_j \partial x_j}} \quad Eq.(V.7)$$

L'équation de transport de l'énergie cinétique turbulente k est donnée par :

$$\underbrace{\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho k \overline{U}_i)}_1 = \underbrace{\frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right]}_2 + \underbrace{G_k}_3 - \underbrace{\rho \varepsilon}_4 \quad Eq.(V.8)$$

1: terme convective

2: terme diffusif

3 : taux de production

4 : taux de dissipation

Equation de transport du taux de dissipation de l'énergie cinétique turbulente ε :

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \varepsilon \overline{U}_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad Eq.(V.9)$$

Les constantes de ce modèle ont les valeurs suivantes :

$$C_{1\varepsilon} = 1.44, \quad C_{2\varepsilon} = 1.92, \quad C_\mu = 0.09, \quad \sigma_k = 1.0, \quad \sigma_\varepsilon = 1.3$$

Le logiciel Fluent offre aussi la possibilité de choisir deux autres modèles de $K-\varepsilon$, le modèle RNG et le modèle réalisable. La différence entre ces modèles réside dans les valeurs constantes.

4.3.2.2. Les contraintes différentielles de Reynolds (RSM) :

C'est le modèle des contraintes différentielles de Reynolds, ou (Reynolds Stress Mean) (RSM). L'équation de transport des contraintes de Reynolds en terme litténaire est écrite par la formule ci-dessous:

La convection = - diffusion turbulente + diffusion moléculaire – terme de production de contrainte + pression taux de déformation – dissipation.

4.3.2.3. le modèle de simulation Large Eddy (LES) :

L'approche de simulation « Large Eddy » (LES) a pour objectif de simuler les plus grandes échelles de la turbulence, celles qui sont porteuses de la plus grande partie de l'énergie cinétique turbulente, et de modéliser les plus petites échelles.

Les plus grands tourbillons sont généralement de taille comparable à la longueur caractéristique de l'écoulement moyen (par exemple, l'épaisseur de la couche de cisaillement). Le modèle LES permet de traiter des problèmes vibratoires ou de fatigue thermique.

4.4. Les conditions aux limites :

Nous pouvons défini les conditions aux limites soit dans ICEM-CFD avant l'exporter à Fluent, ou après l'exportation du fichier de maillage en extension (.msh)

Le tableau suivant démontre les conditions aux limites des différentes parties de la géométrie :

Tab.V.8. Conditions aux limites sur ICEM-CFD (Source : Auteur) :

Eléments	Types
Entrée	Velocity-inlet
Sortie	Pressure-outlet
Domaine	Sym
Parois et dalles	Wall
Jet du fontaine	Velocity-inlet

4.4.1. Définition des Fonctions Définis par l'Utilisateur (UDF's) :

Afin de simuler nos différents modèles dans un régime instationnaire nous avons besoin des fonctions mathématiques qui correspondant à nos données climatiques mesuré durant la journée de simulation.

L'application "Curve Fitting" exécuté sur Matlab par la commande (cftool) permet de créer des courbes de tendance selon des polynômes à plusieurs degrés. (Matlab « R2015b », 2015)

En se basant sur les données météorologiques de la journée de simulation, présentées par les figures (V.6, V.7, V.8), nous avons déduit en fonction du temps les polynômes suivants:

- **Température:**

$$T(t) = -5.255e-6 (t)^6 + 0.0004549(t)^5 - 0.01459(t)^4 + 0.2067 (t)^3 - 1.202(t)^2 + 2.739(t) + 31.66$$

Eq.(V.10)

- **Vitesse de l'air :**

$$V(t) = 2.637277292e-8(t)^8 - 2.353965207e-6 (t)^7 + 7.780890408e-5 (t)^6 - 1.039604851e-3 (t)^5 + 3.876113535e-4(t)^4 + 1.257433067e-1(t)^3 - 1.105592113 (t)^2 + 3.001168339(t) + 0.343508488$$

Eq.(V.11)

- **Humidité relative :**

$$H(t) = -6.567e-6(t)^4 + 0.0004291(t)^3 - 0.008344(t)^2 + 0.04482(t) + 0.245$$

Eq.(V.12)

Après l'obtention des fonctions qui correspondent à nos données climatiques de la journée de simulation, et peuvent servir comme des polynômes de référence pour une utilisation ultérieure même avec d'autres logiciels de simulation.

La compilation de ces fonctions se fait dans des scripts d'UDF (User Defined Function) exécuté sous le langage C++ de programmation. Ce dernier nous permet de les enregistrer comme étant des fichiers sources (format .c) pour qu'on puisse les interpréter et les utiliser sur Ansys Fluent.

4.4.2. Jet de la Fontaine d'eau :

Le tableau suivant présente l'ensemble des conditions aux limites propre à notre modèle de fontaine utilisé :

Tab.V.9. Paramètres de la fontaine d'eau (Source : Auteur) :

<i>Dimensions de l'ajutage</i>	<i>20cm</i>
<i>Hauteur du jet</i>	<i>50 cm</i>
<i>Débit d'écoulement d'eau</i>	<i>10 l/s</i>

Conclusion :

La ville de Biskra a un climat chaud et aride, avec des conditions climatiques critique durant la période estivale qui s'étend généralement du mois de Mars au mois d'Octobre.

Le taux de précipitation dans cette région est très faible et les pluies sont souvent rares.

Le choix d'un modèle de maison typique permet de fixer les paramètres des dimensions, d'orientation, d'ouverture, et de matériaux de constructions pour qu'on puisse se focaliser sur les critères propres aux patios. Après avoir choisir la maison modèle nous avons ajusté nos configurations suivant les paramètres des patios tels que la forme, les dimensions, le positionnement et la profondeur.

Le logiciel Fluent est utilisé dans cette recherche, combiné à un logiciel générateur de maillage ICEM-CFD qui permet de choisir plusieurs types de maillages qui peuvent convenir aux formes architecturales utilisées. Le dimensionnement du domaine de calcul dépend de la hauteur des bâtiments et du ratio de blocage qui doit être inférieur à 3%, pour ne pas affecter les résultats. Comme la plupart des logiciels de simulation CFD, Fluent utilise la méthode des éléments fini, et cela nécessite l'introduction des conditions aux limites telles que le choix des modèles de turbulence (K- ϵ dans notre cas), et les variables de vitesses de l'air, la température et d'humidité relative soit comme étant des valeurs constantes, en régime stationnaire, ou par le biais des fonctions polynomiales, ou même trigonométriques déduites sur Matlab et compilées dans un script sur C++ en cas transitoire instationnaire).

Pour les méthodes de solution que propose Fluent nous avons choisi un Scheme « Simple » avec une précision de deuxième ordre « Second Order Upwind ».

L'extension Post-CFD est utilisée pour la visualisation des résultats, par le biais du chapitre suivant.

Chapitre VI:

Résultats et interprétations

Introduction:

Dans notre étude, nous nous sommes intéressés à l'effet que peut produire l'eau, en tant qu'élément de rafraîchissement à l'intérieur de certaines typologies de maison à patio durant toute une journée de simulation.

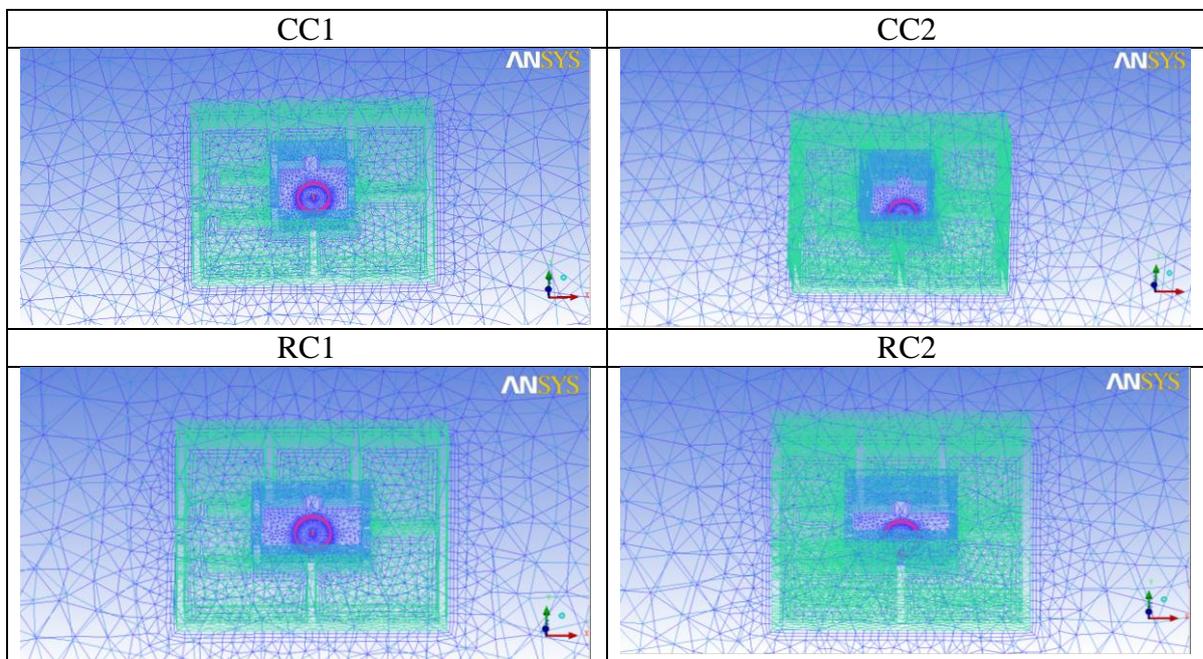
Le logiciel Fluent permet d'analyser nos variables climatiques de la température, la vitesse de l'air et l'humidité relative pour chaque seconde de cette journée, mais par la faisabilité du hardware, et le temps que peut prendre, nous avons réduit nos résultats à des variables en fonction horaires.

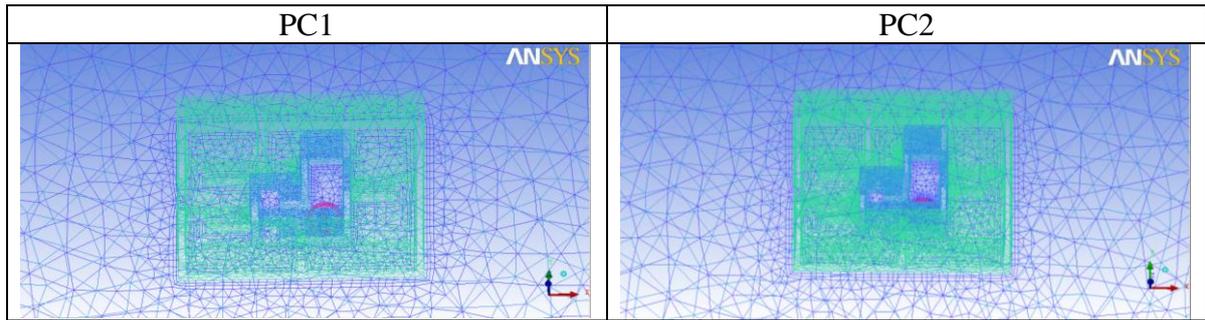
Par le biais de ce chapitre nous allons analyser et interpréter les résultats obtenus des différentes typologies en fonction de la forme, de la profondeur et de positionnement du patio.

1. Résultats du maillage :

Comme nous avons déjà mentionné, l'extension « ICEM-CFD » a été utilisée pour mailler les différents modèles de simulation avec un maillage de type « tétraédrique hybride ». Le maillage des différents modèles de maisons à patio centré est illustré sur le tableau ci-dessous :

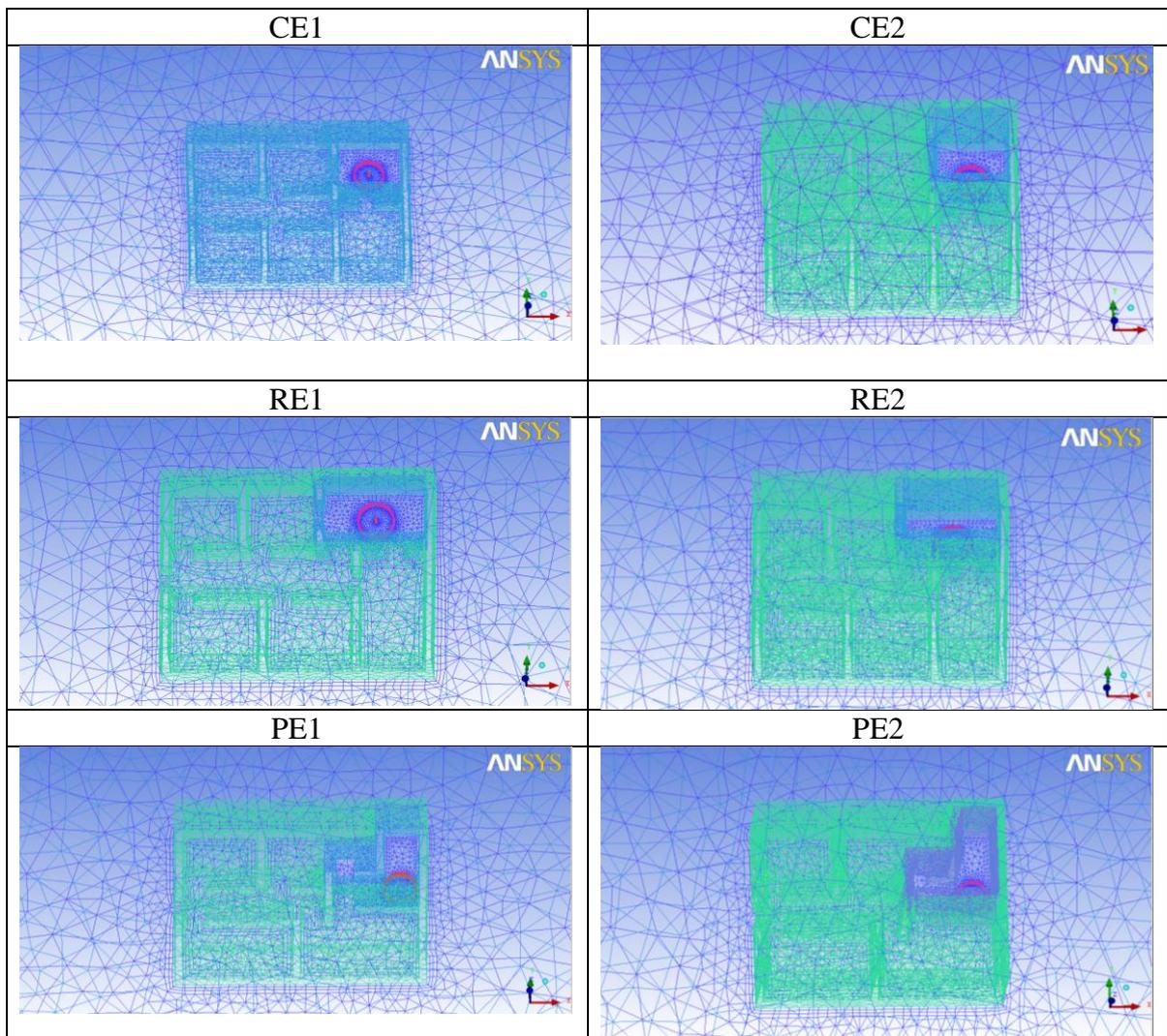
Tab.VI.1. Maillage des patios centrés (Source : Auteur) :





Le tableau suivant est destiné pour les typologies de patios excentrés en utilisant toujours le maillage tétraédrique hybride :

Tab.VI.2. Maillage des patios excentrés (Source : Auteur):



Le maillage est grossier dans toutes les cellules de domaine de calcul (comme le montre le Tableau V.7) et plus raffiné tout en rapprochant de la fontaine d'eau pour qu'il puisse jumeler entre la forme cubique et celle circulaire.

2. Résultats des simulations :

2.1. L'impact de la géométrie et le positionnement du patio sur le rafraichissement :

Dans tous nos scènes de simulation, plus on s'approche de la fontaine d'eau plus que le taux d'humidité augmente. Cela signifie l'efficacité de ce système de rafraichissement qu'on peut utiliser dans les régions qui se caractérisent par leur climat chaud et sec, tel que les zones sahariennes.

Cette conclusion primitive conforme l'étude de Tiwari (1994), qui a déduit l'efficacité de l'utilisation de l'eau d'une manière générale, comme paramètre de refroidissement dans un climat chaud à travers une comparaison mathématique en appliquant les données climatique de la ville de Delhi.

2.1.1. Les patios centrés :

La comparaison entre les différentes typologies des maisons à patio centrés et excentrés avec un seul étage et pendant toutes les heures de la journée de simulation sont présentées sur les tableaux comparatifs Tab.VI.3 et Tab.VI.4.

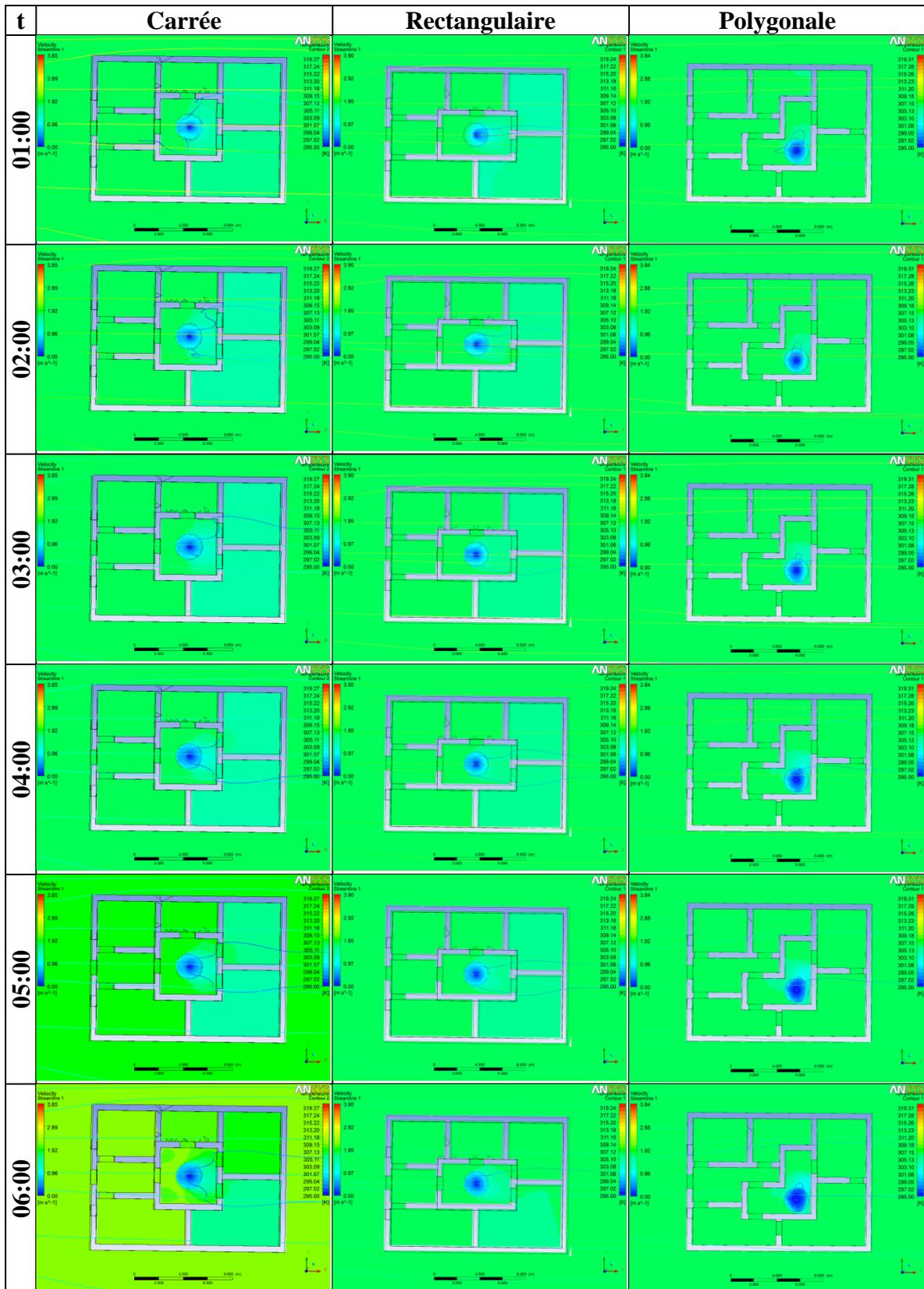
D'après ces résultats obtenus et afin d'étudier l'impact des différentes typologies sur le refroidissement évaporatif, on distingue que à 14h qui présente la mauvaise condition climatique, la température baisse de 6°C, de 320k (45,85°C) comme température extérieur à 314 k (40.85°C) dans les espaces habités, et encore moins envers 16h jusqu'au 313.12 (39.85°C). Durant la nuit, le rafraichissement par évaporation a aussi un effet marqué par la diminution de la température de 2°C et 3°C dans le patio centré carré.

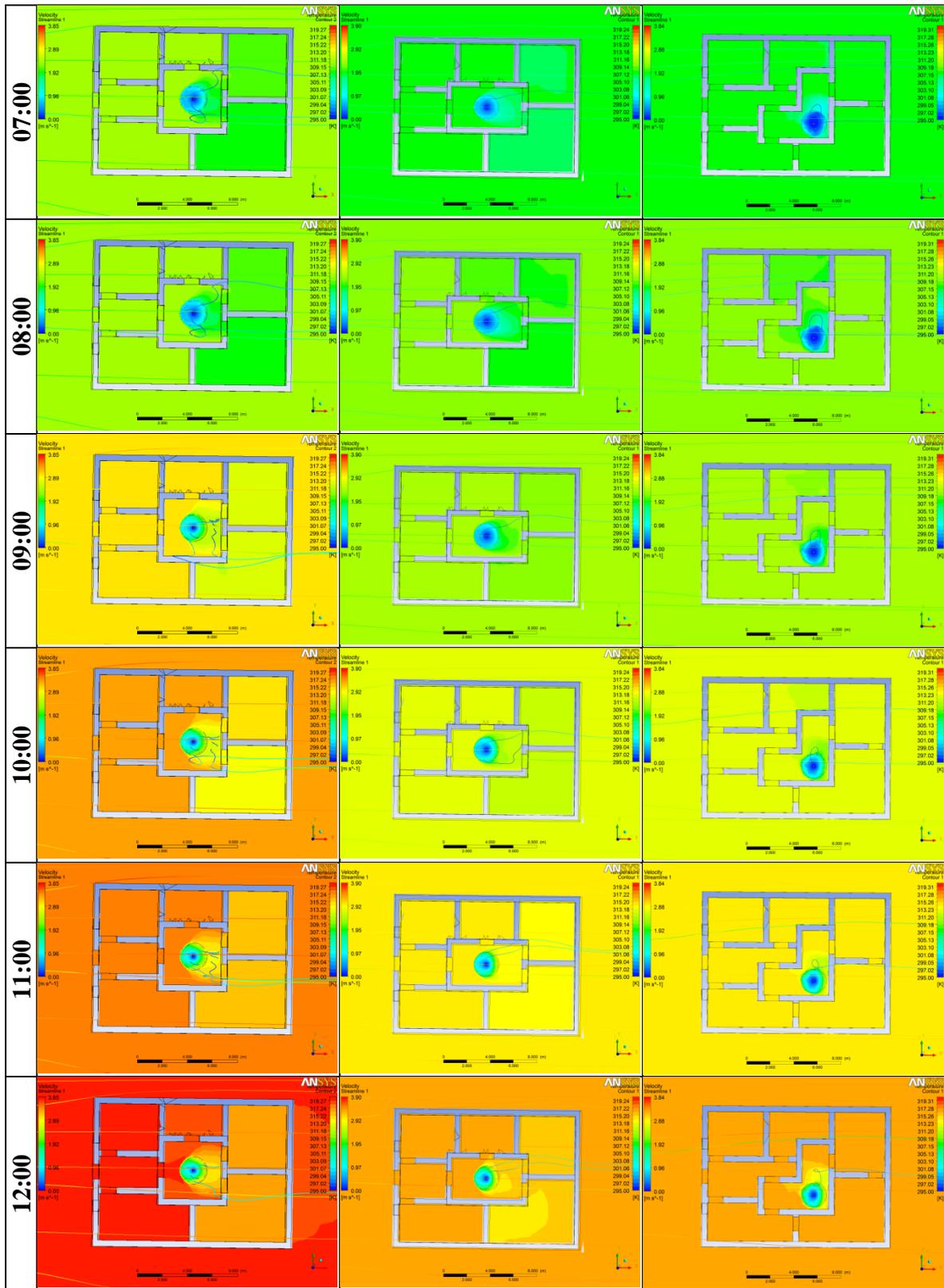
La température dans le patio rectangulaire centré ne dépasse par un écart de 3°C dans le cas le plus défavorable noté à 14h de l'ordre de 318(44,85°C) diminuer à 315 (41,85°C). On peut considérer que la forme rectangulaire centré est aussi efficace mais elle est moins performante en matière de refroidissement par rapport à la forme du patio carré centré.

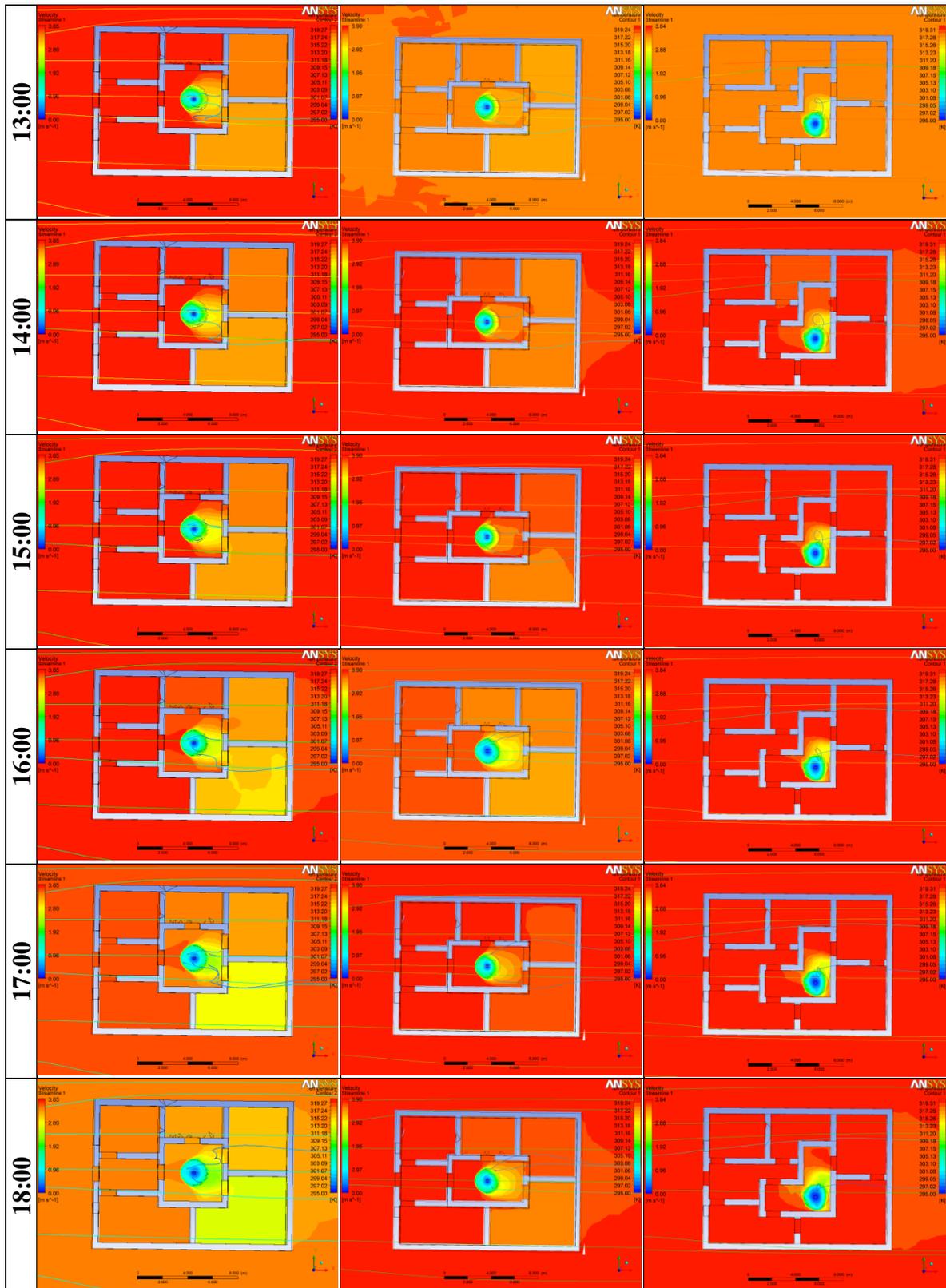
L'effet de refroidissement dans un patio polygonal centré ne dépasse pas les limites de ses parois et cela reste très restreint par rapport aux deux premiers cas.

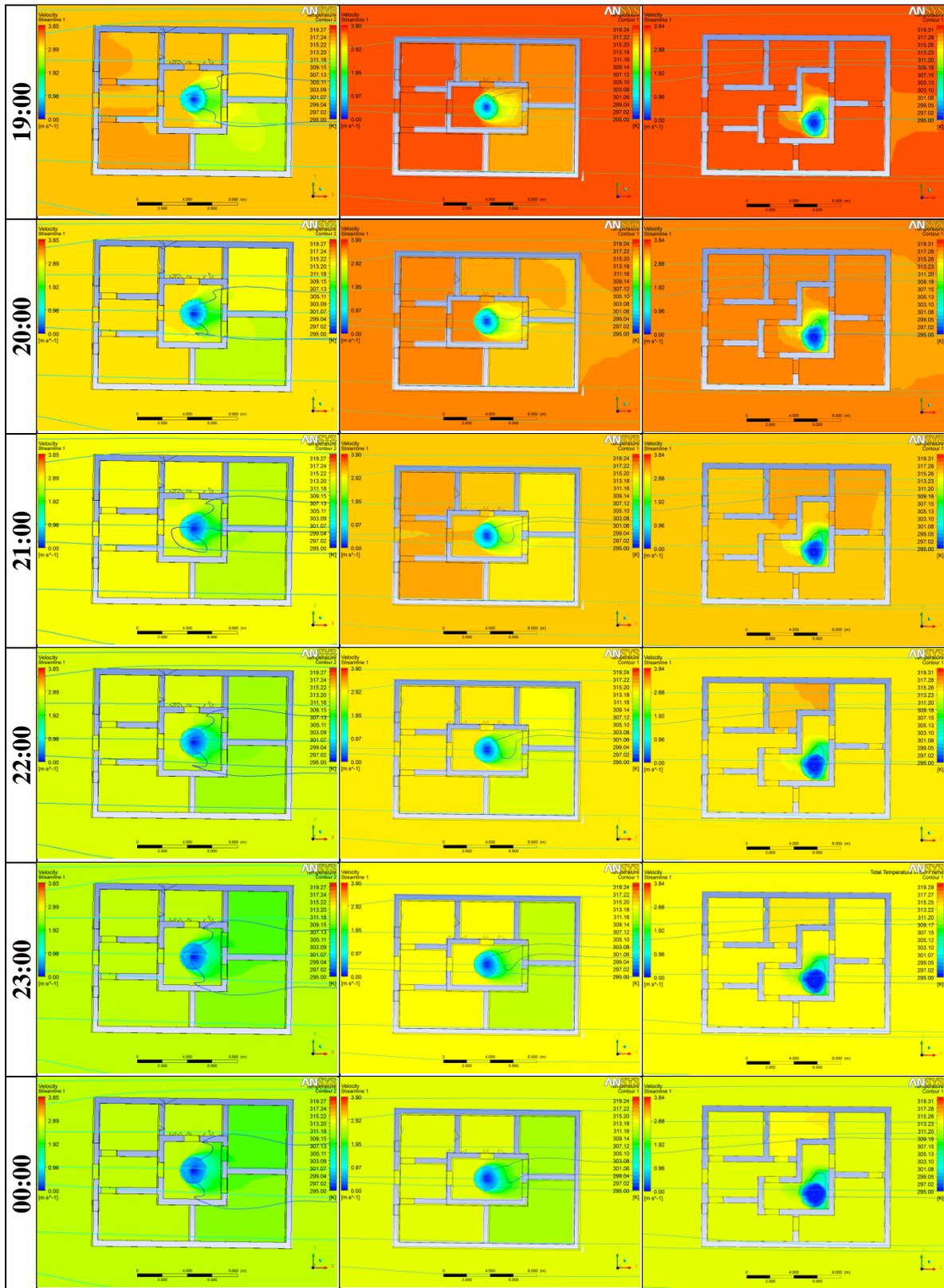
La vitesse de l'air dans les trois cas est dépendante à la température. La diminution de la vitesse de l'air froide à l'intérieur du patio signifie une baisse importante de la température et vice versa.

Tab.VI.3. Résultats de la température et la vitesse de l'air dans les patios centrés à un seul étage (Source : Auteur) :









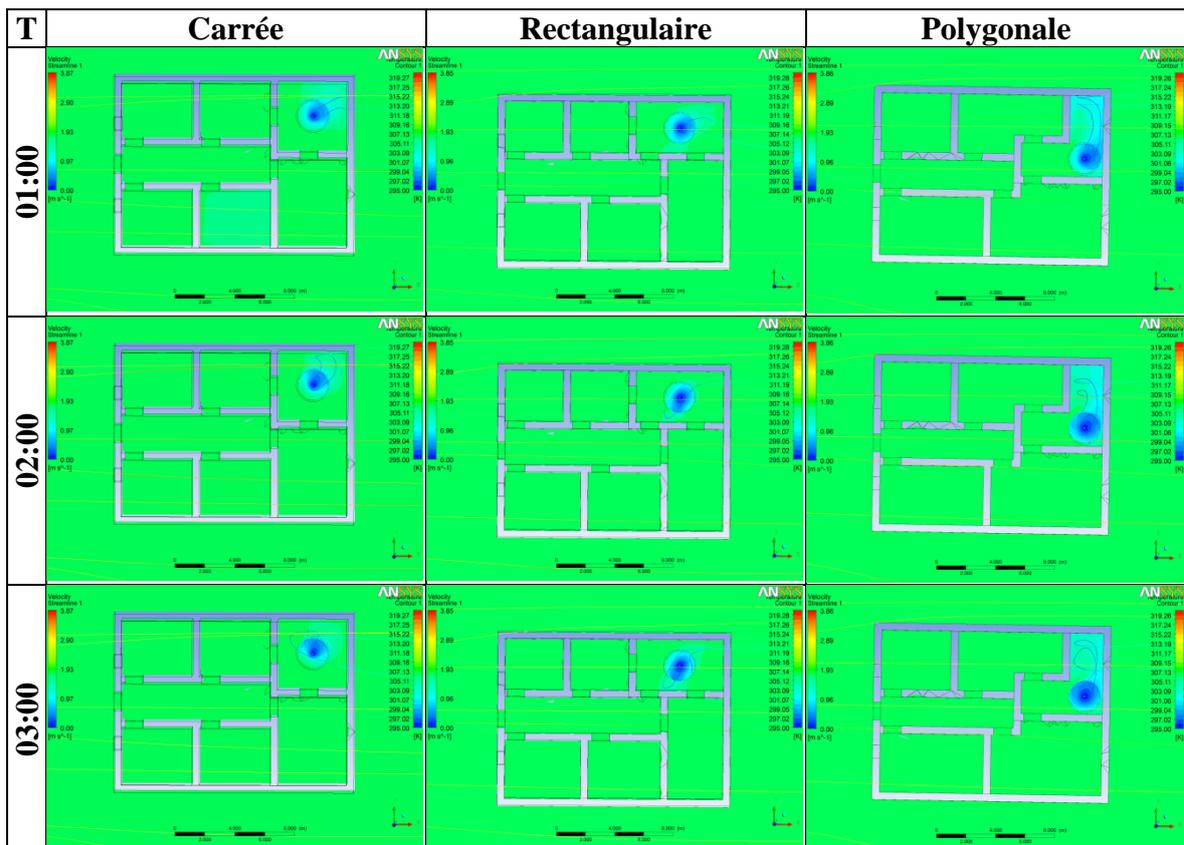
2.1.2. Les patios excentrés :

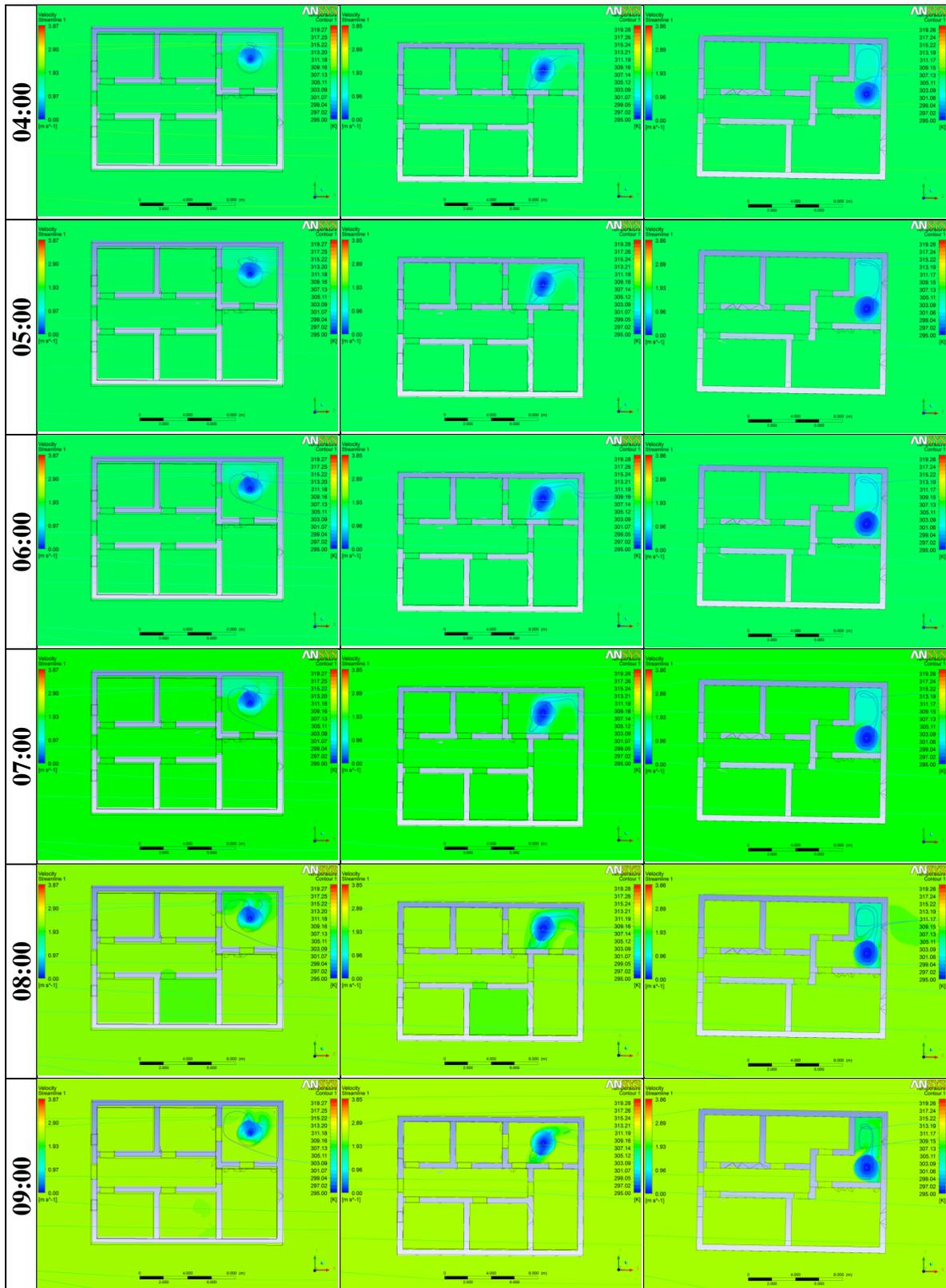
Le tableau suivant (Tab.VI.4) illustre les températures et les vitesses de l'air dans les patios excentrés.

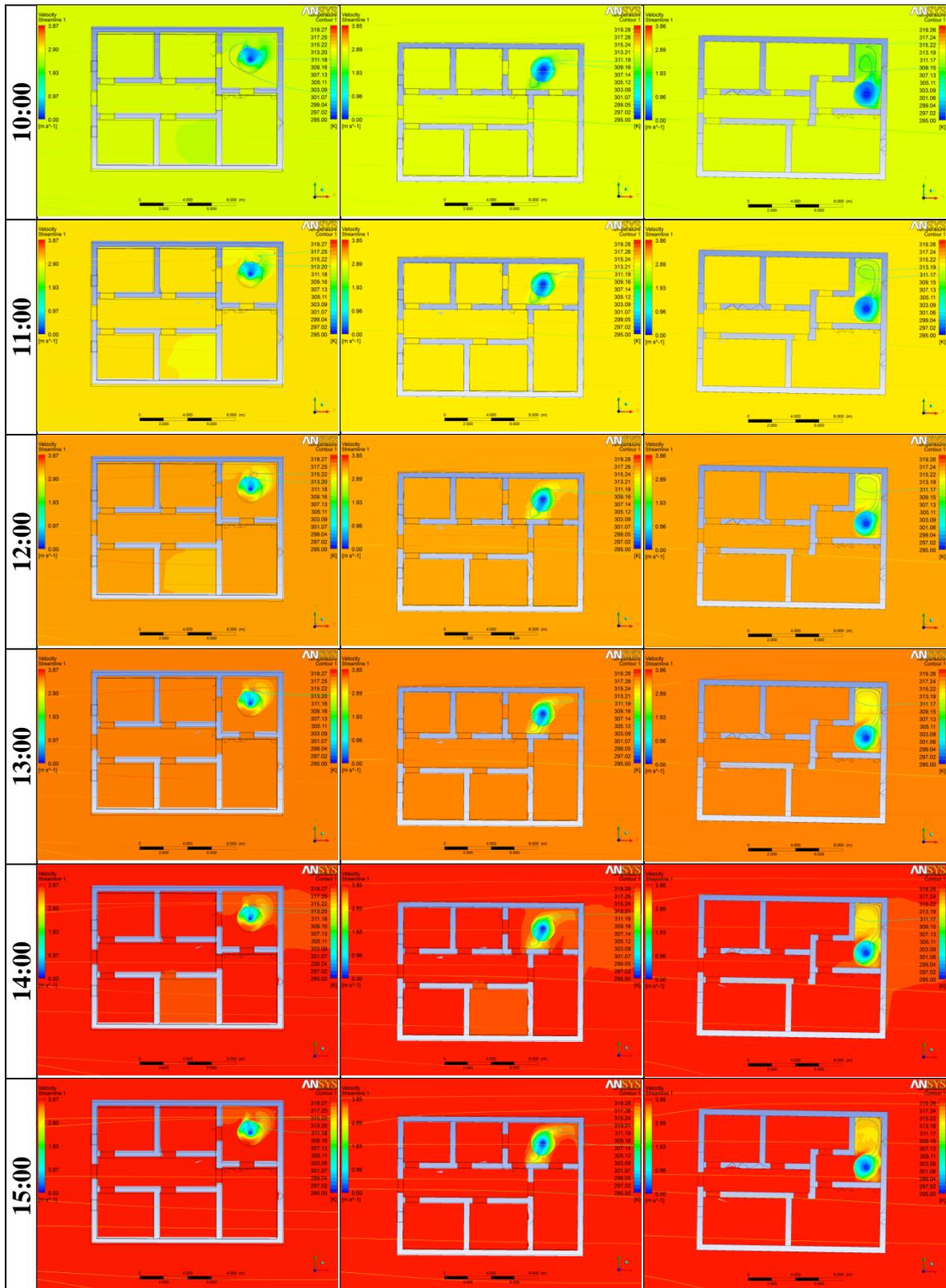
L'impact du rafraîchissement par les fontaines d'eau dans les patios excentrés est trop restreint par rapport à ceux centrés. On remarque que la diminution des valeurs de température concerne que les espaces les plus proches de la fontaine et ne figures pas à l'intérieur des autres espaces habités. Cela veut dire que le rafraîchissement n'excède pas les parois des patios.

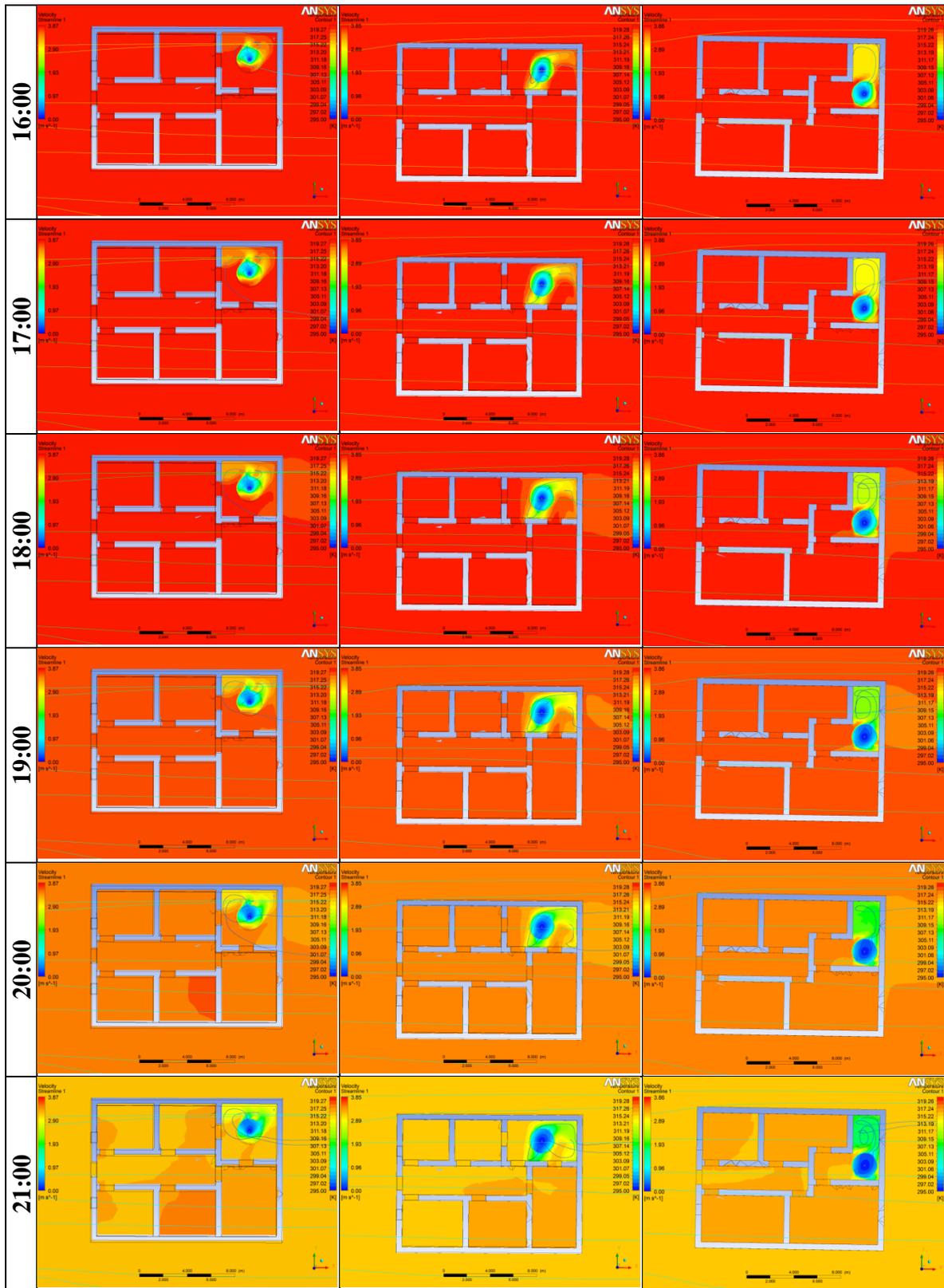
Le patio excentré polygonal a un seul étage représente la meilleure configuration en le comparant avec les deux autres formes, vu les valeurs de températures marquées tout au long de la journée avec un écart important qui peut atteindre les 4°C à 14h (de 318k à 314 k), même si cela ne dépasse pas les limites du patio, et cela peut être vu l'absence des ouvertures ou des accès à cette typologie.

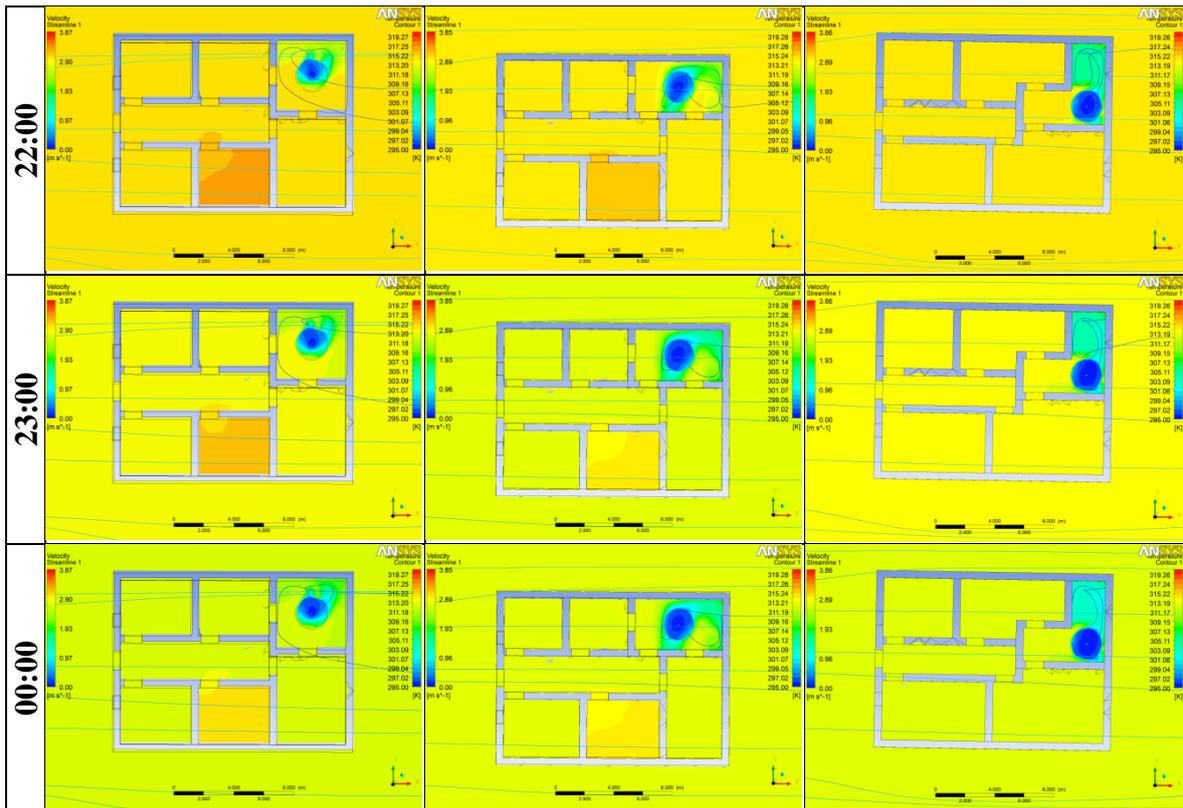
Tab.VI.4. Résultats de la température et la vitesse de l'air dans les patios excentrés à un seul étage (Source: Auteur) :







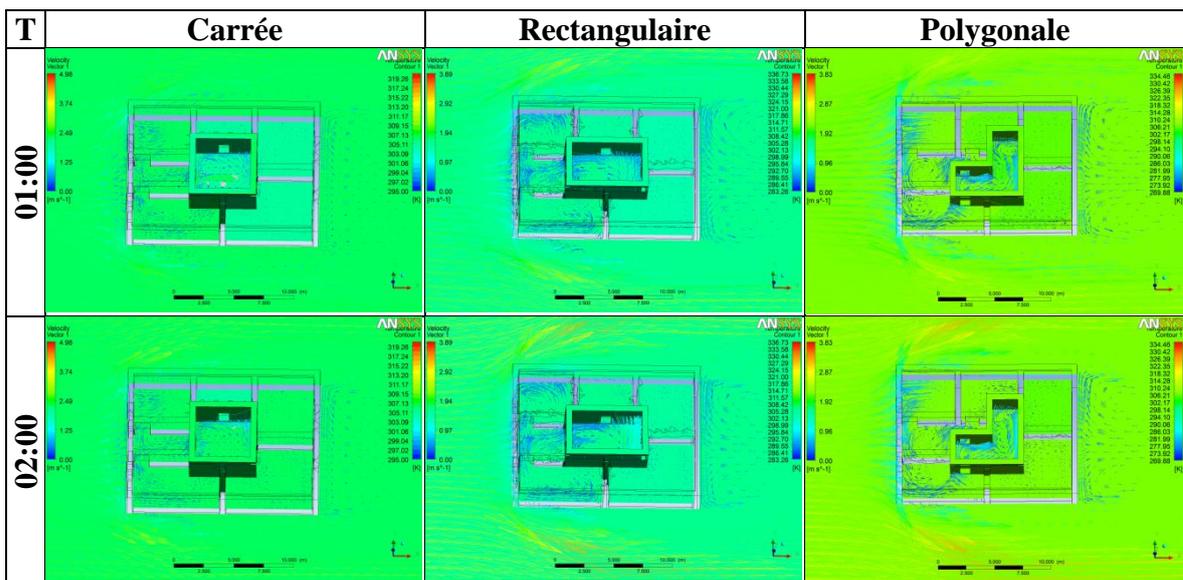


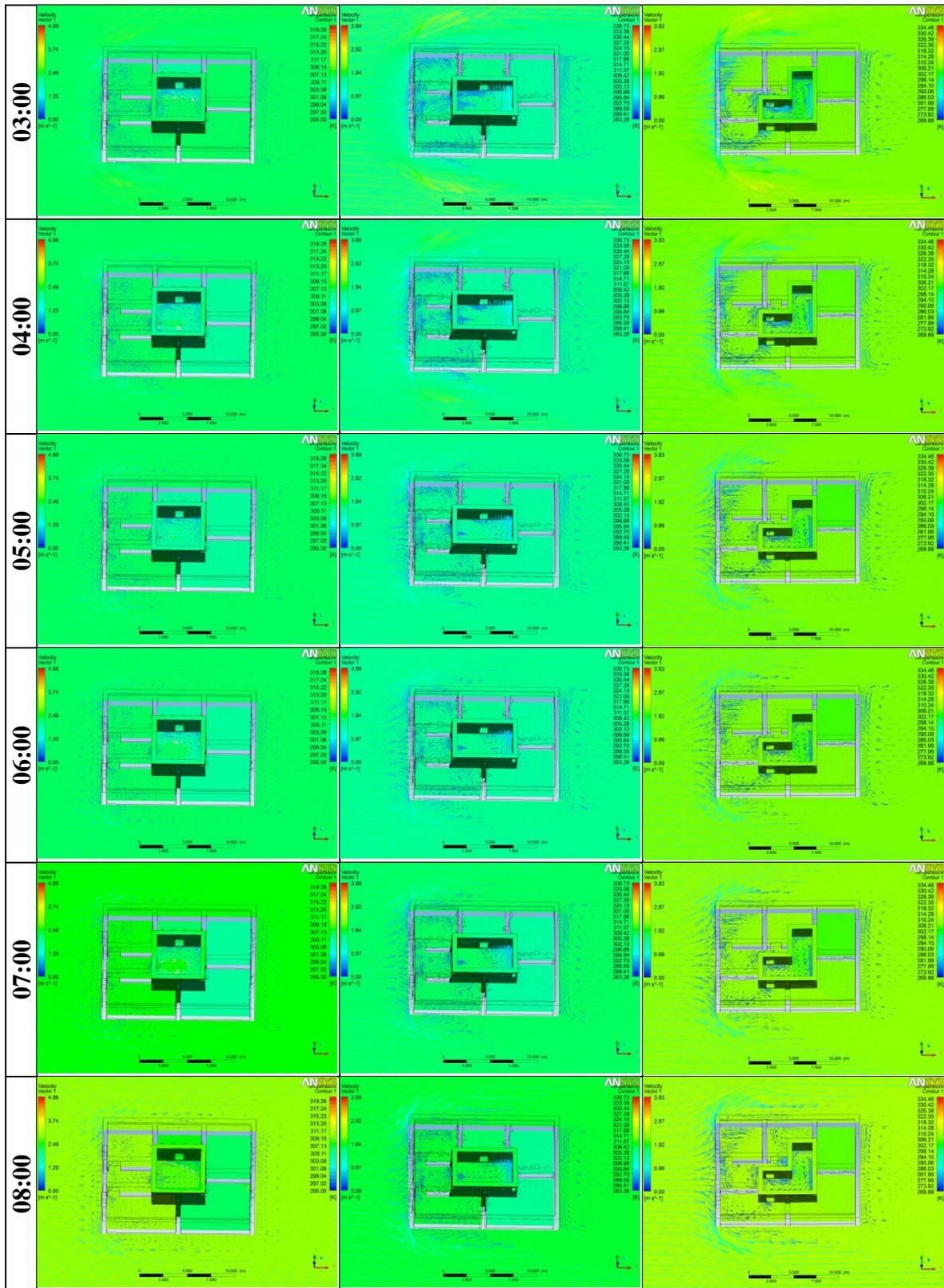


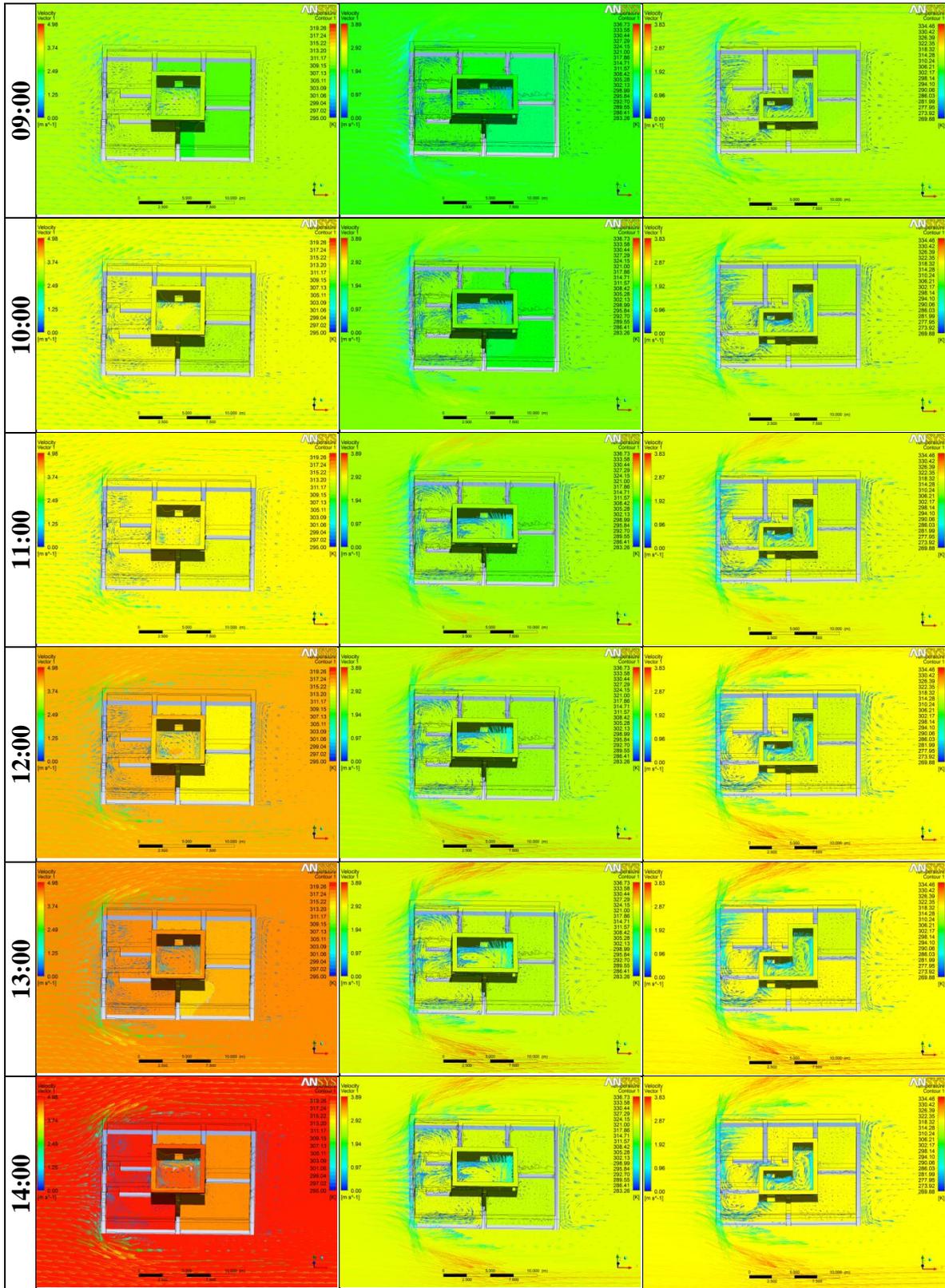
2.1. L'impact de la profondeur du patio sur le rafraîchissement

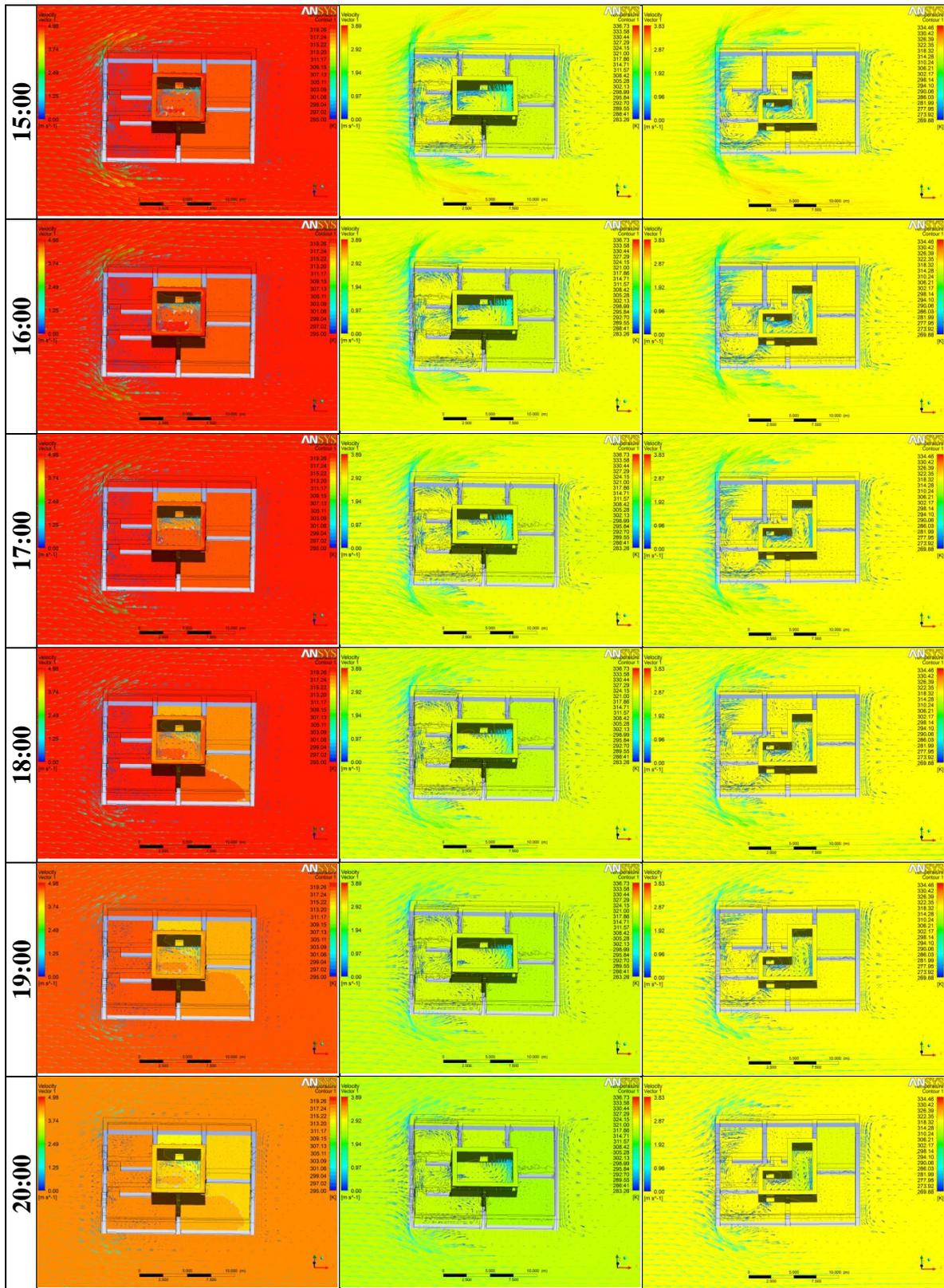
En ce qui concerne la profondeur des patios, nous avons comme objectif de déterminer la meilleure disposition dans laquelle le rafraîchissement est maximal. Pour cela il faut faire une lecture verticale entre les mêmes formes figurées dans le Tab.VI.3 et Tab.VI.5 et entre le Tab.VI.4 et Tab.VI.6.

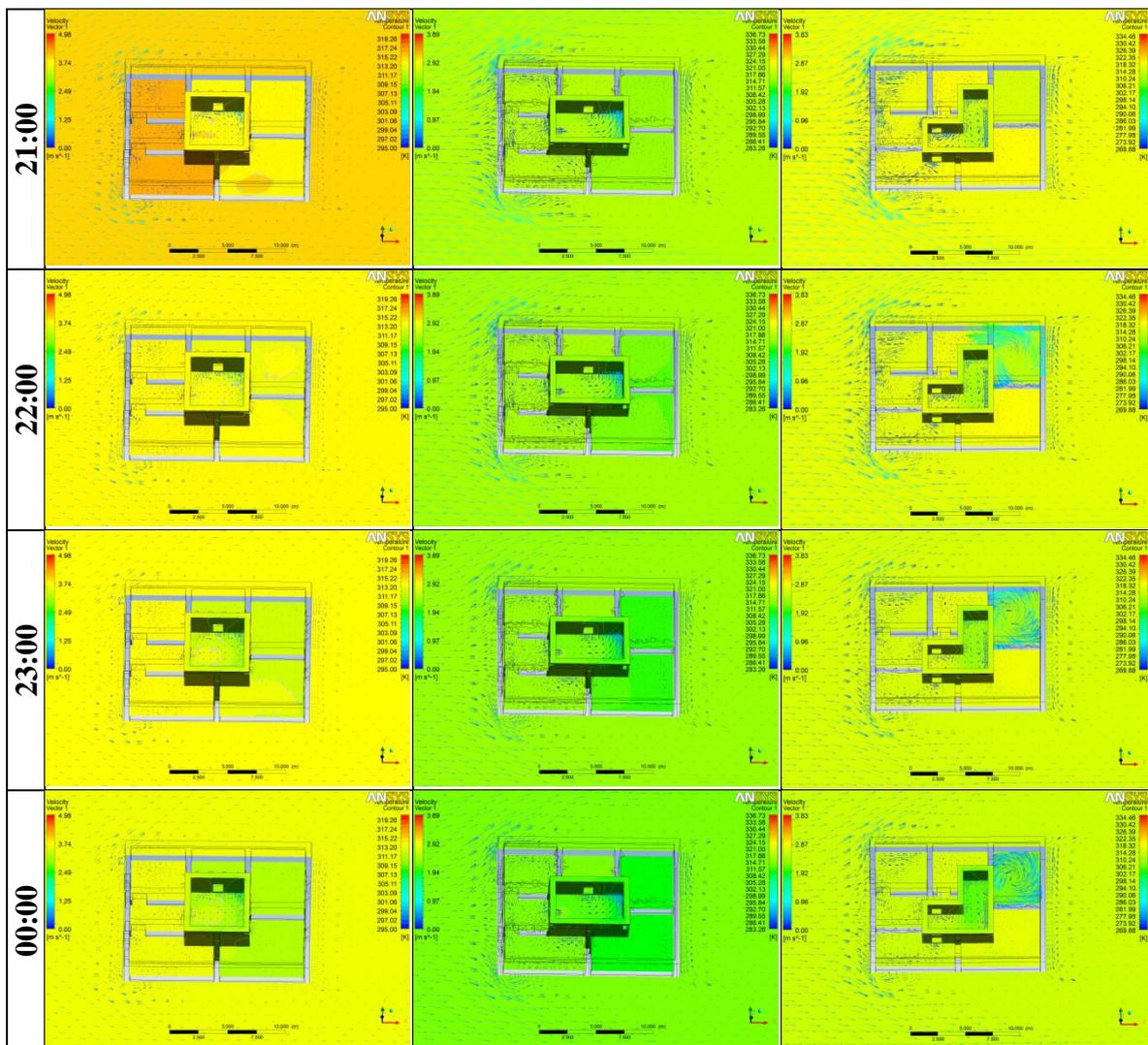
Tab.VI.5. Résultats de la température et la vitesse de l'air dans les patios centrés à deux étages (Source : Auteur)











Ces résultats sont presque similaires à ceux des patios centrés à un seul étage. Nous remarquons que le patio centrés présente la meilleure configuration afin d’obtenir des conditions adéquates.

Mais en comparant entre les résultats de la même forme afin de dénicher l’impact de la profondeur sur le rafraîchissement, on peut distinguer deux différences :

D’un part quantitatif, les valeurs de la température ont diminuées à 14 h, dans le patio à un seul étage avec un écart de 6° (45,85 à 39.85°C) et dans le patio à deux étages avec un écart de 5°C (45.85 à 40.85°C)

Et d’autre part qualitatif, la diffusion de cette refroidissement dans les espaces habités se fait différemment, on peut remarquer sur la figure (VI.1) que le patio à deux étages assure un maximum de diffusivité que dans le RDC.

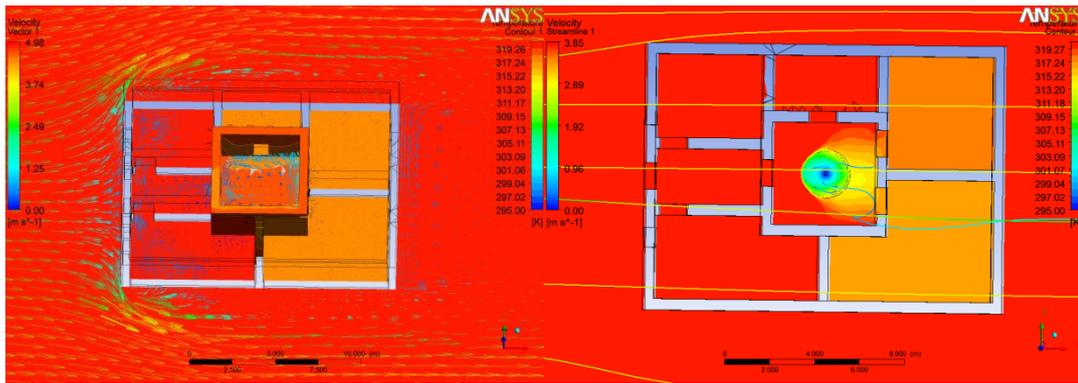


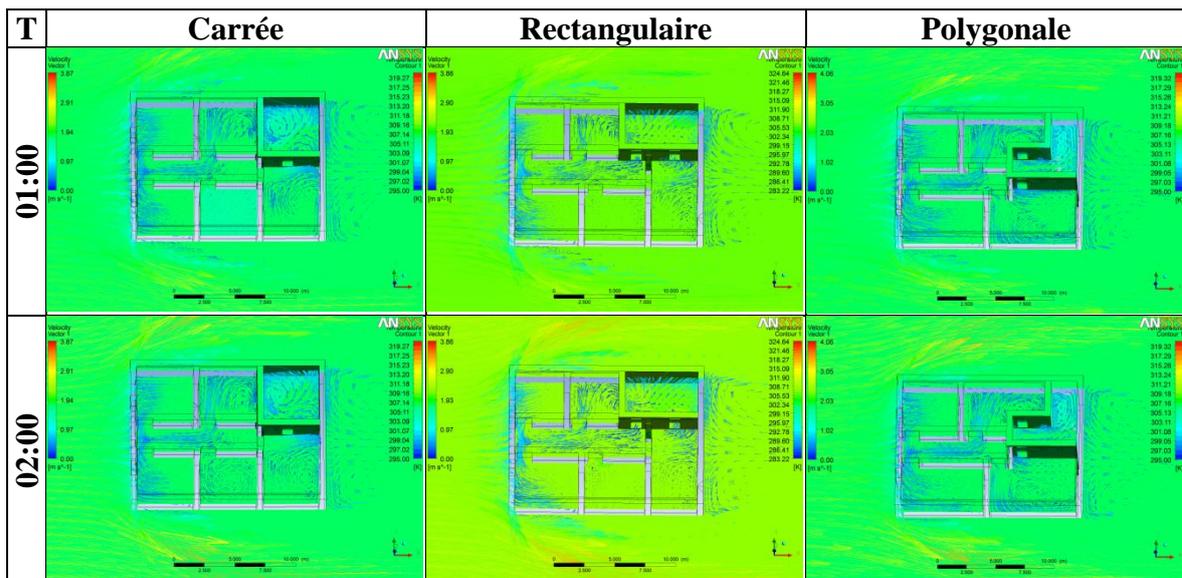
Fig.VI.1. Comparaison entre le patio centré carré dans un et deux étages à 14h (Source : Auteur)

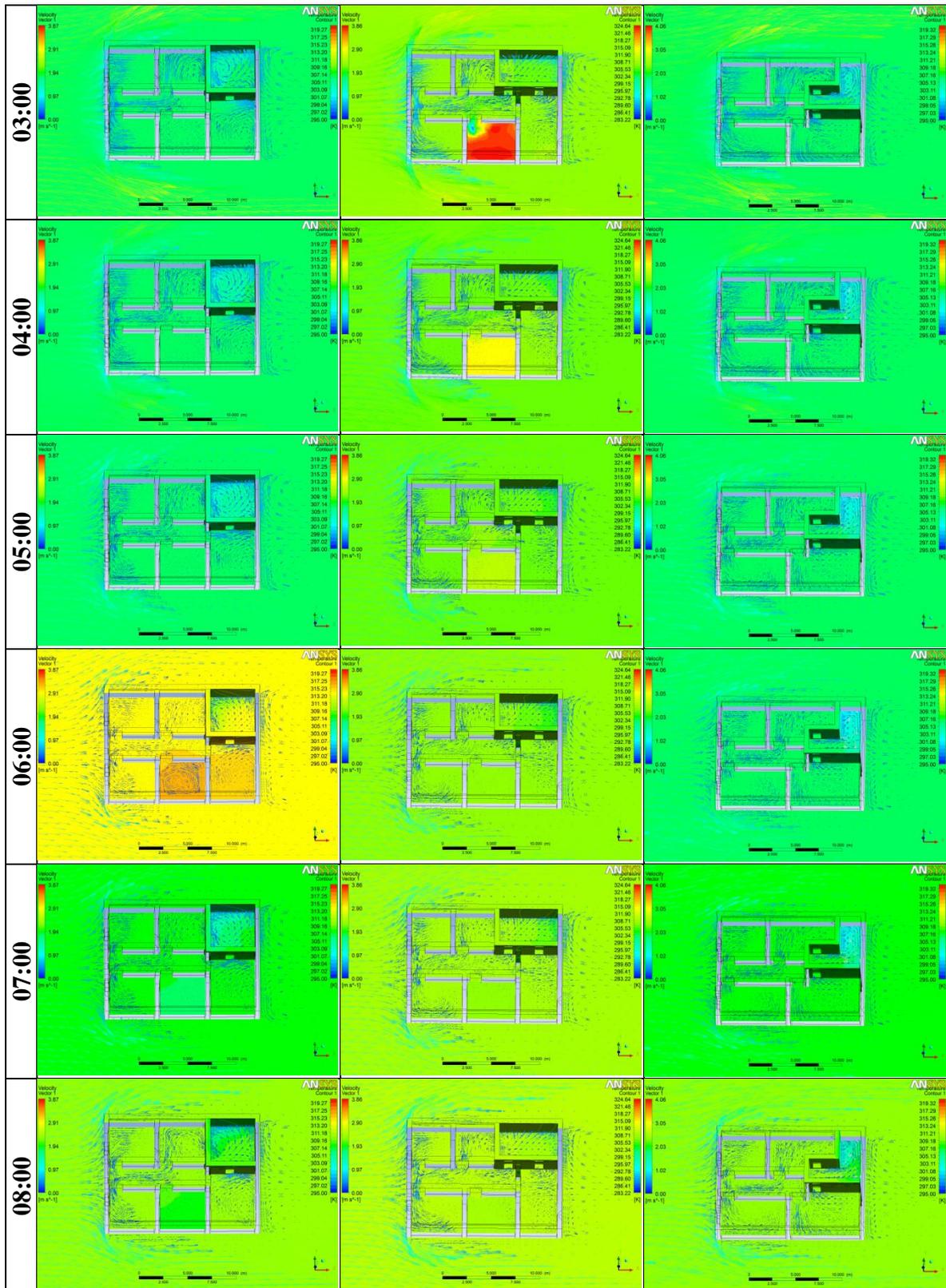
Ces résultats obtenus sont en accord avec ceux de Muhaisen (2006) qui a trouvé qu’une maison à RDC est la hauteur optimal d’une maison à patio situé dans un climat chaud et aride. Mais il faut signaler qu’une maison à deux étages est meilleure en terme de diffusion du rafraîchissement et non pas la quantification des valeurs de l’humidité et la température et donc la qualité du confort.

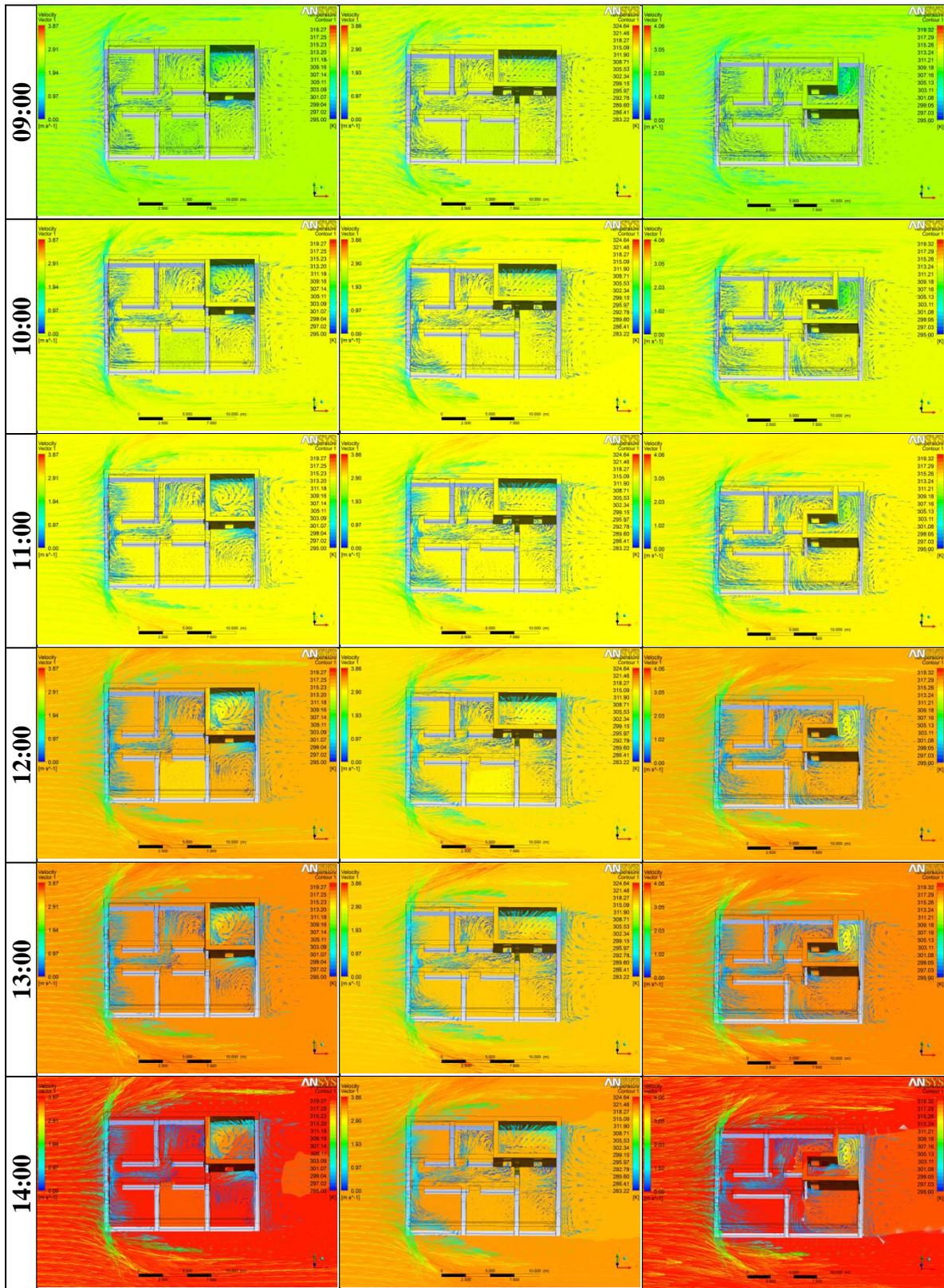
Cette diffusion est expliquée par l’augmentation de la vitesse de l’air dans les patios à deux étages, ce qui provoque un effet de sillage important à l’arrière des maisons simulés, et cela engendre aussi une augmentation de la vitesse de l’air à l’intérieur des patios à cause d’un mouvement tourbillonnaire autour de la fontaine.

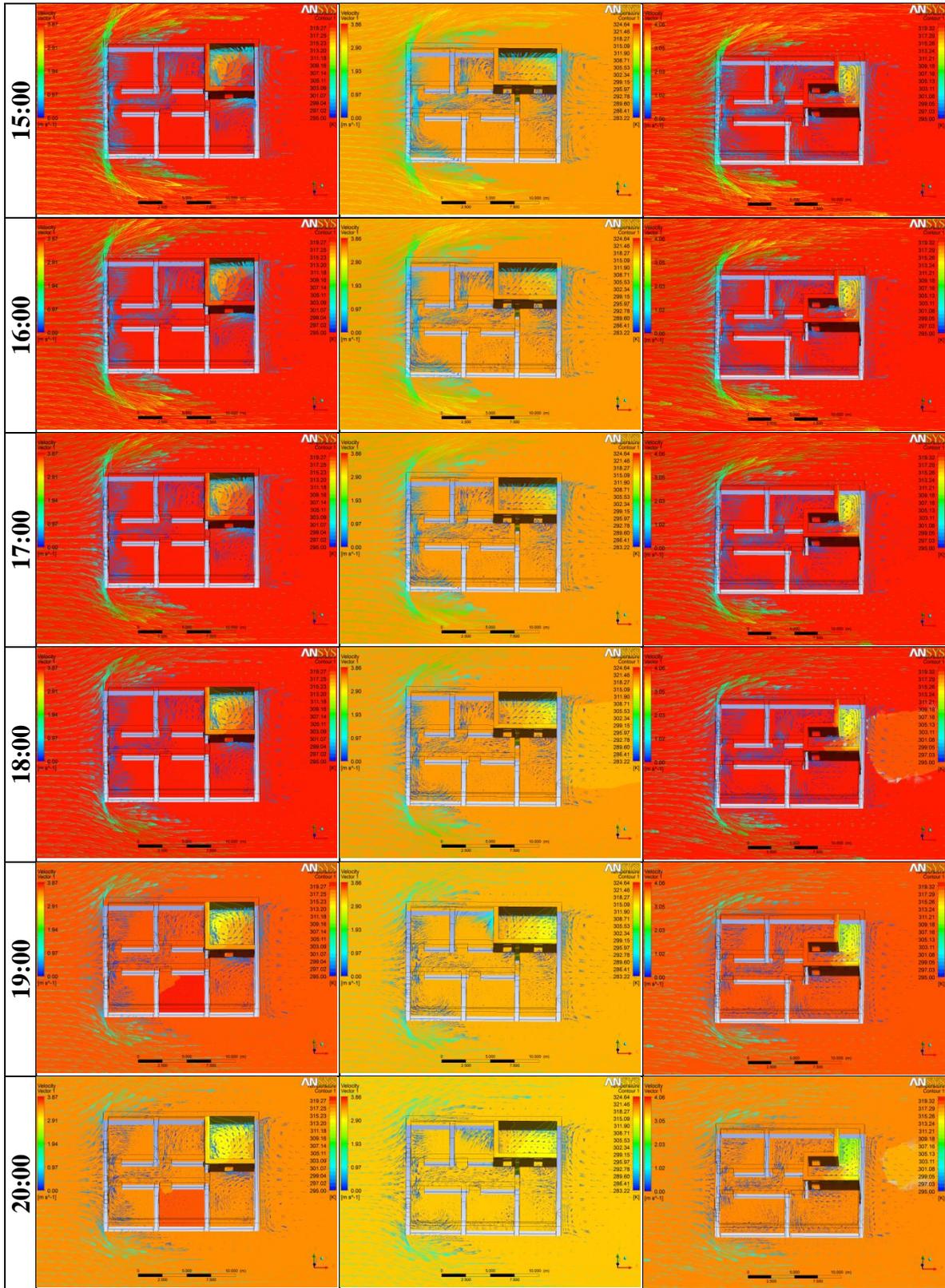
Dans ce cas, on considère qu’un patio carré centré représente la meilleure disposition que ce soit pour un ou deux étages.

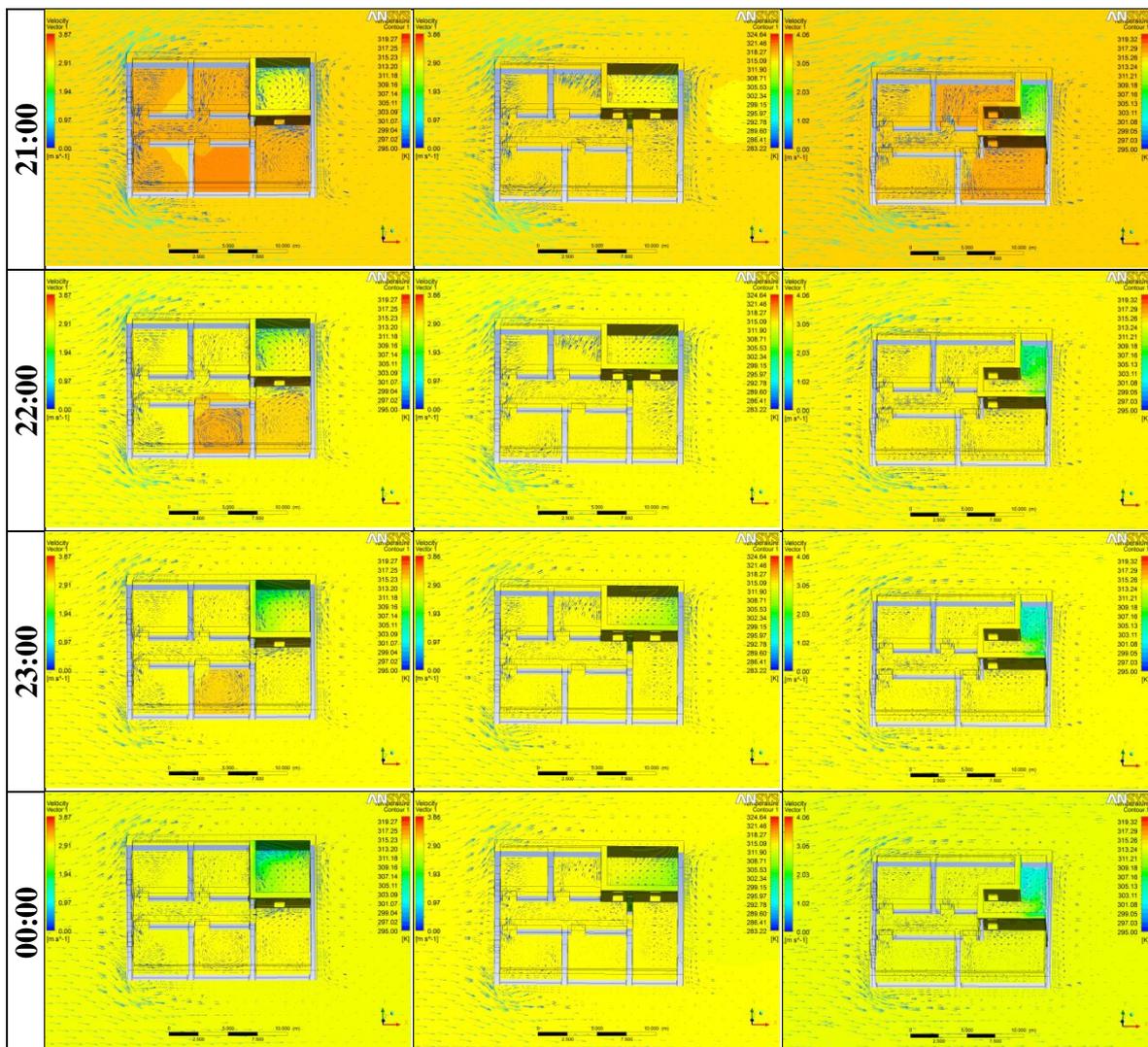
Tab.VI.6. Résultats de la température et la vitesse de l’air dans les patios excentrés à deux étages (Source : Auteur):











D'après la comparaison entre les patios excentrés à deux étages, on peut déduire que le patio polygonal en « L » illustre la forme favorable pour cette typologie.

Selon la figure (Fig.VI.2), on remarque à 13h que le taux d'humidité relative à l'intérieur du patio polygonal excentré en forme de « L » augmente de 26% à l'état initial, sans rafraîchissement jusqu'au 35,5%. Pour le même patio, la figure (VI.3) montre une représentation des valeurs de la température ambiante, on distingue une diminution de ces valeurs à 13h de 5°C sur les parois par l'effet de l'évaporation.

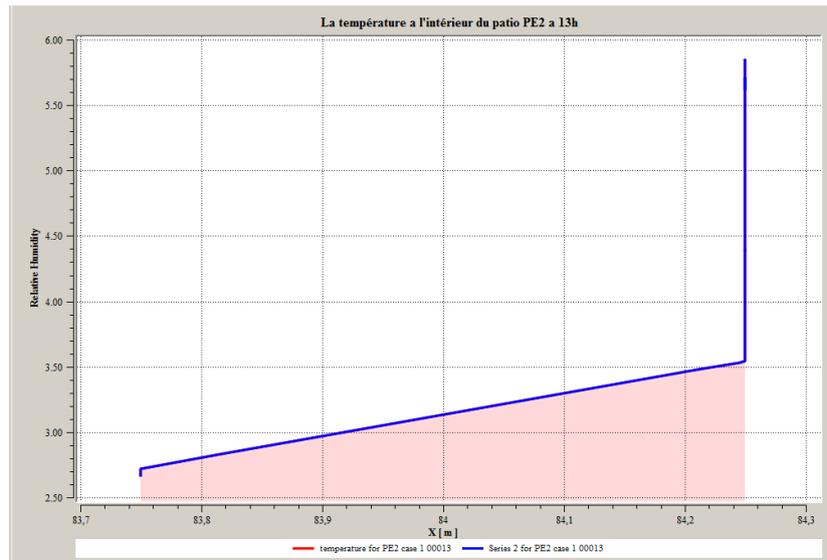


Fig.VI.2. Taux d'humidité relative du patio PE2 à 13h (Source : Auteur)

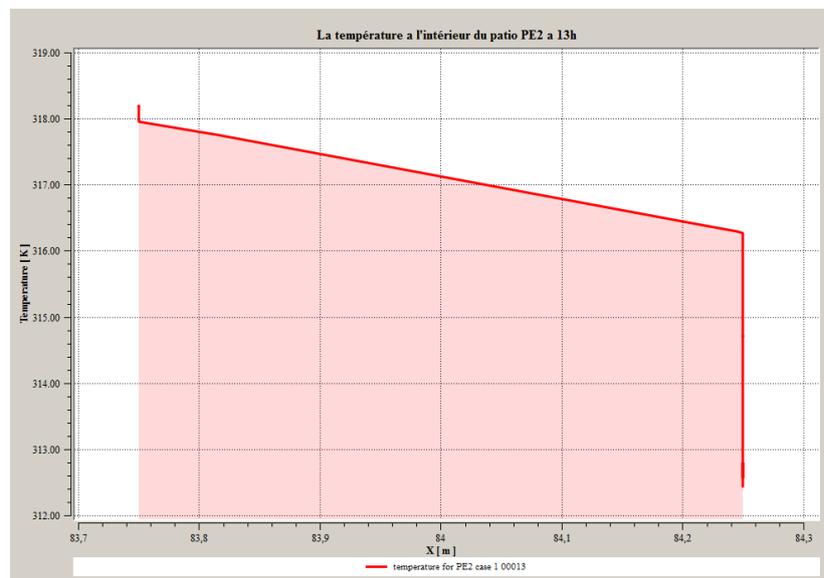


Fig.VI.3. Température à l'intérieur du patio PE2 à 13h (Source : Auteur)

Pour les maisons à patio excentrés à deux étages, le patio polygonale en forme de « L » présente une solution optimale pour atténuer les hautes températures de l'été, vue la génération de l'effet turbulent de l'air froid, et l'augmentation des taux d'humidité qui assistent à la réduction de la température ambiante, et assurent plus de commodité aux habitants.

Les gouttelettes d'eau s'évaporent et refroidissent l'air ambiant du patio, et l'amélioration des conditions thermiques s'explique par ce transfert qualifié de chaleur sensible entre l'air chaud et l'eau froide s'effectue en fonction de la température et la vitesse d'écoulement.

Conclusion :

Nos résultats affirment que le rafraîchissement par évaporation d'eau est une technique très utile afin de réduire les hautes températures estivales dans un climat Saharien, et cela conforme les résultats de Tiwari (1994).

Les résultats ont montrés l'efficacité d'un dispositif d'eau dans une maison à patios, et cela dans toutes les typologies, même s'il y'a, parfois, un effet très minimale dans certaines d'entre elles. Cela signifie que la combinaison entre le système de ventilation passif par patio, et la présence d'une fontaine d'eau à l'intérieur donnent des résultats meilleurs en matière de refroidissement.

En termes des formes géométriques le patio carré centré à un seul étage assure une baisse de température de l'ordre de 6°C (de 45,85°C à l'extérieur jusqu'au 39.85°C) dans les espaces habités, tandis que la température dans le patio rectangulaire centré ne dépasse par un écart de 3°C, par contre l'effet de refroidissement dans un patio polygonal centré ne dépasse pas les limites de ses parois et cela reste très restreint par rapport aux deux premiers cas.

Pour le positionnement des patios, on remarque que la diminution des valeurs de température et d'humidité ne concerne que les espaces les plus proches de la fontaine et ne figures pas à l'intérieur des autres espaces habités. Cela veut dire que le rafraîchissement n'excède pas les parois des patios.

En termes de profondeur des ces patios, nous avons déduit qu'une maison à un seul étage, quantitativement parlant, peut atteindre des valeurs très favorables d'humidité relative et de température par contre celle à deux étages est meilleure en terme de diffusion du rafraîchissement.

En récapitulant :

- Le patio carré centré à un ou deux étages présente la configuration optimale pour atteindre une différence de température de 6°C.
- Le patio excentré polygonal en forme de L a un impact considérable aussi sur le refroidissement pour les maisons à deux étages.
- Le patio à deux étages assure une maximum diffusion du rafraîchissement envers les espaces habités.

Conclusion Générale

Dans le but de réduire les consommations énergétiques, et d'améliorer les conditions de confort des habitants dans un milieu désertique, une proposition d'un système de refroidissement passif ou hybride durant la période estivale est nécessaire.

Le pays des Zibans, et la ville de Biskra précisément, est une ville saharienne, qui se caractérise par un climat désertique sec et chaud, avec une amplitude thermique journalière qui peut atteindre les 22°C, en été. (Côte, 2005)

Ce climat présente le contexte optimal qui permet d'évaluer l'impact de la présence d'un dispositif d'eau, et vérifier ses effets en termes de commodité thermique.

Ce dispositif peut être variable, en fonction de son utilisation, son emplacement et surtout sa fonction (refroidissement, ablution, décoration Etc)

Le choix d'une fontaine d'eau dépend de toute une série de caractéristiques techniques, tels que l'effet de l'eau, le débit, la hauteur piézométrique, le rayon d'éclaboussure, le potentiel de colmatage et sa résistance aux vents.

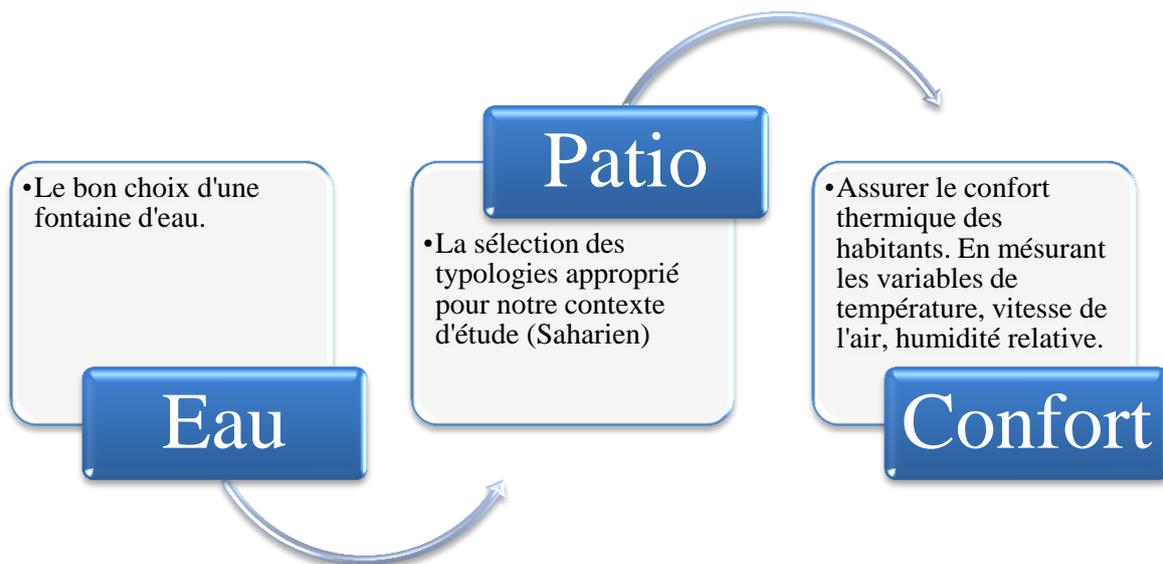


Fig.C1. Schématisation d'objectif d'étude (Source : Auteur)

Les différentes typologies des maisons à patio se varient en fonction de leur contexte géographique, climatique voire socio-culturel.

L'analyse la dimension environnemental et bioclimatique de ces maisons nous a permet de retirer toute une séries de recommandations, tels que :

- L'orientation optimale pour le contexte Saharien est celle Nord-Sud.
- Une forme compacte et allongée des maisons à patio est favorable en termes de performance énergétique.
- Des parois lourdes et épaisses favorise l'effet de l'inertie thermique, stocke mieux la chaleur et ralentissent le déphasage.
- La diminution des dimensions d'ouvertures est impérative afin de minimiser les apports thermiques. Vu la présence du patio, la majorité des espaces habités sont ouverte sur l'intérieur.
- Le choix d'une couleur claire afin d'éviter l'absorption de la chaleur.
- L'orientation envers la direction des vents froids dominant pour améliorer le rafraîchissement.
- Un patio profond est favorable en été, tandis que le moins profond est le plus efficace en hiver pour la génération d'ombre.
- En terme de confort acoustique, le patio le moins profond est celui le plus favorable.

En combinant tous ces recommandations, avec les typologies qui existent dans les environs de la ville de Biskra, on a proposé douze modèles en se basant sur trois formes géométriques (Carrée, Rectangulaire, Polygonale), avec deux positionnement (centré, excentré). Le dernier paramètre introduit est la profondeur de ces patios (rez-de-chaussée et avec un seul étage) comme le montre la matrice ci-dessous :

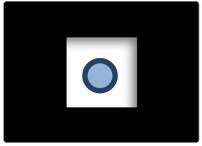
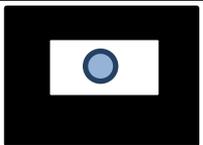
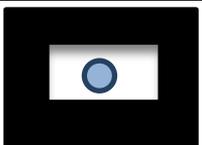
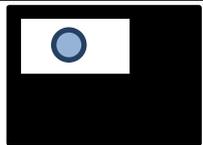
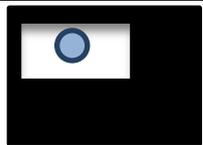
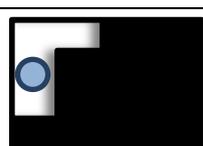
Forme \ Position	Centré		Excentré	
	1 niveau	2 niveaux	1 niveau	2 niveaux
Carrée				
				
Polygonale				

Fig.C2. Matrice des modèles de simulation

Le logiciel utilisé pour la simulation de ces modèles est ANSYS Fluent, un software spécialisé en mécanique des fluides qui travaille avec la méthode des éléments et des volumes finis, et associé à plusieurs extensions performantes de maillage (ICEM-CFD) et de visualisation de résultats intégrés (Post-CFD).

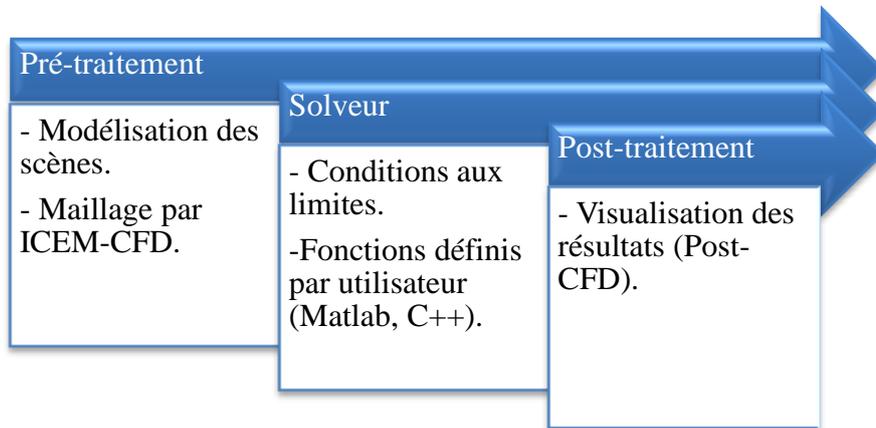


Fig.C3. Etapes de modélisation (Source : Auteur)

Sous l'extension ICEM-CFD, et après avoir importé nos géométries, nous avons choisis un maillage tétraédrique hybride qui peut combiner entre plusieurs formes géométriques planaires et qui convient avec la présence de la fontaine d'eau circulaire à l'intérieur des maisons simulées.

ANSYS fluent permet aussi à travers l'utilisation des fonctions définies par utilisateurs « UDF » (User defined Function), l'introduction de ces fonctions au logiciel permet d'évaluer nos variables climatiques dans un régime instationnaire, en fonction du temps.

Les équations polynômiales suivantes sont obtenues par le logiciel mathématique « MatLab » et correspondent aux variables climatiques de la journée de simulation dans la ville de Biskra (21 Juillet) en fonction du temps:

- **Température:**

$$T(t) = -5.255e-6 (t)^6 + 0.0004549(t)^5 - 0.01459(t)^4 + 0.2067 (t)^3 - 1.202(t)^2 + 2.739(t) + 31.66$$

- **Vitesse de l'air :**

$$V(t) = 2.637277292e-8(t)^8 - 2.353965207e-6 (t)^7 + 7.780890408e-5 (t)^6 - 1.039604851e-3 (t)^5 + 3.876113535e-4(t)^4 + 1.257433067e-1(t)^3 - 1.105592113 (t)^2 + 3.001168339(t) + 0.343508488$$

- **Humidité relative :**

$$H(t) = -6.567e-6(t)^4 + 0.0004291(t)^3 - 0.008344(t)^2 + 0.04482(t) + 0.245$$

L'introduction de ces polynômes comme étant des inputs sur Fluent se fait par la programmation d'un script sur le langage C++ de l'ordinateur.

Pour les conditions aux limites, nous avons choisi le $k-\varepsilon$ standard comme modèle de turbulence avec la condition instationnaire UDF tout au long du domaine de calcul et un débit d'eau fixe ajusté à 10 l/s pour tous nos modèles, tandis que pour les méthodes de solution que propose Fluent nous avons choisi un Scheme « Simple » avec une précision de deuxième ordre « Second Order Upwind ».

L'interprétation des résultats obtenus et figurés dans le chapitre VI, nous a permis d'affirmer l'impact positif du rafraichissement par évaporation d'eau, qui est très utile afin de réduire les températures estivales très élevées dans un climat Saharien.

La combinaison entre le système de ventilation par patio, et la présence d'un dispositif d'eau à l'intérieur donnent des résultats meilleurs en matière de refroidissement. Les résultats ont aussi montré l'efficacité d'un dispositif d'eau dans une maison à patios, et cela dans toutes les typologies, même s'il y'a un effet très minimale dans certaines d'entre elles.

Les résultats montrent qu'il existe deux configurations favorisés :

Le patio carré centré à un ou deux étages présente la configuration optimale pour atteindre une différence de température de 6°C.

Le patio excentré polygonal en forme de L a un impact considérable aussi sur le refroidissement pour les maisons à deux étages.

un patio à deux étages favorise la diffusion du rafraichissement envers les espaces habités qu'un patio à RDC.

L'amélioration des conditions thermiques, que cette étude a démontrée quantitativement aura un impact directe sur la consommation énergétique de ces maisons.

Limites et perspectives de recherche :

Il faut bien rappeler que ce travail a pour objectif de vérifier l'impact du rafraîchissement de l'eau dans les maisons à patio, c'est pour cela qu'on a pris ces maisons comme des bâtiments isolés et on a pas pris en considération le tissu d'implantation, le voisinage, ... etc.

Choisir une maison modèle optimale dans laquelle on peut insérer les différents typologies pour effectuer nos séries de simulation ne dépend pas seulement de ces critères choisis mais il demande toute une stratégie d'investigation et plusieurs d'autres critères formelles et techniques.

La configuration spatiale à l'intérieur de ces maisons n'a pas été profondément étudié. Dans ce manuscrit on s'est basé beaucoup plus à l'engineering que l'aspect architecturale et formel des espaces.

Les équations obtenus par « Matlab » et utilisées pour le profil des variables climatique tels que la vitesse de l'air, la température et l'humidité relative sont des équations polynomiales approximatives qui ne donnent pas des résultats exacts.

En perspective, cette étude nous servira pour optimiser dans un travail ultérieur beaucoup d'autres facteurs qui peuvent influencer l'impact du rafraîchissement, nous pourrons :

- Prendre en considération l'effet des rayonnements solaires dans la simulation.
- Introduire des paramètres réels de tous les éléments de constructions tels le choix et les propriétés des matériaux de construction, avec la prise des différentes mesures in situ.
- Choisir une simulation en maillage dynamique de la fontaine d'eau permet de donner des meilleurs résultats en termes de rafraîchissement par évaporation
- Optimiser caractéristiques techniques des fontaines d'eau, y compris son débit et sa hauteur piézométrique, pour voir leur impact sur le rafraîchissement dans ces mêmes typologies de patios.
- Etablir des enquêtes avec les usagers des maisons à patios, pour qu'on puisse distinguer cette subjectivité du confort.
- Planifier un tissu urbain en combinant les meilleures configurations suivant les résultats obtenus.
- Associer cette technique de rafraîchissement évaporatif à d'autres systèmes de refroidissement passif permettrait des meilleures performances thermiques.

Références bibliographiques :

- Aberle, K.A. (2012). Studies in the urban domestic housing of Mid-Republican Scily (ca.211-70BC): Aspects of crosse-cultural contact. Thèse de doctorat (PHD), Université British Columbia.
- Alberti, G. (2009). La maison urbaine gallo-romaine en Gaule Belgique et dans les Germanies. Thèse de doctorat en Science de l'antiquité, Université de Strasbourg.
- Ali, A-H. H. (2007). Passive cooling of water at night in uninsulated open tank in hot arid areas . *Energy Conversion and Management*, 48, 93-100.
- Allard, F. (Ed.), & Santamouris, M. (1998). Natural ventilation in buildings: a design handbook. UK : Earthscan.
- Archambeau, F. (2004). Cours : Introduction à la turbulence. Document non publié, Ecole Nationale Supérieure des Techniques avancées, Paris, France.
- Arjmandi, H., Tahir, M., & Shabani, M. (2010). Application Of Transparency To Increase Day Lighting Level Of Interior Spaces In The Dwelling Apartments In Tehran—A Lesson From Iranian Traditional Architecture. Malaysia : Editorial Board/Sidang Editor.
- Arrouf, A. (2006). The courtyard houses of the southern Algeria. In Edwards, B., Sibley, M., Hakmi, M., & Land, P. (Eds.), *Courtyard housing past, present and future* (pp. 54-66). UK : Taylor & Francis
- ASHRAE Handbook. (1997). ASHRAE Handbook of Fundamentals. Chapter 8 : Thermal comfort. ASHRAE Atlanta.
- Bahammam, O.S. (2005). The role of privacy in the design of the Saudi Arabian courtyard house. In Edwards, B., Sibley, M., Hakmi, M., & Land, P. (Eds.), *Courtyard housing past, present and future* (pp.102-111). UK: Taylor & Francis.
- Bahbudi, K.T., Taleghani, M., & Heidari, S. (2010). Energy Efficient Architectural Design Strategies in Hot-Dry Area of Iran. In Best 2 Conference. USA : Hilton Portland & Executive Tower.
- Baker, N., Standeven, M. (1995). A Behavioural Approach to Thermal Comfort Assessment in Naturally Ventilated Buildings. In CIBSE National Conference, 76-84.
- Belgrand, M. (1875). Les travaux souterrains de Paris : Tome. II. les eaux: introduction-les aqueducs romains-, Paris: Dunod.
- Bencheikh, H., (2007). Etude et réalisation d'un système de refroidissement passif en utilisant une toiture radio-évaporatoire dans les climats chauds et arides. Thèse de doctorat en architecture, Université de Constantine, Algérie.
- Bensaha, H., Bensaha L., & Achour M. (Ed.) (2008). Réflexion pour préserver l'environnement : cas de la vallée du M'zab, Algérie. Marseille : LPED.
- Berger, X. (1995). Thermal comfort, study and code - PASCOOL report. Athènes: Université d'Athène, 69 p.
- Bicego, K.C., Barros, R.C.H, et Branco L.G.S. (2007). Physiology of temperature regulation: Comparative aspects. *Comparative Biochemistry and Physiology A-Molecular & Integrative Physiology*, 147.
- Blaser, W. (1985). *Atrium: Five Thousand Years of Open Courtyards*. Basel : Wepf & Co.

- Blauuw, S.L. (2011). The Church Atrium as a Ritual Space: The Cathedral of Tyre and St Peter's in Rome, Andrews, Frances (Ed.). *Ritual and space in the Middle-Ages*, 30-43.
- Bond, M.H. (2013). Refining Lewin's formula: A general model for explaining situational influence on individual social behavior. *Asian Journal of Social Psychology* 16(1), 1-15.
- Bourguet, R. (2008). *Analyse physique et modélisation d'écoulements turbulents instationnaires compressibles autour de surfaces portantes par approches statistiques haute-fidélité et de dimension réduite dans le contexte de l'interaction fluide-structure*. Thèse de doctorat en dynamique des fluides, Université de Toulouse, France.
- Braudel, F. (2002). *Architecture Traditionnelle Méditerranéenne*, pp. 24. Ecole d'avignon : CORPUS.
- BRE. (1994). Les résumés de l'Etablissement de la Recherche Britannique : Natural ventilation in non-domestic buildings : a guide for designers, developers and owners, good practice guide(237), pp.5.
- Bruyère, B. (1953). *Rapport sur les fouilles de Deir el-Medineh (Années 1948-51)*, FIFAO XXVI, Le Caire, p. 89.
- Bousquet, C. (1986). L'habitat mozabite au M'Zab, éditions du CNRS, *Annuaire de l'Afrique du Nord*, 25, 257-269.
- Cahill, N. (2002). *Household and City Organization at Olynthus*. New Haven: Yale University Press.
- Callebat, L. (1986). Vitruve, de l'architecture, livre X, chap.5.2. Paris: Les belles lettres. (œuvre originale publiée en 1847).
- Cantacuzino, S. (1969). *European Domestic Architecture*. London: Studio Vista.
- Cantin, R., Moujalled, B., et Guarracino, G. (2005). Complexité du confort thermique dans les bâtiments. In *Congrès Européen de Science des Systèmes*, 6, 1-10.
- CAUE (Conseil en Architecture Urbanisme et Environnement). (2005). L'architecture bioclimatique. In *revue d'architecture d'urbanisme et d'environnement de l'Ariège*, France.
- Charbonneau, J-V. (2004). *Guide : Confort thermique à l'intérieur d'un établissement*. Québec : Direction des communications.
- Chatelet, A., Fernandez, P., et Lavigne, P. (1998). *Architecture climatique- une contribution au développement durable – Tome 2 : concepts et dispositifs*. France : Edition Edisud.
- Chyani, M. (2009). Essai de restitution virtuelle de la maison des Fresques à Tipasa. *Virtual Retrospect* (4) . Ausonius éditions, 47-51.
- CNRS-MAI. (2006). *Mission archéologique de l'Indus*. France : Le centre national de la recherche scientifique.
- Côte, M. (2005). *La ville et le désert: le Bas-Sahara algérien*. Paris : Karthala.
- Da Vinci, L. (1942). *Les Carnets de Léonard de Vinci : Carnet I* (pp. 171). Paris : Gallimard.

- De Dear, R., Brager, G. (1998). Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference. ASHRAE Technical Data Bulletin, 14(1), 27-49.
- De Vestonio. (2006). Collectif De Vestonio à Besançon. Neuchâtel. p.91.
- Déoux, S., et P. Déoux, P. (2004). Le guide de l'habitat sain : habitat, qualité, santé pour bâtir une santé durable. Andorre: Medieco, 537 p.
- Depecker, P. (1989). « Qualité thermique des ambiances ». Paris: Agence française pour la maîtrise de l'énergie, 67 p.
- Desbat, A. (1991). La maison gallo-romaine, Goudineau C., Lascaux G.J, au Grand Louvre : archéologie et histoire en France (pp.296-299). Paris : Errance.
- Desbat, A., Leblanc, O., et Prisset, J.L. (1994). La maison des dieux Océan à Saint-Romain-en-Gal (Rhône), Paris : CNRS Editions, Gallia, 55, 276 .
- Dessales, H. (2003). Piscina et salientibus additis : fontaines et jeux d'eau dans la maison romaine. Vita Latina, 169, 2-10.
- DPAT, (2005). Annuaire, Statistique de la Wilaya de Biskra. Direction de Planification et de l'Aménagement du Territoire.
- Dutreix, A. (2010). Bioclimatisme et performances énergétiques des bâtiments. Paris : Eyrolles, 1, 239 p.
- El-Deeb, K., El-Zafarany, A., & Sherif, A. (2012). Effect of building form and urban pattern on energy consumption of residential buildings in different desert climates. PLEA, 28, Conference, Opportunities, Limits & Needs Towards an environmentally responsible architecture. Lima, Peru.
- El-Deeb, K., Sherif, A., et El-Zafarany, A., (2014). effect of courtyard Height and proportions on Energy Performance of Multi-Storey Air-Conditioned Desert Buildings. PLEA, 30, International PLEA Conference, CEPT University, Ahmedabad.
- Etheridge, D. (2012). Natural Ventilation of Buildings: Theory, Measurement and Design (pp. 379). USA: John Wiley & Sons Ltd.
- Ettouney, S.M., & Fricke, F.R. (1972). Courtyard acoustics. Department of Building Science, Sheffield University, Sheffield, Great Britain.
- Fanger, P.O. (1982). Thermal Comfort. Florida, USA, R.E.Krieger.
- Fountain People Inc. (2004). The fountain catalog. USA : Fountain People Inc.
- Gail, J-B. (1823). Le philologue, recherches historiques, géographiques, militaires, etc., Tome. 8, pp. 253. Paris : Voyez folio verso.
- Gandemer, J. (1975). Wind environment around buildings: Aerodynamic concepts. In Proceedings of the Fourth International Conference on Wind Effects on Buildings and Structures. London, Cambridge: Univ. Press.
- Gandemer, J. (1978). Building research translation discomfort due to wind near buildings: Aerodynamic concepts. Washington: National Bureau of Standards.
- Gatz, K., et Achterberg, G. (1967). La couleur et l'architecture. Paris : Eyrolles.
- Givoni , B. (1994). Passive and low energy: cooling of buildings. Canada: John Wiley and Sons INC.

- Glovin, L. (1972). Henri Terrasse (1895-1971) - Publications d'Henri Terrasse. In *Revue de l'occident musulman et de la méditerranée* (vol. 12, pp. 7). En ligne http://www.persee.fr/doc/remmm_0035-1474_1972_num_12_1_1159
- Goswami, D.Y., Kreith, F., & Kreider, J. F. (1999). *Principles of solar engineering*. UK: Taylor and Francis.
- Gottlieb, L.D. (1965). *Environment and Design in Housing*. New York : Macmillan.
- Hakmi, M. (2006). The geometry of single and multi-family. In Edwards, B., Sibley, M., Hakmi, M., et Land, P. (Eds.), *Courtyard housing past, present and future* (pp.260-279). UK: Taylor & Francis.
- Heidari, S. (2000). *Thermal Comfort in Iranian Courtyard Housing*. Thèse de Doctorat (PHD), Université de Sheffield, Angleterre.
- Hensley, J.C. (Ed.). (1987). *Cooling Tower Fundamentals*. Overland Park, Kansas USA: SPX Cooling Technologies, Inc.
- Huizenga, C., Hui, Z., et Arens, E. (2001). A model of human physiology and comfort for assessing complex thermal environments. *Building and Environment* (36), 691-699.
- ISO. (1993). Norme EN-ISO-7730 : Ambiances thermiques modérées. Détermination des indices PMV et PPD et spécifications des conditions de confort thermique. Genève, CEN et ISO.
- Jarrige, J-F. (2006). Mehrgarh Neolithic. In *International Seminar on the First Farmers in Global Perspective*. Lucknow, India.
- Juuti et al. (2015) Juuti, P.S, Antoniou, G.P., Dragoni, W., El-Gohary, F., De Feo, G., Katko, T.S., Rajala R.P., Zheng X.Y., Drusiani, R., & Angelakis N.A. Short Global History of Fountains. *Water* 2015 (7), 2314-2348.
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., et Rubel, F. (2006). World Map of the Koppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15(3), 259-263.
- Lahiri, N. (1997). John Marshall's Appointment as Director-General of the Archaeological Survey of India: A Survey of the Papers Pertaining to His Selection. *South Asian studies journal*, 13, pp. 127.
- Launder, B.E., et Spalding, D.B. (1972). *Mathematical Models of Turbulence*, 169 pp. London/New York: Academic Press Inc.
- Liébard A., et De Herde A. (1996). *Guide de l'architecture bioclimatique*, Tome 2. Paris : Observ'ER.
- Liébard, A., et De Herde A. (2006). *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique*. Paris : Le Moniteur.
- Maheswari, S., & Garg, R. (2001). *An Ancient Indian Architecture*. CBS Publishers, 24-25.
- Marshall, J. (1996). *Mohenjo-Daro and the Indus Civilization*. Asian Educational Services.
- Mazria, E. (2005). *Le guide de la maison solaire*. Marseille : Parenthèse, 340 p.

- Mazumdar, S. (1997). Religious Traditions and Domestic Architecture: A Comparative Analysis of Zoroastrian and Islamic Houses in Iran. *Journal of Architectural and Planning Research*, 181-207.
- Mejalakh, D., Abdou S. (2008). Impact de l'inertie thermique sur le confort hygrothermique et la consommation énergétique du bâtiment. *Revue des Energies Renouvelables*, 11(3), 329 – 34.
- Mercier, J. (2000). *Le grand livre de l'eau : histoire, tradition, environnement, art de vivre*. Tournai : La Renaissance du Livre.
- Mieroop, M.V.D. (1992). *Old Babylonian Ur: Portrait of an Ancient Mesopotamian City*. Université British Columbia: JANES, Vol.21.
- Mochida, A., Tominaga, Y., Murakami, S., Yoshie, R., Ishihara, T., et Ooka, R. (2002). Comparison of various k-e models and DSM applied to flow around a high-rise building—Report on AIJ cooperative project for CFD prediction of wind environment. *Wind Struct*, 5 (2–4), 227–244.
- Muhaisen, A. S. (2006). Shading simulation of the courtyard form in different climatic regions. *Building and Environment*, 41, 1731–1741.
- Muhaisen, A.S., et Gadi M.B. (2006). Shading performance of polygonal courtyard forms. *Building and Environment*, 41, 1050–1059.
- Myneni, K.K. (2013). Courtyard as a Building Component: its Role and Application in Developing a Traditional Built form, Creating Comfort: A case of Athangudi Village, India. *International Journal of Chemical, Environmental & Biological Sciences (IJCEBS)* ,1 (4), 633 – 639.
- Nevett, L.C. (1999). *House and society in the ancient Greek world*. Cambridge; University Press.
- Patankar, S.V. (1980). *Numerical heat transfer and fluid flow*. Springer, series in computational methods in mechanics and thermal sciences.
- Paunier, D. & Luginbüh, I T. (2004). Le site de la maison 1 du Parc aux Chevaux (PC 1) des origines de l'oppidum au règne de Tibère, Glux-en-Glenne. *Centre archéologique du Mont-Beuvray*, 8, 408-409.
- Perrault, C. (1995). *Vitruve, les dix livres d'architecture de Vitruve*. La rochelle : Margada. (œuvre originale publiée en 1684).
- Petruccioli, A. (2006). The courtyard house: typological variations over space and time. In Edwards, B., Sibley, M., Hakmi, M., & Land, P. (Eds.), *Courtyard housing past, present and future* (pp.1-25). UK: Taylor & Francis.
- Pires, L., Silvan, P.D., Castro Gomes, J.P. (2013). Experimental study of an innovative element for passive cooling of buildings. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 4, 29-35.
- Pfeifer, G., & Brauneck, P. (2008). *Courtyard houses: a housing typology*. Basel, Bosphon, Berlin: Birkhäuser Verlag.
- Potvin A., Demers, C. M-H., Dubois, M.C., (2004). Le refroidissement passif comme stratégie bioclimatique. Québec : Esquisses, le Bulletin d'information de l'Ordre des architectes, 5(2).

- Qadir Ahmed, A. (2013). Energy Performance of Courtyard and Atrium in Different Climates. MSc Renewable Energy and Architecture, Research Methodologies K14RMS.
- Rapoport, A. (2007). The Nature of the Courtyard House: A Conceptual Analysis, *Traditional Dwellings and Settlements Review*, 18(2), 57-72.
- Reiter, S. (2007). Elaboration d'outils méthodologiques et techniques d'aide à la conception d'ambiances urbaines de qualité pour favoriser le développement durable des villes. Thèse de doctorat en sciences appliquées architecture et climat, Université catholique de Louvain, Belgique.
- Reynolds, J. & Lowry, W. (1996). The Garden in the Building: Observations of Cordoba's Courtyards. *Landscape Journal*, 15, 123-136.
- Roulet, A.C. (2004). Santé et qualité de l'environnement intérieur dans les bâtiments. Presses polytechniques et Universitaire Romandes, Lausanne.
- Safarzadeh.H., Bahadori M.N. (2005). Passive cooling effects of courtyards. *Building and Environment* 40 ,2005, 89–104.
- Sahih El'Boukhary. (854). « l'authentique de l'imam Al-Bukhari ».
- Santamouris, M., & Asimakopoulos, D. (1996). *Passive cooling of buildings*. UK: James & James, Science Publishers, Ltd.
- Sindonino, S. (2005). Rapport final d'opération. Châlons-en Champagne. Reims : SRA de Champagne-Ardenne,5.
- Schoenauer, N. (1981a). 6000 Years of Housing. Vol. 2: The Oriental Urban House. New York: Garland STPM Press.
- Schoenauer, N. (1981b). 6000 Years of Housing. Vol. 3: The Occidental Urban House. New York: Garland STPM Press.
- SNDRE (Service d'Administration Nationale des Données et Référentiels sur l'Eau). (2011). Dictionnaire des données : zonages techniques et réglementaires du domaine de l'eau, 1.0 Beta1.
- Stolwijk, J.A.J. (1971). A model of physiological temperature regulation in man. NASA contractor report, NASA CR-1855. Washington, DC.
- Taleghani, M., Tenpierik, M., & Dobbeltstein A.V.D. (2012). Environmental impact of courtyards: a review and comparison of residential courtyard buildings in different climates. *Journal of Green Building*, 7(2), 113-136.
- Talotte, C., Paradot, N., Da Costa, P., et Mzali, M. (2006). Improvement of Climatic Comfort in Stations: Development of Numerical Simulations and Perception Analysis. In Congrès mondial de la recherche ferroviaire (WCRR). Montreal, Canada.
- Terrasse, H. (1932). *L'art hispano-mauresque: des origines au 8^{ème} siècle*. Paris : les éditions G.Van Oest.
- Tiwari, G.N., Upadhyay, M. & Rai S. N. (1994). A Comparison of Passive Cooling Techniques. *Building and Environment*, 29 (I), 21-31.
- Upadhyay, A. K. (2008). Sustainable Construction for the Future: Climate Responsive Design Strategies for Sydney Metropolitan Region. In Third International

- Conference of the Cooperative Research Centre (CRC) for Construction Innovation.
Australia : Gold Coast.
- Van Hoof, J. (2008). Forty years of fanger's model of thermal comfort : comfort for all?.
Indoor Air, 18(3), 182-201.
- Versteeg, H.K., et Malalasekera, W. (1995). An introduction to computational fluid dynamics: the finite volume method", Longman scientific & technical, England.
- Viollet, P.L. (2005). Histoire de l'énergie hydraulique: moulins, pompes, roues et turbines de l'Antiquité au XXe siècle. Paris: Presses des Ponts.
- Vipard, P. (2007). Maison à péristyle et élites urbaines en Gaule sous l'Empire. Gallia, 64, 227-277.
- Walker, A. (2010). Natural ventilation: a program of national institute of Building sciences. WBDG (whole building design guide). En ligne
<https://www.wbdg.org/resources/naturalventilation.php>
- Yu, N. (1999). The urban courtyard housing form as a response to human needs, culture and environment. Mémoire de master en architecture, Université de Guelph, Canada.
- Zhang, Q. et Liu, Y. (2014). Potentials of passive cooling for passive design of residential buildings in china. Energy Procedia, 57, 1726-1732.

Logiciels:

- Fluent, 2013. ANSYS Fluent user's guide. ANSYS Inc, USA.
- ICEM CFD, 2013. Documentation for ANSYS ICEM CFD 14. ANSYS Inc, USA.
- Meteonorm V.7.0, TMY 2005 , 2012. Tutoriels.
- Fluent, V.14.0 . Interface du logiciel et tutoriels.
- Matlab, V.R2015. Interface du logiciel et tutoriels.

Annexes :

Annexe I :

- **Glossaire :**

Chaleur latente : C'est la quantité de chaleur nécessaire pour changer l'état d'un corps sans altérer sa température. Cette chaleur n'est pas perceptible par le corps humain.

Conduction : la transmission de proche en proche de l'agitation moléculaire par chocs entre molécules.

Convection : le transport de chaleur par transport (naturel ou forcé) de matière chaude vers une zone froide ou vice versa.

Écoulement laminaire: pour un écoulement laminaire, tous les vecteurs de la vitesse sont parallèles à un instant 't'. Si tous les vecteurs de la vitesse sont à la fois parallèles sont égaux, l'écoulement laminaire est uniforme.

Écoulement turbulent : les vecteurs des vitesses instantanées sont inégaux (différents en direction, sens, intensité). Des tourbillons se forment. La viscosité du fluide augmente: à la viscosité moléculaire μ s'ajoute une viscosité de turbulence n .

Enthalpie : l'enthalpie de l'air humide décrit l'état thermodynamique de son contenu énergétique. C'est la somme de deux composants, air sec et vapeur d'eau :

ENTHALPIE = CHALEUR PERCEPTIBLE+ CHALEUR LATENTE

Évaporation-condensation : la chaleur cédée à un matériau pour l'évaporer est restituée à la surface sur laquelle la vapeur se condense.

Humidité absolue : la quantité de vapeur d'eau contenue dans un environnement d'air humide par comparaison à un kilogramme d'air sec.

Humidité relative : c'est la quantité d'eau sous forme de vapeur que contient un environnement d'air humide. C'est une valeur comprise entre 0 et 100 % qui nous indiquent le degré de saturation. Le brouillard apparaît à partir de 100 %.

Rayonnement : transport de chaleur par émission et absorption de rayonnement électromagnétique par les surfaces des corps.

Température humide : c'est la température prise avec un thermomètre dont le bulbe a été enveloppé dans un morceau de gaze détrempé d'eau distillée et ventilé à une vitesse d'air déterminée.

Température opérative : appelée aussi la température résultante sèche, est un indicateur simple du confort thermique, qui prend en compte l'effet de la convection et du rayonnement.

Viscosité : la résistance à l'écoulement uniforme et sans turbulence se produisant dans la masse d'une matière. La viscosité dynamique correspond à la contrainte de cisaillement qui accompagne l'existence d'un gradient de vitesse d'écoulement dans la matière, d'où l'origine du qualificatif de dynamique.

Lorsque la viscosité augmente, la capacité du fluide à s'écouler diminue. Pour un liquide (au contraire d'un gaz), la viscosité tend généralement à diminuer lorsque la température augmente. On pourrait croire que la viscosité d'un fluide s'accroît avec sa densité mais ce n'est pas nécessairement le cas : l'huile est moins dense que l'eau (huile de colza : 0,92 à 20 °C, contre 1 pour l'eau) cependant elle est nettement plus visqueuse.

- **Outils et logiciels :**

- **Meteonorm** : est un logiciel qui contient une base de données avec les données climatiques provenant de plus de 8 300 stations à travers le monde.

Cette application supporte environ 35 format d'échange qui peuvent être utilisés manuellement sur Excel, ou par leur importation à des logiciels de simulation thermique, énergétique, mécanique et autres.

Dans notre travail nous avons utilisé le fichier de données climatiques TMY 2005 (typical meteorological year, 2005)

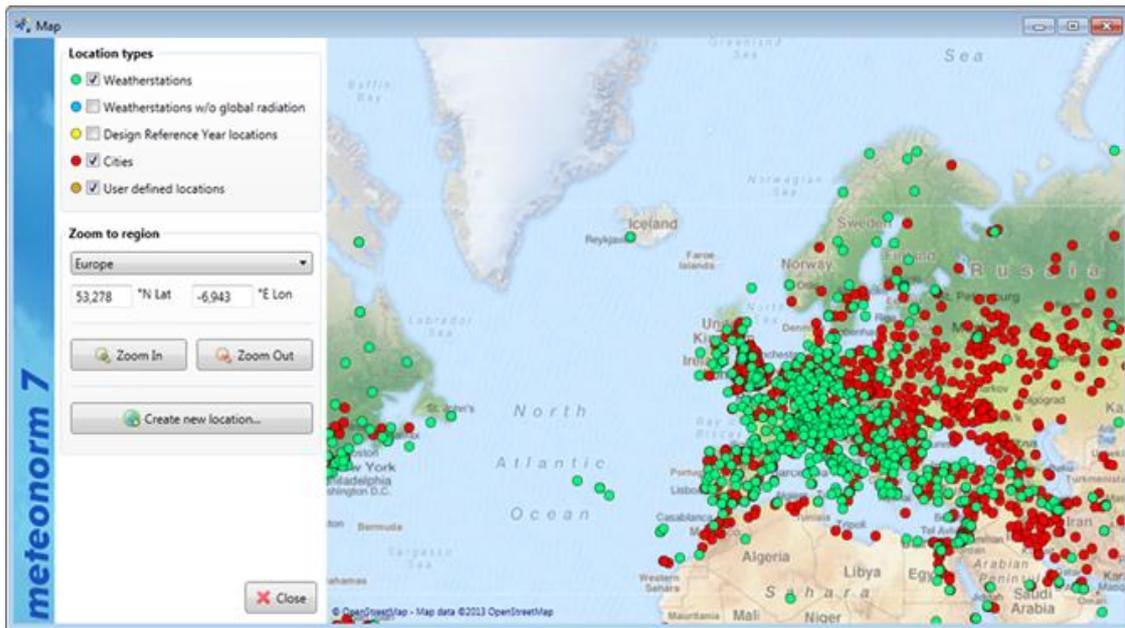


Fig.1. Interface de Meteonorm V.7

- **Matlab (MATrix LABORatory)** : est un logiciel pour effectuer des calculs numériques. Il a été conçu initialement pour faciliter le traitement des matrices mais il est maintenant utilisé dans tous les domaines des sciences qui nécessitent de faire des calculs.

La commande « Cftool » sur Matlab permet de créer des fonctions trigonométriques et polynomiales pour les différents graphes de nos variables d'entrées.

Nous disposons les données climatiques horaires (Température, Humidité relative, Vitesse de l'air) de la journée de simulation (21 juillet) à Biskra.

Après avoir entrés les données, nous traçons la courbe puis nous choisissons l'équation polynômiale la plus appropriée.

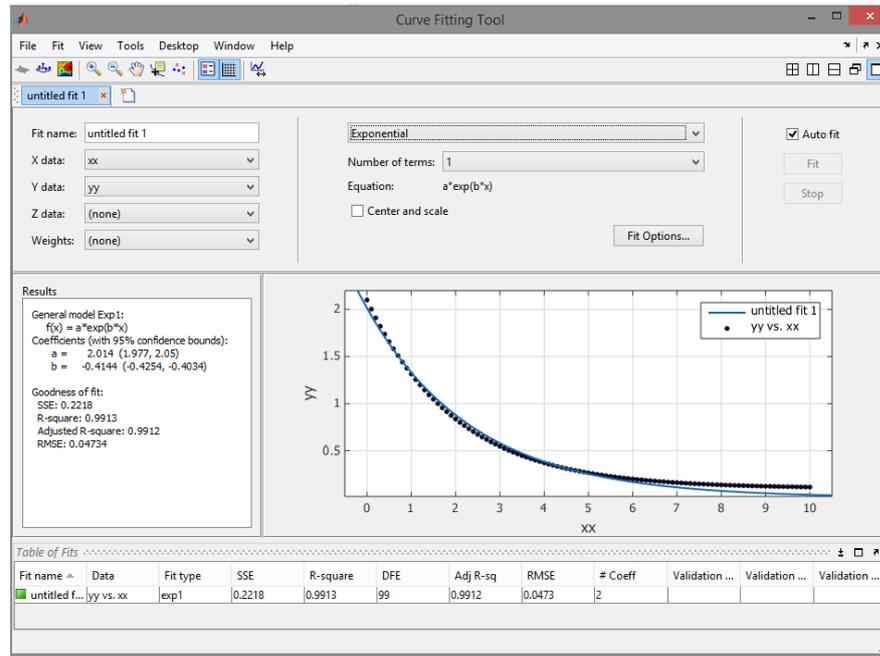


Fig.2. Interface de « Curve fitting Tool » sur Matlab V.R2015b

- **ICEM-CFD:** est un logiciel utilisé pour la CAO (Conception Assistée par Ordinateur) et la génération de maillage. Il permet de créer des maillages structurés, non structurés, multi-blocs ainsi que des réseaux hybrides avec différentes géométries de cellules. Les maillages créés peuvent ensuite être exporté vers différents logiciels de CFD tels que Fluent et autres. Ce dernier est un mailleur et n'est normalement pas destiné à créer des géométries trop élaborées. Toutefois, lorsque la géométrie est simple, il suffit amplement.

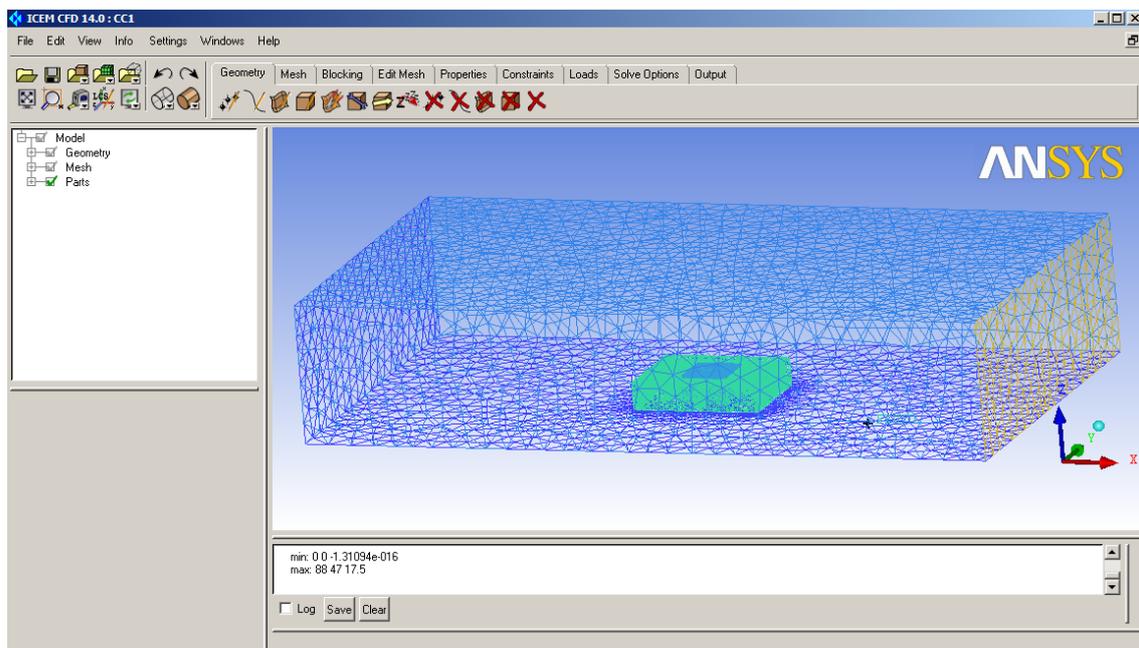


Fig.3. Interface de ICEM CFD V.14.0

La création d'un maillage sous ICEM-CFD se fait en plusieurs étapes, il faut dans un premier temps créer la géométrie souhaitée, puis créer le maillage et enfin mettre en place les conditions limites. Une fois toutes ces étapes effectuées, il ne reste plus qu'à exporter le maillage et la géométrie ainsi crée vers le logiciel souhaité, Ansys fluent dans notre cas.

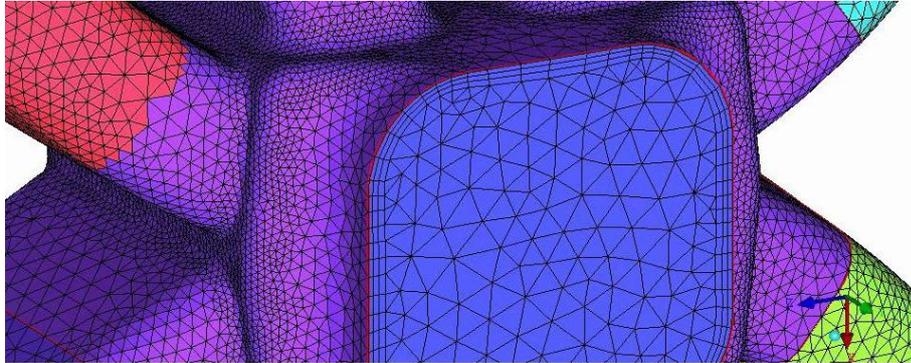


Fig.4. un maillage tétraédrique

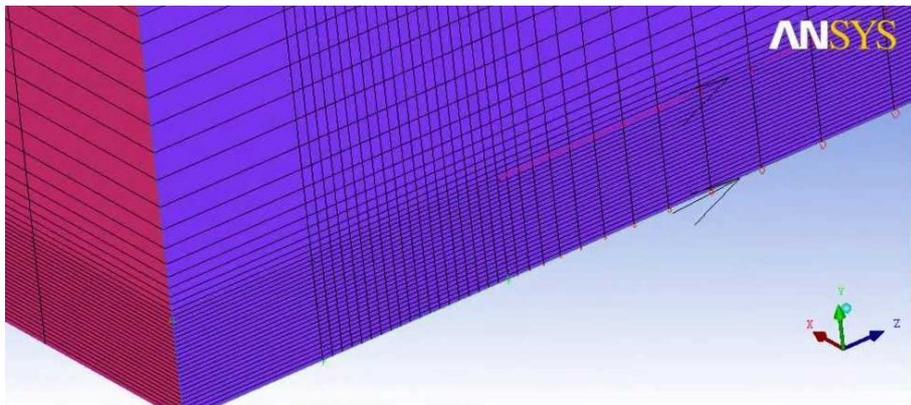


Fig.5. un maillage hexaédrique

- **ANSYS Fluent:** est le logiciel de dynamique des fluides (CFD) le plus puissant du marché pour aller plus vite et plus loin dans l'optimisation de la performance de vos produits. ANSYS Fluent offre des fonctionnalités éprouvées de modélisation physique et fournit des résultats rapides et précis pour une très large gamme d'applications CFD et multiphysiques.

ANSYS Fluent offre un très large éventail de fonctionnalités pour modéliser les phénomènes physiques d'écoulement fluide, de turbulence, de transfert de chaleur et de réaction chimique. Ses applications industrielles vont de l'écoulement d'air autour d'une aile d'avion, à la combustion à l'intérieur d'un four ; des colonnes à bulles aux plates-formes pétrolières ; du flux sanguin à la fabrication de semi-conducteurs ; de la conception de salles blanches aux usines de traitement d'eaux usées. Des modèles spécifiques dédiés à la combustion interne, l'aéroacoustique, les turbomachines et les systèmes multiphasiques viennent élargir la panoplie de ses applications.

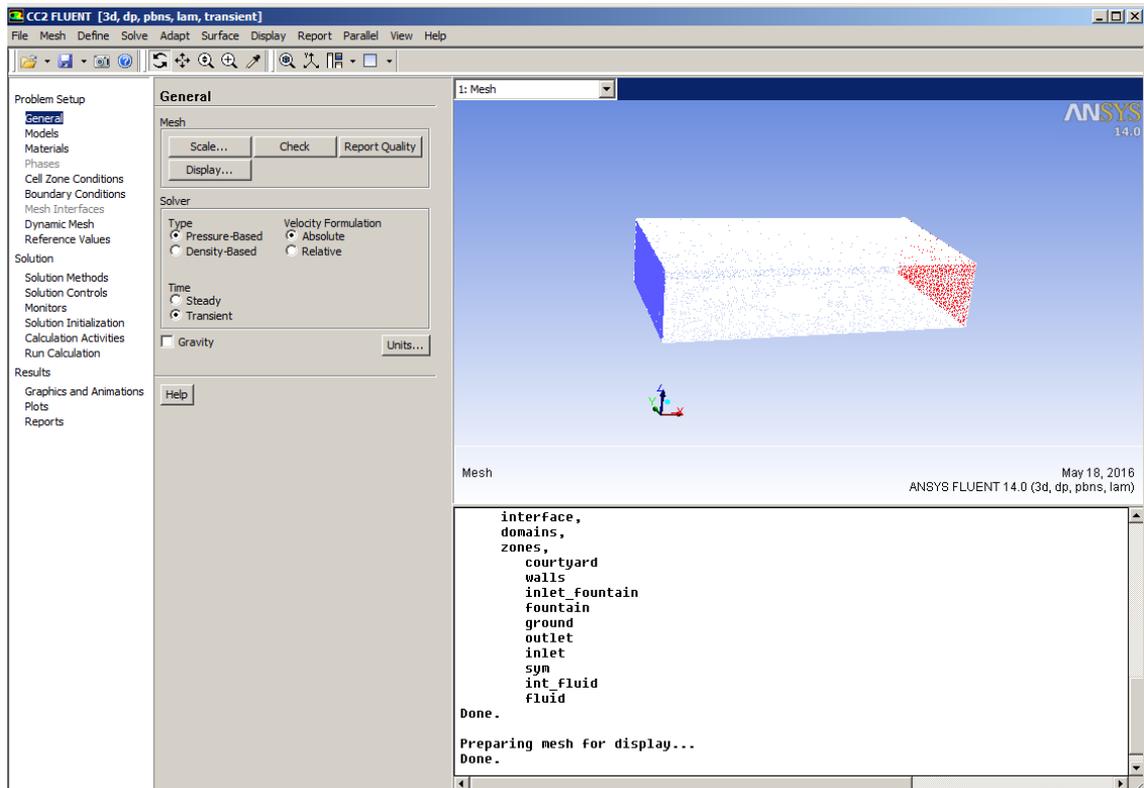


Fig.6. Interface de ANSYS Fluent V.14.0

- **CFD-Post:** est un post-processeur flexible proposé par Ansys. Il est conçu pour permettre une visualisation facile et une analyse quantitative des résultats des simulations CFD. Ce logiciel a une interface graphique qui comprend un volet de visualisation dans laquelle on peut trouver plusieurs types de sorties graphiques. CFD-Post a aussi la capacité d'effectuer une variété de calculs quantitatifs précis sur les objets.

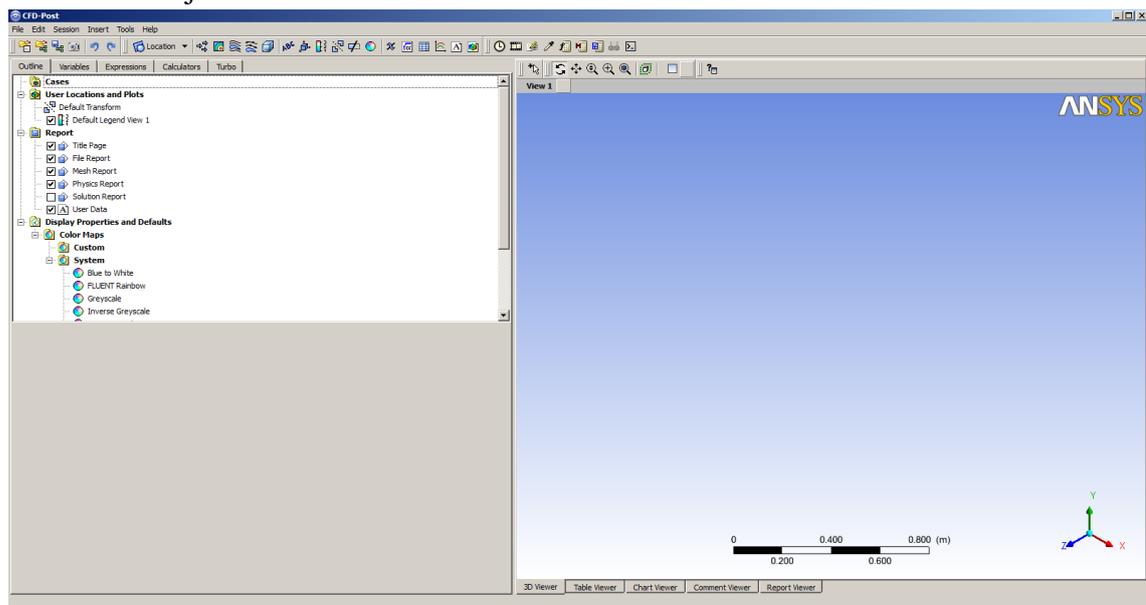


Fig.7. Interface de CFD-Post V.14.0

Annexe II : Fonctions Définis par Utilisateurs (UDF)

C'est quoi UDF ?

Une fonction définie par l'utilisateur, ou UDF, est une fonction C qui peut être chargée dynamiquement avec le solveur Fluent ANSYS pour améliorer ses caractéristiques de série. Par exemple, vous pouvez utiliser une UDF à:

- Personnaliser les conditions aux limites, les définitions de propriétés des matériaux, surface et des vitesses de réaction de volume, les termes sources dans ANSYS équations de transport FLUENT, les termes sources dans scalaire (UDS) équations de transport définies par l'utilisateur, les fonctions de diffusivité, et ainsi de suite.
- Réglez les valeurs calculées sur une base une seule fois par itération.
- Initialisation d'une solution.
- Effectuer asynchrone (sur demande) exécution d'une UDF.
- Exécuter à la fin d'une itération, à la sortie de ANSYS FLUENT, ou lors du chargement d'une bibliothèque UDF compilé.
- Améliorer le post-traitement.

Améliorer les modèles existants de ANSYS Fluent (comme modèle discret de phase, modèle de mélange multiphasique, ordonnées discrètes modèle de rayonnement).

Exemplaire du script de l'UDF utilisée par C++ :

```

/*****
UDF for specifying steady-state parabolic pressure profile boundary
profile for a turbine vane
*****/

#include "udf.h"

DEFINE_PROFILE(pressure_profile,t,i)
{
    real x[ND_ND]; /* this will hold the position vector */
    real y;
    face_t f;
    begin_f_loop(f,t)
    {
        F_CENTROID(x,f,t);
        y = x[1];
        F_PROFILE(f,t,i) = 1.1e5 - y*y/(.0745*.0745)*0.1e5;
    }
    end_f_loop(f,t)
}

```

Fig.8. Script des fonctions définis par utilisateur

Il faut définir le profil des trois variables utilisés (Vitesse de l'air, Température, Humidité Relative) depuis leurs fonctions mathématiques polynomiales ou trigonométriques appropriés.

Annexe III : Détails des résultats de simulation

L'extension post-CFD permet de visualiser les résultats de plusieurs manières, et selon différents types de graphes et illustrations, tels qu'en « 3D Streamline », volume rendu, vecteurs, contours.

Note : Pour une bonne lisibilité des résultats un CD graphique est fourni avec ce manuscrit

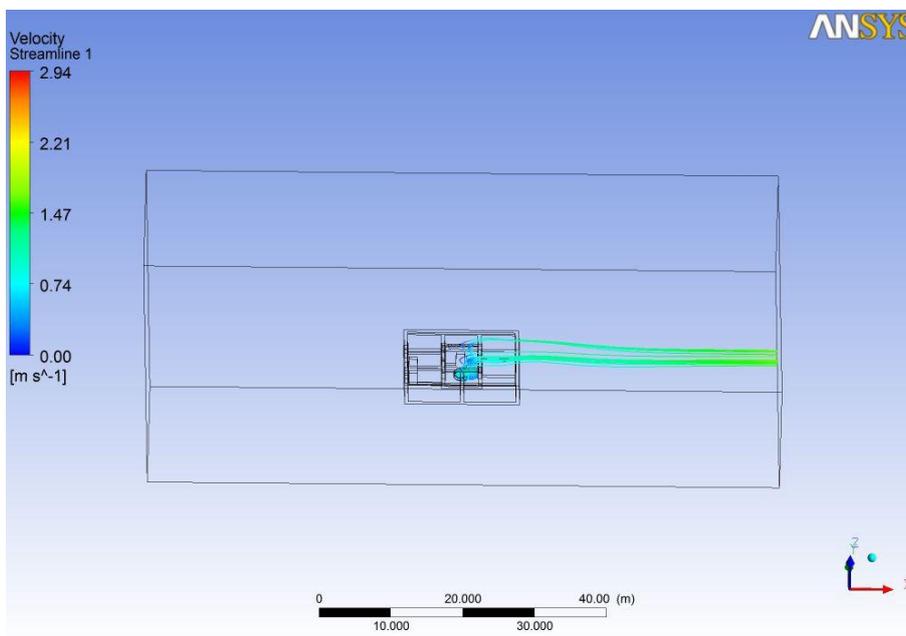


Fig.9. Le cheminement d'air refroidi dans un patio carré centré d'un seul étage à 14h (3D Streamline)

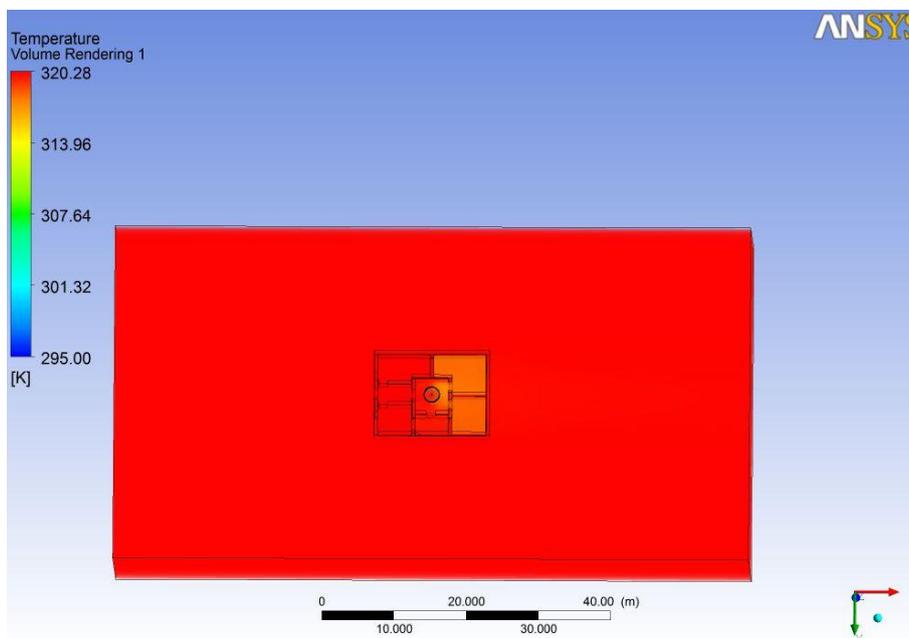


Fig.10. La température de l'air dans un patio carré centré d'un seul étage à 14h (Volume rendu)

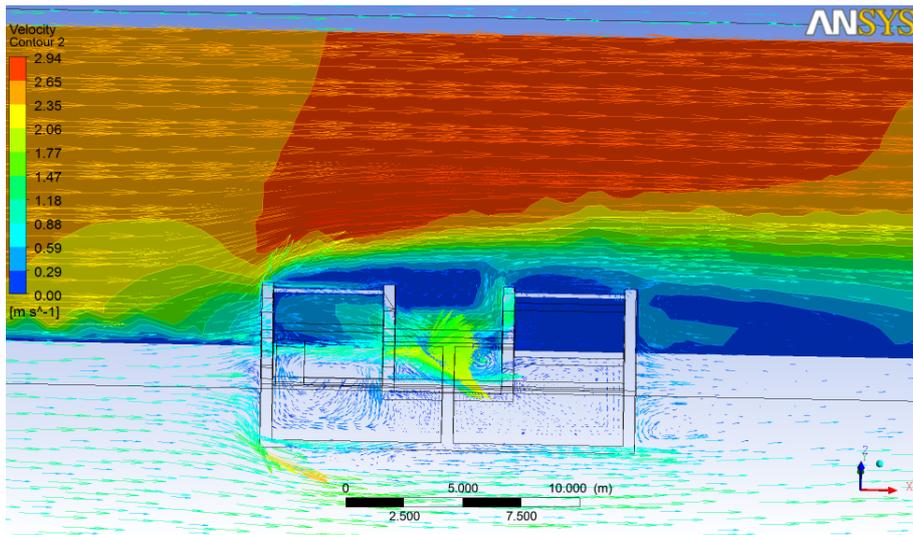


Fig.11. Direction et intensité des vents (Vecteur « vertex »)

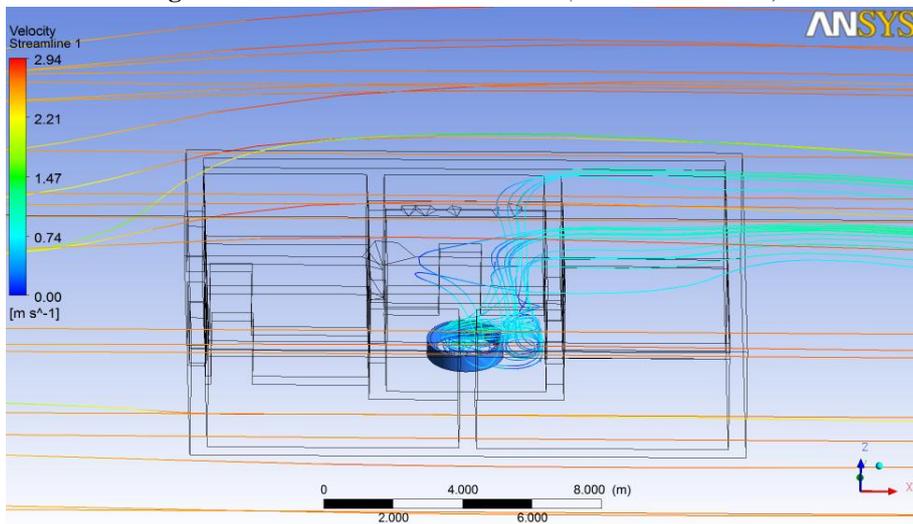


Fig.12. Mouvement des vents chauds et froids (3D Streamline)

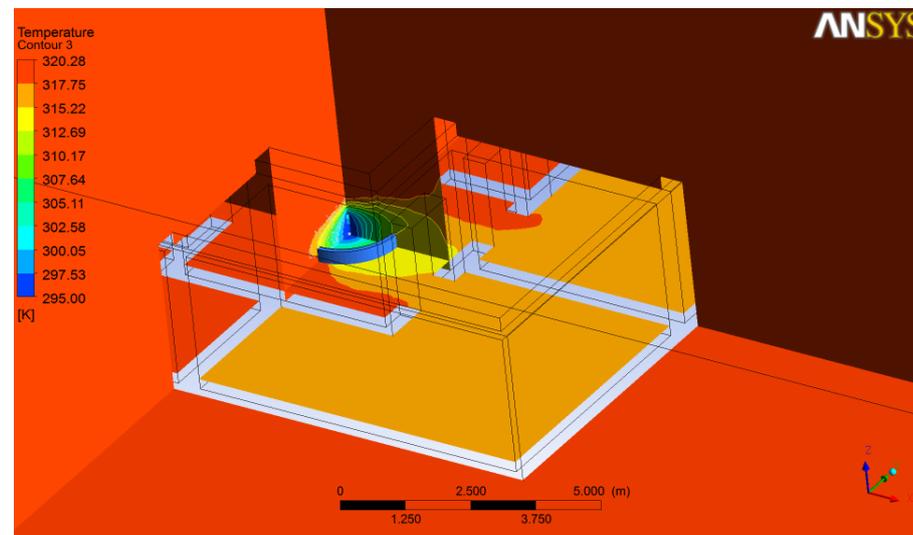


Fig.13. La diffusion de la fraîcheur aux espaces habités (Contours)