

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

Université Mohamed Khider – Biskra
Faculté des Sciences et de la technologie
Département : Architecture
Ref :.....



جامعة محمد خيضر بسكرة
كلية العلوم و التكنولوجيا
قسم: الهندسة المعمارية
المرجع:.....

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

Option : Architecture, formes, ambiances et développement durable.

**Optimisation morphologique du comportement aéraulique d'une
maison à patio**

Présenté par :
Mr. BOUAKAZ Mohamed Essadek El-Amine

Sous la direction du
Pr. ZEMMOURI Noureddine
Soutenu publiquement le :03/12/2015
Devant le jury :

MEMBRE DE JURY	GRADE	STATUT	AFFILIATION
Dr. BENABBES Moussadek	M.C.A	Président	Université de Biskra
Pr. ZEMMOURI Noureddine	Professeur	Rapporteur	Université de Biskra
Pr. ARROUF Abdelmalek	Professeur	Examineur	Université de Batna
Dr. BRIMA Abdelhafidh	M.C.A	Examineur	Université de Biskra

Année universitaire 2015/2016

A mes parents

Remerciements

Au terme de ce modeste travail, je voudrais adresser ma gratitude au Professeur ZEMMOURI Nouredine, mon encadreur, pour l'aide et le temps alloué, ses conseils avisés et pour avoir partagé ses connaissances impressionnantes.

Je remercie très sincèrement mes enseignants qui m'ont pris en charge pendant l'année théorique du magister : Mr MAZOUZ Said, Mr FARHI Abdellah, Mr BENABBAS Moussadek, Mr KAZAR Okba, Mr MOUMI Abdelhafid, Mr BENSACI Abdelkader, des personnes qui m'ont inspirés avec leur sagesse et leur savoir.

Sans oublier le plus important de tous, mes parents et mes frères et ma petite sœur, eux qui m'ont soutenu et qui ont su m'encourager pendant toute cette aventure.

Un grand merci à Mr MAHDADI Nouredine, RAHMENE Yacine, TEREA Chaker, TIBERMACHINE Islem, LAROUCI Brahim, BOUDOUKHA Ayoub, MACHENE Mohamed Amine, BELOUAAR Aala, IDDER Fouad, GUERIRA Abdelhakim, BENDEKKICHE Selma, NHOUI Imen, BOUDJADJA Rafik (Post-graduant à Constantine), LEGHRIB Fouad, Ainsi qu'à tous les membres du laboratoire LaCoMoFA.

Mes profonds remerciements et tous mes respects pour messieurs les membres de jury : Mr BENABBAS Moussadek, Mr ARROUF Abdelmalek et Mr BRIMA Abdelhafidh, d'avoir prit la peine d'évaluer mon modeste travail.

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

Sommaire

Dédicace

Remerciements

Sommaire	V
Liste des figures :	X
Liste des tableaux :	XIV
Liste des équations :	XIV

Chapitre introductif

1. Introduction :	1
2. Problématique :	2
3. Hypothèses :	3
4. Objectifs :	3
5. Méthode de recherche :	3
6. Structure du mémoire :	4

Chapitre 1 : Initiation aux écoulements aérauliques

Introduction :	7
1. La ventilation naturelle :	8
1.1. Principe :	8
1.2. La ventilation et le climat :	9
1.3. Les facteurs qui influencent la ventilation naturelle :	10
1.3.1. L'environnement immédiat :	10
1.3.2. La végétation :	10
1.3.3. Orientation des fenêtres par rapport au vent :	10
1.3.4. Les dimensions des fenêtres :	11
1.3.5. Position verticale des fenêtres :	12
1.3.6. Optimisation de la ventilation naturelle :	12
2. Initiation aux écoulements aérauliques autour d'un bâtiment :	14
2.1. Modélisation du vent :	14
2.2. Contournement d'une construction par le vent :	15
2.2.1. Equation de Bernoulli	15
2.2.2. Principe de conservation de masse	16

2.2.3.	Contournement d'une construction par le vent :	17
2.3.	Effets types dues au vent :	18
2.3.1.	L'effet de coin :	18
2.3.2.	L'effet de cisaillement :	20
2.3.3.	Le rouleau tourbillonnaire :	22
2.3.4.	L'effet de protection dans le sillage d'un bâtiment isolé :	23
2.3.5.	L'Effet Wise :	24
3.	Etat de l'art sur les écoulements aérauliques à l'intérieur des patios :	26
3.1.	L'influence de la géométrie du patio sur les écoulements aérauliques et le confort thermique : CFD et simulation du confort thermique.....	26
3.1.1.	Introduction :	26
3.1.2.	Simulations CFD :	27
3.1.3.	Simulations de différentes configurations de patio :	29
3.1.4.	Conclusion :	34
3.2.	Exploration du microclimat de la cour dans un exemple de l'architecture de la civilisation anatolienne (La Sahabiye Madrassa à Kayseri du treizième siècle).....	35
3.2.1.	Introduction :	35
3.2.2.	Présentation du cas d'étude :	35
3.2.3.	Simulation de formes génériques :	36
3.2.4.	Simulation de la Sahibiye Madrassa :	37
3.2.5.	Conclusion :	40
3.3.	Dispersion dans les cours et autres espaces fermés	41
3.3.1.	Introduction:	41
3.3.2.	Détails de l'expérience :	41
3.3.3.	Résultats :	43
3.3.4.	Conclusion :	47
Conclusion :	.....	48

Chapitre 2 : Les maisons à patio

Introduction :	.....	49
1.	Définition des termes : cour, patio et atrium.	50
1.1.	Définition du terme : Cour	50
1.2.	Définition du terme : patio	52
1.3.	Définitions du mot : atrium	52
2.	Evolution du patio à travers les âges :	54
2.1.	Dans la civilisation Antique :	54

2.1.1.	L’Egypte ancienne :.....	54
2.1.2.	La Grèce antique :	55
2.1.3.	Chez les romains :	57
2.2.	Dans la civilisation islamique :.....	58
2.2.1.	Demeures de la Casbah d’Alger :	58
2.2.2.	Maisons de la Medina de Tunis :.....	60
2.3.	Le patio dans l’ère moderne :	61
2.3.1.	La maison à patio de la période coloniale au Maghreb :	61
3.	Les rôles du patio :	62
3.1.	Le rôle organisationnel :.....	62
3.2.	Le rôle psychologique :	62
3.3.	Le rôle social :	63
3.4.	Le rôle climatique :.....	63
	Conclusion :.....	66

Chapitre 3 : Etude morphologique des maisons à patio

Introduction :	.....	67
1.	Présentation du cas d’étude :	68
1.1.	Présentation de la ville de Sétif :	68
1.2.	Présentation de la <i>Harat</i> de Sétif :	70
1.2.1.	Genèse de la <i>Harat</i> :	70
1.2.2.	Les espaces communs de la <i>Harat</i> :	73
1.2.3.	Mixité sociale au sein de la <i>Harat</i> :	77
2.	Choix du corpus :	77
Introduction :	.....	67
1.	Présentation du cas d’étude :	68
1.1.	Présentation de la ville de Sétif :	68
1.2.	Présentation de la <i>Harat</i> de Sétif :	70
1.2.1.	Genèse de la <i>Harat</i> :	70
1.2.2.	Les espaces communs de la <i>Harat</i> :	73
1.2.3.	Mixité sociale au sein de la <i>Harat</i> :	77
2.	Choix du corpus :	77
2.1.	Critères de choix du corpus :	78
2.1.1.	L’aire géographique limitée :	78

2.1.2.	La régularité géométrique :	79
2.1.3.	Lisibilité du patio :.....	80
2.2.	Présentation du corpus sélectionné :.....	81
2.2.1.	Echantillon type 1 :.....	82
2.2.2.	Echantillon type 2 :.....	83
2.2.3.	Echantillon type 3 :.....	84
2.2.4.	Echantillon type 4 :.....	85
3.	Analyse morphologique :	86
3.1.	Les critères de l'analyse :	86
3.1.1.	La forme de la silhouette de la maison : (la forme de la parcelle).....	88
3.1.2.	La forme et les proportions du patio :.....	89
3.1.3.	Le rapport vide/plain :	89
3.1.4.	La topologie : (position du patio)	89
3.2.	Analyse et classification :.....	90
3.2.1.	Analyse de la topologie de la maison :.....	90
3.2.2.	Analyse de la forme de la silhouette :.....	91
3.2.3.	Analyse de la forme et des proportions du patio :.....	93
3.2.4.	Analyse du rapport Vide/Plain :	94
3.3.	Résultats de l'analyse :	95
3.3.1.	La topologie de la maison :	95
3.3.2.	La forme de la silhouette :.....	97
3.3.3.	La forme du patio :	99
3.3.4.	Le rapport Vide/Plain :.....	100
Conclusion :	.....	102

Chapitre 4 : Approche expérimentale

Introduction :	.....	103
1.	Composition du corpus théorique :.....	104
1.1.	Fixer la forme de la silhouette :.....	104
1.2.	Fixer la configuration géométrique :	105
1.3.	Fixer la topologie :	105
2.	Simulations CFD :.....	108
2.1.	A propos de la CFD :.....	108
2.1.1.	Historique de la dynamique des fluides :.....	108
2.1.2.	La dynamique des fluides computationnelle (CFD) :.....	111

2.1.3.	La modélisation des écoulements turbulents :	114
2.1.4.	Introduction au logiciel PHOENICS de CHAM	116
2.2.	Etapes de la simulation :	117
2.2.1.	La rose des vents de la ville de Sétif :	118
2.2.2.	Paramétrage des conditions des simulations :	119
	Conclusion :	125

Chapitre 5 : Analyse et interprétation des résultats

	Introduction :	126
1.	Analyse descriptive :	127
2.	Analyse paramétrique :	128
2.1.	Période hivernale :	128
2.1.1.	Effet 1 : Effet de la forme de la silhouette sur la vitesse :	129
2.1.2.	Effet 2 : Effet de la forme du patio sur la vitesse :	131
2.1.3.	Effet 3 : Effet du rapport Vide/Plain :	133
2.1.4.	Effet 4 : Effet de la topologie :	134
2.2.	Période estivale – Variation de la vitesse :	135
2.2.1.	Effet 1 : Effet de la forme de la silhouette :	135
2.2.2.	Effet 2 : Effet de la forme du patio :	136
2.2.3.	Effet 3 : Effet du rapport Vide/Plain :	136
2.1.	Période estivale – Variation de la pression :	137
2.1.1.	Effet 1 : Effet de la forme de la silhouette :	137
2.1.2.	Effet 2 : Effet de la forme du patio :	138
2.1.3.	Effet 3 : Effet du rapport Vide/Plain :	139
3.	Evaluation du confort aéraulique à l'intérieur des patios :	140
	Conclusion :	143

Conclusion générale :

	Conclusion générale et recommandations :	144
	Conclusion générale :	144
	Recommandations :	147
	Futures pistes de recherche :	147

Annexes :

Annexe 1 : Présentation du corpus d'étude.....	154
Annexe 2 : Tableaux des résultats d'analyse	168
Annexe 3 : Résultats graphiques des simulations sous PHOENICS	171
Annexe 4 : Résultats quantitatifs des simulations	180
Résumés	181

Liste des figures :

1.1. Chapitre I : Initiation aux écoulements aérauliques

Figure 1: Pressions des vents sur un bâtiment ; source : energie.wallonie.be	8
Figure 2: Influence sur la ventilation de l'orientation des fenêtres par rapport aux vents ; Source : René Vittane, 1996	11
Figure 3: Influence des dimensions des fenêtres ; source : René Vittane, 1996	12
Figure 4: Influence sur la ventilation de la position verticale des fenêtres ; source : René Vittane, 1996	12
Figure 5: Etude des flux d'air ; source : www.regionpaca.fr	13
Figure 6: Les classes de rugosité en fonction de leurs sites ; source : traité d'urbanisme et d'architecture bioclimatique	15
Figure 7: Illustration du principe de conservation de masse d'un tube de courant ; source : actions du vent sur les ouvrages - effets dynamiques	16
Figure 8: Les phénomènes d'un écoulement turbulent autour d'un bâtiment ; source : traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique	17
Figure 9: Illustration de l'effet de coin ; source : Sigrid Reiter	18
Figure 10: Illustration de l'effet de coin ; source : J Gandemer	19
Figure 11: Création de dégradation pour remédier au problème de l'effet de coin ; source : J Gandemer	19
Figure 12: Création d'un élément poreux pour remédier à l'effet de coin ; source : Glaumann & Westerberg 1988	20
Figure 13: Illustration de l'effet de cisaillement ; source : Sigrid Reiter	21
Figure 14: Effet de la rotation sur l'effet de cisaillement ; source : Sigrid Reiter	21
Figure 15: Illustration de l'effet du rouleau tourbillonnaire ; source : J Gandemer	22
Figure 16: Illustration de l'effet du rouleau tourbillonnaire vue en plan ; source : Sigrid Reiter	22
Figure 17: Création d'un jeu de gradin ; source : Hammoud 1986	23
Figure 18: Effet de la porosité des façades ; source : Hammoud 1986	23
Figure 19: Illustration de l'effet de protection dans le sillage d'un bâtiment, vue en plan ; source : Sigrid Reiter	24
Figure 20: Les vecteurs de la vitesse de l'air au niveau de l'effet Wise ; Source Sigrid Reiter	24
Figure 21: Maillage structuré	28
Figure 22: Validation des résultats du logiciel	28
Figure 23: Maillage non structuré a l'intérieur des chambres	30
Figure 24: Ecoulement a l'intérieur des deux variantes de patios	31
Figure 25: Résultats obtenus dans le cas d'une seule cour	31
Figure 26: Ecoulements à l'intérieur des deux variantes de patios	32
Figure 27: Résultats obtenus dans le cas de deux cours	33
Figure 28: Ecoulements dans les cours après l'ajout de porte à faux	33
Figure 29: Structure spatiale de la Madrassa	36
Figure 30: Les trois modèles génériques	37
Figure 31: L'Angle d'incidence solaire	38
Figure 32: Résultats de la simulation de la tache solaire en période hivernale	38
Figure 33: Résultats de la simulation de la tache solaire en période estivale	39
Figure 34: Températures, portes ouvertes/ fermées	39
Figure 35: Vitesses de l'air, portes ouvertes/ fermées	39
Figure 36: Profile de vitesse et turbulences longitudinales de la rugosité de la soufflerie	41
Figure 37: schéma du patio montrant la configuration et les terminologies	42
Figure 38: Schéma d'un patio installé dans une soufflerie	43
Figure 39: Les profils de vitesses à l'intérieur des cours peu profondes	44

Figure 40: les profils de vitesses à l'intérieur des cours moyennement profondes	44
Figure 41: les profils de vitesses à l'intérieur des cours profondes	45
Figure 42: Schéma des trois types d'écoulements dans les trois types de cours de différentes profondeurs.....	45
Figure 43: Profils verticaux de concentration sur les murs de la cour.....	46
Figure 44: Diagramme de l'effet du ratio sur la concentration à la base du patio.....	47

1.2. Chapitre II : Les maisons à patio

Figure 1: Maisons de l'Egypte ancienne (Le Grand Atlas de l'Architecture Mondiale, 1981).....	55
Figure 2: Maison grecque ; Source : www.technomc.info	56
Figure 3: La maison romaine a atrium ; Source : www.mesexercices.com	57
Figure 4: Les différents niveaux d'une demeure Algéroise (Golvin, 1988)	59
Figure 5: Illustration de l'effet cuvette dans le patio ; source : Hakan Hisarligil 2013	64
Figure 6: Coupe et perspective démontrant l'angle d'incidence solaire dans un patio ; Source : Hakan Hisarligil 2013.....	64
Figure 7: Potentiel de ventilation des pièces donnant sur un patio ; source : D.J Hall 1999.....	65

1.3. Chapitre III : Etude morphologique des Harats de Sétif

Figure 1: Carte du territoire algérien et des pays qui l'entourent.....	68
Figure 2: Carte de la ville de Sétif (intra-muros). Source : Carte INC, Institut National de Cartographie	69
Figure 3: Première phase du développement de la Harat de Sétif ; Source : Abbaoui 2011	71
Figure 4: Deuxième phase du développement de la Harat de Sétif (extension horizontale) ; Source : Abbaoui 2011	71
Figure 5: Troisième phase du développement de la Harat de Sétif (extension verticale) ; Source : Abbaoui 2011	72
Figure 6: Troisième phase du développement de la Harat de Sétif (extension verticale et saturation) ; Source : Abbaoui 2011	72
Figure 7: Exemple d'une Dakhla d'une harat (Harat Sekai) ; Source : Abbaoui 2011.	74
Figure 8: Exemple d'un Haouche (Harat Hamamou) ; Source Abbaoui 2011	75
Figure 9: Exemple d'un Satha (Harat Sekai) ; Source Abbaoui 2011	75
Figure 10: Exemple d'une Stiha (Harat El Djardi) ; Source : Abbaoui 2011	76
Figure 11: Exemple d'un Stah (Harat Attar) ; Source : Abbaoui 2011	76
Figure 12: Les limites du périmètre d'étude ; source : auteur.....	79
Figure 13: Exemple de Harats écartées pour leur complexité géométrique ou pour leur disproportion ;	80
Figure 14: Exemple de Harats retenues pour leurs forme régulière et proportions équilibrées ; Source : Abbaoui, 2011	80
Figure 15: Exemple d'une Harat écartée pour la disproportion de son patio ; Source : Abbaoui, 2011	81
Figure 16: Exemple d'une Harat écartée pour la complexité de la forme de son patio ; Source : Abbaoui, 2011	81
Figure 17: Classification primaire des Harats sélectionnées ; Source : Auteur.....	82
Figure 18: Plans et perspective de Harat Hamdi Chérif ; Source : Abbaoui, 2011.	82
Figure 19: Plans et perspective de Harat Dussain ; Source : Abbaoui, 2011.	83
Figure 20: Plans et perspective de Harat Sakaï ; Source : Abbaoui, 2011.	84
Figure 21: Plans et perspective de Harat Debbonne ; Source : Abbaoui, 2011.....	85
Figure 22: Exemple d'une décomposition morphologique d'une maison à patio ; Source : Auteur.	87
Figure 23: Exemple de Harats de formes différentes ; Source : Abbaoui, 2011.	88

Figure 24: Exemple de Harats avec différentes formes de patios ; Source : Auteur, 2011.	89
Figure 25: Figure 23 : Exemple de Harats avec différents rapports Vide/Plain ; Source : Auteur.....	89
Figure 26: Ensemble des maisons analysées ; Source : Auteur.....	91
Figure 27: Prise des dimensions d'une Harat ; Source : Auteur.	92
Figure 28: Prise des dimensions du patio ; Source : Auteur.....	93
Figure 29: Prise des dimensions de la silhouette et du patio ; Source : Auteur.....	94
Figure 30: Topologie -type 1 ; Source : Auteur.....	96
Figure 31: Topologie -type 2 ; Source : Auteur.....	96
Figure 32: Topologie -type 3 ; Source : Auteur.....	97
Figure 33: Topologie -type 4 ; Source : Auteur.....	97
Figure 34: Exemple des trois types de silhouettes ; Source : Auteur.	98
Figure 35: Exemple des quatre types de patios ; Source : Auteur.....	100
Figure 36: Exemple des quatre tailles de patios ; Source : Auteur.....	101

1.4. Chapitre IV : Approche expérimentale

Figure 1: Les variables de la recombinaison du corpus théorique ; Source : Auteur.....	104
Figure 2: Différentes formes de silhouettes ; Source : Auteur.	105
Figure 3: Différentes formes de configurations géométriques ; Source : Auteur.....	105
Figure 4: Différents types de topologies ; Source : Auteur.	106
Figure 5: Schéma explicatif des étapes de composition ; Source : Auteur.....	106
Figure 6 : Résultats de la composition du corpus d'analyse ; Source : Auteur.....	107
Figure 7 : La nature de l'écoulement (laminaire, transitoire, turbulent) par Osborne Reynolds.....	109
Figure 8 : Allée de tourbillons de Karman	109
Figure 9 : La rose des vents Hivernale et estivale de la ville de Sétif ; Source : Station météorologique Ain Sfiha, Sétif.....	118
Figure 10 : Paramétrage de la taille du domaine et du nombre des cellules de maillage ; Source : Auteur.....	120
Figure 11: Choix du modèle de turbulence ; Source : Auteur.....	120
Figure 12: Paramétrage des conditions initiales ; Source : Auteur.....	121
Figure 13: Paramétrage des conditions de la simulation dans le domaine ; Source : Auteur.....	121
Figure 14 : Le Solver ; Source : Auteur.	122
Figure 15: Visualisation des résultats, (respectivement : Vitesses, pressions et direction des vents) ; Source : Auteur.....	124

1.5. Chapitre V : Analyse et interprétation des résultats

Figure 1: Ecoulements aérauliques autour d'une maison a patio ; Source : Auteur	127
Figure 2: zones de pression et de dépression autour d'une maison à patio ; Source : Auteur.	128
Figure 3: Variation de la vitesse en fonction de la forme de la silhouette dans la période hivernale ; Source : Auteur.....	129
Figure 4: Différentes formes de la silhouette ; Source : Auteur.....	130
Figure 5: Variation de la vitesse en fonction de la forme du patio dans la période hivernale ; Source : Auteur.....	131
Figure 6: Différentes formes de patios ; Source : Auteur.....	132
Figure 7: Variation de la vitesse en fonction de l'envergure de la taille du patio dans la période hivernale ; Source : Auteur.....	133
Figure 8: Différents rapports d'envergure de patios ; Source : Auteur.....	134
Figure 9: Variation de la vitesse en fonction de topologie dans la période hivernale ; Source : Auteur.	134

Liste des Figures

Figure 10: Différents types de topologie ; Source : Auteur.....	135
Figure 11: Variation de la vitesse en fonction de la forme de la silhouette dans la période estivale ; Source : Auteur.....	135
Figure 12: Variation de la vitesse en fonction de la forme du patio dans la période estivale ; Source : Auteur.....	136
Figure 13: Variation de la vitesse en fonction de l'envergure de la taille du patio dans la période estivale ; Source : Auteur.	136
Figure 14: Variation de la pression en fonction de la forme de la silhouette dans la période estivale ; Source : Auteur.....	137
Figure 15: Variation de la pression en fonction de la forme du patio dans la période estivale ; Source : Auteur.....	138
Figure 16: Variation de la pression en fonction de l'envergure de la taille du patio dans la période estivale ; Source : Auteur.	139

Liste des tableaux :**Chapitre II :**

Tableau 1: Définitions données au mot cour (Rehailia, 2007)	50
Tableau 2: Nuances et termes gravitant autour du mot cour. (Rehailia, 2007)	51
Tableau 3: Définitions données du mot patio (Rehailia, 2007)	52
Tableau 4: Définitions données au mot atrium (Rehailia, 2007)	52
Tableau 5: Nuances et termes gravitant autour du mot atrium. (Rehailia, 2007)	53

Chapitre V :

Tableau 1: Echelle de Beaufort ; Source : www.sailgrib.com.....	140
Tableau 2: Tableau du prélèvement des résultats des simulations ; Source : Auteur.....	141

Liste des équations :**Chapitre I :**

Équation 1 : l'équation de Bernoulli.	15
Équation 2 : L'équation du principe de conservation de masse.	16

Chapitre III :

Équation 1: Equation de calcule du ratio de la forme de la slhouette.....	91
Équation 2: Equation de calcule du ratio de la forme et les proportions du patio.....	93
Équation 3: Equation de calcule du pourcentage du Vide par rapport au plain.	94



Chapitre introductif

1. Introduction :

La recherche du confort dans toute condition climatique pour l'homme reste une constante dans les constructions. L'homme est à la fois constructeur et utilisateur de son environnement. Son savoir-faire technique dépend de trois dimensions interactives : la dimension humaine, la dimension naturelle et la dimension matérielle (Supic, 2000), qui doivent interagir en toute harmonie. Cette harmonie a été longtemps maintenue au fil du temps, l'homme satisfait ses besoins de s'abriter en construisant avec l'environnement naturel et les conditions climatiques dans lesquelles il vit.

Récemment, cette harmonie a été altérée. L'homme, par son égoïsme et son insouciance, a commencé à défier les conditions climatiques en construisant avec des techniques polluantes et consommatrices d'énergie, en abandonnant les solutions passives et ayant recours à l'utilisation excessive de technologie et aux procédés actifs émetteurs de polluants. Par conséquent, le milieu naturel a réagi négativement face à l'excès de son exploitation par l'homme, sans que ce dernier ne s'en aperçoive, mais qui a commencé à se faire ressentir depuis quelques décennies, à travers le réchauffement climatique, la pollution des ressources en eau et des milieux naturels et les crises énergétiques répétitives. Devant cette problématique, les organisations internationales et les décideurs sont de plus en plus sensibles à l'importance de l'amélioration et la compréhension objective de cette crise, et sont de plus en plus conscients de l'importance à attribuer au changement climatique et des écosystèmes.

A cause de la crise énergétique, le choc pétrolier. Il a été adopté à la conférence de Stockholm, les principes de base du développement durable où la sauvegarde des ressources naturelles étaient l'objet d'une programmation et d'une gestion appropriées et vigilantes (Sohn, 1973). L'homme s'intéresse de plus en plus aux consommations énergétiques et la maîtrise de l'énergie repose sur l'utilisation rationnelle de celle-ci pour répondre à ses besoins en confort, notamment dans les espaces habités.

La solution envisagée consiste à revenir à l'utilisation des procédés passifs pour se procurer un maximum de confort en utilisant un minimum d'énergie et en émettant un minimum de polluants, d'où vient le concept d'architecture bioclimatique.

L'architecture bioclimatique insiste sur le renforcement de la relation de l'habitation avec le climat et la recherche d'une ambiance confortable, tout en respectant le mode de vie des habitants. Elle permet aussi de réduire les besoins énergétiques, de maintenir des températures agréables, de contrôler l'humidité et de favoriser l'éclairage et la ventilation naturelle. Faisant

suite à cette nouvelle approche plusieurs stratégies de construction ont été adoptées : HQE, LEED, Zero energy building, eco building, etc.

2. Problématique :

Le secteur résidentiel représente 40% de la consommation globale en énergie au monde (Pérez-Lombard, 2008), un pourcentage assez important qui a su attirer l'attention des organisations internationales pour faire de lui un enjeu majeur afin de remédier au problème du réchauffement climatique.

La maison à patio représente, l'un des deux grands modèles d'habitat connus dans l'histoire (Abdulac, 2011). Ce modèle s'est maintenu au fil du temps. Il s'est affiné, sophistiqué, et continue même à être d'actualité. Il s'agit d'un modèle d'habitat universel, répandu dans une diversité de régions géographiques, de climats, de sociétés et de cultures et dont les aspects de continuité historique restent manifestes. Témoinant donc, de son efficacité et de son adaptabilité à diverses traditions, modes de vies et conditions climatiques.

En Algérie, il existe une large palette de typologie de maisons a patio, adaptée à plusieurs contextes culturelles et climatiques, Allant de la Casbah d'Alger, jusqu'aux Ksour de Ghardaïa, en passant par les maisons islamiques à Constantine et les Harats de Sétif. Chaque typologie étant spécifique a son propre contexte.

L'analyse de la maison à patio révèle que derrière la simplicité de la forme existent des rapports de causalité complexes et contribue à déterminer la forme de la maison (Abdulac, 2011). Une architecture qui privilégie l'être et non le paraître. Le patio est une sorte de microcosme qui met la maison en relation avec la nature, le ciel, le soleil, l'air frais, la terre et parfois l'eau et la végétation. La configuration spatiale du patio en forme de cuvette génère une sorte de microclimat. La configuration morphologique expose le patio à l'air frais qui s'y rassemble la nuit repousse l'air chaud vers le haut, autrement dit vers l'extérieur. Le rayonnement du sol vers le zénith renforce alors la baisse de température. Ainsi, l'été, une température agréable est conservée pendant un long moment, d'autant plus que la cour est protégée de l'ensoleillement une bonne partie de la journée grâce aux ombres portées des murs périphériques. Enfin l'effet « cuvette » assure une protection des vents.

La morphologie de la maison, as-t-elle une influence sur le confort aéraulique à l'intérieur du patio ?

Si oui, quels sont les facteurs qui influencent les écoulements aérauliques, et donc le confort, à l'intérieur du patio ?

Comment peut-on optimiser La forme et la configuration du patio pour protéger la maison des vents froids de l'hiver et l'exposée aux brises nocturnes fraîches de l'été ?

3. Hypothèses :

Ces différents questionnements nous mènent à avancer les hypothèses suivants :

- **Hypothèse principale :**
 - La morphologie de la maison à une grande influence sur le confort aéraulique à l'intérieur du patio.
- **Hypothèse secondaire :**
 - Chaque composante de la configuration géométrique de la maison a son propre impacte sur les écoulements aérauliques à l'intérieur du patio.

4. Objectifs :

Cette recherche s'intéresse aux écoulements de l'air à l'intérieure de l'habitation à patio dans la ville de Sétif. Elle a pour objectif d'apprécier l'impact du patio sur la qualité de l'ambiance aéraulique de l'espace intérieur et de vérifier son efficacité comme moyen de ventilation naturelle en fonction de sa diversité formelle à travers une étude comparative entre plusieurs formes de manière à en faire ressortir la plus adéquate.

Les objectifs de cette recherche portent donc sur :

- L'analyse et la décomposition morphologique en segments qui nous permettrons d'appréhender au mieux ce type d'habitat.
- Mettre en exergue les qualités de ce type d'habitation qui a été longuement négligé et remplacé par une typologie moins appropriée.
- Une bonne compréhension du modèle des maisons à patio pourrait améliorer la réhabilitation des villes historiques et même servir de référence appropriée pour l'adaptation bioclimatique des typologies d'habitations à l'heure des économies d'énergie et du développement durable.

5. Méthode de recherche :

Cette recherche opte pour une étude comparative, utilisant la méthode expérimentale, se basant sur la variation de la variable indépendante qui est la morphologie de la maison sur la

variable dépendante qui représente les écoulements aérauliques. L'objectif de cette recherche consiste à comprendre le rapport cause à effet entre la morphologie et les comportements aéraulique des maisons a patio.

Une analyse morphologique des maisons à patio c'est avérée obligatoire, afin de décomposer le modèle en segments et variables, sur lesquelles on appliquera des manipulations, pour mieux cerner l'effet de la géométrie sur les écoulements aérauliques, et étudier l'effet de chaque variable indépendamment des autres.

La recomposition de ces variables (obtenus après l'analyse morphologique) nous aidera à obtenir un corpus théorique, qui nous a permettra par la suite d'évaluer l'effet de chaque variable indépendamment des autres.

La dernière étape consistera à faire des évaluations à travers des simulations CFD¹ pour analyser l'ensemble du corpus relativement au confort aéraulique.

6. Structure du mémoire :

Elle englobe l'aspect théorique avec une investigation conceptuelle des hypothèses formulées au préalable. Elle est organisée en cinq chapitres :

Le premier chapitre constitue une initiation au thème et au sujet de recherche, il explique les caractéristiques des écoulements aérauliques relativement à une typologie architecturale et urbaine, ainsi que l'état de l'art sur les écoulements aérauliques à l'intérieur du patio, afin de dévoiler le phénomène.

Le deuxième chapitre aborde les maisons à patio à travers une analyse bibliographique. Leur évolution à travers les âges, leurs particularités architecturales et climatiques.

Le troisième chapitre, analyse un modèle particulier de maisons a patio spécifique à la ville de Sétif, en le décomposant en plusieurs segments, et proposer vers la fin une typologie unique de chaque segment.

Le quatrième chapitre est l'application de la CFD sur les modèles théoriques que nous avons pu composer depuis les segments Obtenus de l'analyse morphologique établie dans le chapitre précédent.

Le cinquième chapitre analyse les résultats obtenus de la simulation CFD ainsi qu'une étude comparative entre les différents segments, et faire ressortir la forme optimale qui procure

¹ CFD : Computational Fluid Dynamics

un confort aéraulique intérieur en hiver comme en été et préconise une bonne ventilation naturelle des locaux donnant sur le patio.



Chapitre I :

Initiation aux écoulements aérauliques

Introduction :

Au moment de la conception, si la réflexion des architectes se porte à l'évidence sur les fonctionnalités, les formes, les volumes et parfois sur l'impact environnemental, il est encore peu courant de prendre en compte les effets du vent, non pas sur les bâtiments, mais plutôt sur les usagers car ce facteur pourra, non seulement, influencer le confort extérieur des usagers, mais aussi les ambiances intérieurs et l'agréabilité des espaces intérieurs.

Les écoulements aérauliques dans les patios sont un domaine très complexe qui résulte de l'interaction entre le mouvement d'air (impact, vitesses et turbulences) et les bâtiments eux-mêmes (forme, taille et disposition). La conception du bâtiment et la géométrie du patio exigent un aperçu sur la nature et de la complexité de l'écoulement de l'air autour et à l'intérieur de ce dernier.

Ce chapitre constitue une initiation phénomène en essayant de comprendre le phénomène vent et ses caractéristiques, les effets types dues au vent, la ventilation naturelle et en fin quelques études pionnières et récentes traitant ce sujet.

1. La ventilation naturelle :

1.1. Principe :

Ventiler consiste à renouveler l'air intérieur d'un local ou d'un bâtiment. Cela se traduit par l'apport d'air neuf extérieur et l'extraction de l'air vicié intérieur, et répond à la fois à une nécessité hygiénique (qualité sanitaire de l'air ambiant intérieur) et à un souci de confort thermo-hygrométrique (potentiel de rafraîchissement de l'air et des parois et évacuation de l'humidité).

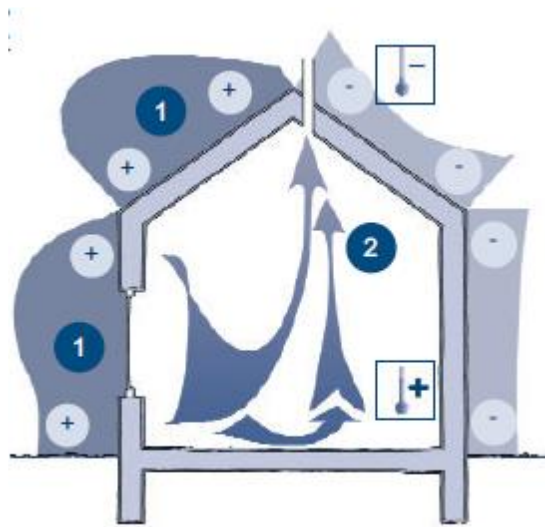


Figure 1: Pressions des vents sur un bâtiment ; source : energie.wallonie.be

La ventilation naturelle a pour objet (Vittane, 1996):

- De fournir un apport d'air pur aux locaux occupés.
- De permettre l'extraction de l'air pollué, malodorant et vicié.
- De préserver un climat intérieur sans poussière, doté d'une température et d'une humidité appropriée.
- D'assurer dans l'ensemble des locaux occupés un mouvement d'air qui soit favorable à la santé et au confort des occupants.

Les polluants de l'air ambiant peuvent provenir (Vittane, 1996):

- De l'extérieur, par le trafic automobile et les industries.
- De différentes sources situées à l'intérieur des locaux, activités physiques, maladies, fumée de tabac, poussière des travaux de nettoyage, les peintures et les laques de protection du bois.

Les polluants de l'air extérieur vicient l'air ambiant intérieur surtout dans les immeubles au voisinage des routes à grand trafic automobile. Les polluants les plus importants sont le

dioxyde d'azote, le monoxyde de carbone, l'anhydride sulfureux, le plomb et les sulfates dans les poussières en suspension dans l'air.

L'évacuation de ces polluants nécessite un renouvellement d'air par la création d'un flux d'air lent. Ce déplacement résulte d'une différence de pression entre l'environnement extérieur et les locaux intérieurs, qui apparaissent suite aux pressions exercées par le vent ou aux écarts de température entre l'intérieur et l'extérieur :

- **Sous l'effet du vent**, une pression s'exerce sur l'extérieur du mur coté vent, tandis qu'une dépression s'applique dans le coté du mus sous le vent, ce qui mène l'air à pénétrer les locaux par les ouvertures de la façade au vent et de ressortir dans la zone de dépression.

Pour bénéficier pleinement de la ventilation naturelle, on oriente le bâtiment avec un angle de 45° par rapport au vent pour que les pressions et dépressions soient atteignent leurs maximum.

- **L'écart de température** amène un écart de pression (l'air vicié et chaud est plus léger que l'air neuf frais) qui expulse l'air au dehors du bâtiment par effet de cheminée. L'équilibre des pressions implique que cette expulsion d'air chaud vers le haut crée un appel d'air froid dans la partie basse du bâtiment. La ventilation naturelle suppose que la température extérieure est inférieure à la température intérieure et elle est d'autant plus efficace que l'écart de température est important. Le tirage thermique est présent dans toutes les pièces équipées d'un conduit de cheminée ouvert. Certaines techniques visent à créer une dépression localisée, sous l'effet de la chaleur du soleil par exemple, qui sert de moteur d'aspiration à l'air intérieur. C'est le principe du mur trombe ou des façades à double peau des immeubles de grande hauteur.

1.2. La ventilation et le climat :

Dans les régions à climat froid, aux hivers secs, l'air froids extérieur provoque des courants d'air très désagréables, et l'humidité relative intérieur peut-être trop basse jusqu'à causer des irritations ; l'humidification est donc souhaitable pour remédier au problème dans ces régions.

Dans les régions aux hivers humides un gros problème de condensation se pose qui doit être traité avec une ventilation aspirante dans les locaux humides (cuisines et salles de bain).

Dans les régions où l'été est chaud, la ventilation doit procurer aux usagers un confort thermique acceptable par un déplacement d'air près du corps, suffisant pour provoquer un refroidissement et une évaporation de la sueur.

1.3. Les facteurs qui influencent la ventilation naturelle :

1.3.1. L'environnement immédiat :

Un certain nombre de règles doivent être respectées pour optimiser la ventilation à l'intérieur d'un bâtiment. Le vent doit parvenir jusqu'aux abords des constructions, sans être freiné par des obstacles d'une certaine hauteur ; dans la ville, la vitesse du vent est trois fois inférieure à sa vitesse en rase campagne. Lorsque les bâtiments sont proches les uns des autres, ceux en amont risquent de provoquer un effet de masque à ceux en aval, dans le sens du vent. L'augmentation de la densité urbaine provoque une diminution de la vitesse du vent au niveau du sol, à cause de l'augmentation de la vitesse de frottement. Par contre, en zone urbaine, la concentration donne naissance à un mouvement d'air local, due aux différences de températures à petite échelle. Les immeubles hauts donnent naissance à de hautes et basses pressions ce qui provoque des mouvements verticaux des courants d'air qui brassent la masse d'air urbaine, il peut donc se produire des courants d'air turbulents au niveau du sol (Vittane, 1996).

1.3.2. La végétation :

La végétation influe sur les mouvements des masses d'air qu'elle permet de déplacer, canaliser, accélérer ou ralentir. Les toitures terrasses plantées ont aussi un effet bienfaisant quand elles sont humidifiées (pluie, arrosage ...). L'évaporation crée du froid qui reste "stocké" dans la masse de terre.

1.3.3. Orientation des fenêtres par rapport au vent :

Lorsqu'il y'a des ouvertures sur les deux façades, au vent et sous le vent, le flux d'air traverse le bâtiment depuis la zone à haute pression vers la zone de basse pression. Cette masse d'air, comme tout air en mouvement, est soumise à une forte inertie. (Vittane, 1996)
Avec des ouvertures sur deux murs opposés, le flux d'air poursuit son chemin vers la sortie sans être dévié, mais lorsque l'ouverture de l'entrée n'est pas situé dans l'axe de la sortie par rapport à la direction du flux, celui-ci continue son mouvement jusqu'à ce qu'il rencontre un obstacle (paroi) à ce moment il dévie vers l'ouverture.

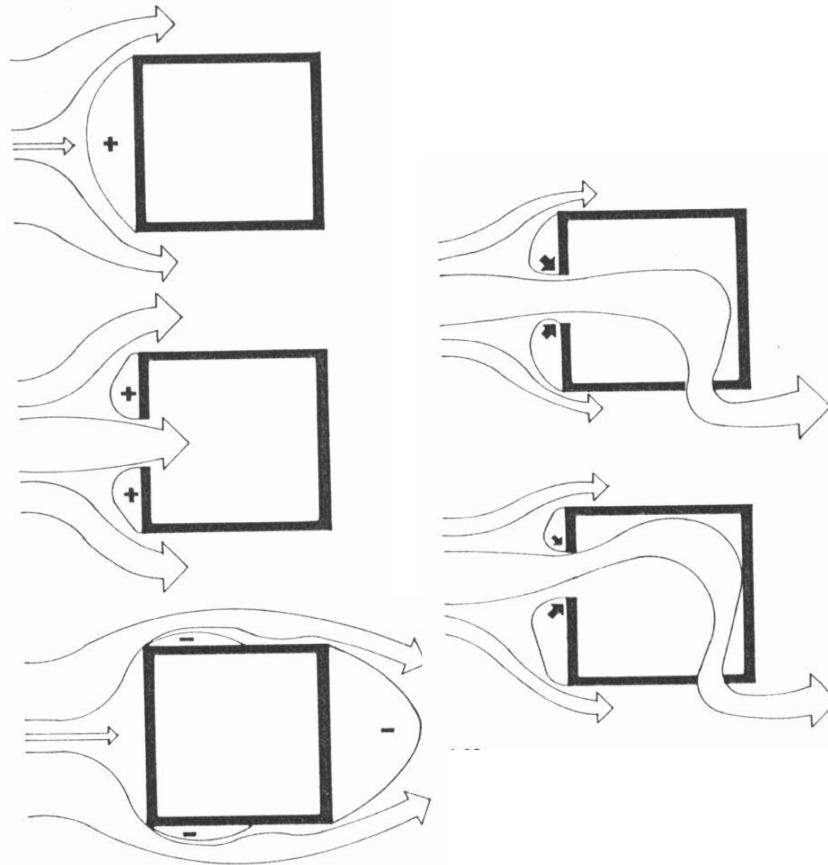


Figure 2: Influence sur la ventilation de l'orientation des fenêtres par rapport aux vents ;
Source : René Vittane, 1996

Contrairement à ce que l'on croit, on peut obtenir des conditions de ventilation beaucoup plus favorables dans un bâtiment dont les ouvertures ont des angles de 50° de part et d'autre de la direction du vent, que ceux dont les ouvertures d'entrée sont perpendiculaires au vent. Par contre si l'on dispose de deux fenêtres sur des murs adjacents on obtient une ventilation beaucoup plus efficace lorsque le vent est perpendiculaire à la fenêtre d'entrée et qu'il suit la direction entrée-sortie. (Vittane, 1996)

1.3.4. Les dimensions des fenêtres :

La vitesse du flux d'air dépend dans une grande partie de la taille des orifices d'entrée et de sortie ; la vitesse du flux d'air à travers une pièce est obtenu lorsque les ouvertures sont de taille inégale est que l'ouverture de sortie est égale a une fois et demi l'ouverture d'entrée. La vitesse du flux d'air dépend dans une grande partie de la taille des orifices d'entrée et de sortie ; la vitesse du flux d'air à travers une pièce est obtenu lorsque les ouvertures sont de taille inégale est que l'ouverture de sortie est égale a une fois et demi l'ouverture d'entrée.

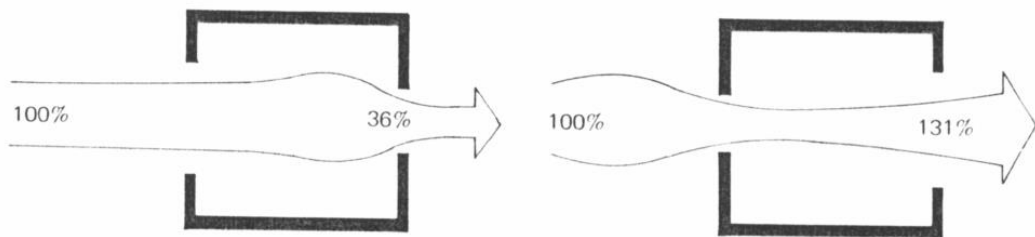


Figure 3: Influence des dimensions des fenêtres ; source : René Vittane, 1996

1.3.5. Position verticale des fenêtres :

La hauteur de la fenêtre de sortie influence faiblement la direction de la vitesse du flux d'air. Par contre, à proximité de la fenêtre d'entrée est nettement diminuée ce qui fait que la position de l'orifice d'entrée est beaucoup plus importante que celle de sortie pour obtenir une bonne ventilation.

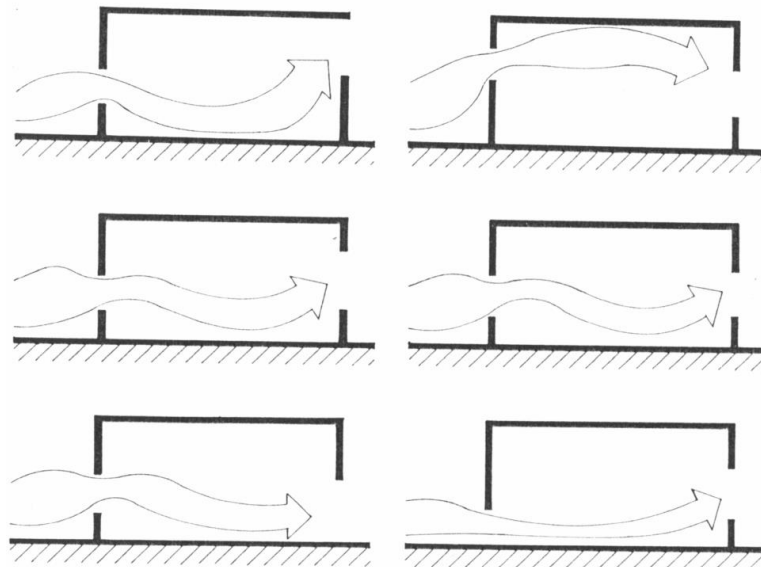


Figure 4: Influence sur la ventilation de la position verticale des fenêtres ; source : René Vittane, 1996

1.3.6. Optimisation de la ventilation naturelle :

De manière générale la ventilation naturelle est **favorisée** par :

- Pour favoriser une ventilation traversant, les ouvertures doivent se situer sur des façades opposées (1).
- Un cloisonnement intérieur permettant la libre circulation de l'air d'une façade à une autre (open-space, murs écrans ...) (1 et 2).
- Une hauteur des ouvertures de sorte que le flux intérieur soit dirigé vers le bas (3 et 4) ceci est possible si la fenêtre d'entrée se situe au bas d'un mur de même les

fenêtres pivotantes et les fenêtres a lames mobiles doivent être placé de façon à orienter l'air vers le bas de la pièce (7).

- Une avancée assez haute augmente le flux sans modifier sa direction (5).

Et au contraire ce qui **diminue** l'efficacité de la ventilation naturelle :

- Une seule ouverture du côté exposé au vent créé peu de mouvement d'air à l'intérieur.
- Un cloisonnement coupant le flux entraîne des perturbations. La pièce fermée n'est pas ventilée, l'autre est très faiblement (9). De même un cloisonnement perpendiculaire au flux principal créé une altération importante et engendre une mauvaise efficacité de la ventilation (10).
- Un pare-soleil juste au-dessus de la fenêtre dirige le flux vers le haut et diminue l'efficacité de la ventilation (6).

La figure permet d'illustrer les points précédemment cités.

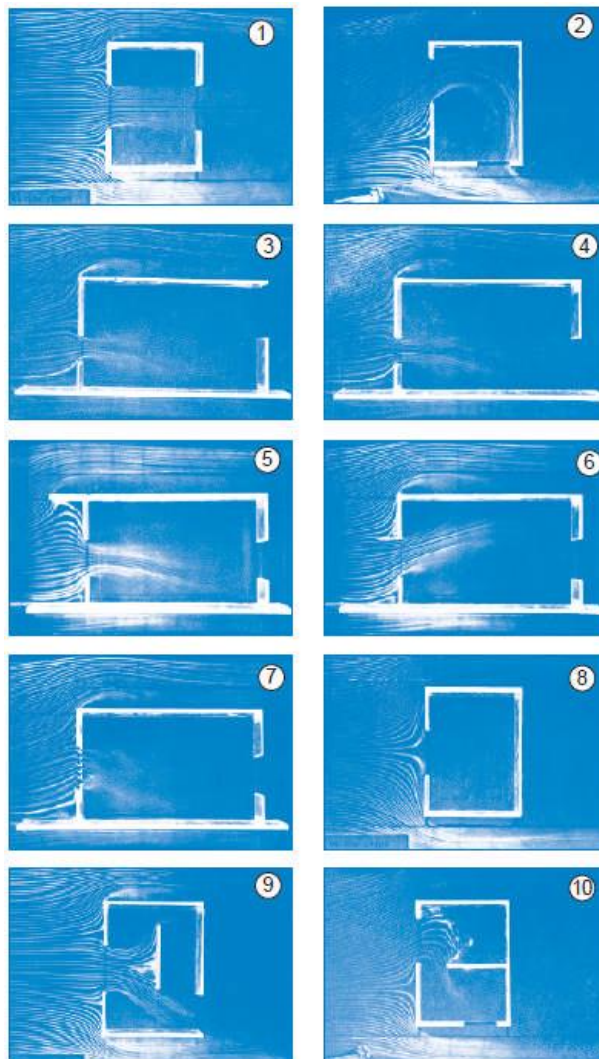


Figure 5: Etude des flux d'air ; source : www.regionpaca.fr

2. Initiation aux écoulements aérauliques autour d'un bâtiment :

2.1. Modélisation du vent :

On peut distinguer deux types de turbulences¹ du vent :

Pour une altitude supérieure à plusieurs centaines de mètres :

La vitesse du vent résulte de l'équilibre des forces de Coriolis² engendrées par la rotation de la terre et des forces créées par le champ de pression atmosphérique. Le vent est alors sensiblement parallèle aux isobares et sa turbulence est presque nulle.

Pour une altitude inférieure a 1000 mètres : (*à la hauteur des ouvrages bâtis*)

Les forces de frottement dues à la rugosité du sol et les phénomènes thermiques deviennent prépondérants vis à vis des forces de Coriolis ; ils engendrent des fluctuations de la vitesse du vent, dans le temps et dans l'espace, susceptibles d'exciter les structures les plus souples. Cette zone est couramment nommée **couche limite turbulente atmosphérique**.

Le vent caractéristique se définit par la combinaison de sa vitesse moyenne et de son intensité de turbulences.

La vitesse moyenne du vent sur un site est liée à des phénomènes aérodynamiques et thermiques complexes à formuler. Au niveau des basses couches atmosphériques comprises entre 0 et 300 m d'altitude, la vitesse moyenne du vent varie avec la topographie du site, la stratification thermique, la hauteur et la rugosité du sol. En effet, dans une zone à reliev, les différents accidents du site influent sur les caractéristiques du vent.

Dans les basses couches, la stratification thermique a une influence sur les écoulements d'air pour des vents de vitesse inférieure à 10 m/sec une hauteur de 10 m du sol. Au-delà de cette vitesse, les effets thermiques deviennent négligeables. Les physiciens admettent alors que la stratification thermique est neutre.

¹ La turbulence du vent est la dispersion de sa vitesse instantanée autour de sa vitesse moyenne (Reiter, 2007)

² Force produite par l'accélération complémentaire due à la rotation terrestre et qui s'exerce sur tous les corps en mouvement à la surface de la Terre. (Elle détermine la direction générale des vents et des courants océaniques, les dévient vers la droite dans l'hémisphère Nord, vers la gauche dans l'hémisphère Sud.)

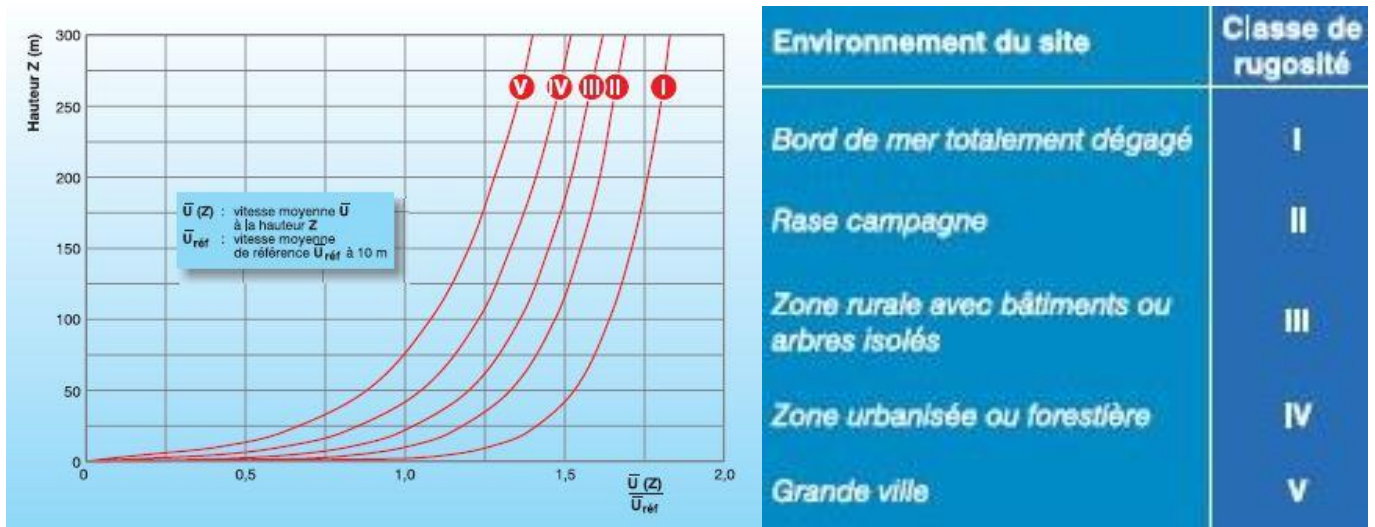


Figure 6: Les classes de rugosité en fonction de leurs sites ; source : traité d'urbanisme et d'architecture bioclimatique.

La turbulence dépend essentiellement de la nature du terrain. Elle se détermine selon une échelle spatio-temporelle par la dimension des bouffées et des rafales du vent. Cette dimension dynamique du vent se traduit par une échelle de turbulences longitudinales suivant l'axe de la vitesse du vent.

Le graphe de la figure (Figure 6) permet de déterminer la vitesse du vent en fonction de la hauteur à partir de la connaissance de la vitesse de référence du vent de la station météorologique la plus proche. Ainsi, si l'on se trouve en ville, et que l'on cherche à connaître la vitesse du vent à une hauteur de 50 m, le graphe nous indique que le rapport de la vitesse à cette hauteur par rapport à la vitesse de référence est de plus au moins 0.85. Si la vitesse de référence est de 5 m/sec, la vitesse recherchée sera alors de 4,25 m/sec.

2.2. Contournement d'une construction par le vent :

Avant d'aborder ce point, il est essentiel de connaître deux principes de base sur la concentration du vent qui sont :

2.2.1. Equation de Bernoulli

Le vent étant un écoulement non visqueux, il suit une équation de Bernoulli simplifiée. Celle-ci indique que, sur une trajectoire moyenne, d'un point à un autre, la somme de la pression locale P (ou pression statique) et de la pression dynamique va rester constante.

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho \bar{U}_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho \bar{U}_2^2$$

Équation 1 : l'équation de Bernoulli.

Une augmentation de vitesse est accompagnée d'une chute de pression et réciproquement.

2.2.2. Principe de conservation de masse

Les trajectoires moyennes évoluent spatialement d'une zone de pression à une autre, et peuvent s'épanouir ou se resserrer (présence d'une paroi, par exemple).

On peut introduire la notion de faisceau ou tube de courant moyen qui regroupe un certain nombre de lignes de trajectoire moyenne. Le principe de la conservation de la masse indique que le débit massique moyen se conserve tout au long d'un tube de courant. Ainsi, pour l'air que l'on considère comme un fluide incompressible (dans la gamme des vitesses du vent), nous obtenons entre les sections A_1 et A_2 (Figure 7) :

$$A_1 \bar{U}_1 = A_2 \bar{U}_2 \quad \text{Équation 2 : L'équation du principe de conservation de masse.}$$

Une application concrète de ce résultat est la formation d'une zone de survitesse au niveau de l'étranglement constitué par deux bâtiments dessinant un angle ouvert au vent. Ce phénomène est habituellement appelé "effet Venturi".

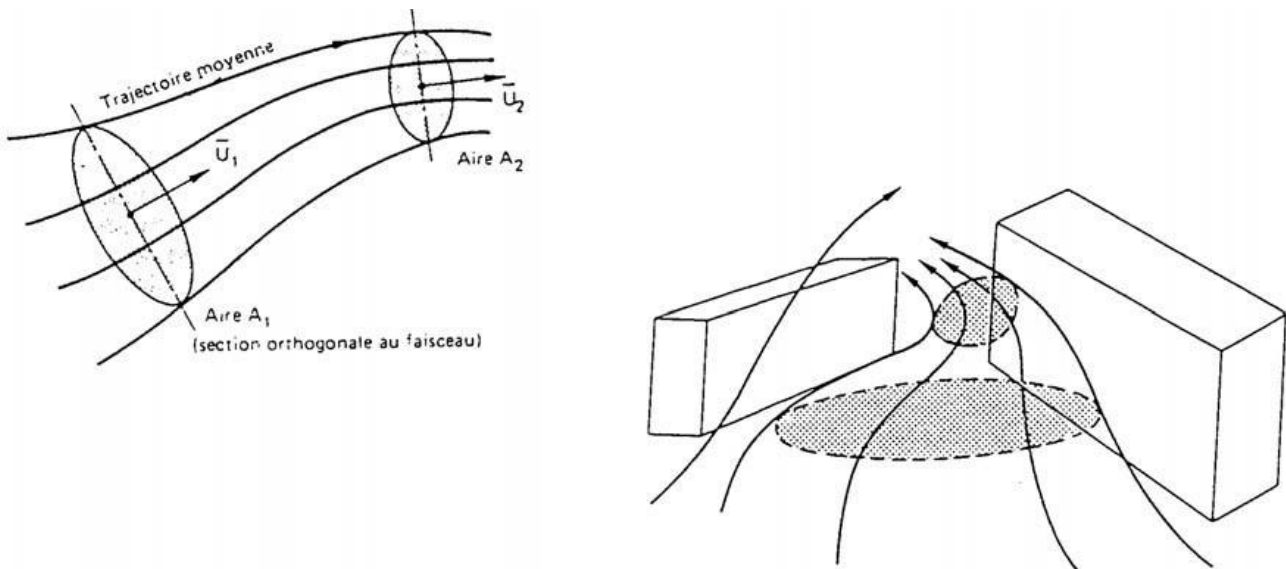


Figure 7: Illustration du principe de conservation de masse d'un tube de courant ; source : actions du vent sur les ouvrages - effets dynamiques

2.2.3. Contournement d'une construction par le vent :

Tout obstacle perturbe et modifie l'écoulement des vents par sa présence, l'effet des obstacles peut se faire sentir jusqu'à une distance allant de 4 à 12 fois sa hauteur. Cette distance est fonction des caractéristiques géométriques des obstacles, de leurs orientations par rapport au vent et de leur porosité. On distingue les régions schématisées dans la figure ci-après :

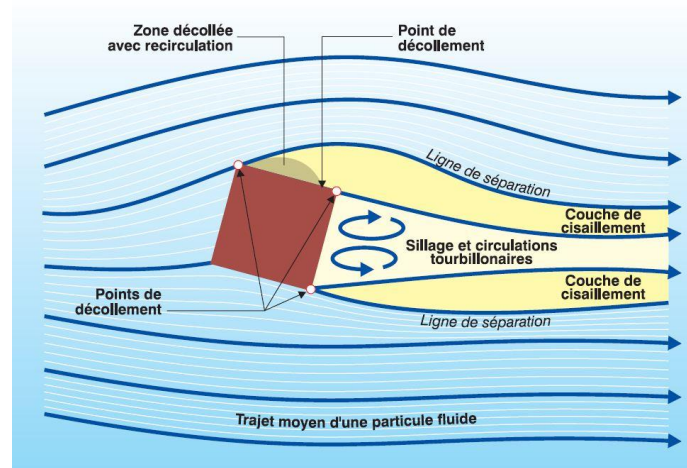


Figure 8: Les phénomènes d'un écoulement turbulent autour d'un bâtiment ; source : traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique

Les filets fluides sont désorganisés par la présence de l'obstacle : l'écoulement décolle au niveau des arêtes vives dans des points précis qu'on appelle « point de décollement » et peut venir se rattacher sur la forme dans les « points de recollement ». Au niveau de la paroi, les phénomènes visqueux sont prépondérants et induisent des forces de cisaillement particulièrement élevées. Par contre au-delà des zones de décollement, on identifie bien une couche de cisaillement, là où la vitesse augmente, qui vient délimiter le sillage où apparaissent de larges mouvements tourbillonnaires.

On peut donc décomposer l'écoulement global en plusieurs zones :

- La zone en amont du bâtiment : là où les filets fluides sont parallèles et suivent un écoulement laminaire.
- La zone de détournement de l'écoulement moyen, de part et d'autre du bâtiment, les filets fluides prennent de la vitesse en se resserrant tout en restant en régime laminaire.
- La zone tourbillonnaire où les vents prennent un régime turbulent : les filets fluides perdent leur parallélisme et prennent trois directions :

- Une zone intermédiaire, la couche de cisaillement, liée aux phénomènes visqueux le long des murs : les mélanges dans cette couche augmentent avec la turbulence.
- Une zone décollée avec recirculation due aux écoulements complexes le long des parois, dépendent des aspérités le long des murs.
- Des décollements au niveau des angles vifs du bâtiment.

2.3. Effets types dues au vent :

En principe, le vent se déplace d'une zone à haute pression vers une zone à basse pression, ou depuis une pression positive vers une pression négative sous un régime laminaire ou turbulent.

Quand le vent rencontre un obstacle, il le contourne selon un mécanisme précis, impliquant des zones de survitesses et d'autres de ralentissement des vents.

Plusieurs chercheurs ont cherchées à étudier les effets provoqués dans ces zones on peut citer parmi ces dernières la plus ancienne (Gandemer, 1978), et une des plus récente (Reiter, 2007), sur lesquelles nous allons nous appuyer pour étudier quelques effets que nous avons jugés importants dans notre étude.

2.3.1. L'effet de coin :

Phénomène d'écoulement aux angles des constructions qui mettent en relation la zone de surpression amont et la zone de dépression latérale du bâtiment.

La vitesse maximale de l'effet de coin est peu influencée par l'angle d'incidence du vent par rapport au bâtiment élevé (différence de 15%). En revanche, la position de cet effet critique dépend fortement de l'angle d'incidence du vent.

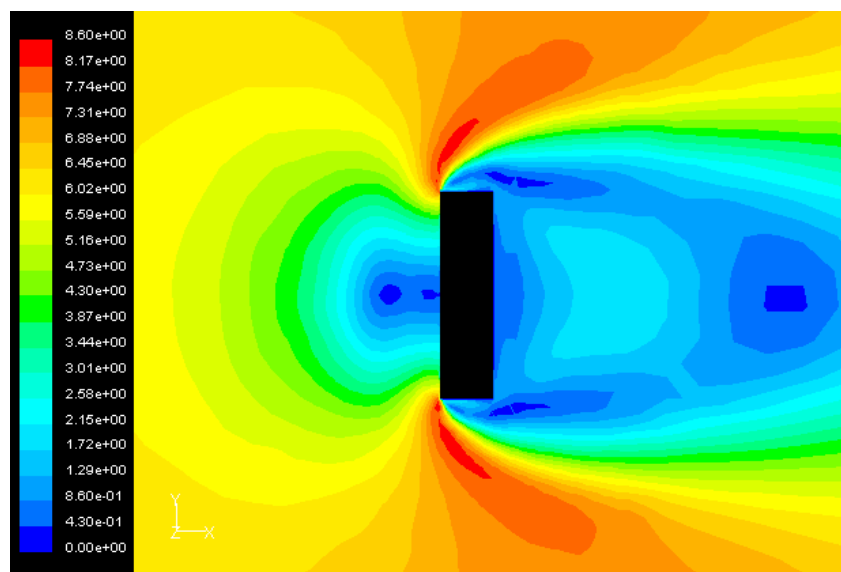


Figure 9: Illustration de l'effet de coin (profil des vitesses) ; source : Sigrid Reiter

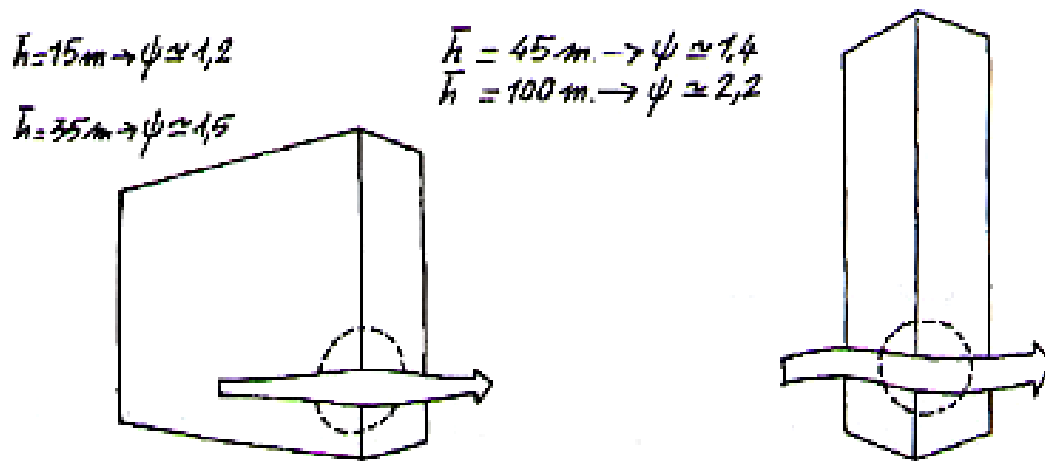


Figure 10: Illustration de l'effet de coin ; source : J Gandemer

L'effet de coin au pied des bâtiments exposés au vent peut être réduit comme ci-dessous :

- Diminuer la hauteur du bâtiment le long des espaces publics, surtout à proximité des coins. Cela peut se faire par exemple par le fait de ceinturer un bâtiment par un élément de hauteur moins élevée : socle, rez-de chaussée créant une avancée, galerie fermée, ...

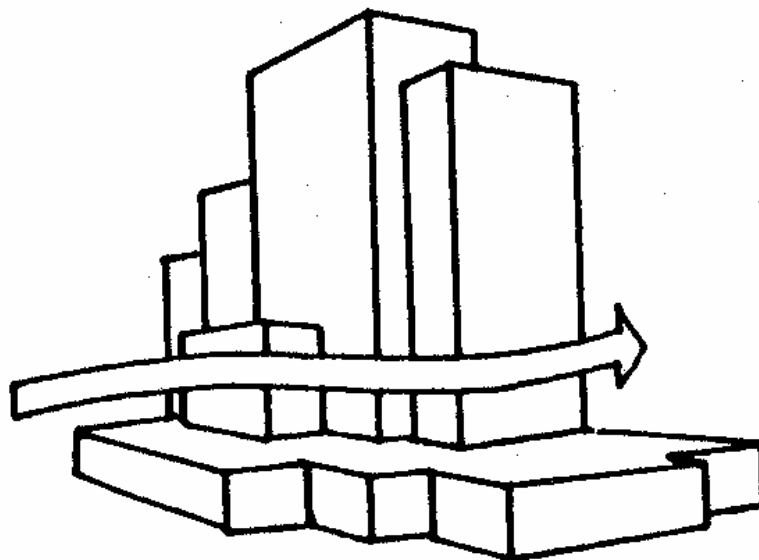


Figure 11: Création de dégradation pour remédier au problème de l'effet de coin ; source : J Gandemer

- **Densifier le voisinage** immédiat du bâtiment élevé par des constructions moins élevées, dont le rapport de hauteur devrait idéalement se situer dans l'intervalle suivant : $1.6 \leq H/h \leq 2.5$

- **Créer de larges débords** (balcons de 6m de profondeur,...) sur toute la façade au vent du bâtiment.
- **Couper les angles** du bâtiment élevé à 45° ou créer des arrondis afin de diminuer le gradient horizontal des vitesses moyennes au niveau du coin.
- **Prévoir des éléments poreux** près des angles du bâtiment élevé (végétation, écrans perméables,...). Ces dispositifs ralentiront la vitesse moyenne de l'air et atténueront l'effet du gradient de vitesse. Une haie de 2m de haut est un brise-vent efficace pour les piétons de par sa perméabilité naturelle.

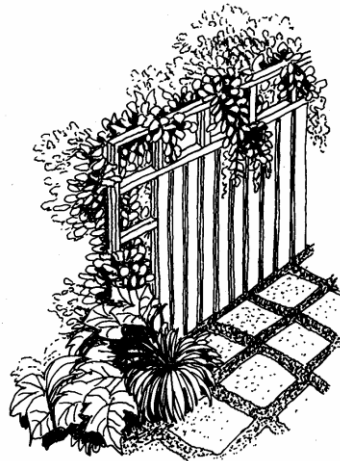


Figure 12: Création d'un élément poreux pour remédier à l'effet de coin ; source : Glaumann & Westerberg 1988

2.3.2. L'effet de cisaillement :

L'effet de cisaillement couvre les zones à fort gradient de vitesse de vent qui entourent la zone de protection due au sillage du bâtiment. Ces couches de cisaillement présentent de taux de turbulence élevés.

L'effet de cisaillement dépend de l'effet de coin, si on réduit la survitesse au niveau du coin, par les solutions précédemment cités, on obtiendra forcément une diminution de la vitesse de l'air dans les couches de cisaillement.

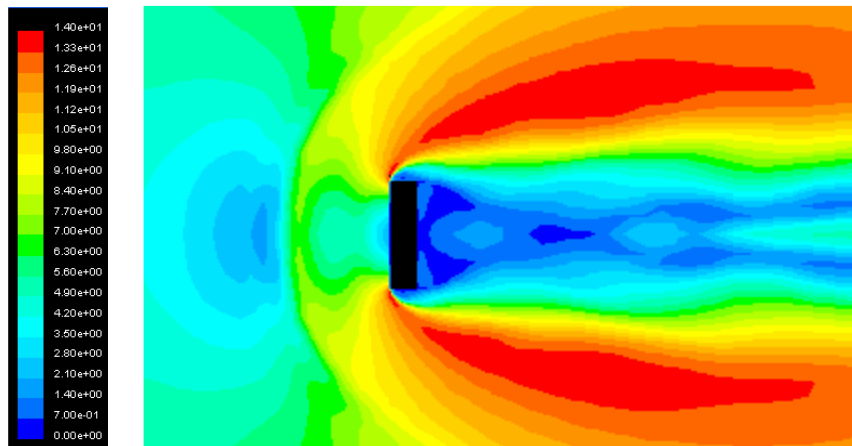


Figure 13: Illustration de l'effet de cisaillement (profil des vitesses) ; source : Sigrid Reiter

L'effet de cisaillement dans le sillage des bâtiments exposés au vent peut être réduit comme expliqué ci-dessous :

- **Diminuer la hauteur du bâtiment le long des espaces publics**, surtout à proximité des coins. **densifier le voisinage immédiat du bâtiment élevé** (à la fois en amont de celui-ci et dans les zones de cisaillement) par des constructions moins élevées. En effet, plus l'environnement bâti est dense, plus l'effet de sillage est atténué.
- **Prévoir des éléments poreux** près des angles du bâtiment élevé et dans la zone de cisaillement (végétation, écrans perméables,...). Des aménagements végétaux brisent aisément l'effet de cisaillement.
- **Orienter le bâtiment élevé** de manière à ce que l'angle d'incidence du vent dominant par rapport à la façade principale soit compris entre 60° et 120° , avec une position idéale du bâtiment **parallèlement au flux du vent dominant** (c'est-à-dire pour une incidence du vent de 90°).

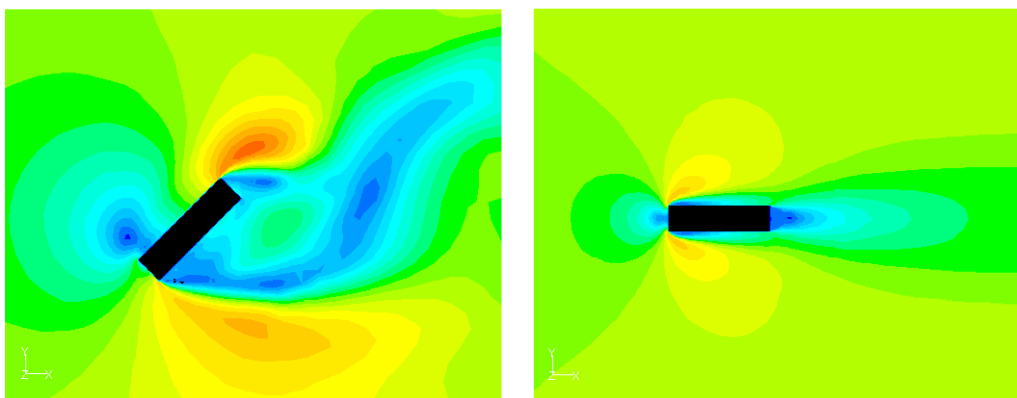


Figure 14: Effet de la rotation sur l'effet de cisaillement (profil des vitesses) ; source : Sigrid Reiter

2.3.3. Le rouleau tourbillonnaire :

Au pied de la face au vent des bâtiments se constitue un espace de recirculation de l'air. Pour la majorité des bâtiments, ce phénomène génère une zone protégée du vent, où les vitesses de l'air sont faibles.

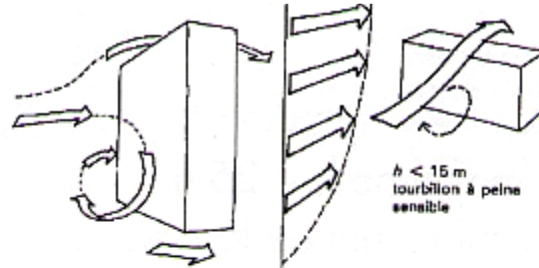


Figure 15: Illustration de l'effet du rouleau tourbillonnaire ; source : J Gandemer

C'est ce qu'on peut voir dans la figure ci-dessous. La zone bleu est une zone à faible vitesse et de grand calme aérodynamique, et constitue ainsi une zone protégé contre les vents.

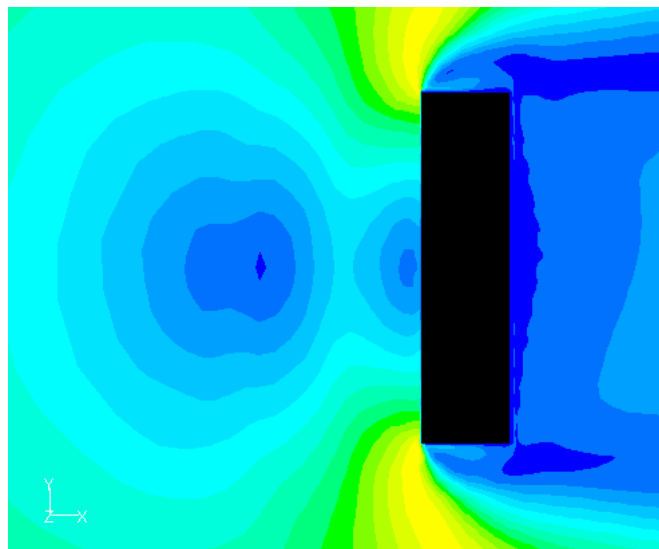


Figure 16: Illustration de l'effet du rouleau tourbillonnaire vue en plan (profil des vitesses) ; source : Sigrid Reiter

Le phénomène du rouleau tourbillonnaire n'est réellement critique que dans le cas de bâtiments très élevés (une hauteur qui dépasse les 60m) ou des climats très venteux. L'augmentation de la turbulence dans les zones de rouleau tourbillonnaire constitue un élément qui accroît l'inconfort.

L'effet du rouleau tourbillonnaire peut être réduit comme ci-dessous :

- **Diminuer la hauteur du bâtiment le long des espaces publics**, par exemple en créant un jeu de niveaux en gradin. (Hammoud 1986)

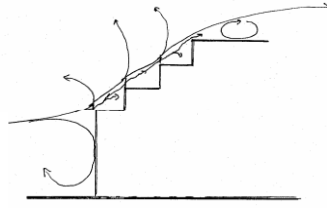


Figure 17: Création d'un jeu de gradin ; source : Hammoud 1986

- Intégrer des toitures a versants inclinés dans la direction des vents dominants.
- **Augmenter la porosité ou la rugosité des façades** exposées directement au vent. D'une part, des trous peuvent être créés dans la façade pour casser le tourbillon d'air descendant. D'autre part, les balcons et les décrochements d'au moins 2 m de profondeur freinent les courants descendants. (Hammoud 1986).

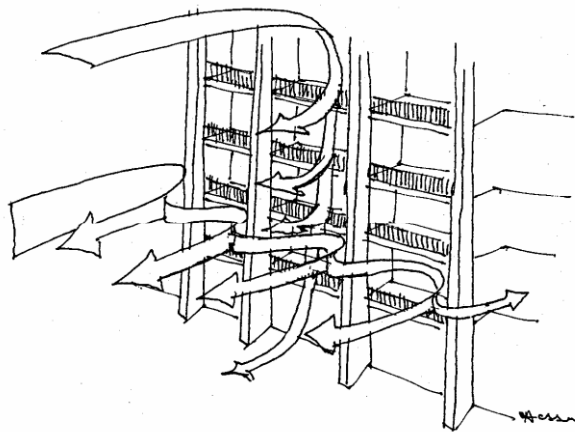


Figure 18: Effet de la porosité des façades ; source : Hammoud 1986

2.3.4. L'effet de protection dans le sillage d'un bâtiment isolé :

En aval des bâtiments se développe une large zone de circulations fluides tourbillonnaires qui constitue une zone de protection appelée le sillage. Dans cette zone le comportement des filets fluides est fortement turbulent, mais elle reste confortable car la vitesse y est très faible.

Cette zone est assez intéressante, et adéquate pour y développer des zones de détente, des jardins ou des aires de jeux pour enfants.

On trouve les zones de sillage même derrière les bâtiments très élevés, cette zone depend en grande partie selon deux facteurs essentiels qui sont ; la hauteur et la longueur de la face au vent ; La zone de sillage s'étend sur toute la largeur de la façade et peut aller jusqu'à 4 fois la plus petite dimension entre la largeur et la hauteur.

Pour profiter pleinement de l'effet de protection dans la zone de sillage, il est conseillé d'orienter la façade la plus longue du bâtiment face aux vents dominants.

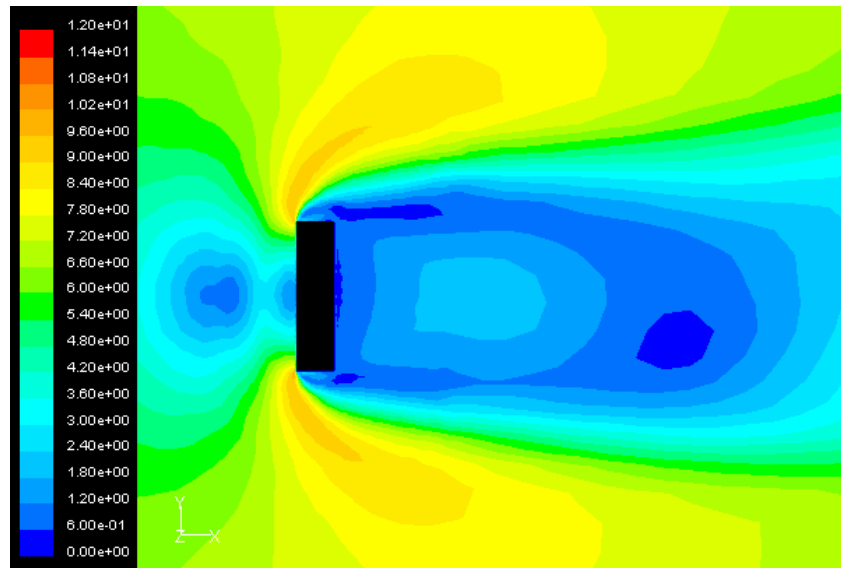


Figure 19: Illustration de l'effet de protection dans le sillage d'un bâtiment, vue en plan (profil des vitesses) ; source : Sigrid Reiter

2.3.5. L'Effet Wise :

Il s'agit d'une zone d'accélération de l'aire sous forme de rouleau tourbillonnaire qui apparaît devant un bâtiment élevé si celui-ci est précédé par un bâtiment moins élevé.

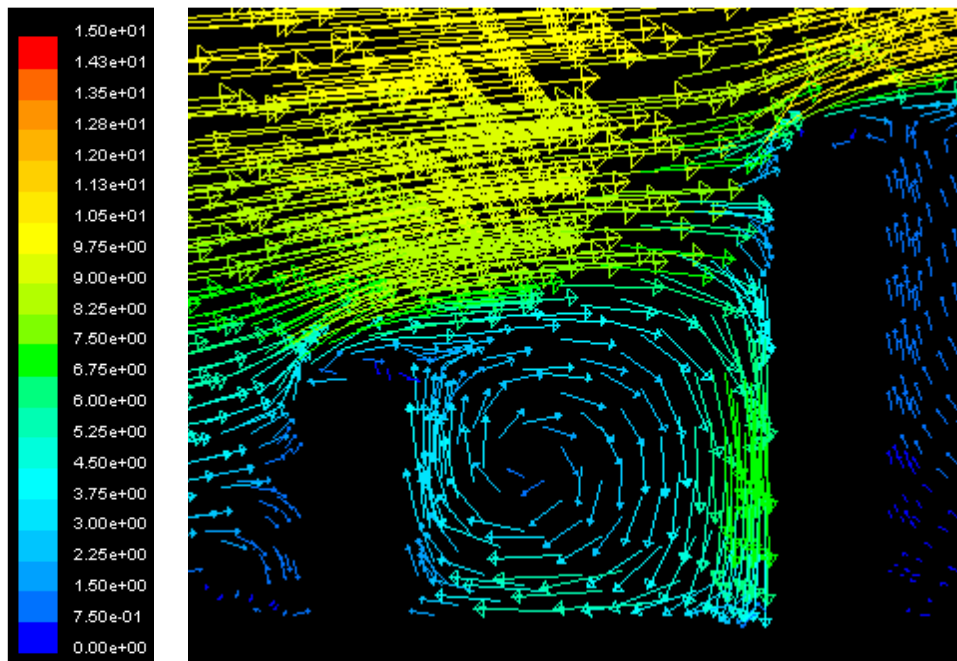


Figure 20: Les vecteurs de la vitesse de l'air au niveau de l'effet Wise (vecteurs de vitesses) ; Source Sigrid Reiter

L'effet Wise varie en fonction de la hauteur de petit bâtiment en Amont et de l'inter-distance entre les deux bâtiments :

- Lorsque l'inter-distance est fixe, l'effet Wise dépend de la hauteur des deux bâtiments, il tend à devenir critique quand $H=2h$ (H : hauteur du grand bâtiment, h : hauteur de petit bâtiment), en dépassant ce rapport l'effet commence à s'affaiblir progressivement.
- Lorsque l'inter-distance est faible, le tourbillon n'arrive pas à pénétrer dans l'espace entre les deux bâtiments, ce qui diminue l'influence de l'effet Wise
- Lorsque l'inter-distance est égale à $3H/4$ (H = hauteur du bâtiment élevé), l'effet Wise atteint son apogée, et procure un inconfort au niveau de l'espace contenu entre les deux bâtiments.
- Lorsque l'inter-distance dépasse le rapport $3H/4$, l'effet Wise à tendance à s'affaiblir en fonction de l'augmentation de l'inter-distance.

Pour limiter l'influence de l'effet Wise on peut donner les conseils suivants :

- Diminuer la hauteur du bâtiment élevé.
- Diminuer la longueur du bâtiment élevé.
- Augmenter la hauteur du petit bâtiment de telle sorte que $h < 0.6H$.
- Augmenter l'inter-distance entre les deux bâtiments de telle sorte que $W > 2H$ (W = Inter-distance).
- Densifier l'environnement proche.
- Protéger l'espace entre les deux bâtiments par un auvent ou de la végétation.

Le phénomène de l'écoulement aéraulique est la composition de l'ensemble des sous-phénomènes cités précédemment. L'objectif de ce travail de recherche **n'étant pas toujours de les réduire et de s'en protéger**, mais de **faire un choix adéquat** par rapport à des configurations architecturales et urbaines.

3. Etat de l'art sur les écoulements aérauliques à l'intérieur des patios :

3.1. L'influence de la géométrie du patio sur les écoulements aérauliques et le confort thermique : CFD et simulation du confort thermique.

Auteurs : Abel Tablada, Bert Blocken, Jan Carmeliet, Frank De Troyer, Han Verschure.

Année : Novembre 2005

3.1.1. Introduction :

Le centre historique de la Vieille Havane à Cuba a une morphologie compacte avec des rues étroites et orthogonales. En raison de la forte densité des blocs de construction et les logements surpeuplés, un grand nombre de bâtiments ne répondent pas aux exigences d'un environnement thermiquement confortable. Une ventilation naturelle efficace et une protection solaire par une bonne conception de la géométrie du bâtiment et la cour peut être une première étape pour atteindre cet objectif.

La conception du bâtiment et de la géométrie de la cour exige un aperçu de la nature et de la complexité de l'écoulement de l'air autour et à l'intérieur de bâtiments. La grande augmentation de la performance dans le calcul au cours des dernières décennies a favorisé l'utilisation de Computational Fluid Dynamics (CFD) à cet effet. Dans ces études, CFD comprend généralement la résolution du complexe « Reynolds Average Navier -Stokes equations »³ en combinaison avec un modèle de turbulence qui, en général, n'est pas valable pour tous les types d'écoulement du fluide. La pertinence d'un modèle de turbulence pour un problème donné est généralement évaluée par des études de validation modèle. En outre, les conditions thermiques à l'intérieur des bâtiments peuvent être simulés par l'utilisation de logiciels d'énergie qui prend en compte des paramètres tels que débit d'air, les gains / pertes de chaleur et les systèmes de HAVC.⁴

Les logiciels d'évaluation d'énergie et de confort intègrent souvent l'échange d'air à l'intérieur des bâtiments et à l'environnement extérieur dans une approche simplifiée, mais les coefficients de pression (C_p) sont nécessaires en entrée. Par ailleurs, les valeurs de vitesse de l'air à l'intérieur sont nécessaires pour l'évaluation de confort thermique. Ainsi, une combinaison de plusieurs calculs CFD avancés de flux d'air avec ces simulations énergétiques est nécessaire

³ Consulter le chapitre 04 « Approche expérimentale », page 115.

⁴ Heat, Air Ventilation, and Cooling

pour une évaluation complète de l'équilibre énergétique et le confort thermique à l'intérieur des bâtiments.

Le travail présenté dans cet article fait partie d'un projet de recherche plus vaste dont objectif final est de proposer des recommandations concernant la construction et la géométrie de la cour afin de prévoir une ventilation naturelle et le confort thermique à l'intérieur des habitations. Dans cet article, d'abord, la validation CFD est effectuée sur la base en deux dimensions (2D) validés avec des expériences en soufflerie.

Ensuite, une série de simulations CFD sont réalisées pour différentes géométries de la cour afin d'obtenir des vitesses de l'air intérieur et les valeurs de C_p . Enfin, des simulations de confort thermique sont faites à l'intérieur des chambres face à différentes géométries de cour en tenant compte des résultats de CFD.

3.1.2. Simulations CFD :

Essaie en soufflerie :

La validation du modèle CFD est effectuée en comparant des simulations CFD pour des géométries de simple cavité avec 2D expériences en soufflerie effectués par Kovar Pankus et al (2002). Les expériences en soufflerie à l'échelle de 1:500 visant à fournir des données concernant les conditions d'écoulement de l'air dans cinq différentes géométries de canyon urbain. Leur étude a porté sur des cavités 2D d'une hauteur (H) égale à 106 mm et une profondeur variable (W) afin de créer des cavités avec rapports $W / H = 0,3, 0,5, 0,7, 1,0$ et 2,0. Les ratios des canyons urbains 2D pourraient être comparables à la géométrie de cours de construction.

Validation CFD

Afin de tester la fiabilité des résultats des simulations CFD, les chercheurs ont procédé à une comparaison des résultats obtenus par l'expérimentation CFD avec les résultats obtenus par Covar Pankus d'un modèle de canyon urbain dans une soufflerie.

Pour cela les chercheurs ont commencés par modéliser un domaine 2D d'une hauteur $H=964\text{mm}$ et d'une longueur de $L= 1200\text{mm}$, ce dernier contient un maillage non structuré avec une densité progressive de haut en bas, qui contient 10020cellule, pour obtenir des résultats plus précis dans la zone d'intérêt (le canyon).

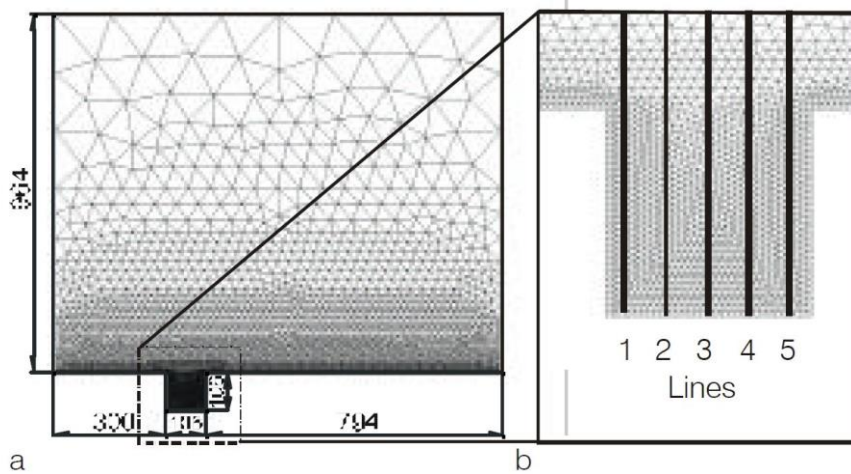


Figure 21: Maillage structuré

La simulation s'est déroulée sous les mêmes conditions que la soufflerie (même indice de rugosité, même vitesse de l'air et même direction) sous le modèle de turbulences K-e⁵ des équations de RANS (Raynolds Avrege, Navier-Stokes).

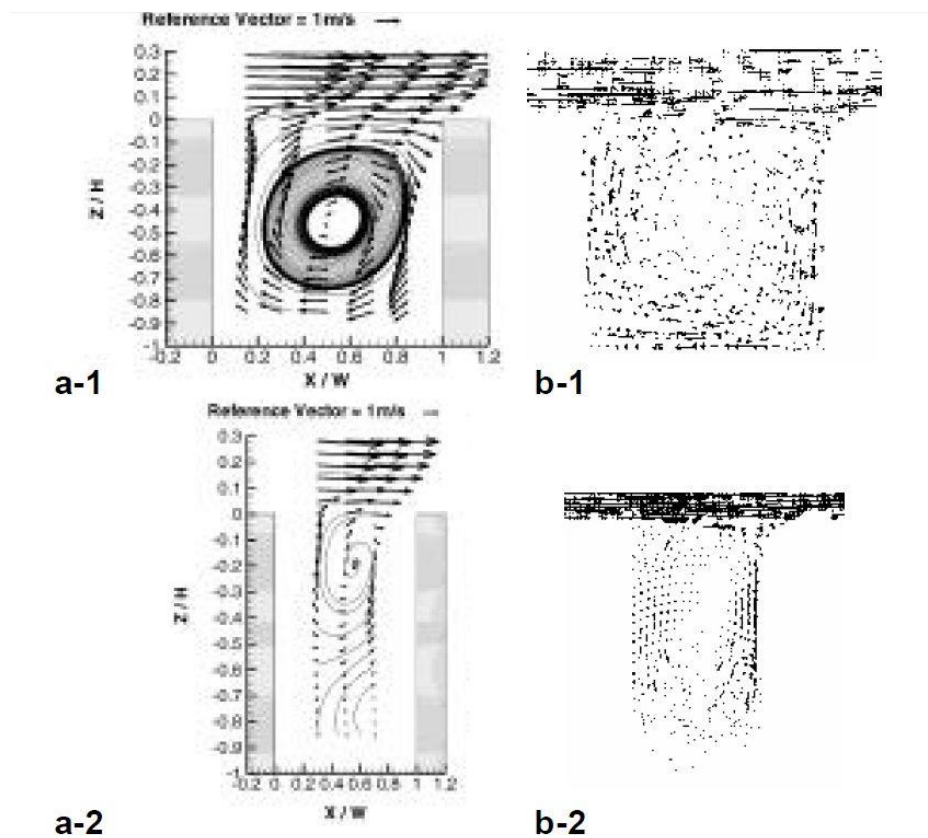


Figure 22: Validation des résultats du logiciel

⁵ K-e : est le modèle le plus couramment utilisé dans Computational Fluid Dynamics (CFD) pour simuler les caractéristiques d'écoulement moyennes pour des conditions d'écoulement turbulent qui se rapprochent de la réalité.

Les résultats obtenus démontrent que, qualitativement, l'agreement entre les simulations CFD et la soufflerie est très bon, cependant, quelques lacunes ont été notées ; la recirculation secondaire pour un ratio de 0.7 n'ont pas pu être reproduits. Quantitativement, les résultats sont très similaires.

Une série de simulations pour les mêmes rapports de la cavité ont été effectuées à l'échelle totale et par rapport à la modèle simulations à l'échelle afin de vérifier la validité des futures simulations. Des résultats très similaires ont été obtenus à deux échelles.

3.1.3. Simulations de différentes configurations de patio :

D'autres simulations ont été réalisées sur la base de la validation CFD. Les mêmes conditions limites étaient imposées et les dimensions du domaine de calcul est égale à celle du domaine de pleine échelle.

Les simulations sont isothermes⁶, donc seul le vent comme force motrice est prise en compte. La comparaison est établie entre les chambres donnant sur une ou deux cours avec des géométries différentes. Les dimensions des cours sont 9m de hauteur sur 3 m de largeur avec un rapport $L / H = 0,33$ et 9m par 6m avec un rapport $L / H = 0,66$. Ces géométries sont fréquentes dans les bâtiments de la cour réels à Havane qui ont des murs partagés.

Les chambres donnant sur la cour avec les fenêtres ouvertes sont analysés en termes de vitesse moyenne de l'air intérieur qui est obtenue à partir de trois lignes à la hauteur de 2 mètres à l'intérieur de chaque chambre. Cette valeur moyenne considère les emplacements possibles des occupants dans la chambre.

⁶ Une ligne ou frontière fictive le long de laquelle la température est constante

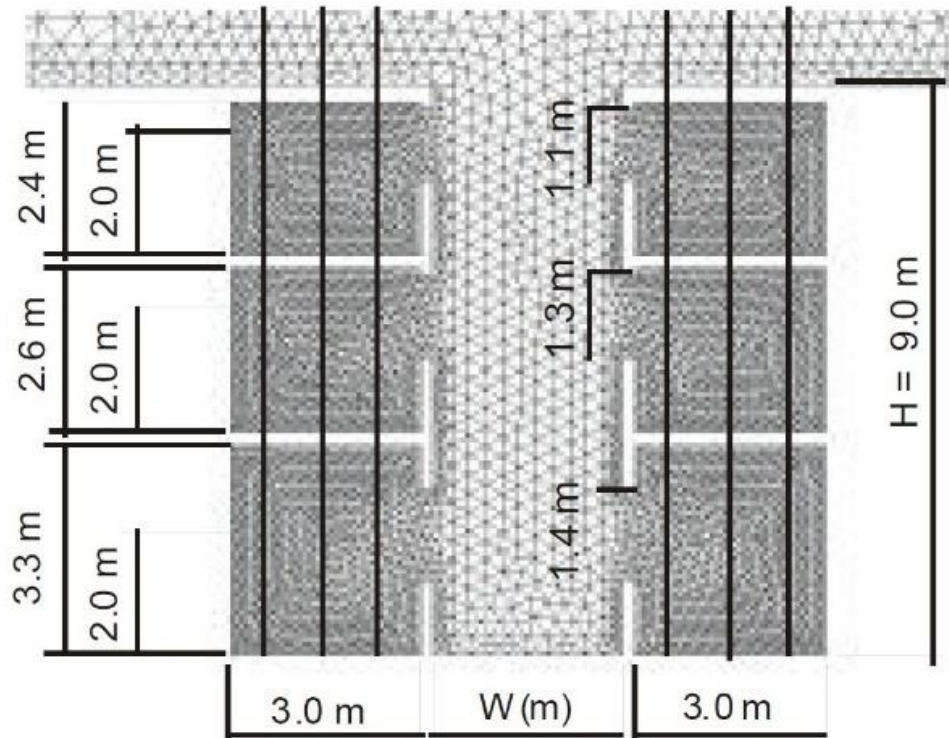


Figure 23: Maillage non structuré à l'intérieur des chambres

3.1.3.1. Cas 01 : Une seule cour

La figure 19 montre le flux d'air en deux cours avec un rapport d'aspect différent. Fig. 19a a une cour étroite $W / H = 0,33$ et fig. 4b a un rapport $L / H = 0,66$. Dans la cour étroite de la présence de fenêtres ouvertes génère plus d'un vortex coïncidant avec le nombre d'étages. En revanche, dans la cour plus large, l'influence des fenêtres ouvertes sur l'écoulement d'air dans la cavité est moins marquée. En conséquence, le tourbillon principal intérieur de la cour n'est pas affecté.

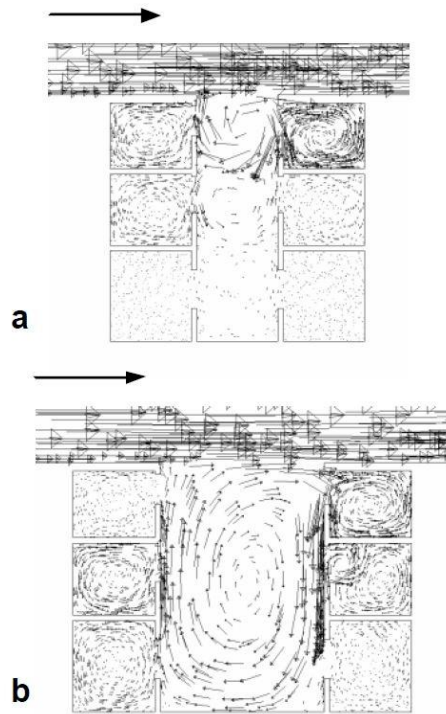


Figure 24: Ecoulement a l'intérieur des deux variantes de patios

Résultats :

On observe dans la figure 20 que les valeurs de vitesse de l'air à l'intérieur des chambres sont très différentes entre les différents étages, entre les chambres des deux côtés de la cour et entre les deux cas avec différents rapports de la cour. Les chambres du dernier étage de la cour étroite ont des vitesses plus élevées de l'air que les étages supérieurs de la cour plus large car ils attirent la plupart des flux d'air entrant dans la cavité de la cour, provoquant que les chambres aux étages inférieurs ont des vitesses d'air beaucoup plus faibles. Toutefois, dans le cas de la cour large les chambres ont des vitesses d'air plus semblables et plus élevés que celles dans les chambres donnant sur la cour étroite.

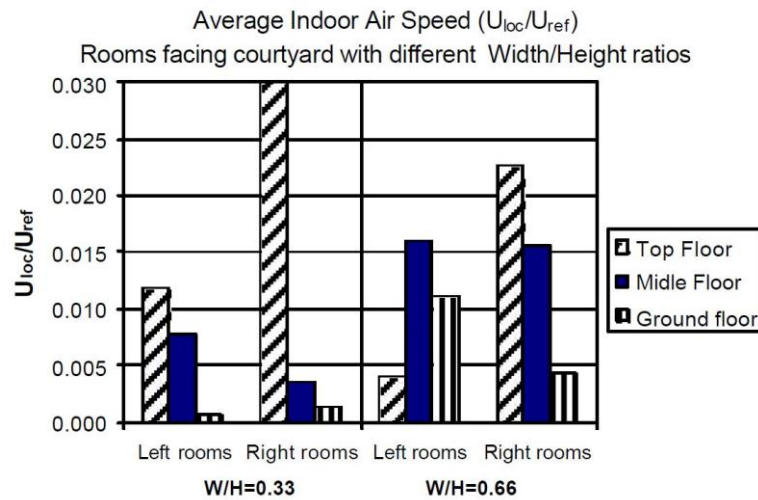


Figure 25: Résultats obtenus dans le cas d'une seule cour

3.1.3.2. Cas 02 : Deux cours

Il est bien documenté dans la littérature, que la ventilation naturelle d'un seul côté est moins efficace que la ventilation transversale. Par conséquent, les cas avec deux cours reliés à travers un ensemble central de pièces avec une ventilation transversale ont été créés pour la simulation, comme illustré sur la figure 21.

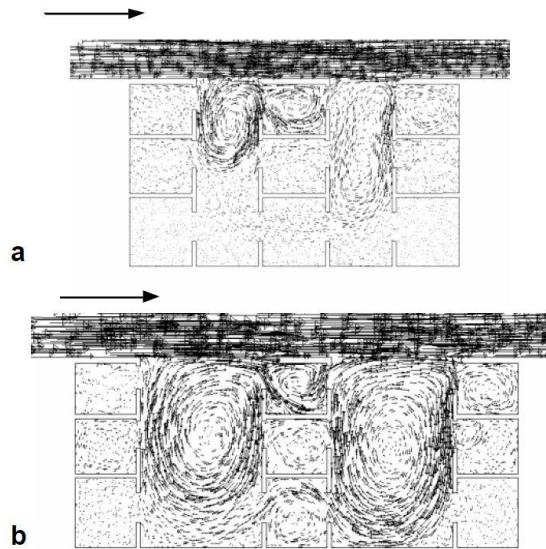


Figure 26: Écoulements à l'intérieur des deux variantes de patios

Un fort rouleau tourbillonnaire est développé dans la partie supérieure de la première cavité dans le cas de deux cours étroites. Le tourbillon occupe presque toute la cavité dans la deuxième cour en raison de l'écoulement inversé créé par la salle de la masse centrale. Avec deux cours plus larges tourbillons occupent toute la cavité comme dans le cas d'une cour unique, plus large dans la figure 21b.

Résultats :

La figure 22 illustre les vitesses de l'air intérieur moyennes pour les deux cas. Les chambres centrales avec une ventilation transversale ont des vitesses d'air plus élevés que les chambres situées sur le côté gauche et à droite. Néanmoins, les valeurs des pièces centrales sont très différentes entre les niveaux des chambres. En outre, dans le cas de deux cours, les chambres avec ventilation simple face ont peu d'amélioration par rapport au cas d'une cour unique. La dimension plus large des deux cours favorise également une meilleure circulation de l'air sur les chambres centrales et droite par rapport au cas de deux petites cours. Pour les chambres du côté gauche il y a aucune amélioration significative à n'importe quel étage.

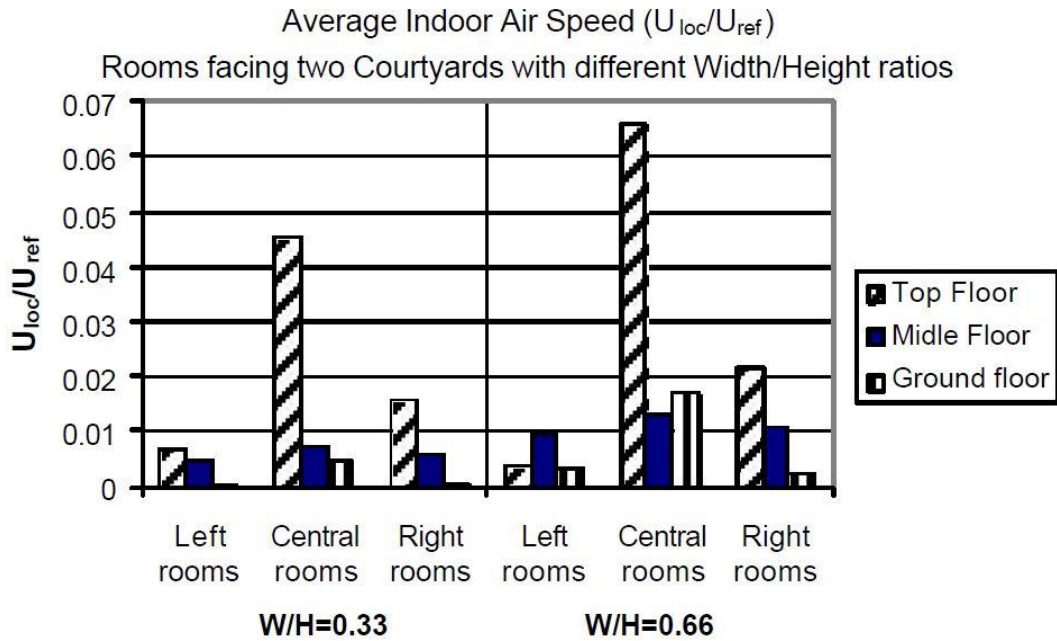


Figure 27: Résultats obtenus dans le cas de deux cours

3.1.3.3. Cas 03 : Deux cours avec balcons/ système de cheminé

La dernière série de simulations de vent illustrés dans la figure 23 concernent deux cas qui représentent la combinaison d'une grande cour avec balcon et une cour étroite avec un rapport $L/H = 0,33$. L'un des objectifs était de voir l'influence de la ventilation sur le flux d'air et la vitesse de l'air intérieur dans les chambres avec une ventilation d'un seul côté. Un conduit de ventilation de 30 cm a été relié aux chambres du côté droit. La sortie du conduit est de 1,2 m au-dessus du toit d'un couvercle de protection contre la pluie.

La sortie de chaque chambre est placée sur la partie supérieure de la paroi ayant une hauteur de 0,4 m. La figure 24 montre les vitesses de l'air intérieur moyennes pour les deux cas.

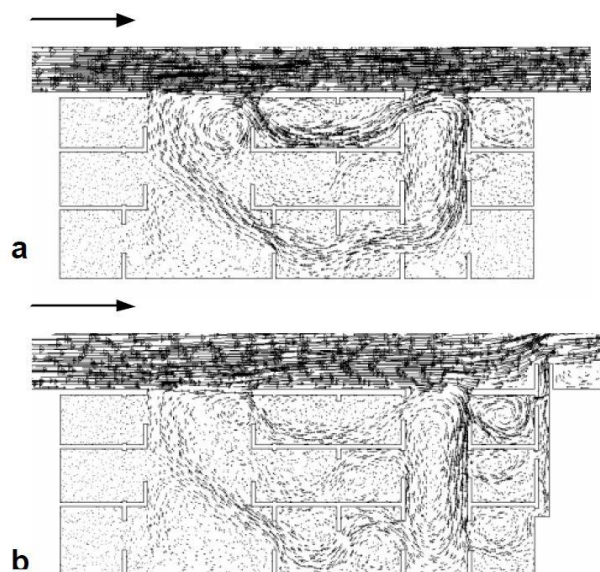


Figure 28: Ecoulements dans les cours après l'ajout de porte à faux

Résultats :

Il s'agit d'une amélioration significative en termes de vitesse de l'air dans le second cas pour les chambres du côté droit en raison de la ventilation par aspiration. Pour les chambres centrales les différences entre les étages sont plus faibles que dans le premier cas sans ventilation. Cependant, depuis les chambres du côté gauche d'une ventilation simple face sur les deux cas, il n'y a pas de différence en termes de vitesse de l'air.

3.1.4. Conclusion :

Les simulations CFD ont été validées par comparaison avec des expériences 2D en soufflerie en termes de flux d'air et la vitesse horizontale de l'air et à l'intérieur des 5 différents rapports de cavités. Les simulations CFD sont en bon accord avec l'expérience pour le rapport de la cavité 1.0. Pour les autres rapports de la cavité de la modélisation CFD ne simule pas les zones de recirculation secondaires qui apparaissent dans l'expérience du tunnel, mais en général, la vitesse horizontale de l'air était proche du résultat de l'expérience.

Les chambres donnant sur une cour et ayant une ventilation naturelle d'un seul côté ont des vitesses de l'air intérieur très faibles. L'existence de plus d'une cour permet une meilleure ventilation pour les chambres centrales. Néanmoins, cette amélioration est très différente entre les trois étages et presque insignifiant pour les autres chambres avec une ventilation d'un seul côté. Les chambres avec ventilation par aspiration augmentent considérablement la vitesse de l'air intérieur.

D'autres simulations numériques 3D sur les conditions de circulation de l'air à l'intérieur de différentes géométries de la cour doivent être réalisées en tenant compte des charges thermiques afin de confirmer les résultats de ces travaux et d'obtenir une meilleure compréhension de l'interaction du vent avec la géométrie irrégulière de cours et de toits. D'autres recherches devraient également être réalisées afin d'explorer les frontières entre l'ouverture de la cour à améliorer la circulation de l'air et la protection solaire adéquate pour éviter le transfert de chaleur à travers la structure du bâtiment.

3.2. Exploration du microclimat de la cour dans un exemple de l'architecture de la civilisation anatolienne (La Sahabiye Madrassa à Kayseri du treizième siècle)

Auteur : Hakan Hisarligil

Année : 2013

3.2.1. Introduction :

Ce document fait partie de la phase initiale de la recherche continue et à long terme des chercheurs sur les conditions climatiques microscopique des bâtiments à cour, comme les madrasas et les caravansérails. Les types de construction les plus importants du patrimoine architectural seldjoukide d'Anatolie, apparaissant à partir du XIIIe siècle à travers les terres anatoliennes. Il explore la mesure dans laquelle la conception bâtiments à cour du XIIIe siècle répond aux critères proposés pour répondre aux variations climatiques quotidiennes et saisonnières difficiles. La principale contribution de l'étude est qu'il est, au meilleur de notre connaissance, le premier à enquêter sur le microclimat et le confort thermique dans un bâtiment à cour de l'architecture seldjoukide du XIIIe siècle en utilisant un modèle de simulation numérique, comme ENVI-met en Turquie.

3.2.2. Présentation du cas d'étude :

La madrassa (école pour l'enseignement supérieur dans le domaine des sciences et de la religion) est un type majeur de la construction à cour. Construit en 1267-1268 à Kayseri, Sahibiye Madrassa est un exemple typique d'un bâtiment à cour de seldjoukide. Son plan suit le modèle de la madrassa traditionnelle à cour à quatre Iwan. Généralement avec une forme extérieure carrée ou rectangulaire avec un portail unique, un bassin et une cour, qui est entourée par les chambres, chambres ouvertes (halls d'iwan voûtés fermée sur trois côtés et ouvert à une extrémité) et les arcades (passages couverts sur les deux côtés latéraux, qui peuvent avoir des cellules le long des côtés, ou une série d'arcs supportées par des colonnes) est entièrement ouvert vers le ciel.

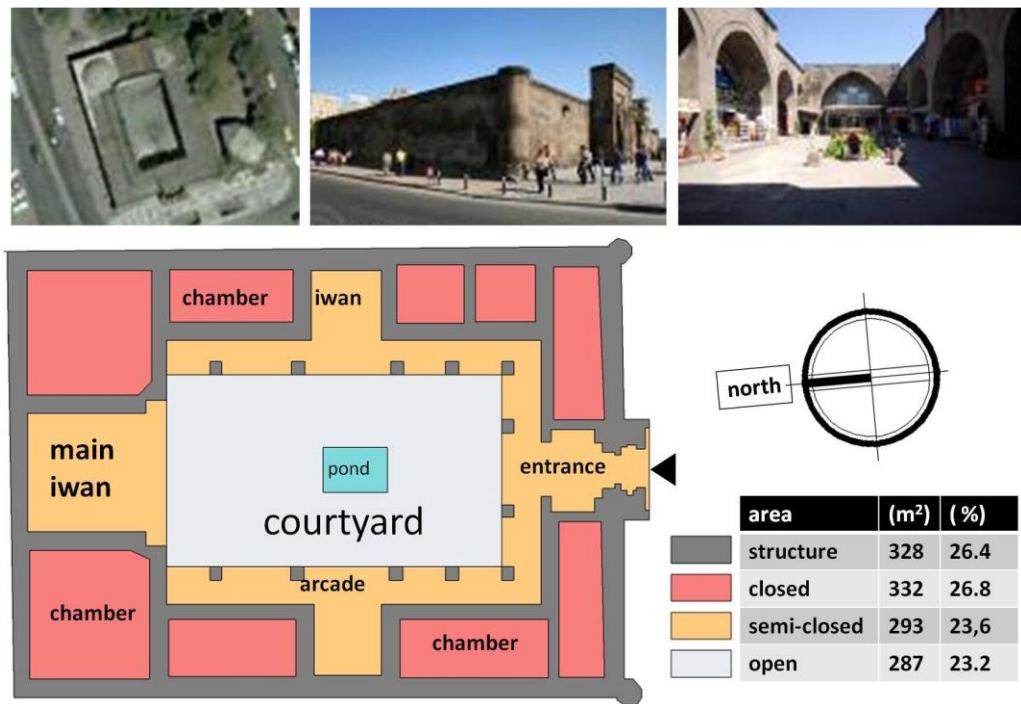


Figure 29: Structure spatiale de la Madrassa

La région de Kayseri (38 ° 43 'Nord, 32 ° 29' Est) est situé au pied du volcan éteint « Erciyes » (3916 m) à un plateau anatolien intérieure qui a un climat continental (classification de Köppen Dsa) avec un climat semi-aride (classification climatique de Köppen BSk). En raison de la haute altitude de 1 068 mètres de la ville, la température moyenne à Kayseri varie entre 3 ° C et 0 ° C en Janvier (mois le plus froid) et entre 20 ° C et 22 ° C en Août. La ville a un degré-jours de chauffage (HDD)⁷ valeur de 3174 à une température de base de 22 ° C et un degré-jours de refroidissement (CDD)⁸ d'une valeur de 76 à une température de base de 15 ° C (à partir de données statistiques pour 2011 fournies par le Service météorologique national turque).

3.2.3. Simulation de formes génériques :

Le but de l'exécution des simulations était d'explorer le microclimat de la cour fermée et son effet sur le confort thermique, de sorte que la relation entre la géométrie d'un bâtiment existant et de l'état du microclimat a été observée. Pour cela, les chercheurs ont examiné la façon dont les proportions et l'orientation de la cour de Sahibiye Madrassa sont bien calibrés pour obtenir un confort thermique pendant la période froide. Ils ont d'abord construit trois modèles génériques de formes de patio. Ils ont fixé la hauteur de la Madrassa à 8m comme référence et ont varié les dimensions horizontales de la cour. Ils ont utilisé 13 m x 20 m

⁷ Degré jour de chauffage (Heating Degree Days)

⁸ Degré jour de refroidissement (Cooling Degree Days)

(proportion 1 :5) le cas (B) comme base, les deux autres cas étaient (A) 6 m x 20 m (proportion 3 :3), et (C) 20 m x 20 m (proportion 1 :1).

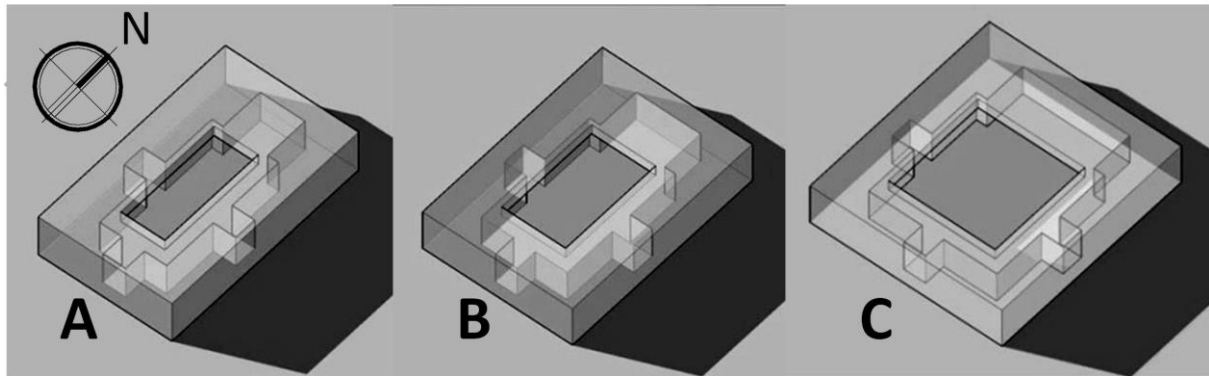


Figure 30: Les trois modèles génériques

La simulation a été faite pour 18 heures, de 4h du matin à 22h du soir, la simulation a été paramétrée comme suit : température de l'air 273 K, vitesse de l'air 2,5 m/s (à 10m sur le sol), direction du vent, ouest ; humidité relative 50%.

Résultats :

Les résultats ont démontrés que le changement du ratio n'a aucun effet significatif sur la vitesse du vent, qui était 0,1 m/s au niveau de la toiture et 2,8 m/s aux alentours des faces extérieures. La température de l'aire montre une différence considérable (entre intérieur et extérieur) entre les trois types de cours : 5K dans le type (A), 3,8K dans le type (B) et dans le type (C) 2,6K à midi, ainsi, plus la cour est profonde plus la température de l'air est élevée dans les saisons froides.

Dans tous les types, la vitesse du vent est inférieure à une légère brise. En gros, l'effet du vent sur le confort est secondaire par rapport à la radiation solaire.

3.2.4. Simulation de la Sahibiye Madrassa :

Après avoir testé les cours génériques, le bâtiment Madrassa a été analysé pour les deux périodes chaudes et froides. Tout d'abord, pour les simulations du modèle, la Sahibiye Madrassa, qui est de 30 m de large par 42 m de long et renferme une cour de 13 m de large par 20 m de long par 8 m de haut a été transformé en une grille à une résolution spatiale de 2 mx 2 mx 2 m. La zone du modèle, qui comprend une superficie totale de 60 mx 84 m dans l'extension horizontale et 16 m dans le prolongement vertical, a été imbriqué dans un autre modèle qui a fourni des données météorologiques aux frontières du modèle. Le matériau affecté à la construction et à l'environnement était la pierre ; l'albédo supposée être de 0,4.

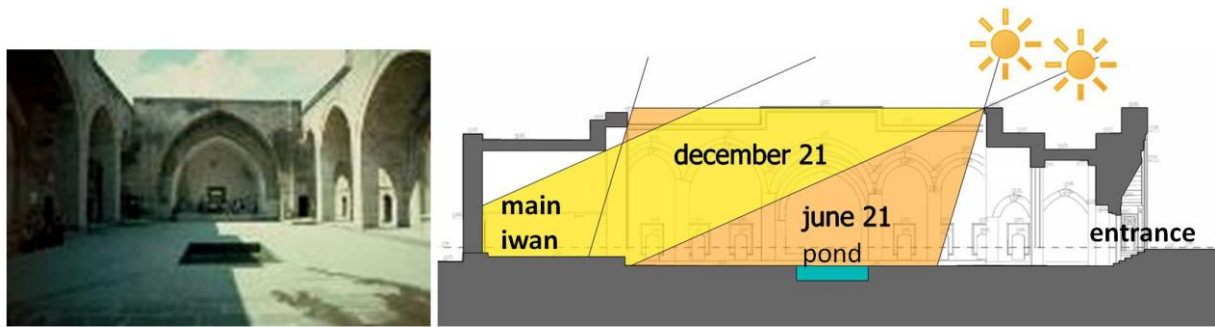


Figure 31: L'Angle d'incidence solaire

Résultats :

- Période froide :

Il a été constaté que l'iwan principal face au sud reçoit le rayonnement solaire entrant pour près de 4 h 10:00-14 :00, avec le jour représentant soit le 21 Décembre, jour le plus court à Kayseri.

Ce résultat indique que l'iwan principal situé à l'extrémité nord de la cour dans la cour est conçu pour recevoir autant de rayonnement à ondes courtes que possible durant les périodes froides, Il est considéré que l'iwan contribue à améliorer l'environnement thermique dans la cour, en fournissant aux habitants un environnement agréable en plein air tout en augmentant le confort intérieur dans les périodes froides.

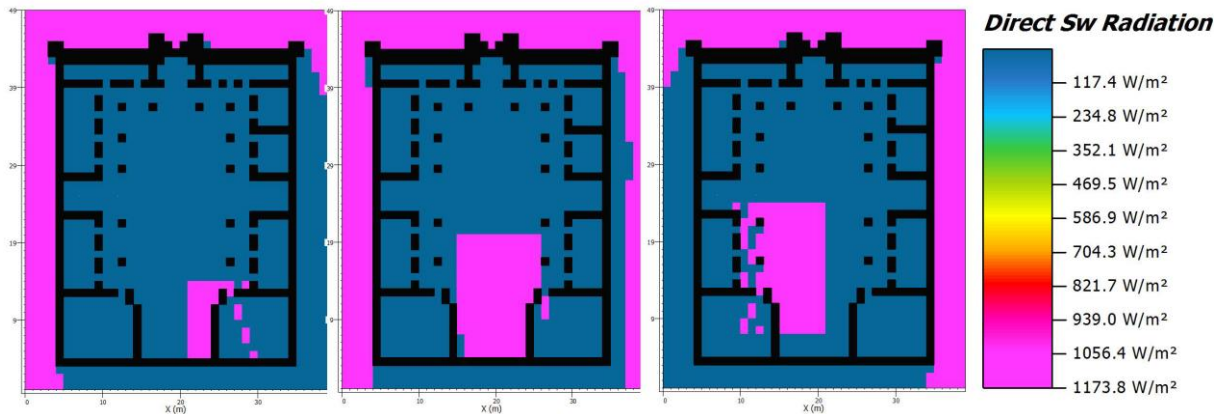


Figure 32: Résultats de la simulation de la tache solaire en période hivernale

Une vitesse de vent inférieure à 0,1 m / sec dans la cour, qui est inférieure à une légère brise, tourne la zone dans pratiquement un espace clos qui a un constant air frais, ce qui améliore le niveau de confort pour les activités de plein air dans les périodes froides.

- Période chaude :

Deux scénarios dans lesquels la porte du portail principal est fermé (scénario 1) ou ouvert (scénario 2) sont simulés pour les périodes chaudes, pour comparer l'effet de la ventilation sur la modification du microclimat de la cour. Comme on peut le voir d'après, seule

la partie centrale de la cour, où un étang est situé, est exposée aux rayons à ondes courtes pendant la journée.



Figure 33: Résultats de la simulation de la tache solaire en période estivale

La simulation montre également comment la température ambiante peut varier dans des mètres. La température de surface est plus faible autour de l'étang, dans l'iwan principal, et autour des arcades, qui sont dans l'ombre tout au long de la journée. Dans les périodes chaudes, la différence de température dans différentes parties de la cour atteint jusqu'à 3 K, comprise entre 294,5 K et 297,5 K pour le scénario 1.

La température de l'air baisse de 1 K est considérée comme un effet de vent atteignant dans la partie centrale de la cour à une vitesse de 1 m / sec.

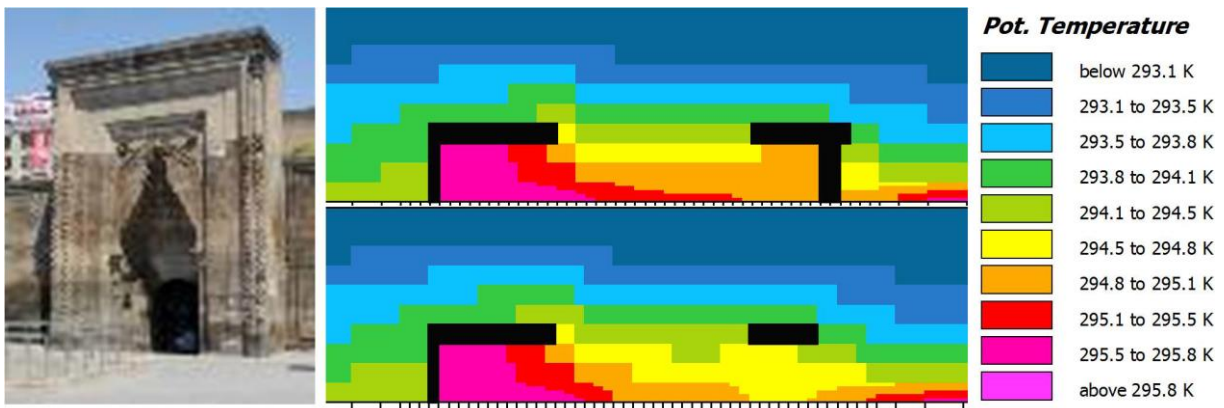


Figure 34: Températures, portes ouvertes/ fermées

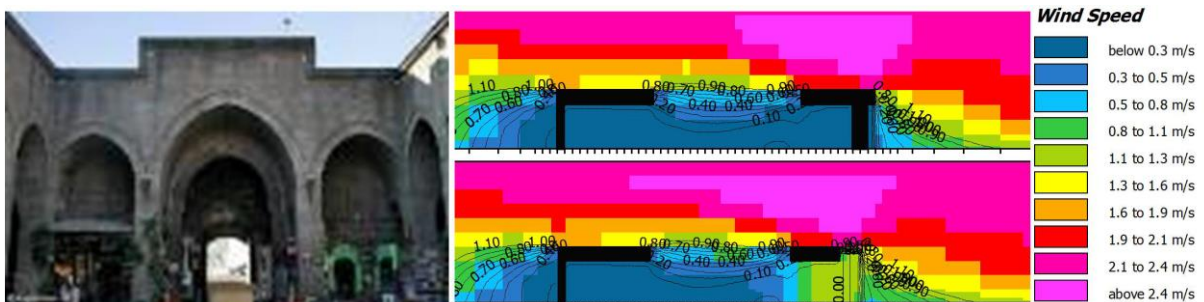


Figure 35: Vitesses de l'air, portes ouvertes/ fermées

3.2.5. Conclusion :

Les données produites par le modèle démontrent que le facteur prédominant qui affecte la performance thermique de la Madrassa est le rayonnement solaire reçu par les surfaces de la cour. En outre, la vitesse du vent est beaucoup plus faible dans la cour qu'à l'extérieur ; cela a aussi un effet significatif sur le confort thermique, en particulier dans les périodes froides. Une telle amélioration dans le niveau de confort semble indiquer une moindre consommation d'énergie pour le chauffage, le refroidissement et la ventilation de la Madrassa.

La Madrassa présente un caractère dynamique contrairement à son apparence fermée et statique, par l'amélioration des conditions pour les activités de plein air en proposant à ses utilisateurs un espace qui offre un confort thermique tout au long de la journée. Ainsi, la conception de la Madrassa est la preuve d'un peuple qui était aptes à gérer la complexité qui se cache derrière la simplicité manifeste.

3.3. Dispersion dans les cours et autres espaces fermés

Auteurs: D.J. Hall, S. Walker, A.M. Spanton

Année: 1990

3.3.1. Introduction:

Le présent document décrit certaines des mesures directes de la dispersion dans les cours, à l'aide de traces de gaz dans les modèles de soufflerie à petite échelle. Il existe un grand nombre de variables d'intérêt et les chercheurs n'ont pas été capables de tous les biens étudié ici. Toutefois, le travail présenté ici couvre suffisamment de détails pour révéler le caractère essentiel de la ventilation de la cour.

3.3.2. Détails de l'expérience :

Les expériences ont été effectuées dans le BRE tunnel à vent de modélisation des dispersions du vent dans son laboratoire à Cardington. Un diagramme de la soufflerie est représenté dans la Figure 36. La section de travail est de 22 m de long sur 4,3 m de large et 1,5 m de haut.

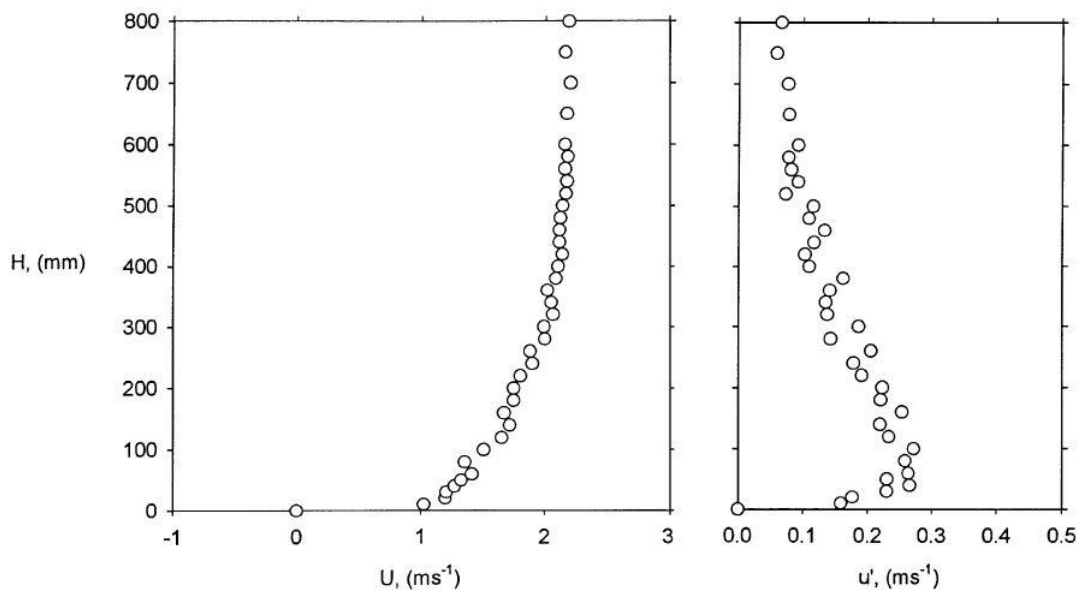


Figure 36: Profile de vitesse et turbulences longitudinales de la rugosité de la soufflerie

Le profil de vitesse et d'intensité de turbulence longitudinal de la couche limite non perturbée (mesurée avec un anémomètre à fil à impulsions), est représenté sur la Figure 36, il y avait une profondeur d'environ 1 m. La plupart des expériences ont été réalisées avec une vitesse de vent de 1,5 ms^{-1} à 100 mm de hauteur, Les cours étaient toujours de forme en plan carré, mais de

profondeur variable, le rapport entre la hauteur et la largeur (H/W , définis ici comme le ratio d'aspect de la cour, A) est comprise entre 0,1 et 5.

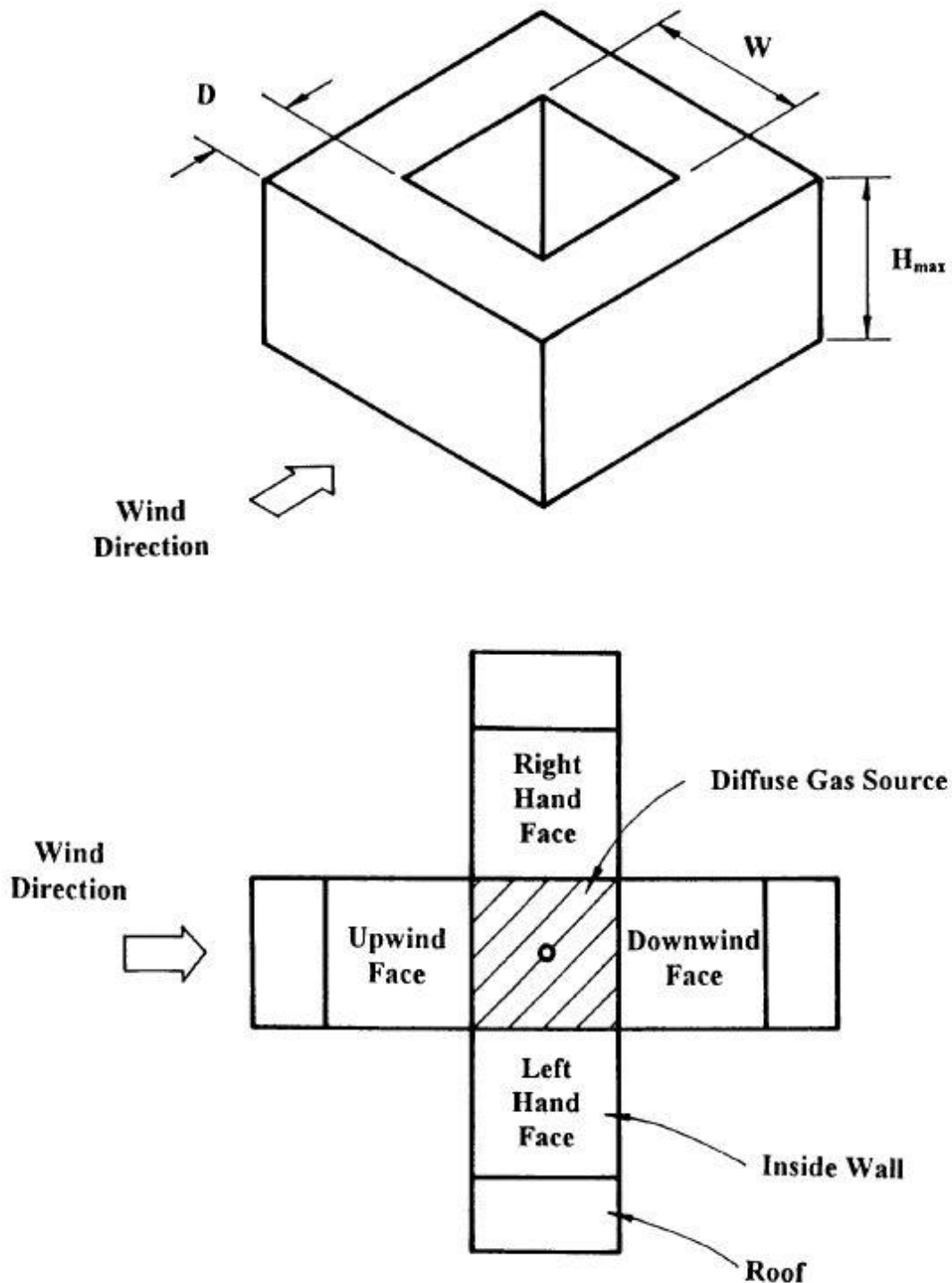


Figure 37: schéma du patio montrant la configuration et les terminologies.

Deux dimensions en plan de la cour ont donc été utilisées, de 100 mm x 100 mm pour les cours profondes, jusqu'à 500 mm de profondeur et de 200 mm x 200 mm pour les cours profondes vers le bas à 20 mm de profondeur. Les expériences qui se chevauchent avec le même

rapport d'aspect dans les deux tailles de la cour, qui sera décrit plus tard, n'ont pas montré de différences significatives dans leur comportement.

Mesures de dispersion ont été faites en utilisant un traceur dilué de méthane (de 2,5% dans l'air, avec une flottabilité presque neutre) déchargé uniformément à travers le sol de la cour à un taux fixe, comme dans la figure. 38. Taux de décharge de traceurs typiques sont faibles, environ $0,1 \text{ lm} \sim 1$, de sorte que la vitesse d'écoulement du sol de la cour n'a pas affecté directement le flux d'air dans la cour.

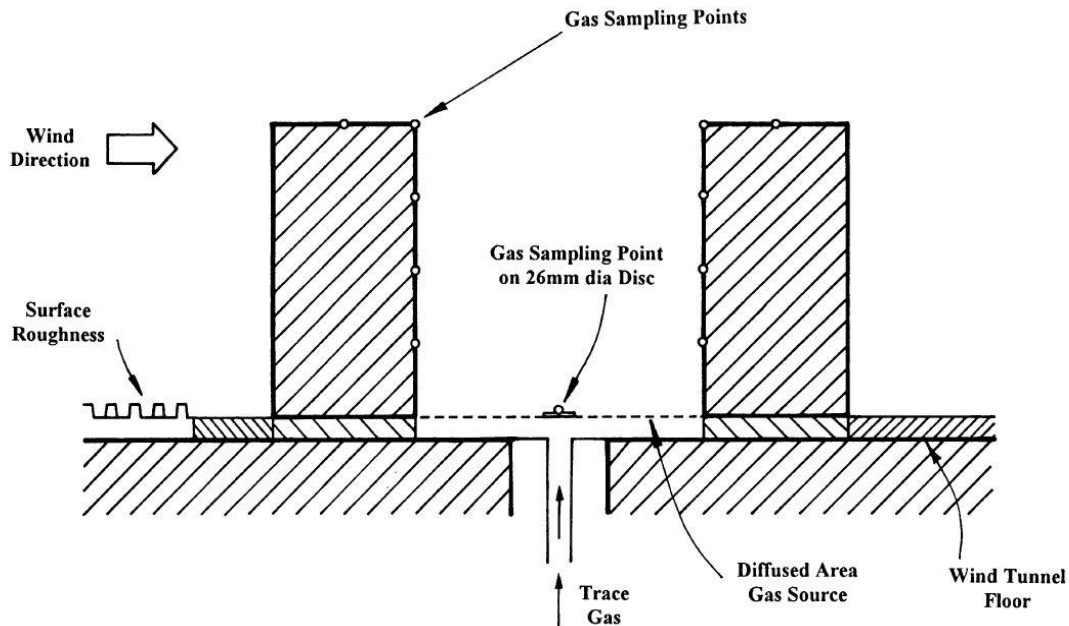


Figure 38: Schéma d'un patio installé dans une soufflerie

3.3.3. Résultats :

3.3.3.1. Les profils de vitesses :

Les profils de mesure des vitesses sont pris depuis le centre des cours à l'aide d'un anémomètre. Les profils sont triés naturellement en trois groupes, qui sont tracés séparément.

Les profils sont tombés naturellement en trois groupes, qui sont tracés séparément. Ce sont :

- Les cours peu profonds avec un faible ratio d'aspect (A 0,1 et 0,2, le tracé du haut),
- Des cours avec des rapports d'aspect intermédiaires (0,3-1,0, le tracé centrale)
- Et les cours profondes avec des rapports d'aspect élevé (1-5, le tracé du bas).

Les deux signifiants, vitesse (le profil gauche) et l'intensité de turbulence longitudinale (le profil de droite) sont représentés. Toutes les hauteurs sont réduites par rapport à la profondeur de la cour, H_{max} , et des vitesses et des intensités de turbulence sont mises à l'échelle par rapport à la vitesse du vent non perturbé, U_{ref} , à la hauteur H_{max} .

Les deux cours à ratios d'aspect bas, dans le tracé supérieur, ont montré des profils de vitesse moyenne avec une réduction des vitesses proches de la terre, mais peu ou pas de flux inverse.

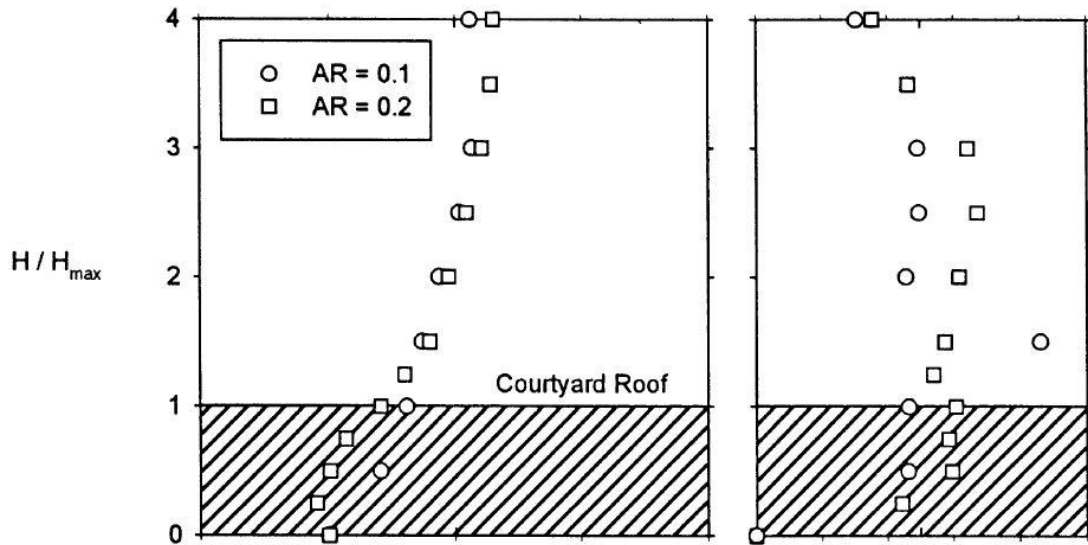


Figure 39: Les profils de vitesses à l'intérieur des cours peu profondes

Les profils de vitesse moyenne pour les cours de profondeurs intermédiaires, tout s'est effondré sur la même courbe, avec des vitesses négatives près du sol devenant progressivement plus positives à travers la cour dans le flux libre. Il y avait un changement brusque du gradient de profil sur le bord de la couche de cisaillement libre au-dessus de la cour, au-dessus duquel la vitesse est restée à peu près uniforme.

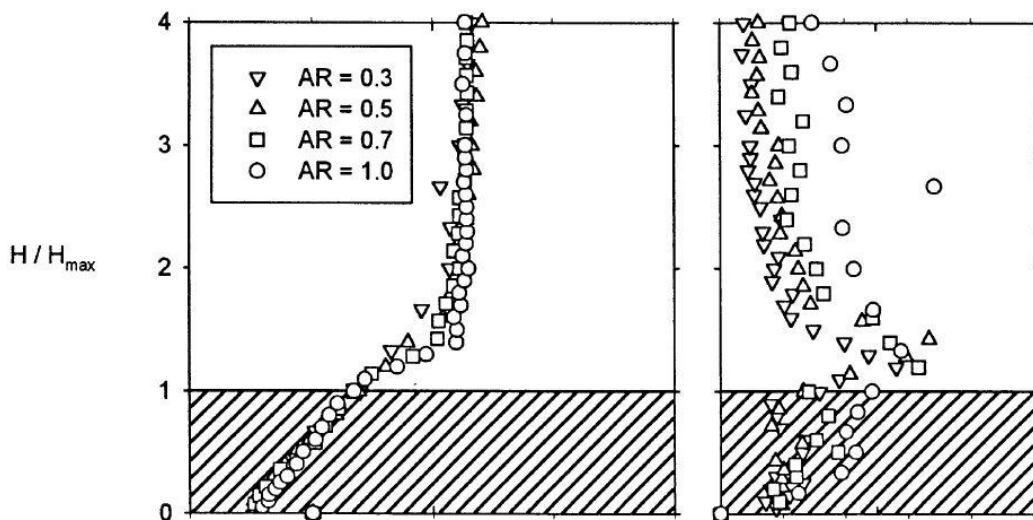


Figure 40: les profils de vitesses à l'intérieur des cours moyennement profondes

Les cours profondes, ont montré des vitesses moyennes près de zéro ou légèrement négatives à travers la cour jusqu'à ce que la région proche de son ouverture lorsque la vitesse moyenne est devenue négative et fortement positif par le haut de la cour. Au-dessus de la couche de cisaillement libre la vitesse était alors presque uniforme.

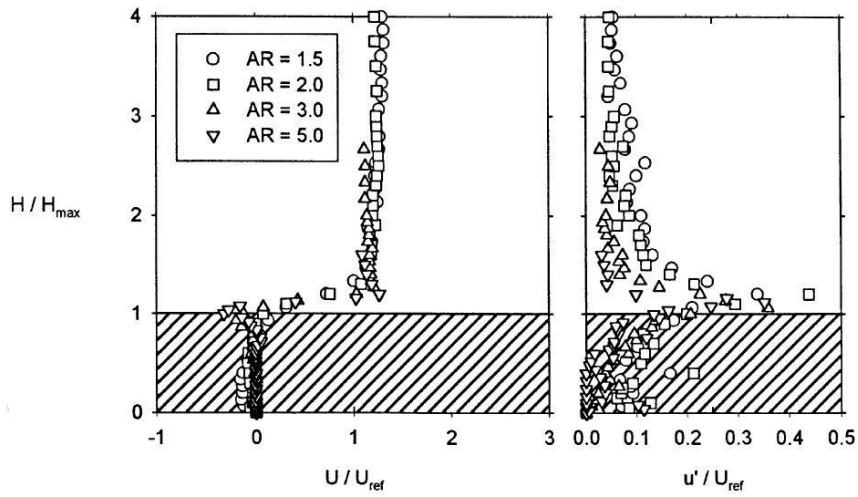


Figure 41: les profils de vitesses à l'intérieur des cours profondes

D'après les résultats obtenus on peut déduire que les modèles d'écoulement est comme ci-dessous :

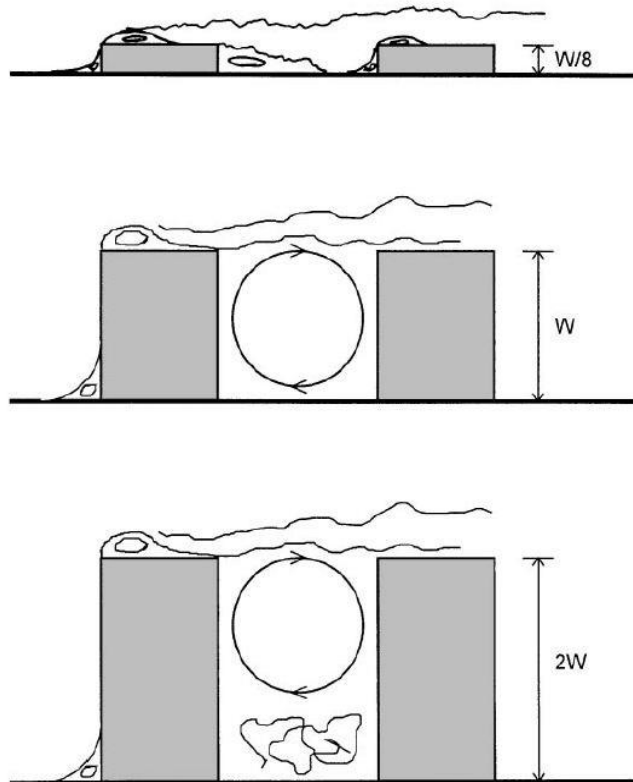


Figure 42: Schéma des trois types d'écoulements dans les trois types de cours de différentes profondeurs

3.3.3.2. Les mesures de dispersion :

La Figure 43 montre la concentration verticale sur les axes des murs des différents cours de divers aspect ratio fixés normalement au vent. Le graphique montre tous les rapports d'aspect de la cour utilisés, avec les cours peu profondes dans les tracés supérieures et les cours profondes dans les tracés inférieures. Les trois tracés de chaque paire présentent des concentrations respectivement sur la paroi amont, la paroi sous le vent et les deux parois latérales. Notez que l'échelle de concentration couvre cinq décennies.

Toutes les parcelles pour les différents murs et des rapports d'aspect ont montré un comportement similaire, d'une concentration diminuant généralement avec l'augmentation de la hauteur, si les gradients de concentration varient avec la position de la paroi et l'aspect ratio. Il y avait généralement un fort gradient de concentration aux niveaux supérieurs de la cour et un gradient très pointue aux environs du toit de la structure, à l'exception du côté sous le vent, où la concentration est demeurée relativement stable.

Typiquement, les concentrations dans les cours ont baissé de un ordre de magnitude ou plus du fond vers le haut. La réduction proportionnelle était sensiblement la même quel que soit le rapport d'aspect de la cour, de sorte que les gradients baissent quand le rapport d'aspect augmente.

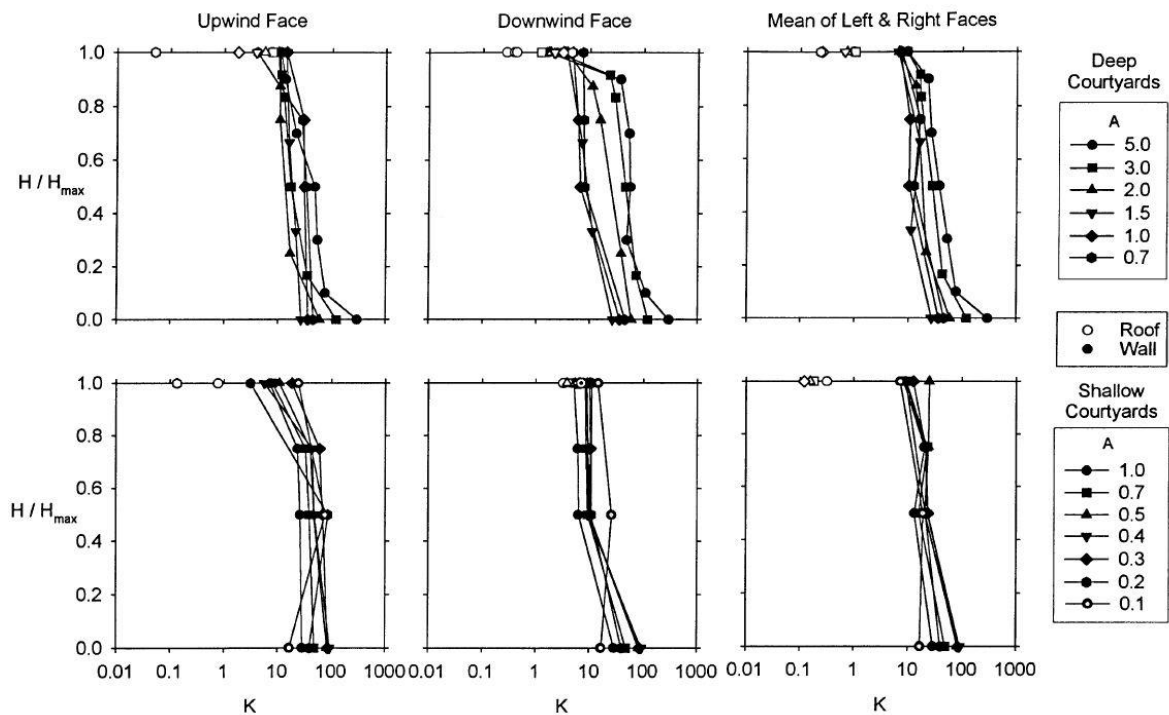


Figure 43: Profils verticaux de concentration sur les murs de la cour

Tous les tracés de données de ce genre ont montré un comportement similaire pour presque tous les paramètres de la cour étudiés. Il a été conclu que les gradients verticaux de

concentration ont été suffisamment bien classés pour la concentration à la base de la cour pour être un bon indicateur des concentrations ailleurs en son sein.

Les concentrations à la base des cours de profondeur variable, ceux de la Figure 43, sont présentées dans la figure 44, par rapport au ratio d'aspect pour les cours normaux au vent.

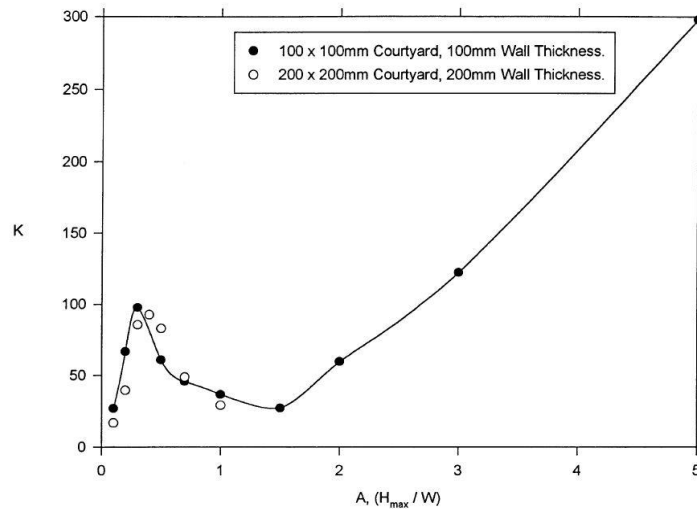


Figure 44: Diagramme de l'effet du ratio sur la concentration à la base du patio

3.3.4. Conclusion :

Les mesures de dispersion dans les cours ont montré que ceux-ci sont des espaces assez mal ventilés avec de fortes concentrations résultantes de contaminants rejetés à la base de la cour. Les valeurs de la concentration sans dimension, K , à la base de la cour variaient entre 5 et 300, avec des valeurs typiques comprises entre 50 et 200. Ces valeurs sont des ordres de grandeur plus élevés que les niveaux autour de l'extérieur des bâtiments de contaminants dégagés localement.

Ceci est désavantageux pour éliminer les contaminants, mais avantageux pour générer des microclimats souhaitées à l'intérieur de cours, par exemple la stabilisation et le refroidissement de l'atmosphère locale à l'aide de l'eau évaporée.

Un large éventail de paramètres de la cour a été étudié, le ratio d'aspect, la direction du vent, épaisseur de paroi, la présence d'ouvertures et de l'encombrement de surface et la génération de la stratification par chauffage ou refroidissement de la base de la cour. Tous avaient des effets significatifs sur les concentrations dans les cours, souvent en les modifiant par des ordres de grandeur. Une conséquence de cela est qu'il y'a un bon potentiel pour la conception de cours pour les taux élevés ou faibles de ventilation, par le choix judicieux des paramètres de conception.

Conclusion :

L'enveloppe bâtie n'est plus considérée comme une simple frontière du domaine habitable, elle devient un élément important chargé d'appivoiser les fluctuations du climat extérieur afin d'offrir un microclimat agréable aux abords du bâtiment, ainsi qu'une ambiance confortable aux espaces intérieurs. Ce qui fait de la morphologie des bâtiments un élément prépondérant dans le processus de conception, dont le rôle ne se résume plus à l'expression architecturale où à l'embellissement.

Dans le domaine de l'aéraulique, le moindre changement dans la forme du bâtiment, sa disposition par rapport à d'autres bâtiments, son orientation ou ses proportions, changera et perturbera considérablement les écoulements au tour d'un bâtiment. Cette perturbation peut se faire ressentir a une distance allant de 4 à 12 fois sa hauteur, ce qui aidera à définir la nature des espaces adjacents (aménagements, jardins, cours... etc.) par rapport au degré de protection et d'exposition au vent. L'exposition et la protection contre le vent engendrera des zones de pression ou de dépression au niveau de l'enveloppe du bâtiment. Cette pression exercée sur les façades par le vent va créer un échange d'air entre les deux espaces (intérieur et extérieur), et contribuera donc à renouveler l'air vicié des espaces intérieurs par de l'air neuf. Ce qui fait que la forme de l'enveloppe bâtie influe directement le comportement des faisceaux d'air autour des bâtiments et indirectement la ventilation naturelle.

Les recherches analysées dans ce chapitre, montrent clairement le rôle de la géométrie du patio sur le confort des usagers dans cet espace, ainsi que le rôle significatif que joue la configuration géométrique dans le confort thermique et le renouvellement d'air et donc sur la consommation d'énergie.

La forme la plus performante est générée par la combinaison de plusieurs paramètres comme la taille du patio, sa hauteur, les conditions climatiques de la région (la direction saisonnière des vents et sa vitesse), la présence ou absence d'ouvertures et beaucoup d'autres paramètres.

Ces recherches nous ont permis d'avoir un aperçu sur la complexité de la relation entre la forme du patio et le confort aéraulique à l'intérieur de ce dernier, et de comprendre quelles sont les préoccupations des chercheurs et les différentes méthodes et approches utilisées pour traiter des sujets similaires au notre.



Chapitre II :

Les maisons à patio

Introduction :

Le patio, la cour et l'atrium sont souvent confondus et traités comme des variantes d'une même définition d'un certain espace, et pourtant ces trois espaces ont chacun une manière de les vivre, de les penser et des façons distinctes d'approprier l'extérieur. La difficulté de donner une définition standard à cet espace réside dans la transformation ainsi que l'utilisation diversifiée et multiple à travers les périodes et sociétés. En effet, plusieurs études archéologiques à travers le monde ont montré que, depuis l'antiquité, le patio apparaît ou se transfère dans toutes les grandes civilisations méditerranéennes. L'espace *Wast ed-dar* (le centre de la maison) qui a centré les maisons des peuples arabo-musulmans a déjà centré les maisons en Mésopotamie, en Egypte, en Phénicie, chez les grecques et chez les romains... l'apparition des maisons à patio s'est répandue dans un vaste domaine géographique et temporel ce qui a mené différents chercheurs à penser à une poly genèse qui témoigne de sa richesse et sa qualité d'adaptation à divers climats, sociétés et cultures.

Le patio est un concept tellement riche que sa compréhension ne peut pas se limiter à des définitions et de l'historique, dans ce chapitre, nous allons aussi aborder les phénomènes microclimatiques qui peuvent se produire dans un patio et leurs effets sur les ambiances et le confort des usagers.

1. Définition des termes : cour, patio et atrium.

1.1. Définition du terme : Cour

Référence	Définition
Dictionnaire raisonné d'architecture, E. Bosc, Paris 1877.	Cour : espace clos de murs ou de bâtiments, presque toujours découvert, et dépendant d'un édifice public ou privé.
Principes d'analyse scientifiques architecture, Paris 1972.	Cour : terrain délimité par des bâtiments ou des corps de bâtiment.
Dictionnaire du français vivant, Ed. , Bordas, Paris 1972.	Cour : la cour d'une ferme, d'une école, d'une caserne, d'une maison d'habitation, est un terrain libre et découvert généralement clos, attenant aux locaux et leur servant de lieu d'accès et de dégagement.
Le Robert, dictionnaire de la langue française, Paris 1985.	Cour : espace découvert clos de murs ou de bâtiments et dépendant d'une habitation, anciennement à Paris, rue en cul-de-sac.
Le grand Larousse en cinq volumes, Paris 1989.	Cour : espace découvert, entouré de bâtiments, faisant partie d'une habitation, d'un édifice administratif, scolaire, etc.... qui souvent s'ordonne autour d'elle.
The New Encyclopaedia Britanica, Chicago 1991	Court: in architecture, an open area surrounded by buildings or walls.
Dictionnaire illustré multilingue de l'architecture du Proche-Orient ancien, O.Aurenche, Lyon 1977	Cour : aire découverte, limitée par une clôture ou des bâtiments, située autour d'un édifice ou comprise à l'intérieur des bâtiments.
The American heritage dictionary of the English language, Boston 1979.	Cour : l'orthographe cour apparaît vers le 15ème ; elle est probablement due à la traduction médiéval de curia ; latin de basse-époque curtis ; latin classique cohors ; « cour de ferme » d'où, à basse-époque le sens plus étendu de « ferme, domaine rural ». En latin classique cohors avait déjà la signification de « suite d'un prince », de là « entourage royal », ensuite « cour de justice », le roi entouré des grands ayant formé longtemps le tribunal supérieur. Ce développement sémantique a été suivi par des langues voisines.

Tableau 1: Définitions données au mot cour (Rehailia, 2007)

Les définitions données dans le tableau précédent paraissent dépourvus de toute signification fonctionnelle qui leurs sont réservés, pour éclaircir ce point, les mêmes références citées donnent des nuances donnant plus de clarté aux différents types de cour :

Référence	Définition
Dictionnaire raisonné d'architecture, E. Bosc, Paris 1877.	Suivant leur position et leur usage particulier, les cours reçoivent diverses qualifications, telles que : avant-cour, arrière-cour, cour de service, de cuisines, d'écuries, cour à fumier, cour principale...etc.
Principes d'analyse scientifiques architecture, Paris 1972.	La cour ouverte n'est pas délimitée sur un de ses côtés, ou seulement par un élément de clôture qui ne fait pas obstacle à la vue (fossé, grille, etc...). l'avant-cour est une cour placée devant une autre cour à l'entrée de l'édifice. La basse-cour est une cour réservée au service. Cour-anglaise : fossé revêtu et à fond plat, placée au pied d'un bâtiment et formant un dégagement devant son sous-sol qui donne par des portes et prend le jour sur cette espèce de cour étroite et enterrée.
Dictionnaire du français vivant, Ed. , Bordas, Paris 1972.	Au théâtre, le côté cour est, pour le spectateur, le côté droit de la scène ; s'oppose à côté jardin.
Le Robert, dictionnaire de la langue française, Paris 1985.	Cour principale : cour d'honneur d'un château, d'un hôtel, d'un collège. Avant-cour : cour située devant l'entrée principale. Arrière-cour : cour de service. Basse-cour : cour de ferme, terrain situé près ou entre des bâtiments. Courette : petite cour intérieure.
Le grand Larousse en cinq volumes, Paris 1989.	Cour anglaise : fossé maçonné sur lequel prennent jour les fenêtres d'un sous-sol.

Tableau 2: Nuances et termes gravitant autour du mot cour. (Rehailia, 2007)

1.2. Définition du terme : patio

Référence	Définition
Dictionnaire du français vivant, Ed. Bordas, Paris 1972.	Patio : cour intérieure dallée des maisons méditerranéennes.
le Robert, dictionnaire de la langue française Paris 1985.	Patio : cour intérieure à ciel ouvert d'une maison espagnole ou de style espagnol ; patio entourée d'arcades, pavé de carreaux de faïence.
Dictionnaire illustré multilingue de l'architecture du Proche-Orient ancien, O. Aurenche, Lyon 1977.	Cour intérieure : on confiait surtout dans les villes, des cours intérieures dont l'importance architecturale est marquée par l'emploi de l'expression à cour centrale ; les cours intérieures sont aussi presque la règle dans les palais et les temples : leur rôle est principalement de permettre la circulation et de distribuer la lumière dans les différentes parties de l'édifice.

Tableau 3: Définitions données du mot patio (Rehailia, 2007)

1.3. Définitions du mot : atrium

Référence	Définition
Dictionnaire raisonné d'architecture, E. Bosc, Paris 1877.	Atrium : c'est la principale pièce de la maison romaine, le luxe et la civilisation grandissant, l'atrium ne fut que la cour centrale en partie couverte et en partie découverte de la maison, c'est aussi une cour entourée de portique, placé devant un temple ou un édifice public, dans les basiliques chrétiennes, on appelait atrium, aille, le parvis entouré de colonnades situé devant des édifices.
Principes d'analyse scientifiques architecture, Paris 1972.	Atrium : cour entourée de portiques placée devant la façade antérieure ou, plus rarement, derrière le chevet une église.
Dictionnaire du français vivant, Ed. , Bordas, Paris 1972.	Atrium : pièce centrale de l'habitation des romains de l'antiquité, elle était rectangulaire, une ouverture dans le toit (compluvium) à pente intérieure permettait de recueillir l'eau de pluie dans des bassins (impluvium)
4-Le Robert, dictionnaire de la langue française, Paris 1985.	Atrium : cour intérieure de la maison romaine, généralement entourée d'un portique couvert ; par analogie narthex, cour des basiliques romaines.
6-Dictionnaire grecofrançais, A. Bailly, Paris 1950.	Atrium : Salle d'entrée.

Tableau 4: Définitions données au mot atrium (Rehailia, 2007)

Les définitions données dans le tableau précédent paraissent dépourvus de toute signification fonctionnelle qui leurs sont réservés, pour éclaircir ce point, les mêmes références citées donnent des nuances donnant plus de clarté aux différents types d'atrium :

Référence	Définition
Dictionnaire raisonné d'architecture, E. Bosc, Paris 1877.	<p>Il existait trois sortes d'atria :</p> <p>Le toscan, formé par quatre poutres se croisant à angles droits et supportant un appentis qui, recevant les eaux du ciel, les rejetant dans l'impluvium ; lorsqu'il atteignait des dimensions plus considérables, la portée des poutres était soulagée par quatre colonnes placées aux points d'intersection : on l'appelait alors tétrastyle ; le corinthien, le plus vaste de tous, avait dix-huit à vingt colonnes, et quelquefois plus ; assez souvent, les atria furent couverts ; on les nommait atrium displuviatum, qui était de même forme que l'atrium, c'est-à-dire qu'il était carré, rondet ou oblong et quelquefois même demi-circulaire.</p> <p>Dans les atria les découverts, l'impluvium recevait les eaux des toitures des portiques ou colonnades qui l'entouraient.</p> <p>Péristyle : on nomme encore péristyle la seconde cour ou atrium des maisons romaines et gréco-romaines.</p>
Dictionnaire illustré français F Gaffiot, Paris 1934.	<p>Compluvium : trou carré au centre du toit de l'atrium, par où passait la pluie recueillie en dessous dans l'impluvium.</p> <p>Impluvium : bassin au centre de l'atrium où était recueillie l'eau de pluie qui passait la compluvium ; en général tout l'espace libre à l'entour, cour libre extérieure.</p>

Tableau 5: Nuances et termes gravitant autour du mot atrium. (Rehailia, 2007)

2. Evolution du patio à travers les âges :

La maison à patio est l'un des deux grands modèles d'habitats connus dans le monde, il s'est maintenu à travers les âges, s'est sophistiqué et continue même d'être d'actualité. Il s'agit d'un modèle d'habitat universelle, on le trouve dans une diversité de régions géographiques, de sociétés, de climat et son aspect historique reste étonnant (Abdulac, 2011). En effet, plusieurs recherches archéologiques ont montrés que la maison à patio existait depuis l'antiquité « *puisque'on le retrouve aussi bien dans les villes Mésopotamie, de Grèce de phéniciens et chez les romains, mais avec une connotation locale* » (Kassab.T, 1998). Donc, l'historique du patio a connu trois grandes phases :

2.1. Dans la civilisation Antique :

2.1.1. L'Egypte ancienne :

En Egypte ancienne, on n'a pas accordé une grande importance au logement, elles étaient construites en briques de terre et en bois ce qui a empêché leurs conservations. La plus grande importance était attribué aux temples qui devait demeurer éternels ce qui justifie le choix de la pierre comme matériau.

En dehors des terres arables, il y'avait une possibilité de construire des abris de fortune faits par la boue du Nil, et pour bien utiliser le peu de surface disponible, on a construit des maisons en série dans les villes et les villages placées à côté de la route avec peu de fenêtres placées haut dans la façade pour la ventilation et l'éclairage.

La plus haute classe de la population vivait dans des maisons avec de grandes cours et des toitures terrasses, regroupant des habitations, ateliers et bureaux. On retrouve trois types d'habitation de cette période :

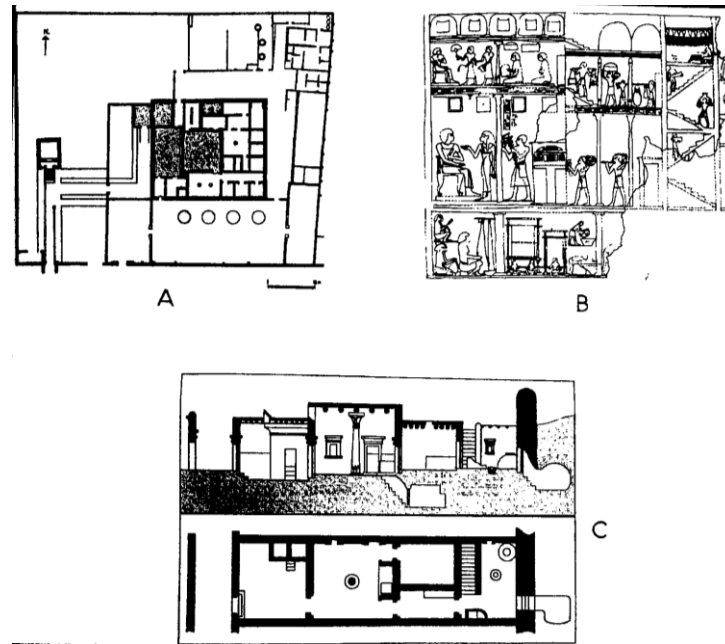


Figure 1: Maisons de l'Égypte ancienne (Le Grand Atlas de l'Architecture Mondiale, 1981)

- A- Des maisons dont l'accès est par la cour, une fois dedans on trouve deux cotés ; un côté réception et séjour et un côté plus intime qui comporte la chambre à coucher, le salon, des salles d'eau et des toilettes. On trouve à coté de ce type de maisons des réserves grain, des étables et des logements pour domestiques.
- B- Il s'agit de maisons urbaines à étages comportant au RDC des ateliers, tandis que le deuxième étage est destiné aux logements et aux bureaux, quant au second étage on trouve des silos placés sur le toit pour conserver les grains de blé.
- C- Des maisons en longueur qui mesurent 3 m. sur 10 m, construites en brique avec un soubassement en pierre, elles comportent une antichambre, une salle de séjour, une chambre à coucher et des cuisines.

2.1.2. La Grèce antique :

Les bâtisseurs grecs se sont efforcés, depuis le début du temps classique, de planifier d'une façon structurée les villes et les ensembles résidentiels. Les maisons sont généralement groupées autour d'une cour intérieure. Cette cour donne accès aux différentes ailes de la maison, « plusieurs demeures assez élégantes de l'Attique et d'Athènes prouvent que les maisons grecques typiques avaient une distribution des salles analogue à celle des maisons pompéiennes : un vestibule et une cour intérieure autour de laquelle s'articulaient les différentes pièces » (Tomasella, 1995)

La maison était construite sur des fondations en pierre et elle était recouverte de tuiles d'argile. Ces maisons dont les murs étaient percées de petites fenêtres hautes perchées, que l'on fermait avec des volets.

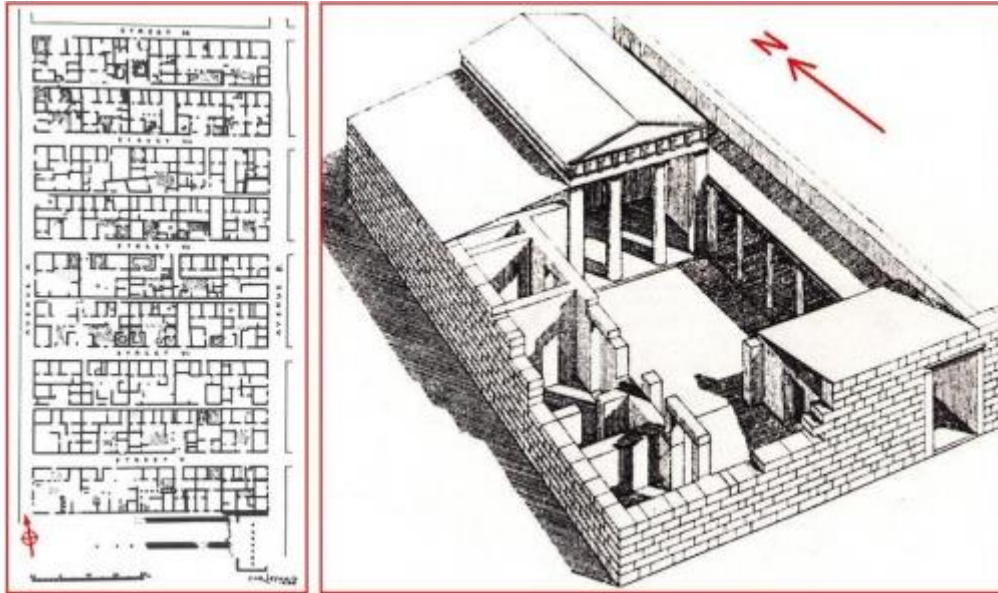


Figure 2: Maison grecque ; Source : www.technomc.info

« La maison A VII 4 appartient à une rangée méridionale. On pénètre directement dans la cour par un vestibule assez profond dont le passage intérieur seul est fermé par une porte à double battant. La cour dallée (6 m 15x5m) est bordée sur le côté nord d'un portique soutenu par deux petit piliers entre deux antes –sans doute piliers de bois portant des chapiteaux de pierres. –A droite de l'entrée, contre le mur Nord du vestibule, un escalier de vois dont la dalle de départ a été retrouvée permettait d'accéder à l'étage et à la galerie supérieure du portique. Sous la galerie, longue au total de 12 m 80 (5 m 90 entre les antes) ouvraient les portes des salles de séjour et de l'ensemble cuisine et bain (oecus), le tout constituant les appartements privés, toujours placé à l'opposé de l'entrée et dans la moitié Nord de la maison, avec façade au Sud. A l'Est de la cour était groupée la réception, constituée par une salle de banquet (andrôn) et son vestibule ; la salle, de plan carré, mesure 4 m 60 de côté ; elle conserve au sol les traces laissées par l'installation des lits et des tables de banquet. A l'angle Sud-Ouest de la maison, on a prévu une grande salle, atelier ou magasin (6 m90 x 4 m80), ouvrant à la fois sur la rue et sur la cour. Dans ces ateliers, un nombreux matériel artisanal a été découvert (mortiers, moulins, pressoirs, etc.). Enfin, l'extrémité orientale de la galerie était occupée par une resserre, à la fois cave et dépôt de provisions.

Les variantes qui peuvent modifier ce dispositif dépendent de la situation de la maison dans l'îlot et du déplacement de l'entrée ; celui-ci entraîne un glissement de l'oikos et de l'andrôn, des salles de séjour et de celles de réception. Les maisons d'angle, reportent parfois l'entrée sur l'avenue principale ; dès lors, la salle de banquet se rapproche et trouve sa place au Nord-Est tandis que la cuisine et les installations sanitaires sont rejetées à l'opposé, vers l'Ouest, mais les salles de séjour avec leur portique occupent toujours la partie Nord. Dans toutes les maisons des rangées septentrionales des îlots, le vestibule d'entrée est prolongé par un couloir qui rejoint la cour toujours située dans la moitié Sud de la bâtisse. Cet aménagement ce fait parfois au détriment d'une des salles de séjour qui se trouve transformée en couloir ; l'autre est élargie ; en d'autre cas, on diminue la surface de la cuisine ». (Martin, 1956)

2.1.3. Chez les romains :

Comme la civilisation grecque, la civilisation romaine repose sur la vie urbaine. La ville comprend des bâtiments publics (Temples, théâtres, forums, thermes, amphithéâtres) autour desquels s'organise la vie publique, religieuse et civique, et des bâtiments privés (habitations, boutiques, ateliers). La maison appelée *Domus* ne concerne que la classe aisée de la population, les autres classes habitent dans des immeubles *Insulae*.

Les maisons romaines typiques sont souvent construites en brique auxquelles peuvent s'ajouter des pierres. Elles ont une cour entourée de colonnes (*Atrium*), dans lesquelles se trouve un bassin carrée destiné à recueillir les eaux de pluie venant des toitures inclinées vers l'intérieur. Les appartements des maîtres de la maison comportent plusieurs chambres à coucher et une salle à manger. Les fenêtres sont rares, petites et souvent grillagées pour empêcher les voleurs d'entrer. La demeure d'une famille aisée peut comporter quelques boutiques et ateliers donnant sur la rue.

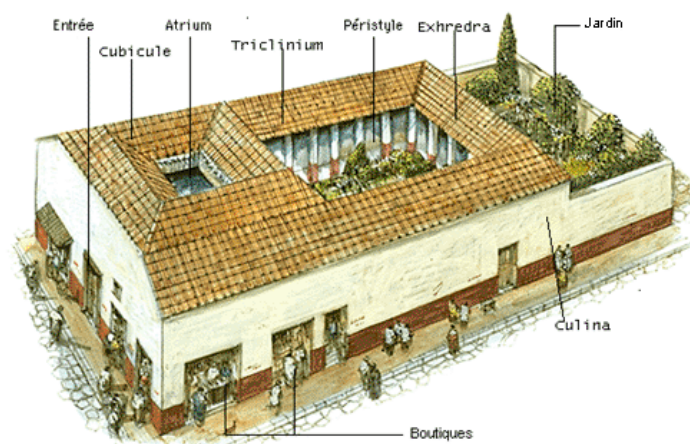


Figure 3: La maison romaine a atrium ; Source : www.mesexercices.com

2.2. Dans la civilisation islamique :

Ce que l'on voit ,une enquête sur l'habitat dit « traditionnelle » dans les centres urbains anciens dans pays ,musulmans de la méditerrané , nous laisse supposer que la généalogie de la maison introvertie a patio renvoie au types de la maison a cour gréco-romaine diffusé en Afrique du nord dès le 3^{ème} siècle ap J.C, et au modèle des premières installations islamique en Espagne ,en Mésopotamie et Egypte. (Rehailia, 2007)

Ce principe de continuité des shamas architecturaux avancé par plusieurs chercheurs qui repose sur une lecture souple des découvertes archéologique et des constatations physique et contesté par d'autre qui s'opposent à présenter la maison médiévale a patio comme l'héritière de la villa romaine.

2.2.1. Demeures de la Casbah d'Alger :

Dans le cas de la Medina d'Alger ou d'autres Medina d'Algérie (Constantine, Tlemcen, Annaba...) la cour est appelée Wast Ed-dar (le centre de la maison). Le schéma de la maison, qu'il s'agit d'une grande ou petite demeure reste le même ; Des espaces articulés autour d'une cour de forme carrée. Cette homogénéité dans le schéma spatial des demeures laisse penser que, contrairement aux maisons à cour égyptiennes, grecques ou romaines, la maison à cour des Medina minimise les écarts de couches entre la population, la seule différence visible depuis l'extérieur serait la décoration de la porte principale. Par contre de l'intérieur il est facile d'imaginer le rang social de la famille par le type de matériaux et le nombre d'étages.

Les demeures de cette période construites à l'intérieur des remparts des médinas sont composées selon le schéma suivant : (Golvin, 1988)

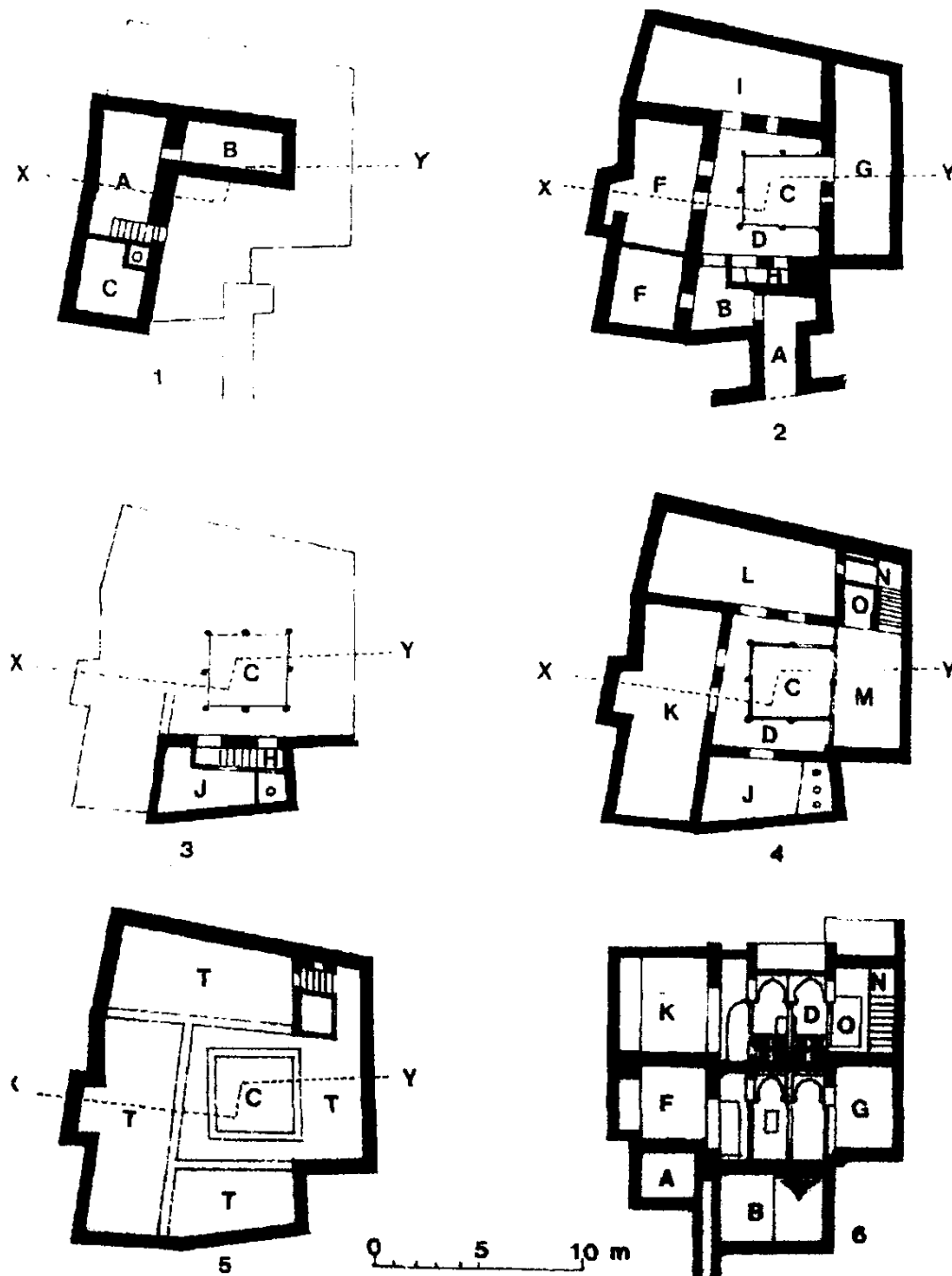


Figure 4: Les différents niveaux d'une demeure Algéroise (Golvin, 1988)

Le sous-sol : ce niveau comporte un puits, une **buanderie C**, une **citerne B**, qui recueille les eaux de pluie provenant des terrasse et de la cour, ces soubassement n'occupent qu'environ 1/3 de la surface de l'immeuble. On y accède par un escalier droit de huit marches descendant du patio dans la buanderie.

Le rez-de chaussée : venant de la rue, une impasse desservait l'entrée de la maison, une petite *skifa* dotée d'une banquette dans renforcement, face cette *dukkana* une porte ouvre

sur le vestibule B qu'il faut traverser en tournant à droite pour pénétrer sous la galerie du rez de chaussée qui entoure sur trois cotés un petit **patio C**.

Donnant sur le **vestibule B**, **une pièce F** semble avoir fait partie de la longue pièce F dont elle est séparée par une simple cloison. Dans cette hypothèse il semble évident qu'il n'y avait pas de porte partant de vestibule B à la pièce F. On aurait alors une longue chambre ,dotée d'un *bahu* face à une porte ouvrant sous la galerie ,bordée d'une seule fenêtre ,on s'étonne de la forme de *bahu* qui fait davantage penser à un placard qu'à un défoncement du genre de ceux auxquels nous sommes maintenant habitués ,quoi qu'il en soit ,on suppose que la longue pièce F ,initialement ,était une chambre ou pièce d'habitation à usage multiple.

La grande pièce F, à laquelle nous avons cru bon de restituer son prolongement F, dotée d'un *bahu*, pourrait bien avoir été lieu où le maître de maison se tenait pour recevoir des amis sans trouble l'intimité des occupants ,les femmes auraient été logées à l'étage supérieur ,avec un accès ,aux terrasses ,lieu de prédilection par beau temps .

Au second niveau (4) : une galerie complète qui entoure le patio, elle comporte des arcades sur les quatre cotés comme au rez – de chaussée, les arcades sont en arcs brisés outrepassés reposant sur des colonnes. Sur trois côtés, il ne se trouve que deux arcs, mais on en comporte quatre de dimensions inégales sur le dernier côté qui ouvre ainsi largement sur un autre espace M. en face de cet **espace ouvert M** se trouve la **pièce principale K**, dotée d'un *bahu* face à l'entrée qui ouvre sous la galerie.

-**Les cuisines J** se trouvent au niveau des étages.

Les colonnes sont reliées par une balustrade de bois.

Terrasse (5) : des murets saillants soulignent les pièces du second niveau d'occupation et ils forment un parapet au-dessus de patio.

2.2.2. Maisons de la Medina de Tunis :

Nous entendons d'abord souligner certains aspects historiques circonscrivant bien le quartier. En particulier pendant la période turque qui eut une influence majeure sur sa détermination formelle et sociale. Jacques Revault décrit en ces termes le mécanisme social des quartiers de la Médina de Tunis : « *Tunisois de vieille souche ou émigrés d'andalous s'efforçaient de conserver leurs demeures sur les lieux qu'occupaient auparavant leurs familles, tout en se rapprochant le plus possible de la grande Mosquée de la Casbah. Ainsi les voit-on fidèlement attachés à l'ancien quartier résidentiel des Beni-Khorasan et au voisinage*

de palais indiqués plus haut. Notables et bourgeois se maintiennent alors de préférence aux endroits les plus élevés de la Médina, laissant la ville basse aux citoyens de conditions modestes, aux juifs et aux Chrétiens. Un témoignage de cette ancienne répartition urbaine nous est fourni par les demeures de deux illustres écrivains du XIVe- XVe siècle, Ibn Khaldoun et Ibn Arafa, qui habitèrent respectivement le quartier sud et le quartier nord de la Médina. Ibn Khaldoun habita non loin de la rue des Andalous, rue Tourbet El Bey ». (Revault, 1984)

Selon Boughali, la morphologie de la maison autour de la Méditerranée conditionne un mode de vie : les pièces sont disposées autour de cour et débouchent toutes sur elle.x

C'est en quelque sorte l'espace commun où les femmes circulent et se sentent réellement chez elles. Cour ouverte sur le ciel, parfois agrémentée d'un jet d'eau, d'arbres et de fleurs, et où tout semble inviter à la réunion familiale, donc à un dialogue détendu entre les occupants. En plus, une caractéristique de l'urbanisme de la médina de Tunis réside dans l'utilisation, comme les autres médinas, par toutes les catégories sociales de la même unité architecturale de base, la maison à patio, modèle unique que Jacques Revault distribue selon quatre types correspondant à la hiérarchie de la fortune : habitation commune, maison bourgeoise, grande demeure, palais. (Boughali, 1974)

Ces lignes directrices s'appliquent à toutes les demeures et seule, la porte de l'entrée pourrait-elle donner une idée de la fortune de son propriétaire. Cependant le degré d'aisance ou de richesse ne peut réellement être évalué que passé le seuil du domicile. Il en résulte une certaine unité de style qu'il est alors préférable d'examiner selon une description générale applicable à la majorité des maisons avec plus ou moins des différences suivant le maître d'œuvres, le propriétaire et sa situation sociale.

2.3. Le patio dans l'ère moderne :

2.3.1. La maison à patio de la période coloniale au Maghreb :

La colonisation française aux pays de l'Afrique du Nord est marquée par la destruction des villes traditionnelles et la création de noyaux historiques urbains initiés par le génie militaire. La construction de villes coloniales permettait la colonisation des pays conquis. « L'arabisation » a été adaptée par le régime français entre les années 1900-1930, il s'agissait d'une stratégie politique qui avait pour objectif d'appréhender la colère des citoyens autochtones en leur faisant croire que la présence de la France dans leurs pays était pour développer les villes conquises. « L'arabisation » consiste à intégrer des retouches arabes aux bâtiments édifiés dans l'Algérie.

A l'échelle de l'habitation, c'est le modèle de maison à patio coloniale un peu différent de la maison à patio traditionnelle qui se répète, la différence réside dans l'extraversion des façades qui ressemblent beaucoup plus à des immeubles de rapport qu'à des maisons à patio, et la forme régulière du patio contrairement au patio traditionnel. « *Au Maghreb, les maisons sont à un ou deux niveaux. La cour, d'ailleurs on l'appelle 'patio' (le terme arabe est Wast ed-dar, ce qui signifie centre de la maison) est à ciel ouvert, avec ou sans galerie, comme le propose le milieu physique méditerranéen* » (Ravéreau, 1981)

3. Les rôles du patio :

La reproduction du modèle à travers les âges et les civilisations, dans une diversité de régions climatiques et culturelles, témoigne de son efficacité et de sa richesse en matière d'adaptabilité. Il s'agit d'un espace structurant qui alimente la maison en lumière et en air, mais il constitue aussi une source d'inspiration spirituelle et favorise la vie en communauté et la convivialité entre les habitants d'une même demeure. Le patio joue plusieurs rôles importants, on pourra mettre à la lumière quelques-uns dont : (Boulfani, 2010)

3.1. Le rôle organisationnel :

Le patio joue le rôle de l'espace structurant de la maison, sa position centrale permet aux pièces qui le bordent de profiter de manière égale de l'espace extérieur. Cette forma d'organisation spatiale renforce la relation entre différents espaces, ce qui fait que tous les espaces communiquent entre eux, ne laissant ainsi aucun espace isolé.

Cette communication est également attribuée aux différents niveaux car les pièces situées à l'étage donnent aussi sur le patio, et donc communiquent avec les espaces des différents niveaux.

3.2. Le rôle psychologique :

Psychologiquement le patio représente un espace agréable à vivre et aspire à recevoir des activités de détente et de repos, il est perçu comme une sorte d'abri découvert où l'utilisateur se sent à l'abri tout en étant dans un espace extérieur.

Le patio est un espace statique et positif, qui est limité aux déplacements horizontaux mais ouvert vers le ciel, ce qui fait de lui, d'après Jean Cousin, un espace parfaitement satisfaisant psychologiquement.

« L'espace est limité aux déplacements horizontaux mais ouvert vers le ciel. Nous trouverons très souvent cet espace fermé, accouplé à un abri plus réel, formant sous certaines latitudes un cadre de vie extérieur. » (Cousin, 1980)

3.3. Le rôle social :

La position centrale du patio facilite la communication, favorise la rencontre, et renforce les liens sociaux des occupants de la maison. Dans le cas des maisons qui abritent une seule famille, c'est l'espace où se regroupent tous les membres de la même famille durant les fêtes religieuses, les cérémonies traditionnelles (dans le cas des maisons qui abritent une seule famille). Les maisons à patio coloniales, quant à elles, « abritait des communautés de fois différentes : juifs, chrétiens et musulmans ont habité ensemble. Une entente régnait entre les occupants et un respect mutuel existait entre eux. La Harat¹ représentait une grande maison qui permettait la cohabitation de cultures différentes. C'était le temps où on ne parlait pas encore de mixité » (Abbaoui, 2011)

3.4. Le rôle climatique :

Le patio, en étant le cœur et le centre de la maison, est un espace structurant qui nourrit et se nourrit de la maison. Il représente une sorte de microcosme qui met la maison en relation avec l'extérieur, le soleil, l'air frais l'eau et la végétation.

La configuration spatiale de la maison à patio fait en sorte que tous les espaces, y compris le patio, aient un minimum de confort pour abriter les activités attribués à ces derniers. Le patio permet aux autres espaces une exposition et une protection aux rayons solaires et à l'air frais, la maison de son côté, participe au confort du patio en le réchauffant par les déperditions calorifiques par rayonnement, et lui assure l'ombre et l'ensoleillement selon un rythme journalier et saisonnier.

La configuration géométrique du patio en forme de cuvette génère une sorte de microclimat. L'air frais qui s'y rassemble la nuit repousse l'air chaud vers le haut, autrement dit vers l'extérieur. Le rayonnement du sol vers le zénith renforce alors la baisse de température. Ainsi, l'été, une température agréable est conservée pendant un long moment, d'autant plus que la cour est protégée de l'ensoleillement une bonne partie de la journée grâce aux ombres portées des murs périphériques. Enfin l'effet « cuvette » assure une protection des vents.

¹ Maison à patio de l'époque coloniale en Algérie (nomination spécifique à la région de Sétif)

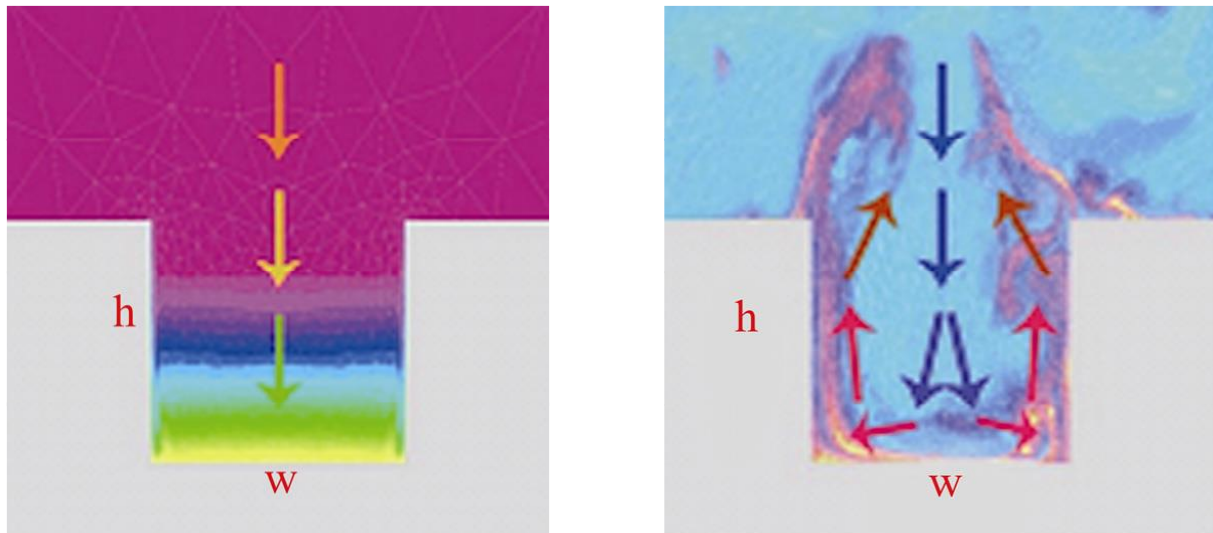


Figure 5: Illustration de l'effet cuvette dans le patio ; source : Hakan Hisarligil 2013

La position centrale du patio, et par ses proportions de hauteur, longueur et largeur, lui donnent un rôle prépondérant dans la protection contre les rayons solaires chauds en été, et la réception d'ondes courtes dans les saisons froides.

- En saisons froides, il est considéré que le patio contribue à améliorer l'environnement thermique, en fournissant aux habitants un environnement agréable en plein air tout en augmentant le confort intérieur dans les périodes froides, l'exposition aux rayons solaires est à son maximum.
- Dans les saisons chaudes, seule la partie centrale est exposée aux rayons de courtes ondes, qui fait que les gains solaires sont réduits seulement à la cour centrale, le reste des pièces bénéficie d'un ombrage qui lui procure des conditions thermiques confortables.

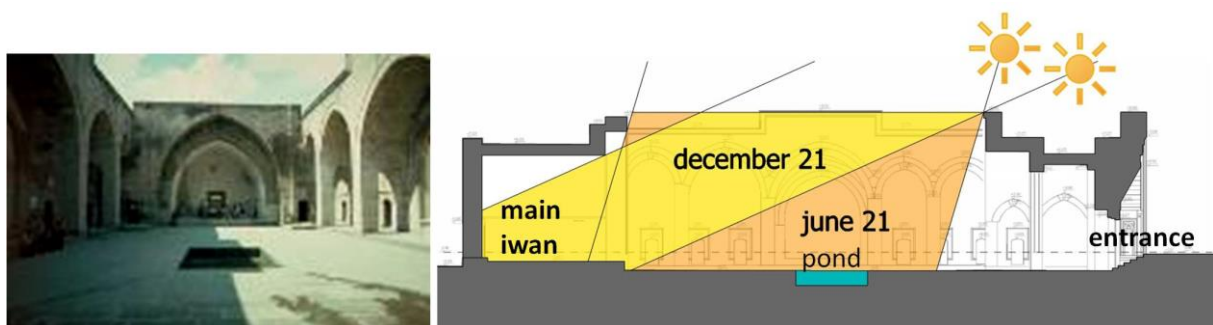


Figure 6: Coupe et perspective démontrant l'angle d'incidence solaire dans un patio ; Source : Hakan Hisarligil 2013

Le patio est une sorte de microcosme qui met la maison en relation avec la nature, le ciel, le soleil, l'air frais, la terre et parfois l'eau et la végétation. La configuration spatiale du

patio en forme de cuvette génère une sorte de microclimat. L'air frais qui s'y rassemble la nuit repousse l'air chaud vers le haut, autrement dit vers l'extérieur. Le rayonnement du sol vers le zénith renforce alors la baisse de température. Ainsi, l'été, une température agréable est conservée pendant un long moment.

Dans les climats chauds et humides, la morphologie de la maison à patio permet à la brise fraîche de pénétrer dans les locaux adjacents du patio et évacuer l'air chaud, en plus de renouveler l'air humide contenu dans le patio.

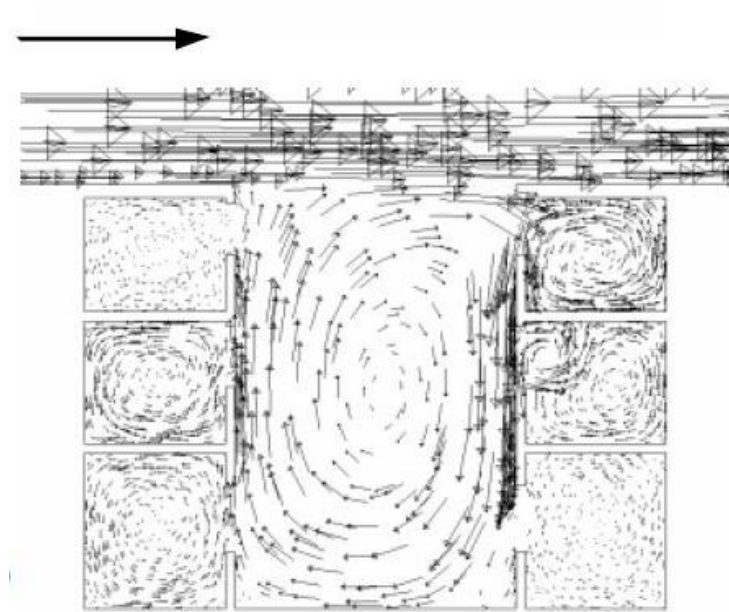


Figure 7: Potentiel de ventilation des pièces donnant sur un patio ; source : D.J Hall 1999

Conclusion :

La simplicité de la configuration géométrique et spatiale des maisons à patio cache derrière elle une grande complexité, cette complexité réside dans les phénomènes climatiques, psychologiques et sociaux que provoque une configuration aussi simple. Ceci témoigne du grand savoir-faire des anciennes civilisations, les ensembles contemporains n'ont toutefois pas su assurer la même complexité ni les mêmes avantages climatiques que les quartiers anciens.

L'habitat des maisons à patio est en quelque sorte issu d'une rencontre entre besoins humains, sociaux et culturels avec des solutions architecturales, urbaines, climatiques et environnementales (Abdulac, 2011). La reproduction du modèle à travers les âges et les civilisations, dans une diversité de régions climatiques et culturelles, témoigne de son efficacité et de sa richesse en matière d'adaptabilité. Il s'agit d'un espace structurant qui alimente la maison en lumière et en air, il représente aussi une source d'inspiration spirituelle et favorise la vie en communauté et la convivialité entre les habitants d'une même demeure.

La maison à patio est l'un des deux grands modèles d'habitats connus dans le monde, il s'est maintenu à travers les âges, s'est sophistiqué et continue même d'être d'actualité. Il s'agit d'un modèle d'habitat universelle, on le trouve dans une diversité de régions géographiques, de sociétés, de climat et son aspect historique reste étonnant. En effet des vestiges d'espaces centraux ouverts ont été révélés en Mésopotamie, en Grèce antique, dans la civilisation romaine, la civilisation islamique et même dans les cités coloniales au Maghreb, mais chacune avec une connotation locale. En effet, les maisons à patio étaient symbole de richesse chez les égyptiens, les grecques et les romains, elles n'étaient destinées qu'aux familles aisées, chez la civilisation islamique, le patio était utilisé comme un espace de repos et de regroupement tandis que dans les maisons coloniales, le patio était considéré comme un espace polyvalent, une sorte d'extension aux espaces qui le contournent (Cuisine, buanderie, séjour...).

L'Algérie dispose d'une large palette diversifiée de maisons à patio, allant de la maison méditerranéenne de la Casbah d'Alger jusqu'aux K'sour de Ghardaïa, en passant par les maisons arabo-musulmanes de Constantine et les maisons coloniales (les *Harats*) de Sétif. Ce dernier cas représente notre cas d'étude et sera présenté en plus de détails dans le chapitre suivant.



Chapitre III :

Etude morphologique des Harats de Sétif

Introduction :

Le modèle de maison à patio a fait ses preuves depuis l'antiquité, et continue d'être d'actualité en répondant au mieux aux besoins et préoccupations du mode de vie contemporain. Ceci est, surtout, grâce à sa configuration géométrique qui privilégie l'être et non le paraître, exposant la maison à l'environnement extérieur lui permettant de profiter pleinement de l'air frais et des rayons de soleil, tout en étant protégé contre les regards et les aléas climatiques.

Dans le centre-ville de Sétif se trouve l'un type de maisons coloniales à patio qui a déjà fait ses preuves et qui a fait l'objet de plusieurs études, la plus importante de ces dernières est celle de Dr. Abbaoui dans laquelle il a appréhendé cette maison à patio, dite *Harat*, du côté architecturale en faisant ressortir les espaces communs de ce type d'habitat, tout en ressortant l'impact de ces espaces sur la vie quotidienne et l'impact sociologique des habitants.

Afin de mieux comprendre ce type de maisons à patio (surtout la configuration géométrique) nous procédons dans ce chapitre à une analyse et décomposition morphologique.

1. Présentation du cas d'étude :

1.1. Présentation de la ville de Sétif :

L'Algérie est un pays situé au Nord de l'Afrique bordé au nord par la mer méditerranée, à l'est par la Tunisie et la Libye, au sud par le Niger et le Mali, au sud-ouest par la Mauritanie et le Sahara Occidental et à l'ouest par le Maroc. L'Algérie le deuxième pays le plus vaste en Afrique après le Soudan. Sa superficie est de 2 381 740 km² abritant une population de plus de 32 millions d'habitant soit une densité moyenne de 13,55 hab/km². L'Algérie compte 48 Wilayate, parmi ces dernières la Wilaya de Sétif sur laquelle portera notre étude.



Figure 1: Carte du territoire algérien et des pays qui l'entourent

La wilaya de Sétif « se situe au sud-est par rapport à la capitale du pays (Alger). Elle est desservie dans le sens ouest-est par la Route Nationale n°5 et nord-sud par la R.N n° 9 ... Elle est limitée : par les wilayate de Béjaia (Bougie) et Jijel (Djidjelli), au nord; par la wilaya de Mila, à l'est ; par les wilayate de Batna et M'sila, au sud ; par la wilaya de Bordj Bou-Arredj, à l'ouest ... La wilaya s'étend sur une superficie de 6.504 km² soit 0,27 % du territoire national ». La wilaya compte plus l'un million d'habitant dont son chef-lieu (qui porte le même nom que la wilaya) compte plus de deux cents cinquante mille habitants.

A l'intérieur de l'agglomération, se trouve le centre-ville, le noyau originel (l'intra-muros), l'ancienne ville coloniale qui était entourée de remparts (aujourd'hui disparus).

« Dans ce mode colonial de composition, la logique du centre était le résultat d'une cascade d'ordonnances, de décrets, d'arrêtés et de bulletins officiels de l'époque.

Armand Camborieux rapporte des dates et des références de textes officiels portant création de la ville ainsi que des villages et des unités administratives dans la région sétifienne. Prolonger l'existence d'une image de conquérants et de dominateurs, ériger une culture dominante, c'est l'émergence de la composition urbaine du pouvoir qui s'exerce dans et sur le centre-ville ». (Abbaoui M. , 2011)



Figure 2: Carte de la ville de Sétif (intra-muros). Source : Carte INC, Institut National de Cartographie

C'est aussi produire et renouveler l'espace de représentation et de monumentalité. L'avenue du 8 mai 1945 (autrefois avenue Georges Clemenceau) est le meilleur exemple de domination et de monumentalité. Une large rue qui constitue un axe urbain structurant qui

traverse de l'est à l'ouest. Elle est longée par de larges trottoirs bordés d'arbres et délimité par des bâtiments de période coloniale (équipements et résidences). Elle débouche sur une fontaine monumentale (une femme nue) qui tourne le dos à un équipement culturel et religieux qui représente le symbole de la culture des dominés, écrasant toute identité autochtone et concrétisant l'image parfaite de la domination du pouvoir colonial.

Cette image d'un pouvoir fort se reflète dans l'espace de la ville et elle est renouvelée plusieurs années d'existence. La maison coloniale (plus tard la *Harat*) passe alors pour insignifiante dans ce décor imposé.

Le centre-ville est divisé en quatre zones par deux axes structurants, l'axe est-ouest (le *cardo*) et l'axe nord-sud (le *decumanus*). Les quatre zones sont à leurs tours divisés par des rues parallèles aux deux axes formant 34 îlots réguliers et 11 îlots irréguliers. Ces derniers sont composés d'un type d'habitat particulier (la *Harat*). Il existe deux catégories de *Harat* :

La *Harat* de l'intra-muros pour la *Harat* qui se trouve à l'intérieur du centre-ville ; la *Harat* de l'extra-muros ou plus exactement la *Harat* du faubourg pour celle qui se trouve à l'extérieur du centre-ville.

En dehors du centre-ville, la logique de la rue de l'îlot est respectée formant des faubourgs.

Au-delà des faubourgs, d'autres formules d'habitat sont constatés, les lotissements et les logements collectifs. Si un semblant de rue et d'îlot est visible au niveau des lotissements il est, en revanche, inexistant au niveau des cités numériques.

1.2. Présentation de la *Harat* de Sétif :

1.2.1. Genèse de la *Harat* :

La *Harat* est à la base une maison coloniale approprié par la population Setifiènne, en développant les structures spatiales de la maison traditionnelle précoloniale au sein des espaces de la maison coloniale.

La maison coloniale est la première organisation qu'a connue le centre-ville de Sétif (Abbaoui M. , 2011). Elle se caractérise par une enveloppe homogène faite par des murs épais en pierre, une toiture en tuile rouge et un traitement de façade très simple. La maison coloniale a connu quatre étapes d'évolution :

Etape 1^e :

La maison coloniale se compose de deux parties :

- Une partie du devant donnant sur la rue en R+1 qui comporte les espaces habitables, dont le RDC comporte une grande porte en bois à deux battants qui permet le passage de chariots et charrettes. Et l'étage qui contient les chambres, la cuisine, le séjour et la salle d'eau.
- Une partie de derrière, la cour. C'est la partie cachée à la rue.

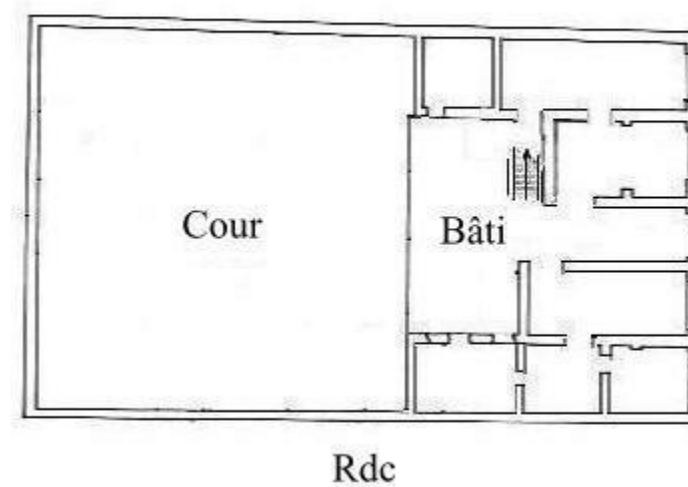


Figure 3: Première phase du développement de la Harat de Sétif ; Source : Abbaoui 2011

Etape 2 :

Une extension horizontale au RDC aux abords de la cour pour rajouter des unités d'habitation composées de pièces d'habitation polyvalentes.

Extension horizontale

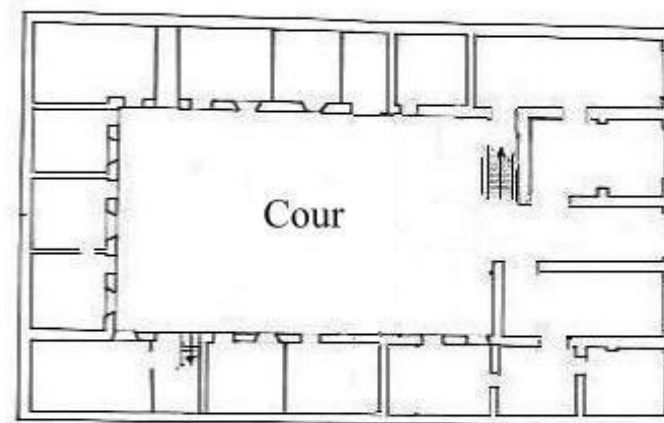


Figure 4: Deuxième phase du développement de la Harat de Sétif (extension horizontale) ; Source : Abbaoui 2011

Etape 3 :

Une première extension verticale donnant naissance à d'autres unités d'habitation au premier étage, donnant sur la cour.

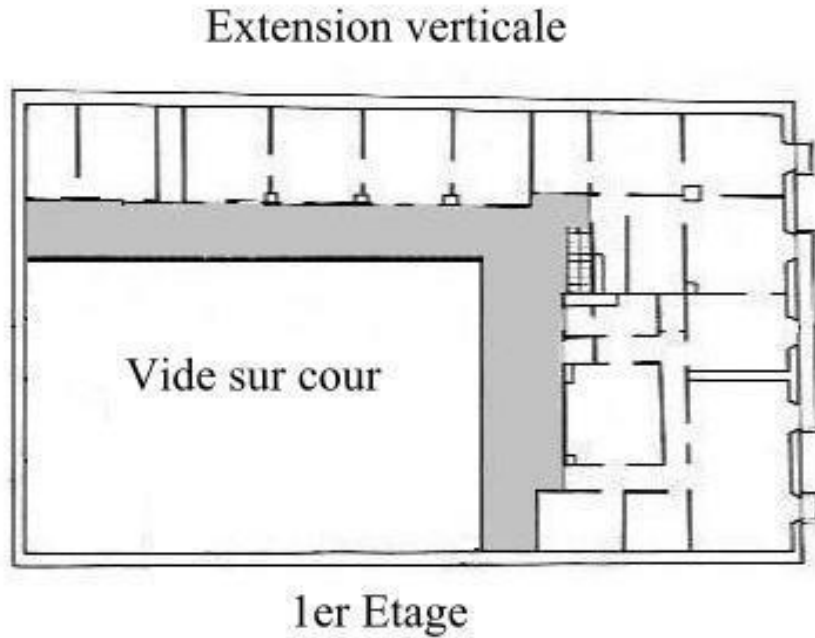


Figure 5: Troisième phase du développement de la Harat de Sétif (extension verticale) ;
Source : Abbaoui 2011

Etape 4 :

Deuxième extension verticale et saturation de l'espace, ne permettant aucune extension avenir.

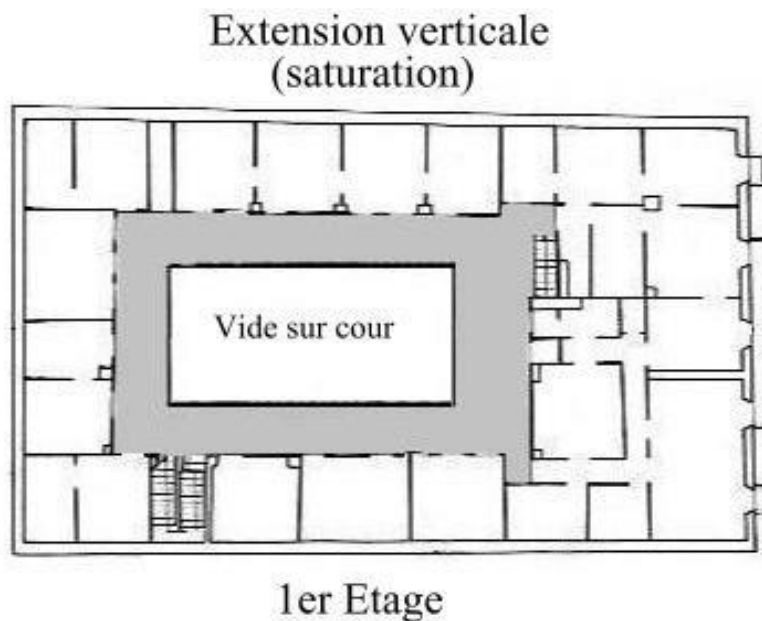


Figure 6: Troisième phase du développement de la Harat de Sétif (extension verticale et saturation) ;
Source : Abbaoui 2011

La maison coloniale a été exploitée par la population algérienne musulmane, qui est venue avec ses propres traditions et valeurs culturelles, dès 1847. Tout en gardant son aspect constructif et structurel intacts, « *la maison coloniale avec cour "se dé-constitue" spatialement petit à petit avec le temps. Les structures spatiales de la population algérienne, héritées de la période précoloniale issues de l'habitation traditionnelle, se sont développées au sein des espaces intérieurs de la maison coloniale. Les espaces nommés culturellement atba, dakhla, haouche, béite, satha, stiha, stah¹ se sont superposés et se sont greffés sur les espaces intérieurs de la maison coloniale pour constituer l'espace conforme au modèle culturel local* » (Abbaoui, 2011). C'est l'habitation qui se reconstitue. Ainsi, le modèle de la Harat de Sétif est né.

1.2.2. Les espaces communs de la Harat :

La *Harat* est un type d'habitat communautaire, dont la morphologie et la configuration spatiale facilite les rapports de cohabitation, un système compact et introverti qui favorise l'être et non le paraître.

Les espaces intérieurs de la *Harat* qui favorisent l'échange et renforcent le voisinage, sont des espaces communs, qui sont :

- **Le Dakhla :**

La *Dakhla* est un véritable sas, un passage obligé aussi bien vers les *Unités familiales* qui donnent sur cet espace que vers la cour intérieur qui, à son tour, s'occupe de desservir les autres espaces. Elle contient généralement des escaliers qui mènent à l'étage. Sa hauteur sous plafond varie de 3,40 m à 3,80 m. Elle est constituée de plusieurs séquences spatiales qui assurent une transition dynamique entre l'extérieur et l'intérieur. Ces séquences représentent des obstacles.

¹ Espaces communs de la *Harat* qui vont être présentés dans la partie suivante de ce chapitre.



Figure 7: Exemple d'une Dakhla d'une harat (Harat Sekai) ; Source : Abbaoui 2011.

- **Le Haouche :** (cour intérieure)

Le *Haouche* est un espace fermé et découvert, ouvert sur le ciel. Le *Haouche*, véritable centre de la *harat*, est le poumon qui permet aux *unités familiales* qui l'entourant de changer d'air. C'est lui qui leur procure la lumière naturelle dans laquelle elles baignent toute la journée et qui gratifie certaines d'entre elles de quelques rayons de soleil. A lui seul, il rassemble tous les services que se partagent les familles. Ces services comme les toilettes et la buanderie, sont judicieusement implantés dans des endroits où aucun regard indiscret n'ose aller les chercher. L'espace du *Haouche* rassemble de beaux éléments d'architecture : une petite fontaine, un petit bassin...

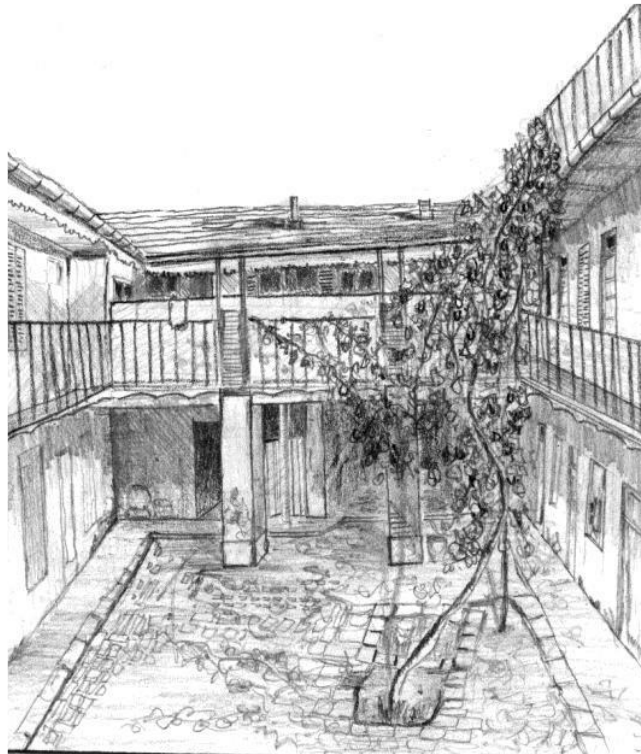


Figure 8: Exemple d'un Haouche (Harat Hamamou) ; Source Abbaoui 2011

- **La Satha :**

La *Satha* est une forme de coursive de par sa structure spatiale. En réalité, il s'agit d'un espace plongé dans un autre espace, celui du *Haouche*, celui de l'intérieur de la *Harat*.

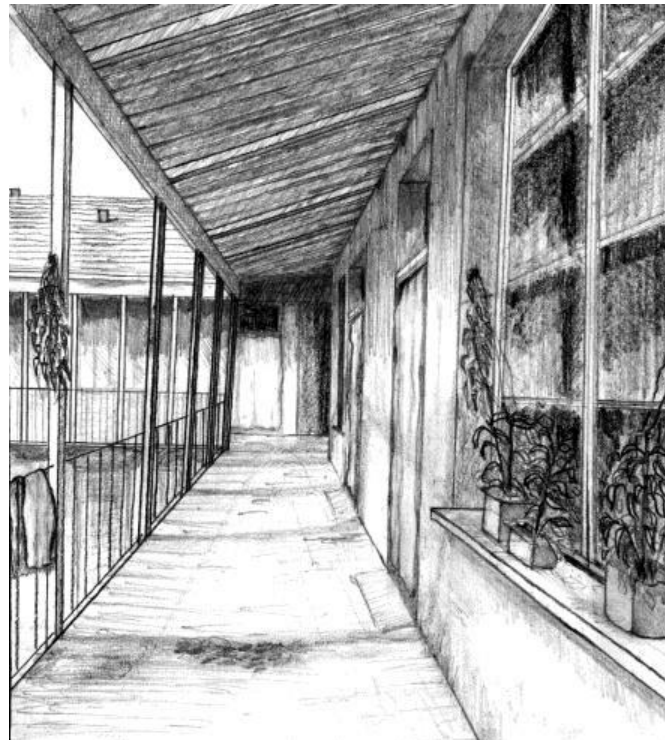


Figure 9: Exemple d'un Satha (Harat Sekai) ; Source Abbaoui 2011

- **La Stiha** : (la petite terrasse)

La *Stiha*, lorsqu'elle existe se situe indifféremment au premier ou au dernier étage. C'est une petite terrasse.

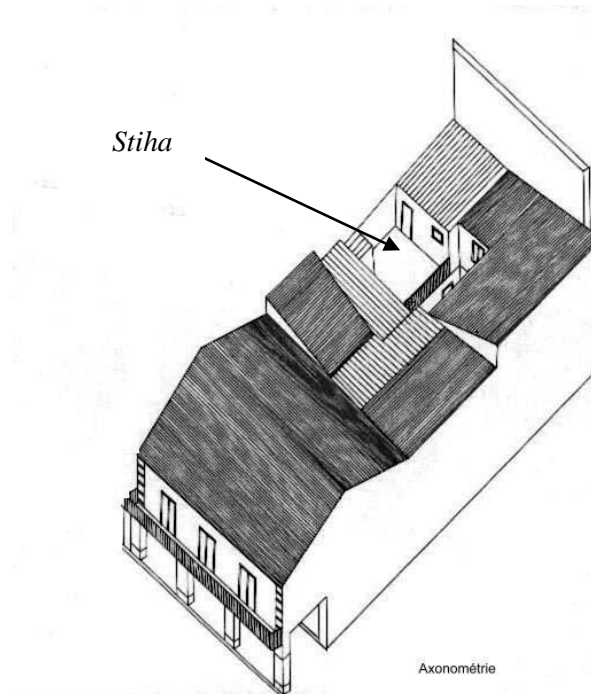


Figure 10: Exemple d'une Stiha (Harat El Djardi) ; Source : Abbaoui 2011

- **Le Stah** :

Le *Stah*, lorsqu'il existe se situe au dernier niveau. C'est une grande terrasse. C'est un espace retiré et bien orienté. On y étale tout ce qui peut servir de provisions pour la saison froide.

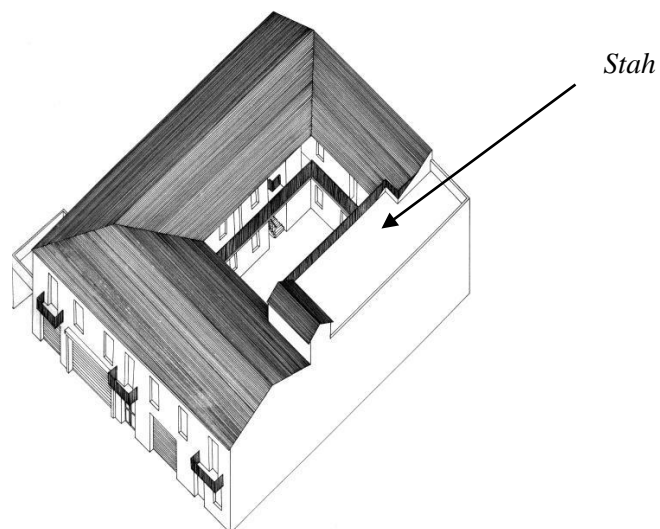


Figure 11: Exemple d'un Stah (Harat Attar) ; Source : Abbaoui 2011

1.2.3. Mixité sociale au sein de la Harat :

« La Harat, à son état originel, dans sa configuration la plus simple à l'époque coloniale, abritait des communautés de fois différentes : juifs, chrétiens et musulmans ont habité ensemble. Une entente régnait entre les occupants et un respect mutuel existait entre eux. La Harat représentait une grande maison qui permettait la cohabitation de cultures différentes. C'était le temps où on ne parlait pas encore de mixité. De la maison coloniale à l'habitation reconstituée appartenant à un propriétaire et occupée par les membres d'une même famille, la Harat test, aujourd'hui, une copropriété familiale qui s'ouvre à des colocataires ne portant pas le même nom. Elle mêle des ménages de catégories sociales différentes et tous ensembles côtoient les mêmes espaces intérieurs communs dans la quiétude. Elle favorise les mixités sociale, urbaine et de l'activité. » (Abbaoui, 2011)

La Harat a permis de démontrer que la mixité sociale peut se pratiquer à l'échelle domestique. Contrairement à ce que l'on croyait au paravent, que la mixité n'existait qu'à l'échelle d'une ville ou d'un quartier. La Harat permet d'abriter sous le même toit plusieurs catégories sociales : allant de la famille pauvre, à celle du propriétaire aisé, passant par la famille moyenne. Les familles côtoient ensemble ses espaces dans la sérénité et la quiétude.

La Harat répond aux désirs des habitants non seulement sur le plan architectural, mais aussi sur le plan social. Les espaces communs de la Harat encouragent l'entraide mutuelle et renforce ainsi les relations de voisinage et les relations de sociabilité. Les habitants de différentes catégories sociales vivent ensemble et partagent tout. Cet aspect valorise une cohésion sociale et renforce la solidarité et l'esprit de groupe.

La ressemblance entre les familles et le partage des mêmes valeurs communes (Mêmes traditions, même culture et même mode de vie) assurent une cohésion sociale assez particulière ou les différentes familles ne font plus qu'une. La solidarité a continué à exister au sein de la Harat bien que nous sommes dans une société moderne, d'ailleurs on peut facilement remarquer que l'habitant de la Harat est plus sociable et reste animé d'un esprit de groupe, contrairement à celui des cités numériques (logement collectif) qui est plus réticent et plus individualiste.

2. Choix du corpus :

Le centre-ville de la ville de Sétif se compose de deux parties. Le noyau originel (l'intramuros), l'ancienne ville coloniale qui était entourée de remparts. Ce dernier est divisé en quatre zones par deux axes structurants, l'axe est-ouest (le cardo) et l'axe nord-sud (le decumanus).

Les quatre zones sont à leurs tours divisés par des rues parallèles aux deux axes formant 34 ilots réguliers et 11 ilots irréguliers. Et les faubourgs qui sont une sorte d'extension linéaire à l'est du noyau intra-muros.

2.1. Critères de choix du corpus :

Le travail d'analyse des *Harats* de Sétif a été réalisé sur un corpus de maisons à patio sur les deux zones précédemment citées. Afin de structurer le travail et éviter le choix arbitraire des maisons à analyser, on devait donc justifier le choix et délimiter le corpus par les critères suivants :

2.1.1. L'aire géographique limitée :

La *Harat* est un modèle d'habitat construit par les colons français et exploité par les Sétifiens, cependant après l'indépendance et le départ des colons, les Sétifiens ont continué quelques années plus tard à reproduire ce même type d'habitat communautaire qui s'adapte parfaitement à la culture et au mode de vie local. Ce qui justifie la présence de deux types de *Harats*, à savoir, les *Harats Coloniales* et les *Harats postcoloniales*.

Les ***Harats coloniales*** se situent au noyau historique du centre-ville de Sétif et les faubourgs qui constituent la première extension de la ville dans la période coloniale. Tandis que, les ***Harats postcoloniales*** se situent dans d'autres quartiers populaires situés aux alentours du centre-ville.

La ***Harat coloniale*** constitue le modèle originale des *Harats*, tandis que la ***Harat postcoloniale*** représente est un modèle repris modifié par les autochtones. De ce fait, notre étude est limitée spatio-temporairement par la période coloniale et donc aux *Harats* situées au centre-ville et aux faubourgs de la ville.

La figure suivante montre sur la carte de Sétif les limites des deux zones d'étude ; en **vert** la zone où sont situées les *Harat intra-muros* et en **bleu** la zone **extra-muros**.



Figure 12: Les limites du périmètre d'étude ; source : auteur

2.1.2. La régularité géométrique :

Le noyau historique de la ville de Sétif, comme nous l'avons déjà mentionné, est un damier colonial qui a subi, comme la majorité des noyaux historiques urbains, un découpage parcellaire régulier à travers des axes parallèles aux deux axes principaux, le *Cardo* et le *Decumanus*. Ce qui a donné naissance à des parcelles rectangulaires et carrés.

Les maisons à patio coloniales suivent parfaitement cet alignement, ce qui a fait que la majorité des maisons ont des plans rectangulaires avec des patios de la même forme. Les maisons qui ont des formes géométriques trapézoïdales ou complexes (combinaison de deux formes ou plus) se font très rares et occupent les parties limitrophes de notre périmètre d'études. Ceci nous a mené à restreindre notre étude aux *Harats* de formes géométriques régulières avec des dimensions proportionnée, en écartant les *Harats* qui ont des formes géométriques complexes ou disproportionnées pour créer un ensemble représentatif.

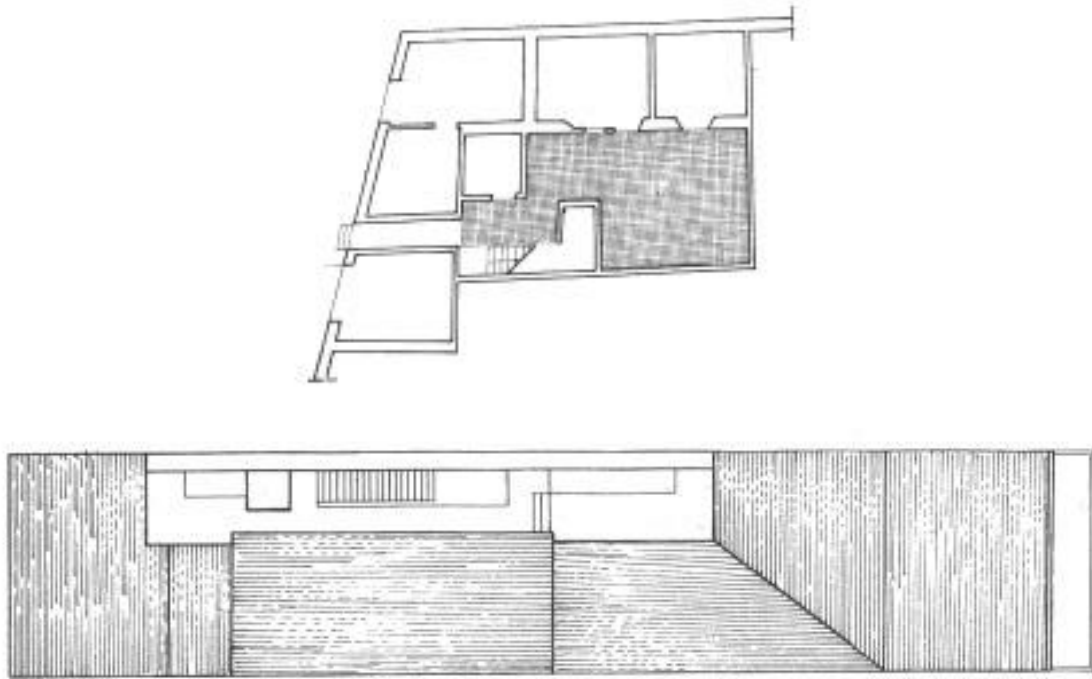


Figure 13: Exemple de Harats écartées pour leur complexité géométrique ou pour leur disproportion ;

Source : Abbaoui, 2011

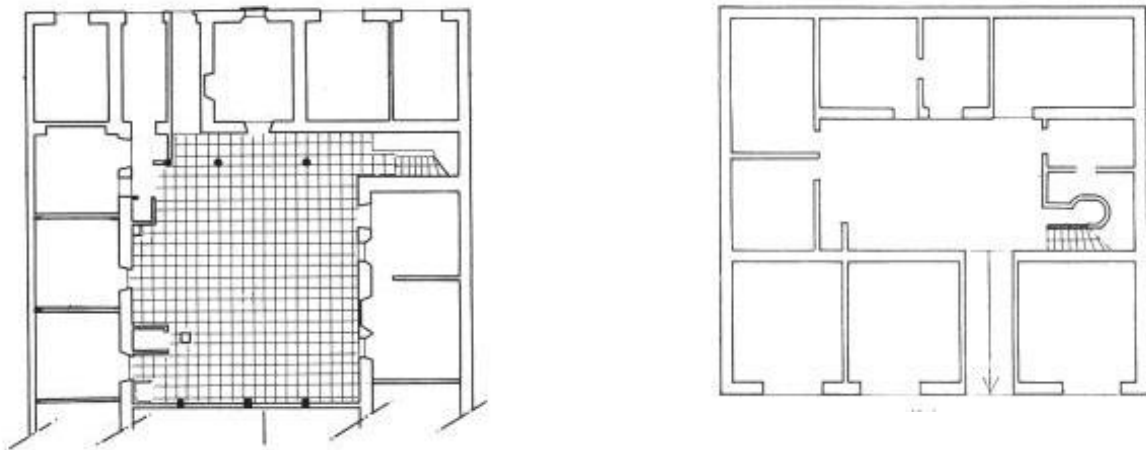


Figure 14: Exemple de Harats retenues pour leurs forme régulière et proportions équilibrées ; Source : Abbaoui, 2011

2.1.3. Lisibilité du patio :

Pour rester dans la logique, celle des formes de maisons à patio les plus répandus pour définir un ensemble représentatif, nous avons exclu toute maison ayant un patio de très petite taille ou mal proportionné (élancé ou trop étroit), ainsi que celles qui comportent un patio de forme trapézoïdale ou qui comporte des décrochements. En conservant des maisons bâtis autour d'un patio carré ou bien rectangulaire.

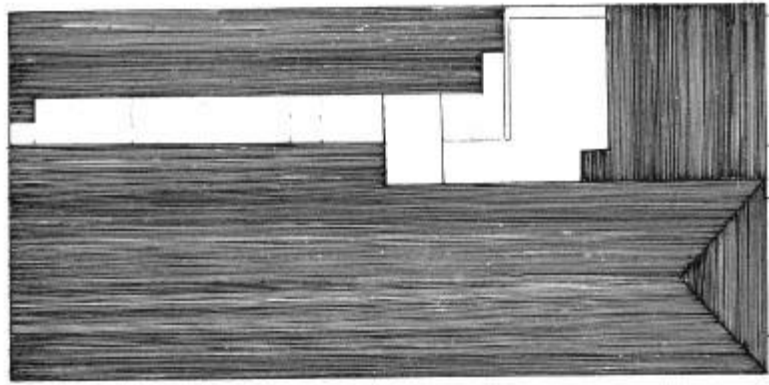


Figure 15: Exemple d'une Harat écartée pour la disproportion de son patio ; Source : Abbaoui, 2011

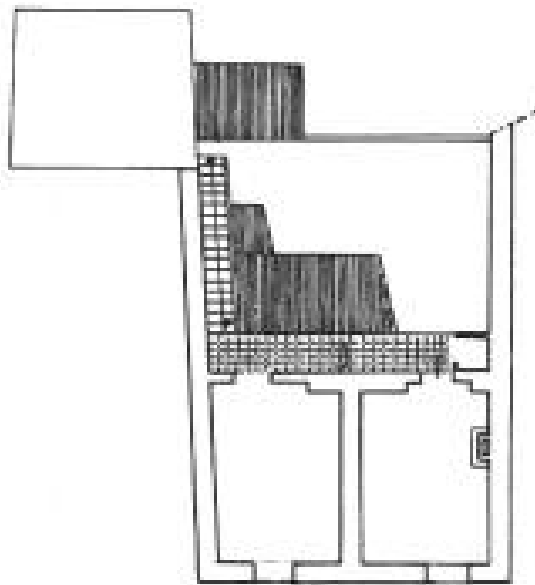


Figure 16: Exemple d'une Harat écartée pour la complexité de la forme de son patio ; Source : Abbaoui, 2011

2.2. Présentation du corpus sélectionné :

Les critères précédemment cités nous ont permis de délimiter le corpus sur lequel nous allons appliquer une analyse morphologique. La sélection comprend 27 *Harats* dont chacune dispose d'une particularité morphologique propre à elle. Nous avons ici procédé à une classification primaire basée sur la position du patio par rapport à la maison, pour ne présenter que des *Harats* représentatives de chaque type, le reste des *Harats* sont présentés dans l'annexe1, les types sont faits comme ci-dessous de suite :

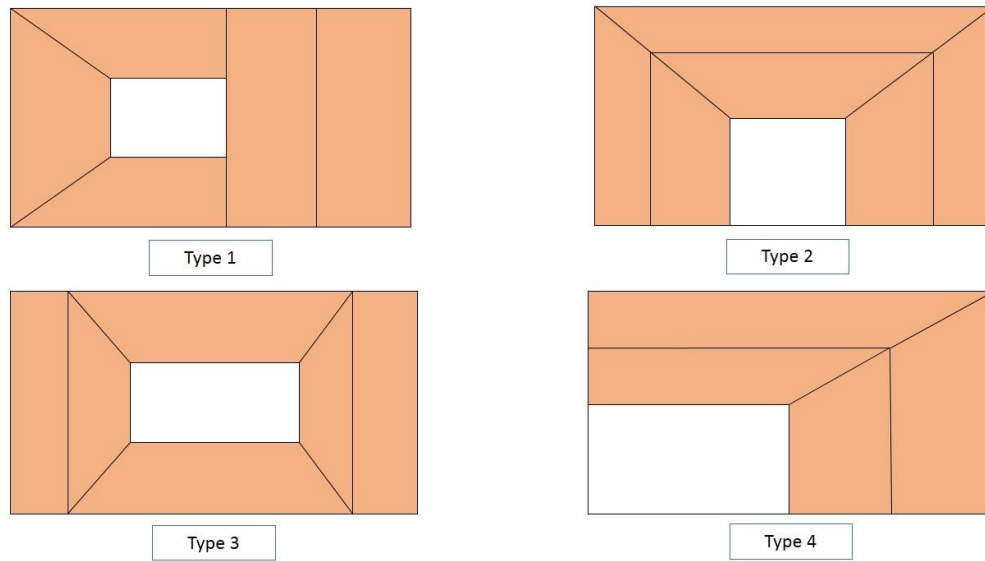


Figure 17: Classification primaire des Harats sélectionnées ; Source : Auteur.

2.2.1. Echantillon type 1 :

Harat Hamdi Chérif : 20, rue des Frères Meslem.

Date de construction : 1892

$S_{totale} = 470,40 \text{ m}^2$ (29,40 m x 16 m), $S_{patio} = 63 \text{ m}^2$ (14m x 4.5m)

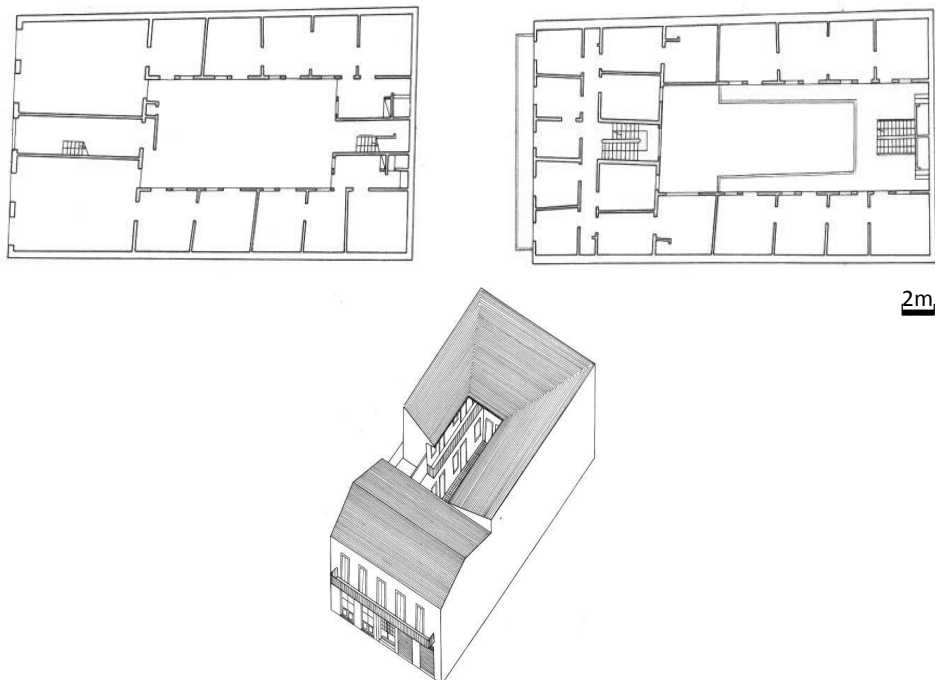


Figure 18: Plans et perspective de Harat Hamdi Chérif ; Source : Abbaoui, 2011.

2.2.2. Echantillon type 2 :

Harat Dussain : 10, rue Haffad Abdelmadjid

Date de construction : 1940

1er propriétaire : M. Dusszin (d'origine française)

$S_{totale} = 253 \text{ m}^2$ (23m x 11m), $S_{ptio} = 34,65 \text{ m}^2$ (6.3m x 5.5m)

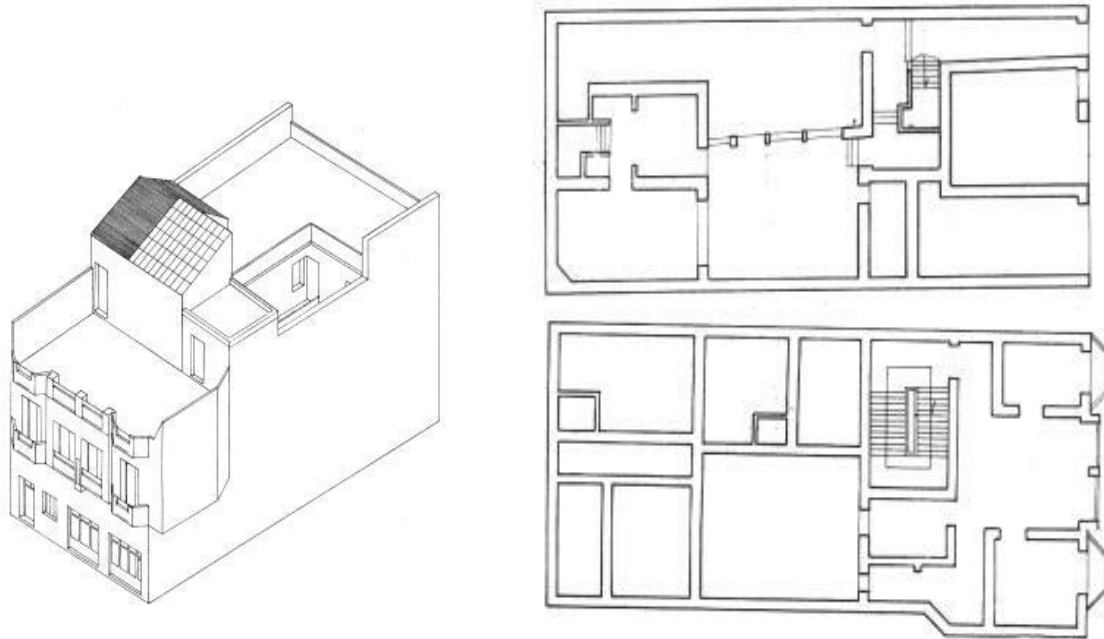


Figure 19: Plans et perspective de Harat Dussain ; Source : Abbaoui, 2011.

2m

2.2.3. Echantillon type 3 :

Harat Sakai : 18, rue Frantz Fanon

Date de construction : 1903

1er propriétaire : M. Sakai (d'origine juive)

$S_{totale} = 480 \text{ m}^2$ (24m x 20m), $S_{patio} = 53,6 \text{ m}^2$ (9.75m x 5.5m)

Harat complètement détruite.

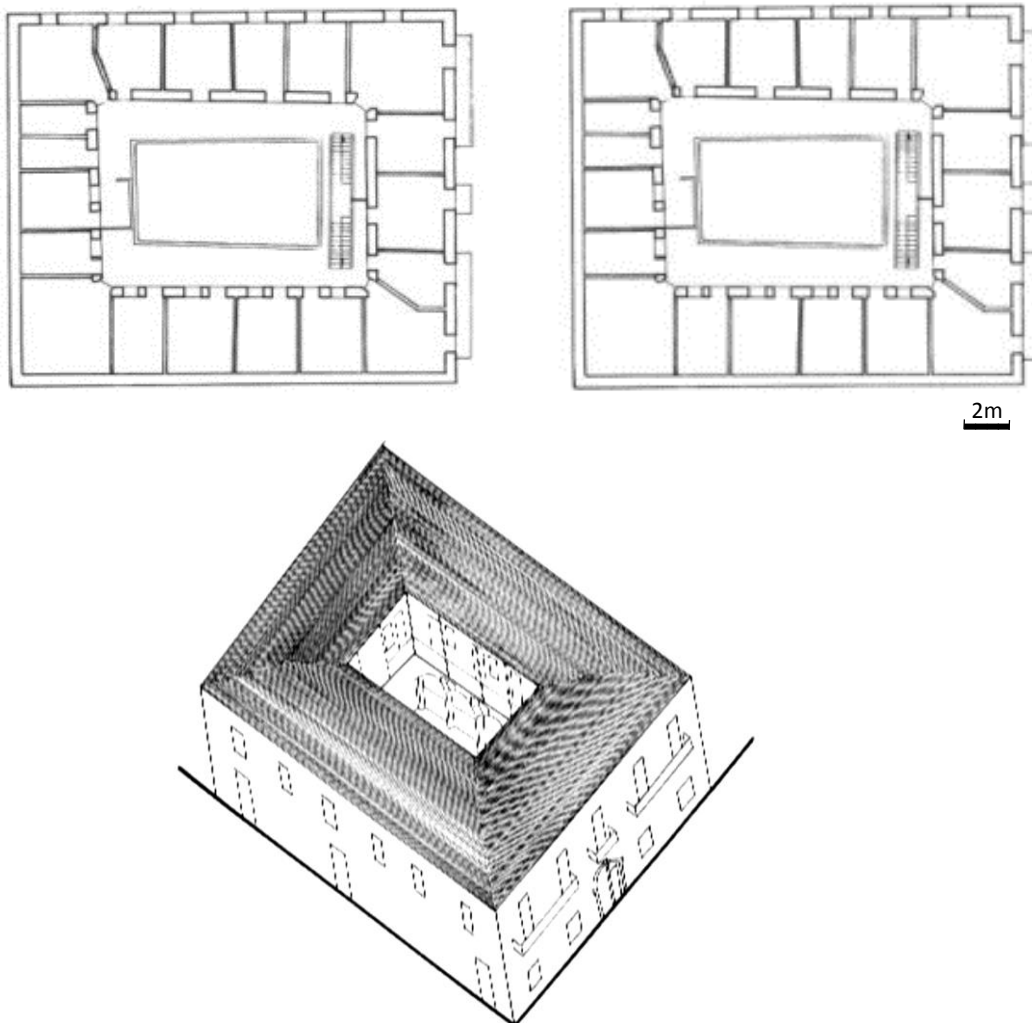


Figure 20: Plans et perspective de Harat Sakai ; Source : Abbaoui, 2011.

2.2.4. Echantillon type 4 :

Harat Debboun : 01, rue Saoula Lakhdar

Date de construction : 1907

1er propriétaire : Mme Debonne (d'origine française)

$S_{totale} = 341,28 \text{ m}^2$ (21,60 m x 15,80 m), $S_{patio} = 102 \text{ m}^2$

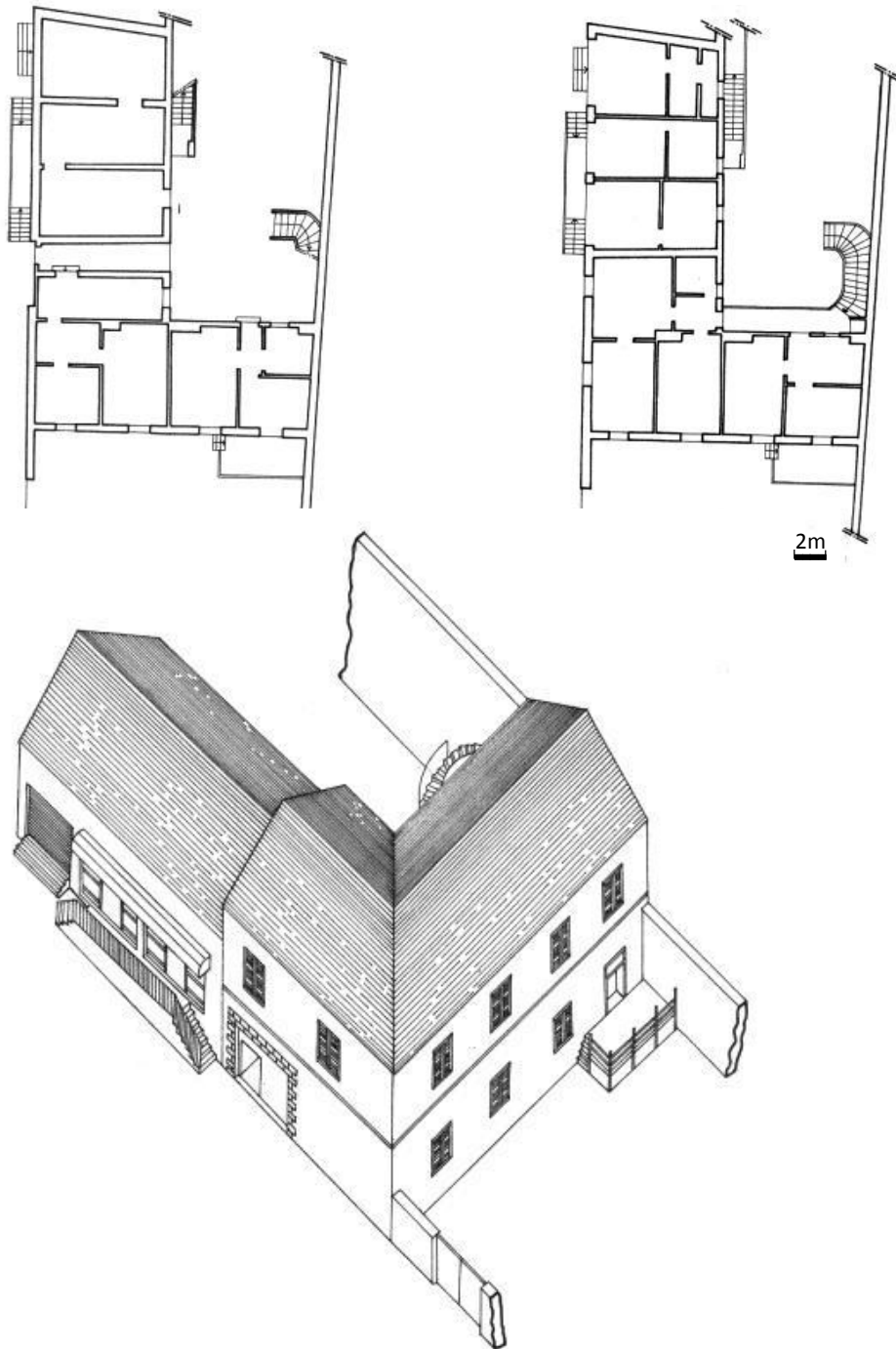


Figure 21: Plans et perspective de Harat Debboune ; Source : Abbaoui, 2011.

3. Analyse morphologique :

3.1. Les critères de l'analyse :

Avant de délimiter les critères d'analyse, il fallait, d'abord, procéder à une décomposition morphologique des différents éléments qui composent la maison à patio suivant le procédé proposé par Duprat.

a) Thématisation :

Pour plus d'objectivité, la maison est considérée comme un objet simplifié composé de plusieurs éléments en négligeant ceux qui sont présents dans des maisons et absents dans d'autres (éléments architectoniques, petits décrochements...), les ouvertures ont aussi été négligées pour le fait que, dans les simulations on suppose que ces dernières sont fermées ce qui n'a pas un grand impact sur les écoulements aérodynamiques.

Pour passer de formes perceptibles à des formes intelligibles, il est essentiel de procéder à une décomposition élémentaire qui permet de les soumettre à des opérations.

b) La décomposition élémentaire :

Cette étape consiste à décomposer l'objet. « *L'analyse segmente en effet les formes en unités discrètes et définit les caractérisations de ces unités, puis repère leurs assemblages récurrents et en dégage les arrangements spécifiques.* ». (Duprat, 2014)

La décomposition est faite en admettant que la maison à patio est composée de deux éléments essentiels : le vide qui représente le patio, et le plein qui est la partie construite. La partie construite est elle-même composée de deux éléments qui sont : la construction et la toiture, que nous allons encore une fois décomposer. La construction est représentée par un volume parallélépipédique creux bordant le patio, en plus d'une courbe du côté intérieur du volume et de balcons de son côté extérieur. La toiture la plus courante dans les Harats est une toiture en tuile rouge à deux versants, mais il arrive qu'on trouve une composition de toitures à un seul versant dans une partie de la maison et une autre à deux versants couvrant une autre partie.

Les étapes de décomposition élémentaire, ainsi que les éléments qui en découlent et les caractéristiques mesurables des éléments sont présentés dans la figure ci-dessous :

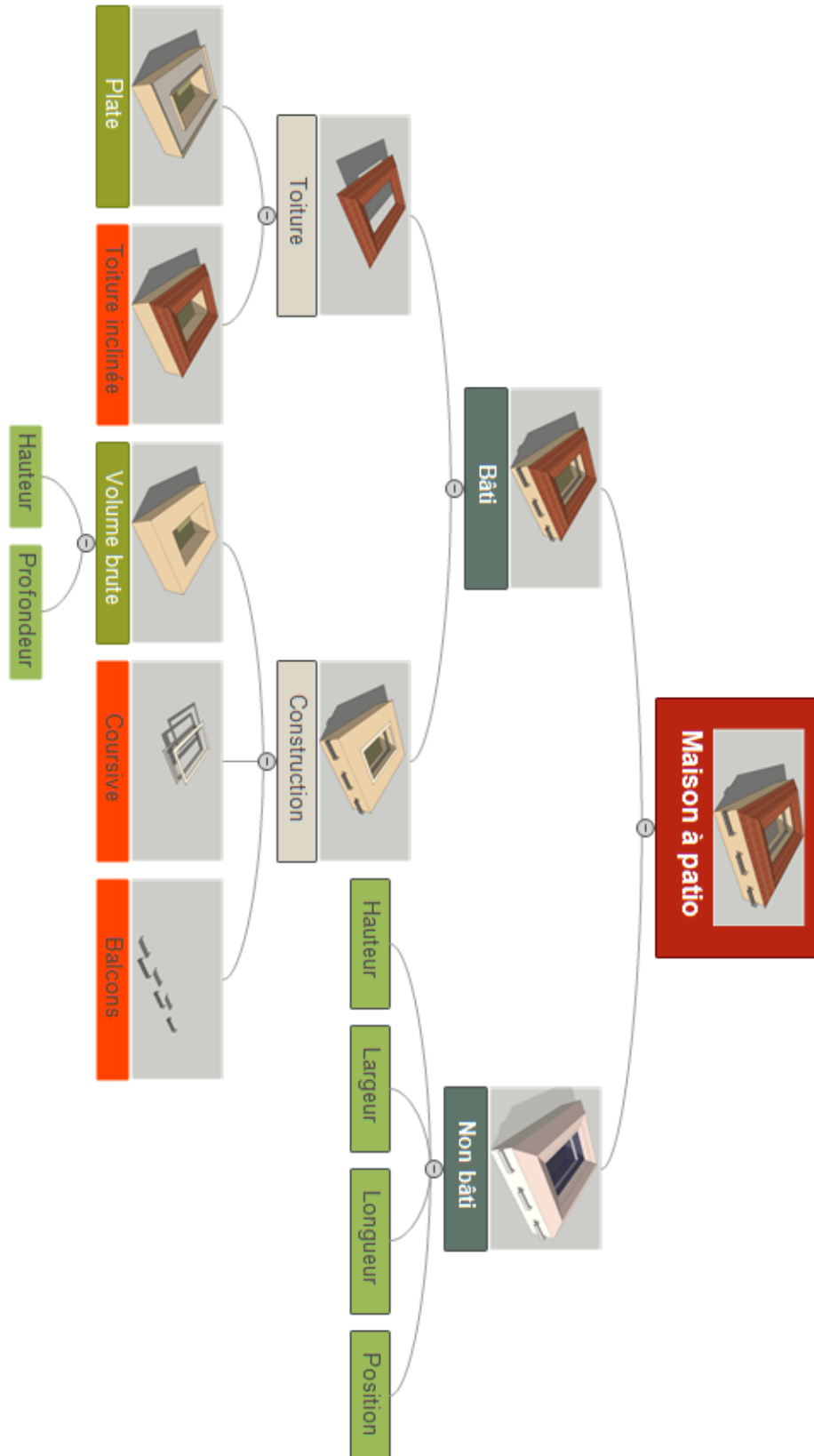


Figure 22: Exemple d'une décomposition morphologique d'une maison à patio ; Source : Auteur.

Les éléments retenus pour délimiter les critères à analyser ont pu être dégagés après la décomposition, et sont représentés en vert tandis que ceux qui sont rejetés ont de couleur rouge. La simplification du modèle de maison à patio a pour objectif la facilitation de l'étude pour qu'on puisse étudier l'impact de la morphologie du bâti sur les écoulements aérauliques. Les éléments écartés dans cette étude feront l'objet de futures recherches.

La configuration géométrique de la maison à patio (selon les deux éléments retenus) varie selon des critères suivants :

3.1.1. La forme de la silhouette de la maison : (la forme de la parcelle)

La forme de la silhouette suit généralement la forme de la parcelle. Du moment où la Harat est un type d'habitat urbain, elle s'inscrit dans milieu dense. Les maisons sont accolées les aux autres formant un masse bâtie compacte, d'où découle la forme de la maison. Donnant naissance à plusieurs formes géométriques qui varient d'une maison a une autre (carrée, rectangulaire ou rarement trapézoïdale). « Généralement, quand la superficie varie entre 450 et 800 m², la forme de la parcelle est rectangulaire, par contre, quand la superficie varie entre 320 et 400 m², la parcelle est presque carrée » (Abbaoui M. , 2011).

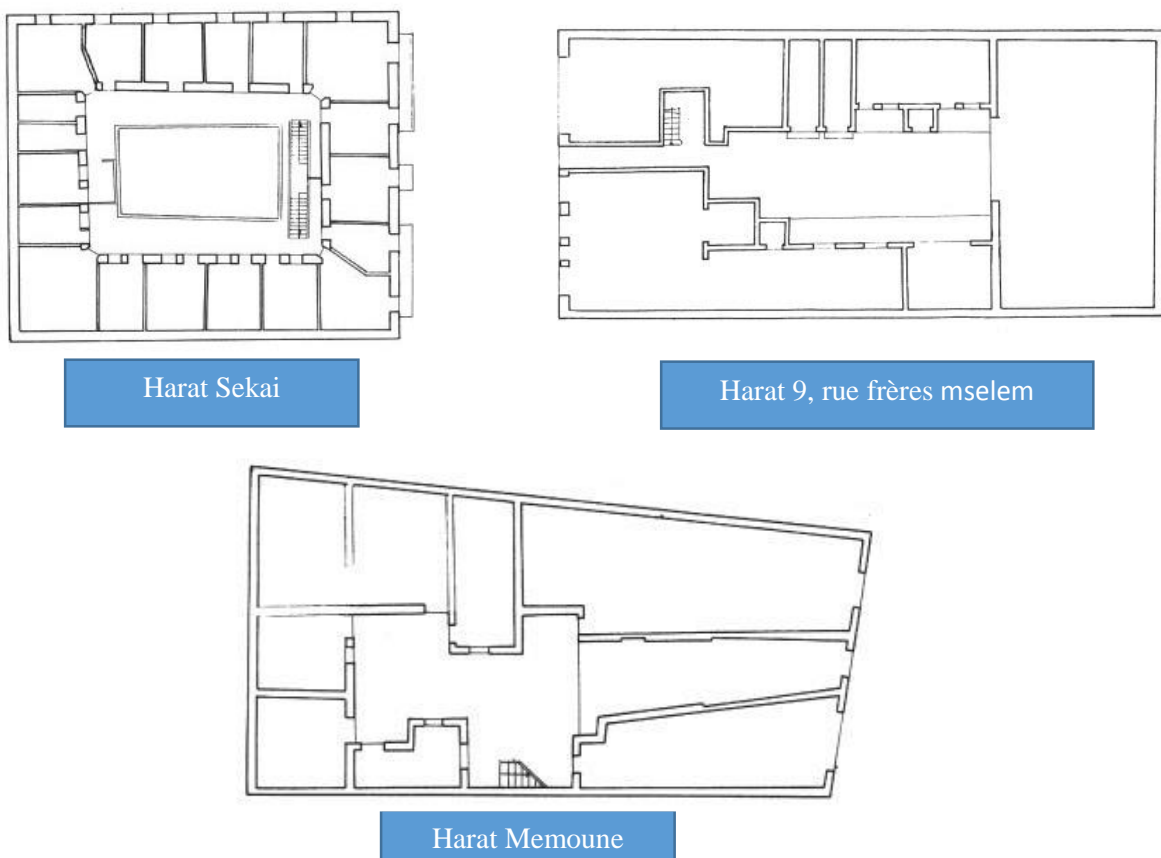


Figure 23: Exemple de Harats de formes différentes ; Source : Abbaoui, 2011.

3.1.2. La forme et les proportions du patio :

Il existe dans les *Harats* divers formes et proportions de patios, Allant du puits de lumière jusqu'à une cour collective polyvalente (ou se déroulent mariages et fêtes et les réunions). La géométrie et les proportions du patio dépendent essentiellement de la forme de la parcelle et du nombre des familles abrités dans la maison. On trouve une diversité de formes (carré, rectangulaire et rarement des formes géométriques complexes).

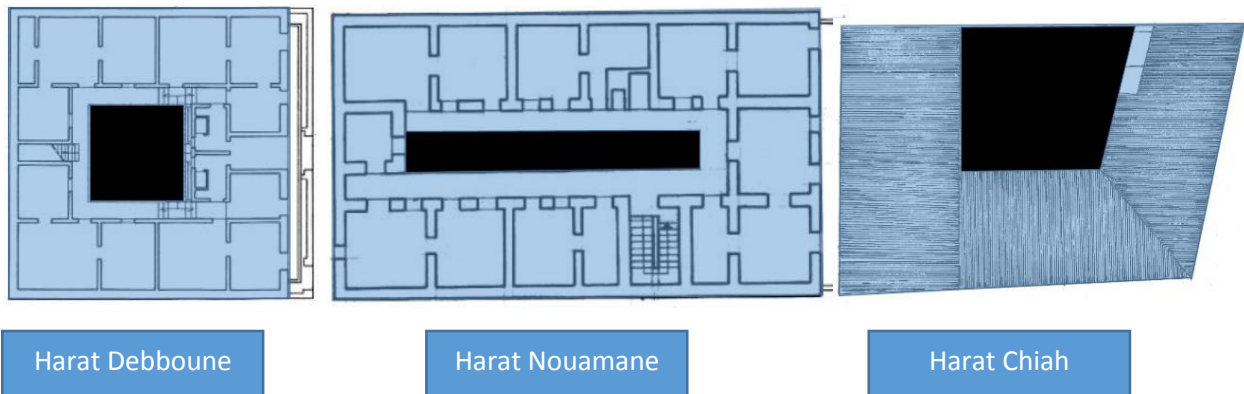


Figure 24: Exemple de Harats avec différentes formes de patios ; Source : Auteur, 2011.

3.1.3. Le rapport vide/plein :

Il arrive qu'on trouve des *Harats* qui occupent de grandes parcelles ayant de petits patios, comme on trouve des *Harats* occupants une petite parcelle et contenant des patios relativement vastes.

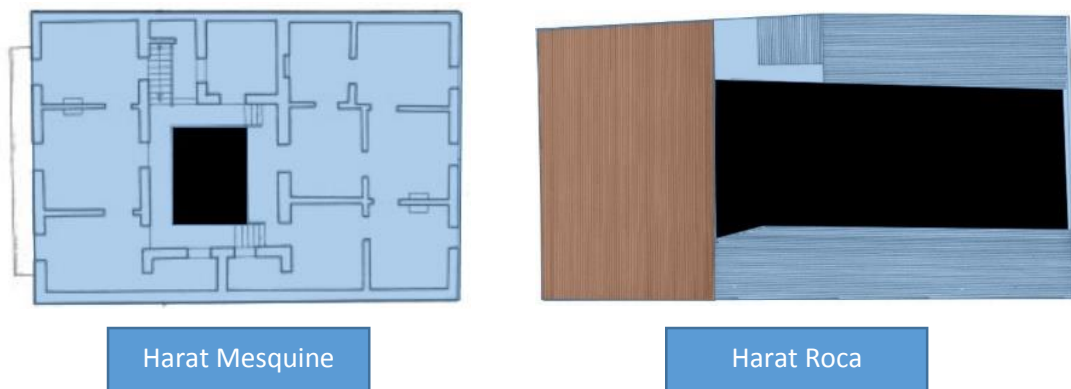


Figure 25: Exemple de Harats avec différents rapports Vide/Plain ; Source : Auteur.

3.1.4. La topologie : (position du patio)

Le patio dans ses différentes formes occupe diverses parties des maisons, il est généralement situé au centre de la maison (Type 1 et 3, figure 17). Comme il apparaît aussi du côté postérieur de la maison contourné par trois cotés ou situé dans un coin. (Type 2 et 4 figure 17).

3.2. Analyse et classification :

L'objectif de cette partie était au début de faire une classification typologique des maisons à patio à travers les critères précédemment cités. Cependant il s'est avéré que chaque Harat était unique dans son genre, on ne trouvait pas deux qui se ressemblaient. Cela semble peut être un inconvénient, mais d'un autre point de vue, c'est un énorme avantage témoignant de la diversité des éléments composant la large palette de morphologies des *Harats*. Nous avons donc opté pour une classification de chaque critère indépendamment des autres, dont nous allons classer différents types de silhouettes, de patios et de rapports vide/plein et de topologies.

3.2.1. Analyse de la topologie de la maison :

La position des patios a été étudiée à travers une analyse visuelle basée sur l'observation des plans du corpus, En localisant la position du patio par rapport à la maison.

Dans la figure 26, le patio est représenté en noir, tandis que le bleu et le marron représentent les parties bâties de la maison.

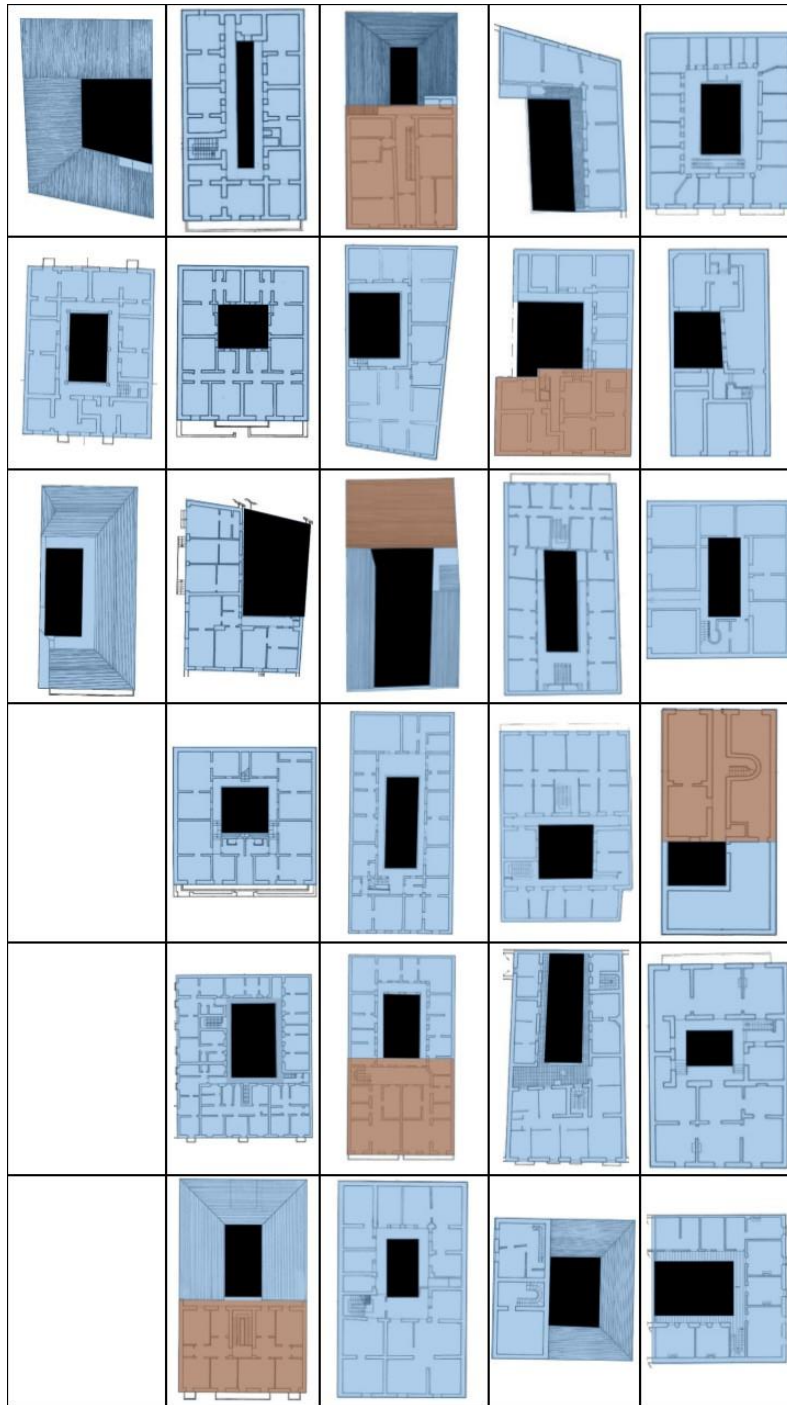


Figure 26: Ensemble des maisons analysées ; Source : Auteur.

3.2.2. Analyse de la forme de la silhouette :

L'analyse de la forme de la silhouette consiste à étudier les proportions de parcelle que suit la forme de la maison, en mesurant les dimensions de la maison et en calculant après le rapport à travers la formule suivante :

$$R_{\text{Silhouette}} = \frac{\text{Long}_{\text{Silhouette}}}{\text{Larg}_{\text{Silhouette}}} \quad (1)$$

Équation 1: Equation de calcul du ratio de la forme de la silhouette.

Après avoir calculé tous les rapports, on procède à une classification des résultats.

La démarche est expliquée ci-dessous :

- **Prendre les dimensions de la Harat :**

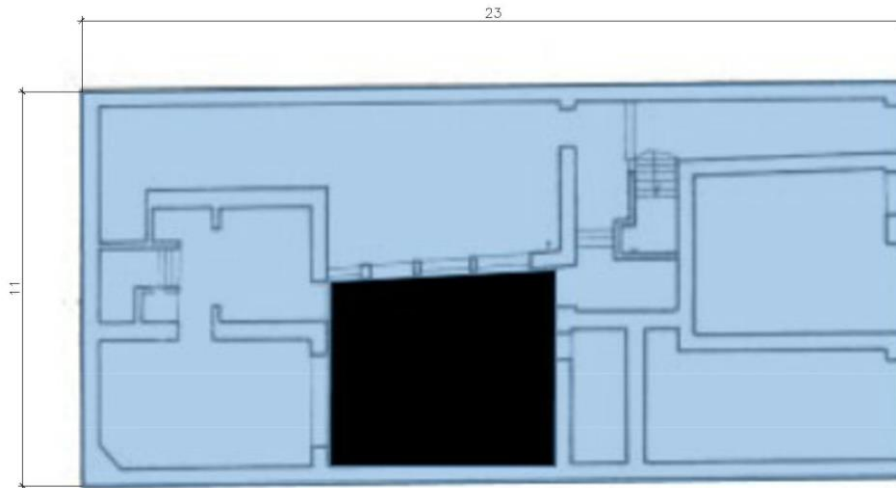


Figure 27: Prise des dimensions d'une Harat ; Source : Auteur.

- **Calcule du rapport $R_{Silhouette}$:**

Après la prise des dimensions des maisons, on applique l'équation (1) précédemment citée pour calculer le ratio de la silhouette.

Exemple :

$$R_{Silhouette} = \text{Long}_{Silhouette} / \text{Larg}_{Silhouette} \Rightarrow R_{Silhouette} = 23\text{m} / 11\text{m} = 2.09.$$

Le résultat 2.09 représente l'indice de proportions de la silhouette de la maison, dans le cas de notre exemple, la longueur fait deux (2) fois la largeur de la maison.

Cette démarche a été appliquée sur tout le corpus (27 maisons et donc 27 silhouette) pour faire ressortir les différentes proportions de silhouettes existantes.

3.2.3. Analyse de la forme et des proportions du patio :

L'analyse de la forme et les proportions du patio consiste à étudier les proportions du patio en mesurant les dimensions du patio, en calculant après le rapport à travers la formule suivante :

$$R_{Patio} = \text{long}_{Patio} / \text{large}_{Patio} \quad (2)$$

Équation 2: Equation de calcul du ratio de la forme et les proportions du patio.

Après avoir calculé tous les rapports, on procède à une classification des résultats.

La démarche utilisée est la même qu'on a utilisé dans le calcul des rapports des silhouettes :

- **Prendre les dimensions du patio :**

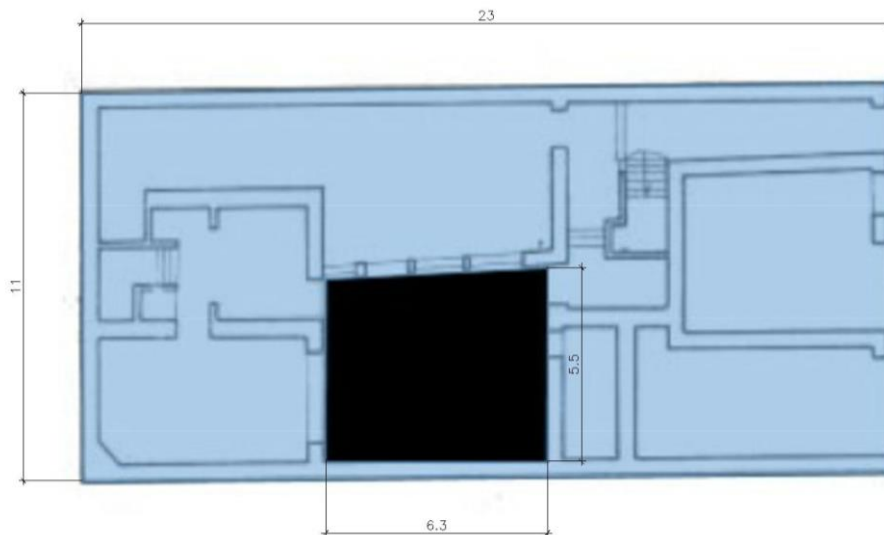


Figure 28: Prise des dimensions du patio ; Source : Auteur.

- **Calcul du rapport R_{Patio} :**

Après la prise des dimensions des maisons, on applique l'équation (2) précédemment citée pour calculer le ratio du patio.

Exemple :

$$R_{Patio} = \text{Long}_{Patio} / \text{Larg}_{Patio} \Rightarrow R_{Patio} = 6.3\text{m} / 5.5\text{m} = 1.14.$$

Le résultat 1.14 représente l'indice de proportions du patio de la maison, dans le cas de notre exemple, la longueur est presque égale à la largeur de la maison, ce qui signifie que la maison a un patio de forme carrée.

3.2.4. Analyse du rapport Vide/Plein :

L'analyse du pourcentage du Vide/plein consiste à étudier l'envergure du patio par rapport à la taille globale de la maison. Pour cela on doit disposer des dimensions de la parcelle et celles du patio pour calculer les surfaces, et le pourcentage du vide que crée le patio par rapport à la surface de la parcelle de la maison en utilisant la formule suivante :

$$P_{V/P} (\%) = (\text{Surface}_{\text{Patio}} \times 100) / \text{Surface}_{\text{Parcelle}} \quad (3)$$

Équation 3: Equation de calcul du pourcentage du Vide par rapport au plain.

Après avoir calculé tous les pourcentages on procède à une classification.

La démarche utilisée dans le calcul des pourcentages est expliquée ci-dessous :

- **Prendre les dimensions de la silhouette et du patio :**

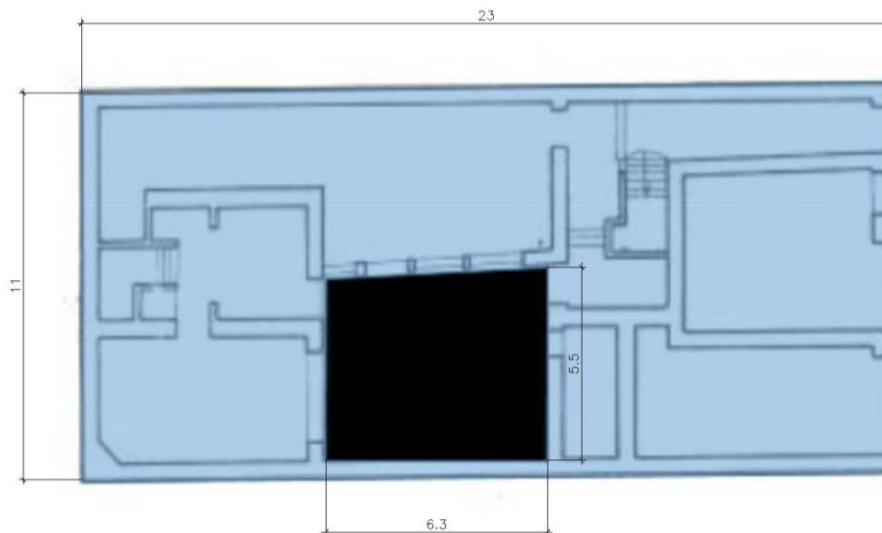


Figure 29: Prise des dimensions de la silhouette et du patio ; Source : Auteur.

- **Calcul des surfaces :**

Après avoir pris les dimensions de la silhouette et celles du patio, on procède au calcul des surfaces (celle de la parcelle et celle du patio)

- **Calcul du pourcentage du vide par rapport au plain :**

Une fois les surfaces calculées, on applique l'équation (3) pour calculer le pourcentage du vide par rapport au plein.

Exemple :

D'après la figure 29 :

$$\text{Surface}_{\text{Parcelle}} = \text{Long}_{\text{Parcelle}} \times \text{Larg}_{\text{Parcelle}} \Rightarrow \text{Surface}_{\text{Parcelle}} = 23\text{m} \times 11\text{m} = 253 \text{ m}^2$$

$$\text{Surface}_{\text{Patio}} = \text{Long}_{\text{Patio}} \times \text{Larg}_{\text{Patio}} \Rightarrow \text{Surface}_{\text{Patio}} = 6.3\text{m} \times 5.5\text{m} = 34.65 \text{ m}^2$$

Une fois qu'on a les surfaces de la parcelle et celle du patio, on peut procéder au calcul du pourcentage du vide par rapport au plein.

$$\text{P}_{V/P} (\%) = (\text{Surface}_{\text{Patio}} \times 100) / \text{Surface}_{\text{Parcelle}} \Rightarrow \text{P}_{V/P} = (34.65 \text{ m}^2 \times 100) / 253 \text{ m}^2 = \mathbf{13.70 \%}$$

Le résultat 13.70 % représente le pourcentage d'occupation du patio dans la parcelle de la maison, dans le cas de notre exemple, le patio occupe 14 % de la surface totale de la maison.

3.3. Résultats de l'analyse :

Après avoir procédé à l'analyse précédemment décrite, nous sommes arrivés à faire ressortir des types par rapport à chaque critère, que nous allons aborder dans cette partie du chapitre, qui vont servir à composer un corpus théorique, sur lequel nous allons appliquer des simulations CFD pour comprendre l'impact de la variation de chaque critère sur les écoulements aérodynamiques.

Les résultats obtenus sont comme ci-de suite :

3.3.1. La topologie de la maison :

En analysant la géométrie, et la topologie des plans des maisons du corpus regroupé nous avons pu dégager quatre types de maisons :

- **Type 1 :**

La maison se compose de deux parties qui contournent le patio ; une partie frontale relativement large, et une partie postérieure, qui borde le patio de trois côtés, qui est moins large que la partie frontale. La largeur de la partie frontale est justifiée par la présence d'appartements habités par les colons, tandis que la partie postérieure est moins large, ceci se justifie par le fait qu'elle abrite des unités familiales, destinées aux locataires, qui donnent sur le patio.

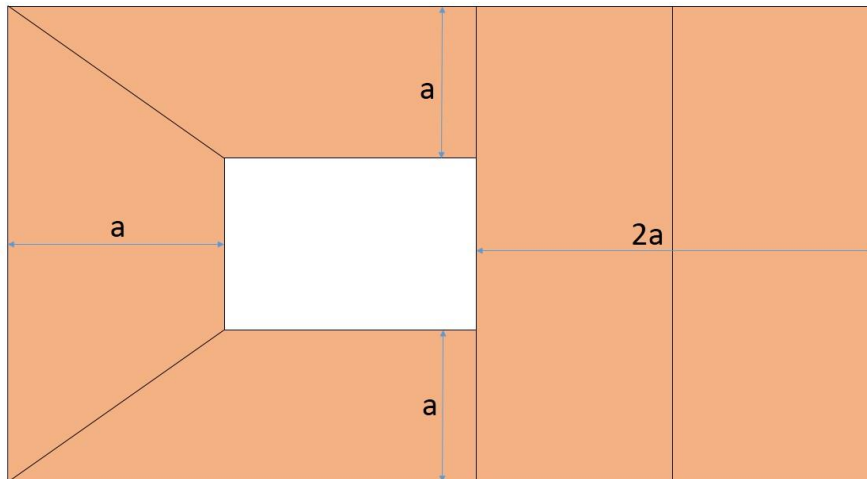


Figure 30: Topologie -type 1 ; Source : Auteur.

- **Type 2 :**

La maison a une configuration assez simple, dont le patio occupe la partie centrale de la maison bordé par des unités familiales ce qui a fait que tous les bords ont la même largeur.

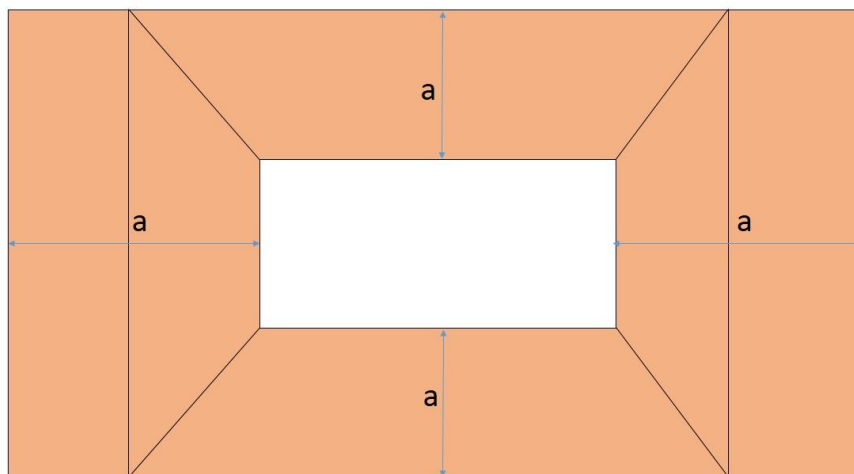


Figure 31: Topologie -type 2 ; Source : Auteur.

- **Type 3 :**

Tout comme le type 2, ce type ne se compose que d'unités familiales ce qui justifie l'égalité de la largeur des bords du patio. Sauf que dans ce type le patio n'est bordé que de trois côtés, l'un des bords latéraux représente un mur mitoyen.

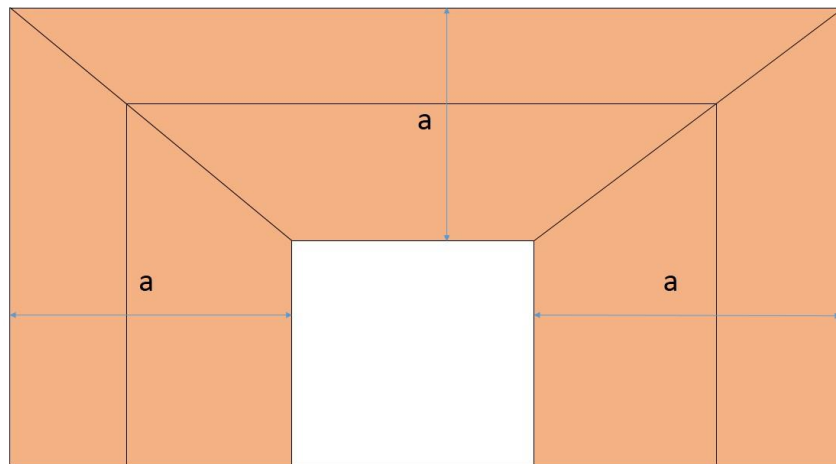


Figure 32: Topologie -type 3 ; Source : Auteur.

- **Type 4 :**

Tout comme le type 1, ce type de maisons se compose de deux parties ; Une partie frontale, occupée par les appartements des colons, plus large que les deux parties latérales, qui se compose d'unités familiales, qui donnent sur le patio.

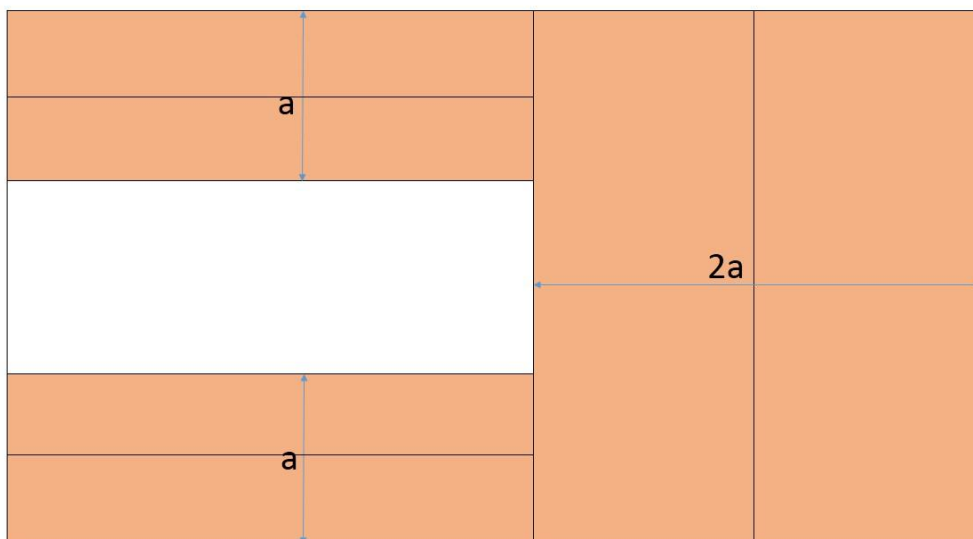


Figure 33: Topologie -type 4 ; Source : Auteur.

3.3.2. La forme de la silhouette :

Après l'analyse morphologique précédemment expliquée, on a pu définir trois familles de silhouettes :

➤ **Type 1 :**

Les *Harats* avec lesquelles on a obtenus un rapport $R_{Silhouette}$ compris entre **1 et 1.2** ont une forme plus au moins **carrée**. Les *Harats* ayant cette forme sont :

Harats Carrée = (H₁, H₃, H₆, H₁₂, H₂₀, H₂₁, H₂₃, H₂₄) (Voir annexe I)

➤ **Type 2 :**

Les *Harats* avec lesquelles on a obtenus un rapport $R_{Silhouette}$ compris entre **1.4 et 1.7** ont une forme rectangulaire dont la **longueur fait une fois et demie la largeur**. Nous allons appeler ce type de *Harats* pour dans le reste de notre étude **R_{1.5}**. Les *Harats* ayant cette forme sont :

Harats R_{1.5} = (H₅, H₈, H₁₀, H₁₃, H₁₉, H₂₅, H₂₇) (Voir annexe I)

➤ **Type 3 :**

Les *Harats* avec lesquelles on a obtenus un rapport $R_{Silhouette}$ compris entre **1.9 et 2.2** ont une forme rectangulaire dont **la longueur fait deux fois la largeur**. Nous allons appeler ce type de *Harats* pour dans le reste de notre étude **R₂**. Les *Harats* ayant cette forme sont :

Harats R₂ = (H₂, H₄, H₉, H₁₁, H₁₅, H₁₆, H₁₈) (Voir annexe I)

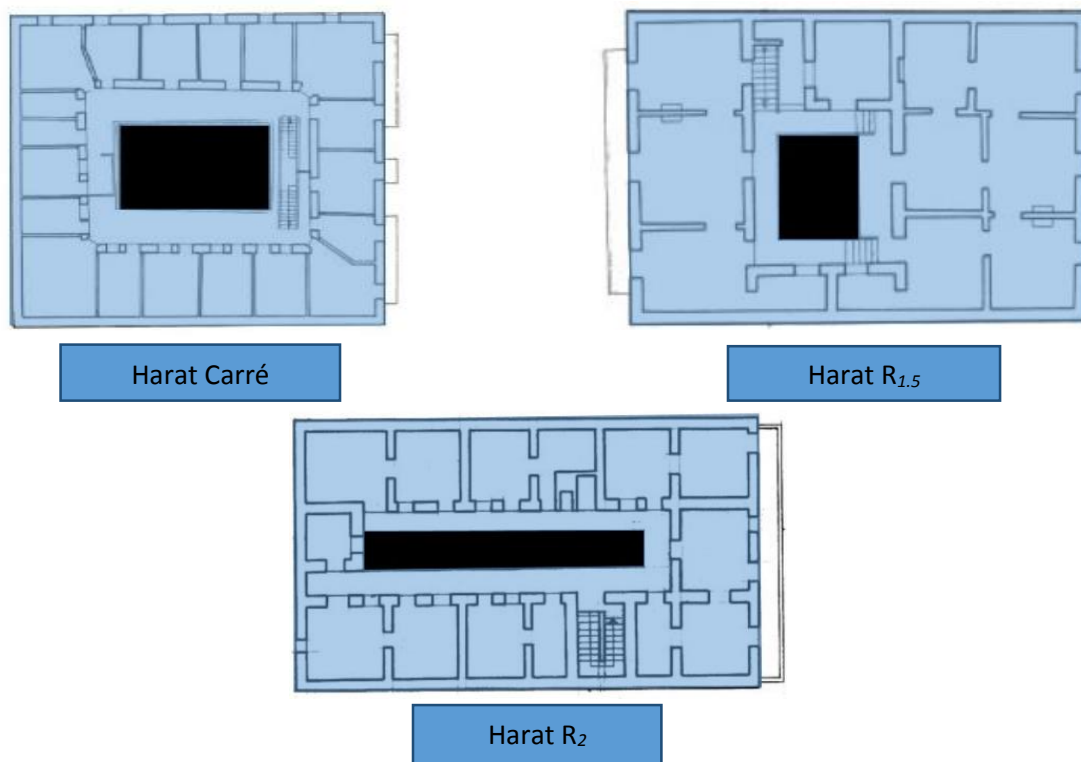


Figure 34: Exemple des trois types de silhouettes ; Source : Auteur.

3.3.3. La forme du patio :

Les *Harats* ont pu être classées dans quatre familles selon la forme de leurs patios exprimée par le rapport R_{Patio} :

➤ Type 1 :

Les patios dont le rapport R_{Patio} est compris entre **1 et 1.2** sont des patios de forme plus ou moins **carré** que nous allons l'appeler (**P_C**). Les patios ayant cette forme sont :

Patio Carrée (P_C) = (H₂, H₅, H₇, H₉, H₂₁, H₂₃) (Voir annexe I)

➤ Type 2 :

Les patios dont le rapport R_{Patio} est compris entre 1.4 et 1.7 sont des patios de forme rectangulaire dont la longueur est égale à une fois et demie la largeur, que nous allons appeler $P_{1.5}$. Les patios ayant cette forme sont :

Patio $P_{1.5}$ = (H₁, H₄, H₆, H₁₂, H₁₈, H₂₄) (Voir annexe I)

➤ Type 3 :

Les patios dont le rapport R_{Patio} est compris entre **1.9 et 2.2**, sont des patios de forme rectangulaire, dont **la longueur fait, plus ou moins, deux fois sa largeur**. Nous allons appeler ce type de patios dans la suite de notre étude **P₂**. Les patios ayant cette forme sont :

Patio P_2 = (H₁₃, H₁₄, H₁₉, H₂₅) (Voir annexe I)

➤ Type 4 :

Les patios dont le rapport R_{Patio} est compris entre **2.8 et 3.1**, sont des patios de forme rectangulaire, dont **la longueur fait, plus ou moins, trois fois sa largeur**, que nous allons appeler dans la suite de notre étude **P₃**. Les patios ayant cette forme sont :

Patio P_3 = (H₃, H₈, H₁₀, H₁₁, H₁₆) (Voir annexe I)

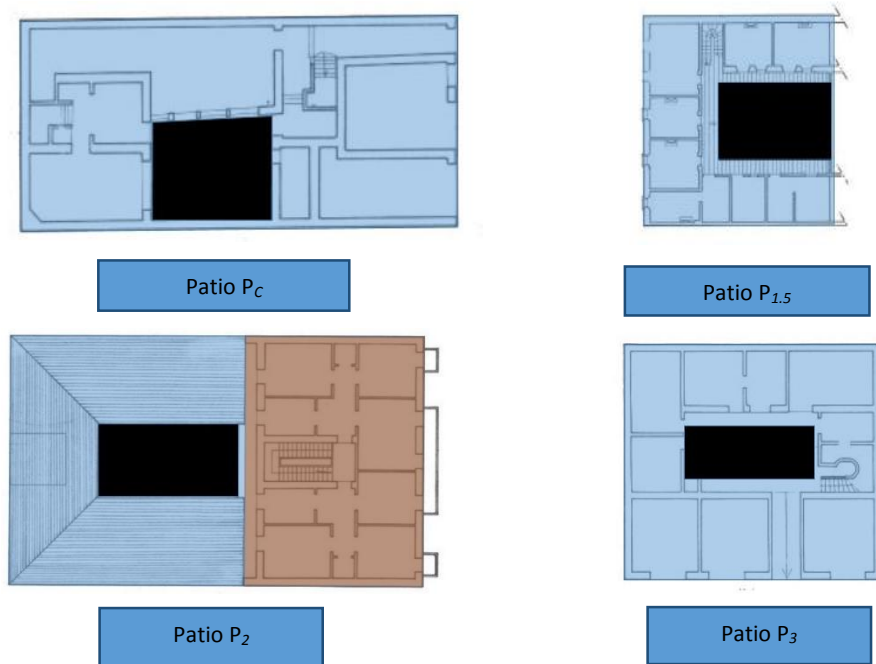


Figure 35: Exemple des quatre types de patios ; Source : Auteur.

3.3.4. Le rapport Vide/Plein :

La surface du patio par rapport à celle de la maison varie d'une maison à une autre, après avoir analysé les *Harats* on a trouvé que l'envergure du patio par rapport à la surface totale de la maison peut être classée selon quatre groupes :

➤ Type 1 :

Les maisons dont le rapport $P_{V/P}$ est compris entre **5 à 6%** de la surface totale de la maison sont des maisons dont **le patio est relativement petit** et qui ne représente que 5% de la surface totale de la maison. Ce type de maisons va être appelé dans la suite de notre étude **P_{5%}**. Les maisons ayant un très petit patio de 5% sont :

$P_{5\%} = (H_5, H_{13}, H_{14}, H_{19}, H_{20})$ (Voir annexe I)

➤ Type 2 :

Les maisons dont le rapport $P_{V/P}$ est compris entre **9 à 11%** de la surface totale de la maison sont des maisons dont **le patio d'autant moins petit** que le type précédant et qui représente 10% de la surface totale de la maison. Ce type de maisons va être appelé dans la suite de notre étude **P_{10%}**. Les maisons ayant un petit patio de 10% sont :

$P_{10\%} = (H_1, H_4, H_{10}, H_{16}, H_{18}, H_{21}, H_{23}, H_{25}, H_{27})$ (Voir annexe I)

➤ **Type 3 :**

Les maisons dont le rapport $P_{V/P}$ est compris entre **14 à 17%** de la surface totale de la maison sont des maisons dont **le patio est d'une taille moyenne** par rapport aux types précédant et qui représente 15% de la surface totale de la maison. Ce type de maisons va être appelé dans la suite de notre étude **$P_{15\%}$** . Les maisons ayant un patio de 15% sont :

$P_{15\%} = (H_2, H_3, H_8, H_{11}, H_{12}, H_{24}, H_{28})$ (Voir annexe I)

➤ **Type 4 :**

Les maisons dont le rapport $P_{V/P}$ est **supérieur à 20%** de la surface totale de la maison sont des maisons dont **le patio est relativement grand** par rapport aux types précédant et qui représente 20% de la surface totale de la maison. Ce type de maisons va être appelé dans la suite de notre étude **$P_{20\%}$** . Les maisons ayant un très grand patio de 20% sont :

$P_{20\%} = (H_6, H_7, H_9, H_{15}, H_{22}, H_{26})$ (Voir annexe I)

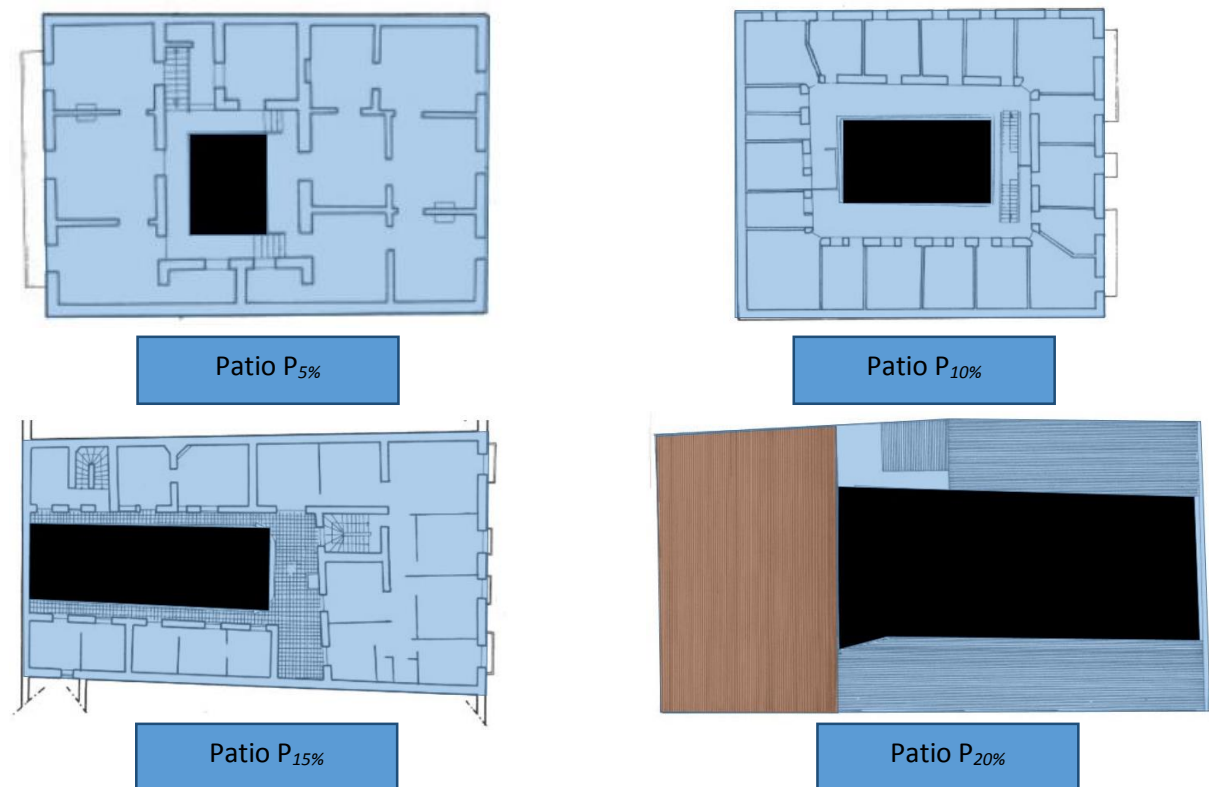


Figure 36: Exemple des quatre tailles de patios ; Source : Auteur.

Conclusion :

La *Harat* est à la base une maison coloniale approprié par la population Setifiènne, en développant les structures spatiales de la maison traditionnelle précoloniale au sein des espaces de la maison coloniale. Il s'agit de la première organisation qu'a connue le centre-ville de Sétif. Elle se caractérise par une enveloppe homogène faite par des murs épais en pierre, une toiture en tuile rouge et un traitement de façade très simple.

La *Harat* est un type d'habitat communautaire, dont la morphologie et la configuration spatiale facilite les rapports de cohabitation, un système compact et introverti qui favorise l'être et non le paraître. Les espaces nommés culturellement *Atba*, *Dakhla*, *Haouche*, *Béite*, *Satha*, *Stiha*, *Stah*, se sont superposés et se sont greffés sur les espaces intérieurs de la maison coloniale pour constituer l'espace conforme au modèle culturel local. Notamment le *Haouche*, qui représente un véritable centre de la *harat*, c'est le poumon qui permet aux *unités familiales* qui l'entourant de changer d'air. C'est lui qui leur procure la lumière naturelle et renforce les relations de voisinage et qui permettait la cohabitation entre les différents habitants de différentes cultures sous le même toit. A lui seul, il rassemble tous les services que se partagent les familles.

Les espaces intérieurs précédemment cités ne sont pas présents dans toutes les *Harats* de Sétif, chaque *Harat* à ses propres espaces, sa propre composition et ses propres particularités. Ceci témoigne de la richesse et diversité des *Harats* qui existent dans un même périmètre.

L'analyse morphologique nous a permis de faire ressortir les différents éléments qui varient d'une *Harat* à une autre et de les classer dans des groupes afin de les étudier par la suite, La décomposition de la *Harat* en éléments va nous permettre, dans le prochain chapitre, de les recomposer, afin d'étudier chaque d'entre eux indépendamment des autres.



Chapitre IV :

Approche expérimentale

Introduction :

L'étude menée consiste à établir un rapport de cause à effet entre les variables, elle vise à mettre en exergue l'effet que porte la géométrie sur les écoulements aérauliques. Afin d'établir un lien entre les deux variables indépendante (la morphologie) et dépendante (écoulements aérauliques), nous allons d'abord établir un corpus théorique qui traite chacun des critères dégagés dans le chapitre précédent, indépendamment des autres. Et étudier par la suite les effets que porte chaque critère sur la vitesse, la pression et la direction des vents à travers une simulation CFD.

La première partie traite donc la composition d'un corpus théorique, en combinant les différents critères de manière à ce que l'on puisse étudier l'effet de chacun indépendamment des autres en fixant tous ces derniers et en variant un seul d'entre eux.

La deuxième partie consiste à simuler l'écoulement des vents autour de chacune des configurations du corpus, obtenues après la recombposition, Sous les conditions aérauliques de la ville de Sétif dans la saison hivernale et estivale.

1. Composition du corpus théorique :

On a cherché, à travers l'analyse morphologique, les critères les plus judicieux dans notre définition du corpus afin de traiter chaque variable séparément de manière à pouvoir dégager son effet sur les écoulements aérauliques, et donc sur le confort aéraulique et la ventilation naturelle.

L'analyse morphologique consistait donc à décomposer la Harat en éléments, puis étudier chaque élément a part, pour qu'en suite recomposer ces derniers de façon à ce que l'on obtienne des entités comparables entre elles, en mettant en exergue l'effet de la variation de chaque élément.

Les éléments de composition sont présentés dans la figure suivante :

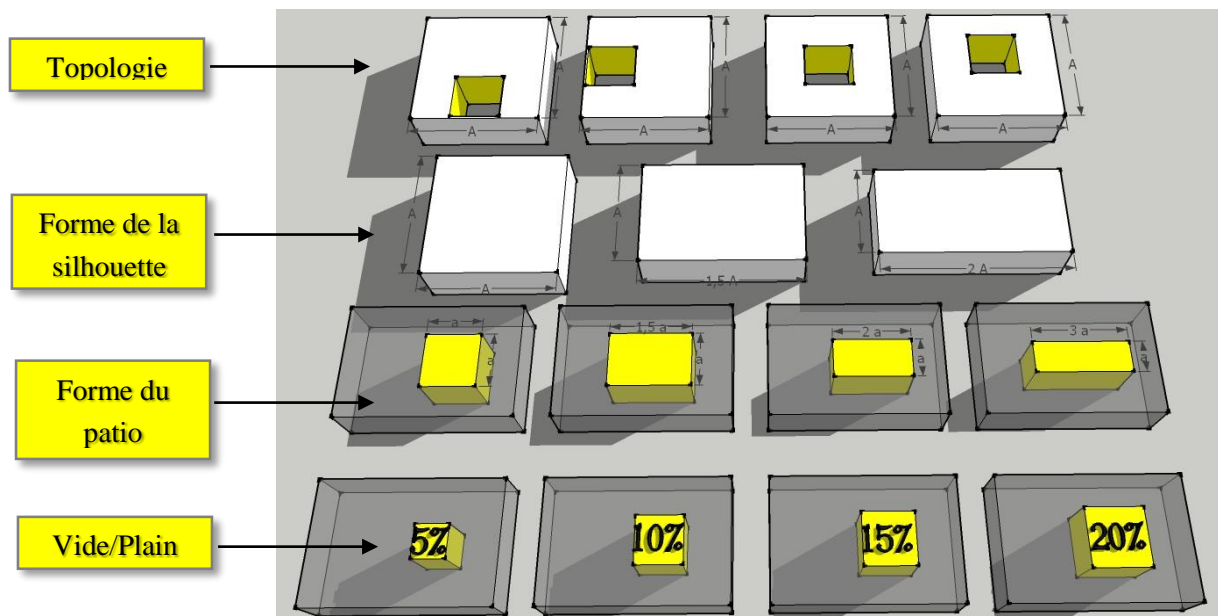


Figure 1: Les variables de la recombinaison du corpus théorique ; Source : Auteur.

Pour composer ce corpus nous avons procédé comme ci-de suite :

1.1. Fixer la forme de la silhouette :

La silhouette, comme il a déjà été étudié au paravent, varie selon trois formes, dont chaque forme représentera une grande famille dans laquelle varient les autres critères sous forme de sous familles.

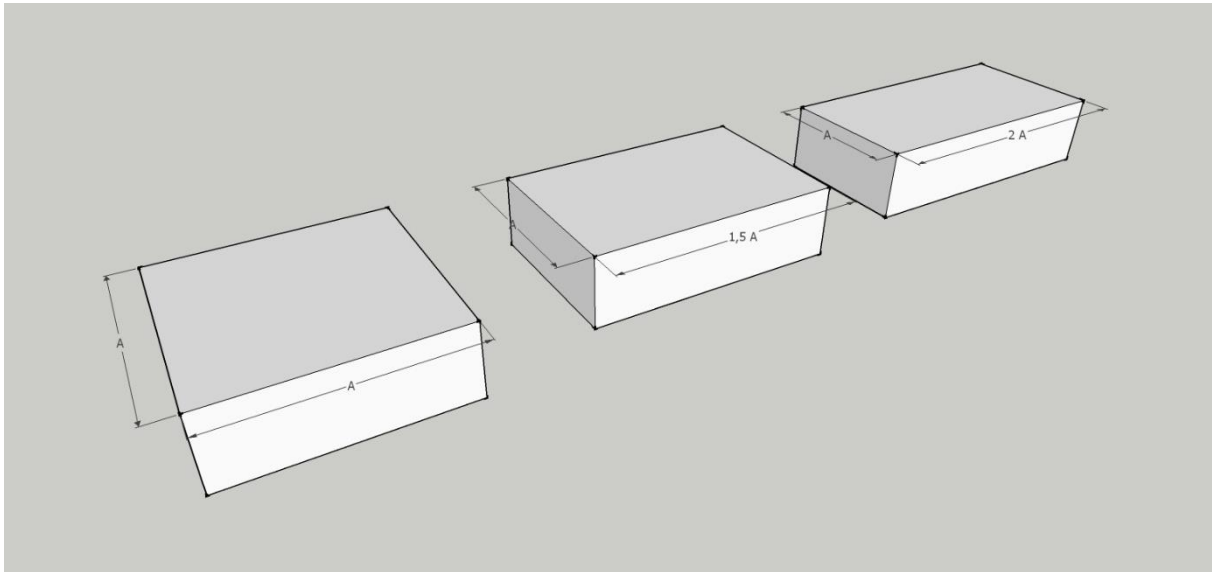


Figure 2: Différentes formes de silhouettes ; Source : Auteur.

1.2. Fixer la configuration géométrique :

A l'intérieur de chaque famille de silhouettes, on trouve deux grandes configurations géométriques. Celle où le patio occupe le centre de la maison, et l'autre dont il se positionne à une extrémité de la maison bordé par trois côtés.

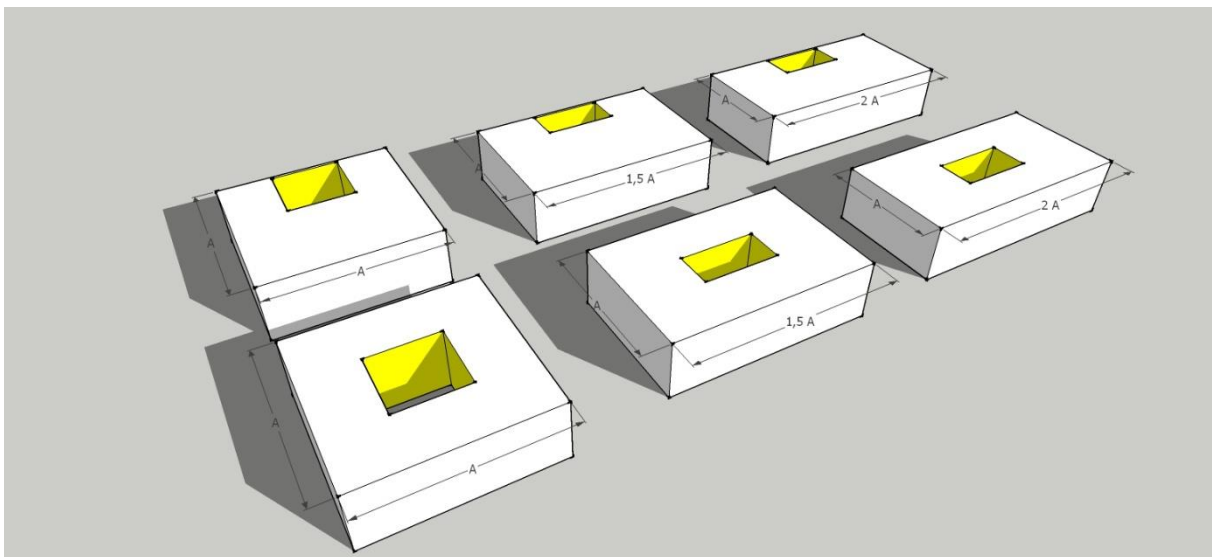


Figure 3: Différentes formes de configurations géométriques ; Source : Auteur.

1.3. Fixer la topologie :

A l'intérieur des deux sous familles de configurations géométriques, le patio se positionne différemment dans une même famille. C'est-à-dire, la forme évidée du centre par un patio comporte en elle-même deux positions différentes, celle où le patio se positionne exactement au centre, et l'autre où le patio est éloigné de la façade principale vers le derrière.

La même chose pour le cas où le patio est bordé de trois côtés à l'extrémité de la maison, on trouve une configuration de patio en longueur, dont le patio est au côté arrière de la maison et un autre en largeur ou le patio est situé sur l'un des deux côtés latéraux de la maison.

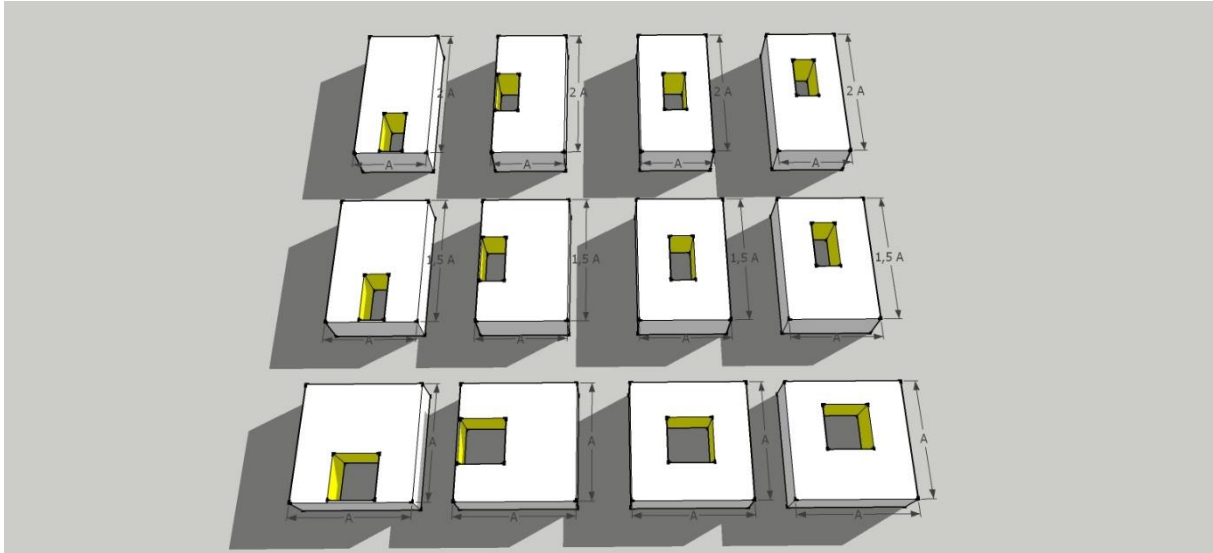


Figure 4: Différents types de topologies ; Source : Auteur.

A ce point de la composition nous avons pu dégager douze configurations.

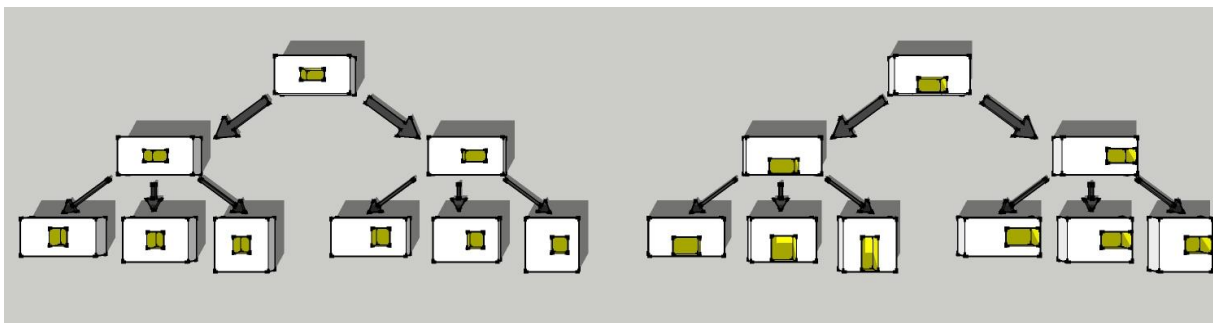


Figure 5: Schéma explicatif des étapes de composition ; Source : Auteur.

Après avoir intégré les deux critères restants qui sont la forme du patio et le rapport d'envergure du patio, nous sommes arrivés à dégager 30 variantes, qui sont illustrées dans la figure suivante :

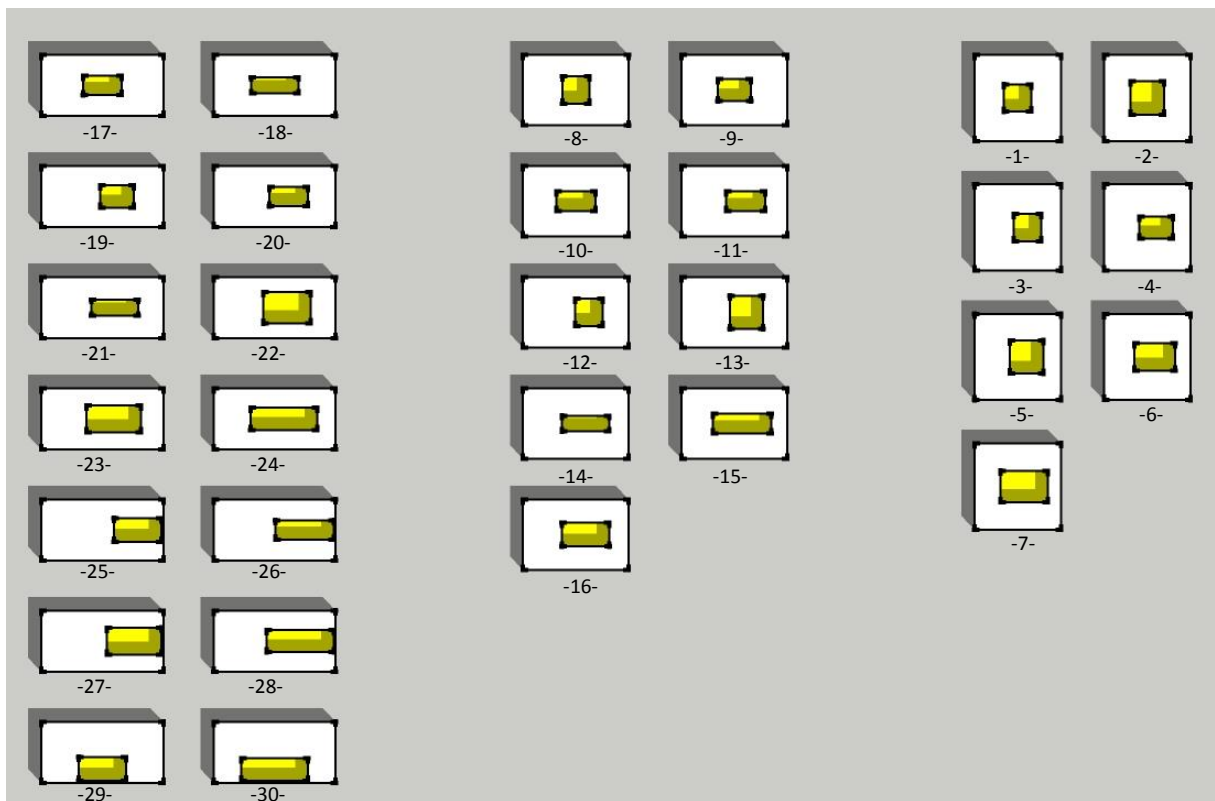
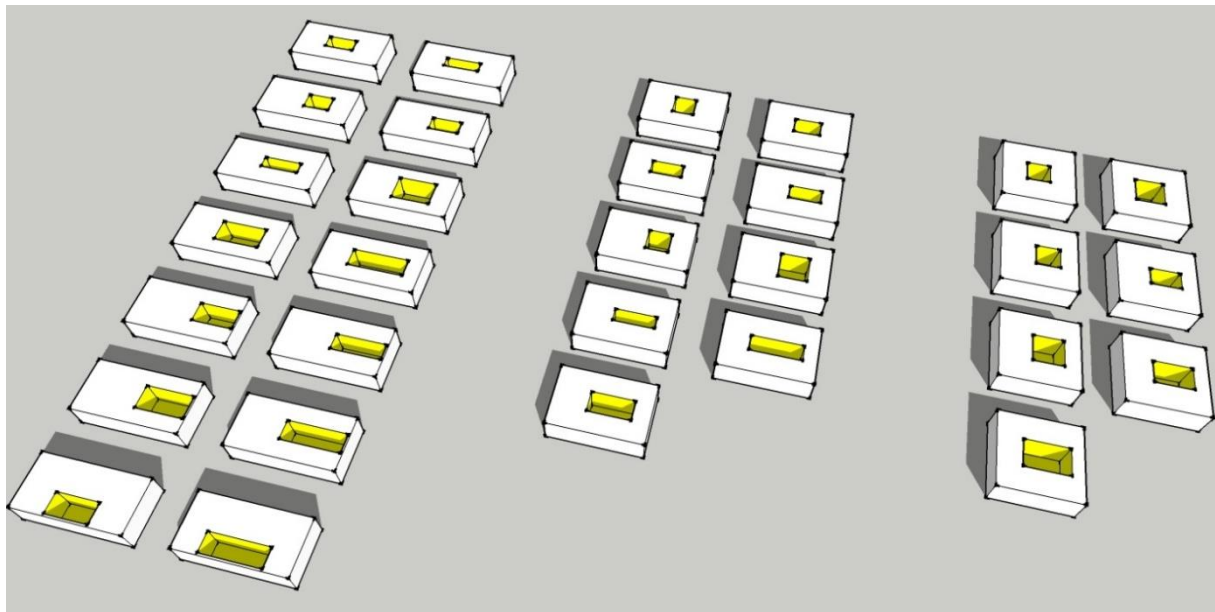


Figure 6 : Résultats de la composition du corpus d'analyse ; Source : Auteur.

2. Simulations CFD :

2.1. A propos de la CFD :

2.1.1. Historique de la dynamique des fluides :

2.1.1.1. XVIIe et XVIIIe siècles :

Après le début de la renaissance et au cours des XVIIe et XVIIIe siècles, de nombreuses contributions importantes ont été apportées. Il s'agit notamment des avancées théoriques et mathématiques associées aux grands noms tels que :

- **Daniel Bernoulli** (1700-1782) dérivée de l'équation de Bernoulli,
- **Leonhard Euler** (1707-1783) a proposé les équations d'Euler, qui s'applique dans le cas d'un fluide parfait qui s'écoulent sans résistance (viscosité nulle), il a également proposé la théorie des écoulements à potentiel de vitesse.
- **Claude Louis Marie Henri Navier** (1785-1836) et **George Gabriel Stokes** (1819-1903), qui ont introduit le transport des fluides visqueux dans l'équation d'Euler, et qui ont abouti à l'équation de **Navier-Stokes**, cette dernière constitue la base de moderne CFD.
- Le paradoxe de **d'Alembert** (1717–1783) “Un corps se mouvant à vitesse constante dans un fluide parfait ne subit ni traînée ni portance.”
- **Osborne Reynolds** (1842–1912) Il est plus connu pour le nombre de Reynolds, qui est le rapport entre les forces d'inertie et les forces visqueuses. Il caractérise un écoulement, en particulier la nature de son régime (laminaire, transitoire, turbulent). (La figure)

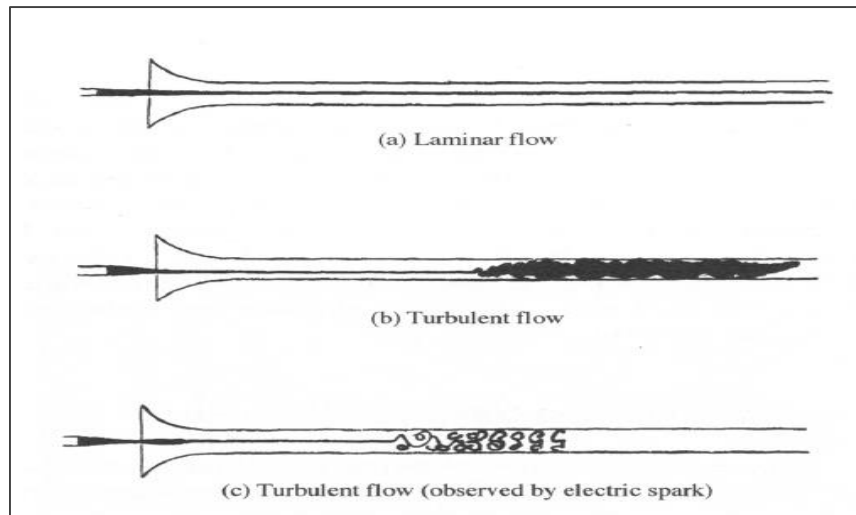


Figure 7 : La nature de l'écoulement (laminaire, transitoire, turbulent) par Osborne Reynolds.

2.1.1.2. La première partie du 20^{ème} siècle :

Cette période est caractérisée par le travail qui a été fait sur le raffinement de la théorie de la couche limite turbulente.

- **Ludwig Prandtl** (1875-1953), la théorie de la couche limite, l'écoulement compressible, le nombre de *Prandtl*, etc...
- **Theodore Von Karman** (1881-1963) a analysé ce qui est maintenant connu sous le nom d'allée de tourbillons de *Karman*. (Figure 8)

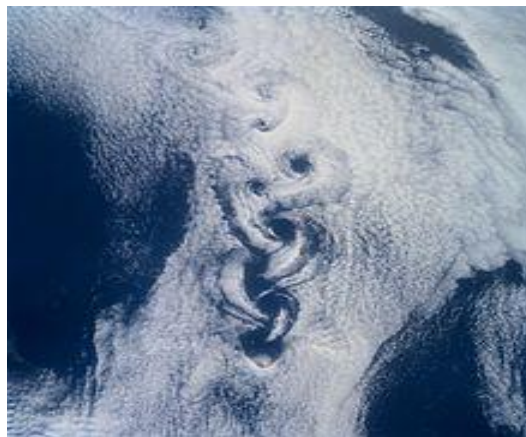


Figure 8 : Allée de tourbillons de Karman

- **Geoffrey Ingram Taylor** (1886-1975), la théorie statistique de la turbulence et la *micro-échelle de Taylor*.
- **Andrey Nikolaevich Kolmogorov** (1903-1987), La dimension de *Kolmogorov* est l'échelle spatiale à partir de laquelle la viscosité permet de dissiper l'énergie cinétique d'un écoulement.

- **George Keith Batchelor** (1920-2000), la contribution à la théorie de la turbulence homogène.
- **Lewis Fry Richardson** (1881-1953) développait en 1922 le premier système numérique de prévision météorologique. *Richardson* découpait le globe en une grille rectangulaire de 230 km (en latitude) sur 200 km (en longitude), ce qui donnait 3 200 colonnes verticales autour de la terre.

2.1.1.3. La deuxième partie du 20^{ème} siècle :

Pendant les années **1960**, la division théorique à Los Alamos a contribué beaucoup les méthodes numériques qui sont encore en usage aujourd'hui, à titre d'exemple nous trouvons les méthodes suivantes :

- *Particle-In-Cell (PIC)*.
- *Marker-and-Cell (MAC)*.
- *Vorticity-Streamfunction Methods*
- *Arbitrary Lagrangian-Eulerian (ALE)*.
- *k-e turbulence model*.

Au cours des années **1970**, un groupe de travail à l'Imperial Collège, Londres, développé :

- *Parabolic flow codes (GENMIX)*.
- *Vorticity-Streamfunction based codes*.
- *The SIMPLE algorithm and the TEACH code*.
- *The form of the k-e equations that are used today*.
- *Upwind differencing*.
- *Eddy break-up' and 'presumed pdf' combustion models*.

En 1980, l'utilisation de l'analyse numérique de transfert de chaleur et d'écoulement des fluides. Ce qui nous observons dans les écrits de **SuhasV.Patankar** dans son livre le plus influent sur la CFD « *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow* ».

L'année **1990**, a été caractérisée par l'utilisation des logiciels CFD commerciaux pour l'analyse et la simulation des phénomènes, et qui sont encore en usage aujourd'hui tels que :

- *Fluent (UK, US)*.
- *CFX (UK, Canada)*.
- *Fidap (US)*.
- *Polyflow (Belgique)*.

- *Phoenix (UK)*.
- *Star CD (UK)*.
- *Flow 3d (US)*.
- *ESI/CFDRC (US)*.
- *SCRYU (Japan)*.

2.1.2. La dynamique des fluides computationnelle (CFD) :

2.1.2.1. Définition :

Science qui étudie l'équilibre et le mouvement des fluides. La mécanique des fluides est un sous-ensemble de la mécanique des milieux continus. Elle comprend l'étude des gaz et des liquides à l'équilibre et en mouvement, ainsi que l'étude de l'interaction de ces derniers avec les corps solides. Son importance s'explique par le fondement théorique qu'elle offre à de nombreuses disciplines – la météorologie, l'hydrologie, l'aérodynamique, l'étude des plasmas, ce qui indique l'ampleur de son champ d'investigation. «*Encyclopédie Larousse* »

La **mécanique des fluides numérique (MFN)**, plus souvent désignée par le terme anglais ***computational fluid dynamics (CFD)***, consiste à étudier les mouvements d'un fluide, ou leurs effets, par la résolution numérique des équations régissant le fluide. En fonction des approximations choisies, qui sont en général le résultat d'un compromis en termes de besoins de représentation physique par rapport aux ressources de calcul ou de modélisation disponibles, les équations résolues peuvent être les équations d'Euler, les équations de Navier-Stokes, etc.

La CFD a grandi d'une curiosité mathématique pour devenir un outil essentiel dans pratiquement toutes les branches de la dynamique des fluides, de la propulsion aérospatiale aux prédictions météorologiques en passant par le dessin des coques de bateaux. Dans le domaine de la recherche, cette approche est l'objet d'un effort important, car elle permet l'accès à toutes les informations instantanées (vitesse, pression, concentration) pour chaque point du domaine de calcul, pour un coût global généralement modique par rapport aux expériences correspondantes.

La dynamique des fluides computationnelle (CFD) est la science de la prédiction de l'écoulement du fluide, le transfert de chaleur, le transfert de masse, des réactions chimiques, et les phénomènes liés à la résolution des équations mathématiques tout en utilisant un procédé numérique.

2.1.2.2. Principe de la CFD :

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

CFD applique des méthodes numériques appelées discrétisation pour développer des approximations des équations de la mécanique de fluides dans la région étudiée :

- Équations différentielles, algébriques.
- La collecte de cellules, construction de la grille.
- L'ensemble des équations algébriques sont résolus numériquement (sur un ordinateur) pour le champ d'écoulement qui est variable à chaque nœud ou à chaque cellule.
- Les équations sont résolues simultanément pour fournir une solution.
- La solution est post-traitée pour extraire les quantités d'intérêt (transfert de chaleur, la séparation, la perte de pression, etc.)

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

L'outil graphique consiste à :

- La grille, les contours et le graphique des vecteurs.
- Le graphique de trajectoire des particules.
- Les axes XY, et l'animation.

L'outil numérique consiste à :

- Calcul de la surface, le volume, l'intégrale et les moyennes.
- Les forces et les moments.
- Les soldes de flux.

2.1.2.3. Domaines d'application :

Le champ d'application de la CFD est très vaste puisqu'il couvre deux des trois états de la matière (liquide et gazeux). Il couvre d'autres domaines autres que l'aérodynamique, avec par

exemple l'hydraulique, la thermique, l'aéraulique, le transport d'espèces, et l'écoulement diphasique, et ce pour tout type d'industrie :

- Le **transport** (automobile, aéronautique, ferroviaire,...) : l'aérodynamique, l'aéraulique, le thermique habitacle, l'admission d'air, l'écoulement moteur, etc...
- L'**aéronautique** : l'aérodynamique externe, interne, l'admission d'air, l'écoulement moteur, etc...
- Le **sport** (cyclisme, moto, monoplace, sport prototype, WRC, ...) : la performance aérodynamique.
- L'**industrie nautique** : le dessus ou le dessous de la ligne de flottaison, de façon dissociée ou simultanée.
- Le **BTP** : l'aérodynamique externe et les systèmes de chauffage et de climatisation.
- L'**électronique** : le refroidissement des composants.
- La **médecine** : les écoulements d'air ou de sang.
- L'**architecture** : la ventilation naturelle des locaux.
- L'**urbanisme** : le confort aéraulique des piétons.

2.1.2.4. L'utilisation de la CFD :

Les Avantages :

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

- Test de la configuration architecturale (taille, forme, climatisation, densité...), de la méthodologie de climatisation (globale, en rangée, allées froides et chaudes,...), ainsi que, la maximisation et l'optimisation de l'espace utilisé,
- Réduction de la consommation énergétique des équipements.

Les inconvénients :

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

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

2.1.3. La modélisation des écoulements turbulents :

Il existe trois approches numériques principales en ce qui concerne la modélisation des écoulements turbulents, (MARCHESSE, 2010)

- Les résolutions numériques déterministes (**DNS**, pour Direct Numerical Simulation).
- Les méthodes semi-déterministes (**LES**, pour Large Eddy Simulation).
- Les méthodes statistiques (**RANS** pour Reynolds Average Navier-stokes).

2.1.3.1. Simulation directe numérique (DNS) :

Cette approche a des privilèges en matière d'accès à toutes les quantités instantanées considérées dans l'écoulement. Elle permet aussi de résoudre les équations de Navier-Stokes sans aucune modélisation. D'autre part, elle exige des capacités et des performances très élevées, ainsi que la taille de la maille doit être supérieure à la l'échelle de dissipation, ce qui nous conduisons vers un nombre très important des mailles, et un temps de calcul un peu long.

Néanmoins, cette méthode permet de mieux comprendre les comportements turbulents dans des configurations simples, aussi que de valider les modèles de turbulence issus de la modélisation statistique. Tout en évite des écoulements complexes à haute vitesse.

2.1.3.2. Simulation des grandes échelles (LES) :

C'est une approche intermédiaire entre la DNS et la méthode de modélisation statistique ; les modèles sous mailles ou Large Eddy Simulation (LES) calculent le comportement des grandes échelles, en modélisant l'action des petites échelles. Malgré ça, le temps de calcul reste toujours important et les modèles LES restent pour l'instant limités à des problèmes plus simples que ceux traités avec les modèles statistiques.

La modélisation se fait en modélisant l'action dissipative des petites échelles sur les grandes échelles, au moyen d'une viscosité tourbillonnaire (modèle de type Smagorinsky).

La taille de maille est choisie largement supérieure à l'échelle de Kolmogorov correspond la plupart du temps à la taille du filtre.

2.1.3.3. Modélisation statique de la turbulence (RANS) :

C'est la méthode la plus répandue en termes d'utilisation, puisqu'elle offre plus d'avantages que des inconvénients, parmi ces avantages on peut citer :

- Plus rapide : la taille de maille, ainsi que la valeur des pas de temps pour des études instationnaires, deviennent plus importantes. Cette approche est donc moins coûteuse en temps de calcul que la DNS et la LES. (éliminer les petites structures de l'écoulement).
- Possibilité de calculer le comportement des grandes échelles.
- Un champ d'application plus vaste qui couvre plusieurs domaines tels que, la thermique, aérodynamique,...etc.
- Capacité de mettre de côté le mouvement instantané du fluide, dans le but d'exprimer les équations du champ moyen.

Le principe de cette méthode repose sur la résolution des équations de Navier-Stokes moyennées. Celles-ci sont obtenues en introduisant une décomposition des variables du problème à traiter.

Cette décomposition des variables du problème soit être :

Une décomposition de Reynolds, ou on suppose dans cette décomposition que les valeurs fluctuantes sont centrées (valeurs moyennes nulles), aussi que, La durée d'observation doit être tendre vers l'infini comparativement à l'échelle de temps de la turbulence.

Une décomposition triple, englobe la composante moyenne, organisée et aléatoire ; très utilisée dans la modélisation de la turbulence atmosphérique, cas où les tourbillons gardent longtemps une structure fluctuante organisée.

Une décomposition de Fabre, Lorsque les effets de compressibilité deviennent non-négligeables.

2.1.4. Introduction au logiciel PHOENICS de CHAM

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

Ainsi, c'est un logiciel qui peut exprimer toute sa précision et sa puissance de résolution. Validé par une importante collection d'applications en mécanique des fluides, transferts thermiques, réactions chimiques et interactions fluide-structure. (Allen, 2014)

2.1.4.1. Fiabilité :

Les prédictions obtenues par Phoenics ont fait l'objet de tests de validation qui ont prouvé sa fiabilité et sa précision. Il possède une large gamme de solveurs d'équations linéaires, de nombreux schémas numériques d'ordre supérieur (linéaires et non-linéaires), plusieurs formulations pour les modèles BFC (GCV, CCM...), et les méthodes PARSOL et ASAP (Procédure automatique d'allocation de sources).

2.1.4.2. Les possibilités de modélisation :

Ecoulements diphasiques, suivis de particules (solides, liquides et/ou gazeuses), surfaces libres (SEM, HOL), réactions chimiques (CHEMKIN), CVD (Déposition Chimique en Phase Vapeur), maillage mobile et déformable, maillage en translation relative (turbomachines), modèle multi-fluide de turbulence, interaction fluide-structure, rayonnement thermique, décomposition de domaines (Multi-blocks), technique de plongement de maillages fins...

20 modèles de turbulence, 4 modèles de rayonnement et 9 modèles en diphasique et multiphasique.

2.1.4.3. Logiciel évolutif a architecture ouverte :

Si une option est nécessaire, elle peut être programmée en Fortran par l'utilisateur ou par CHAM. Phoenics possède un logiciel unique : INFORM utilisant le TCL permet dans un langage simple de faire une programmation complexe des termes sources, conditions aux limites, propriétés physiques sans avoir à connaître de langages spécialisés (Fortran, C++, etc.). L'utilisateur peut donc incorporer ses propres modules (logiciels tierces, développements internes...).

Il suffit de créer les formes géométriques CAD aussi complexes soient elles via des outils CAO et de les importer dans l'interface graphique de l'éditeur en réalité virtuelle où un maillage automatique est déterminé par le code. Ainsi, Phoenics peut exprimer toute sa précision et sa puissance de résolution. Validé par une importante collection d'applications en mécanique des fluides, transferts thermiques, réactions chimiques et interactions fluide-structure.

- PHOENICS se compose de plusieurs modules :
- **VR-éditeur** pour la mise en place des problèmes,
- **EARTH** pour résoudre le problème,
- **VR-Viewer** pour visualiser les résultats
- **POLIS** pour fournir des informations.

Ensemble, ils permettent aux utilisateurs de résoudre un large éventail d'une dimension, 2Det3D des écoulements des fluides avec le transfert de chaleur, phénomènes chimiques, refroidissement des composants électroniques ,aérodynamique, le BTP ...etc.

2.2. Étapes de la simulation :

La simulation consiste à recréer les mêmes conditions climatiques (relativement au vent), pour analyser le comportement de ce dernier par rapport aux configurations géométriques des maisons à patio que nous avons pu dégager dans la partie précédant de ce chapitre, pour cela il est impératif de se procurer les données climatiques de la régions de notre investigation pour pouvoir les introduire dans notre logiciel et simuler les comportement de l'air autour de ces configurations.

2.2.1. La rose des vents de la ville de Sétif :

Sétif se situe à 100 Km des côtes maritimes sur les Hauts-Plateaux qui séparent l'Atlas du Nord et celui du Sud, avec une altitude de 1080 mètres. Cette situation confère à la ville de Sétif un climat continental avec un hiver très froid et un été très chaud.

En ce qui concerne le régime des vents au cours de la saison hivernale (figure 9), la vitesse moyenne du vent la plus fréquente et aussi la plus défavorable est de +7 m/s (environs 10 m/s). Et pour ce qui de la période estivale (figure 9), la vitesse la plus fréquente est de l'ordre de 1 m/s.

L'objectif de notre étude consiste à remédier aux problèmes d'inconfort qui ont lieu dans les patios. Dans la période hivernale, protéger le patio contre les vents froids, tandis que dans la période estivale, évacuer l'air chaud stagné à l'intérieur du patio et créer une brise pour augmenter le confort thermique, ainsi que opter pour une forme qui optimise la ventilation naturelle des locaux.

Pour plus de pertinence, cette étude prendra en compte les vitesses des vents les plus défavorables. C'est-à-dire, la vitesse la plus forte en hiver, et la plus calme en été.

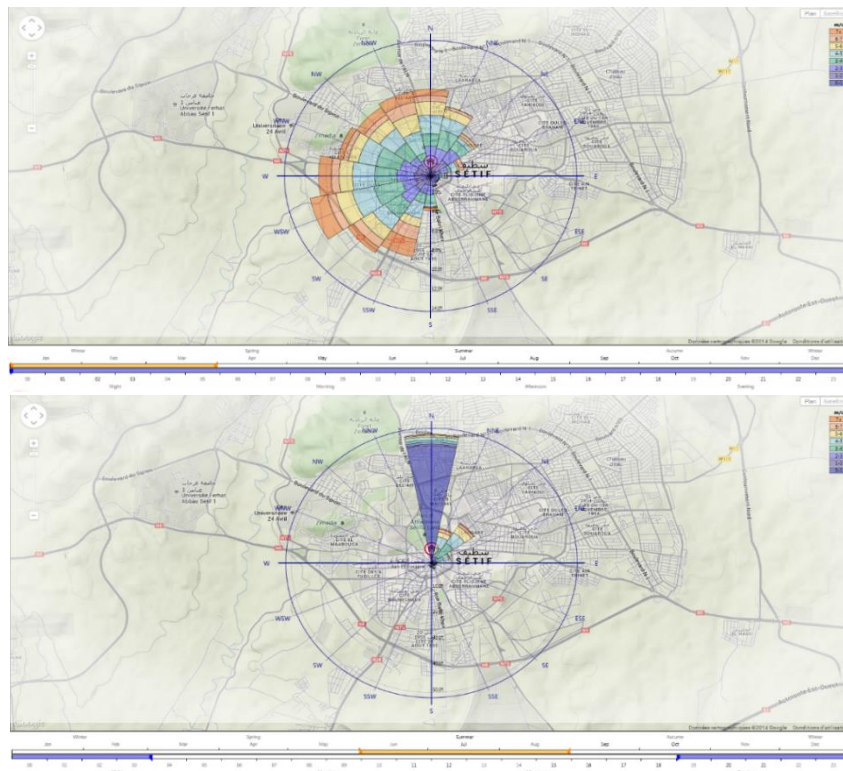


Figure 9 : La rose des vents Hivernale et estivale de la ville de Sétif ; Source : Station météorologique Ain Sfiha, Sétif

2.2.2. Paramétrage des conditions des simulations :

La simulation des écoulements CFD sous PHOENICS 2009, passe par quatre grandes étapes,

- La première consiste à programmer les différentes propriétés du domaine (taille, modèle d'écoulements (choix du fluide), le maillage et nombre de cellules)
- Dans la deuxième, on programme les conditions de la simulation et l'importation de l'objet (Inlet, outlet, les plates, conditions de vitesse et importation de la géométrie)
- La troisième, porte sur le solver des équations de l'écoulement fluide choisis dans la première étape.
- La quatrième est celle de la visualisation des résultats en post-processing.

2.2.2.1. Création du domaine :

La première étape consiste à programmer les différentes propriétés du domaine de simulation :

- La taille : pour un la réalisation d'une simulation dont les conditions sont proches de celles de la réalité la taille du domaine doit faire 5 fois la taille du modèle pour minimiser l'interaction des cellules de calcul avec les limites du domaine
Nous avons donc : $X= 100m$, $Y= 140m$ et $Z= m35$.
- Le nombre des cellules de maillage : Un nombre important d'éléments de maillage permet d'améliorer la précision des calculs mais pénalise les ressources informatiques en terme de mémoire et alourdit le système. Par voie de conséquence, un compromis entre précision et temps de calcul s'impose. Les nombres de cellules est de : 2 550 000 cellule. $X= 150$, $Y= 150$ et $Z= 100$.

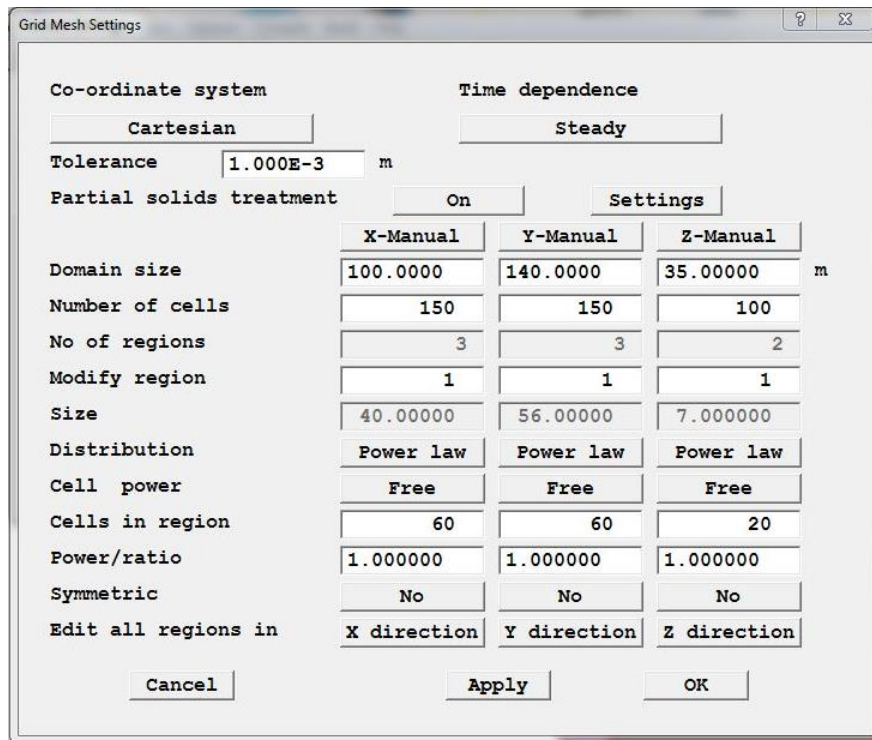


Figure 10 : Paramétrage de la taille du domaine et du nombre des cellules de maillage ; Source : Auteur.

- Le modèle de turbulences choisis dans ce genre de simulation, est le K_ϵ , le modèle qui correspond le mieux à l'écoulement de l'aire sous l'équation de RANS⁽¹⁾. Car, rappelons-le, que les logiciels CFD ne simulent pas seulement l'air, ils prennent en charge tout type de fluides (gazes, eaux, liquides ...).

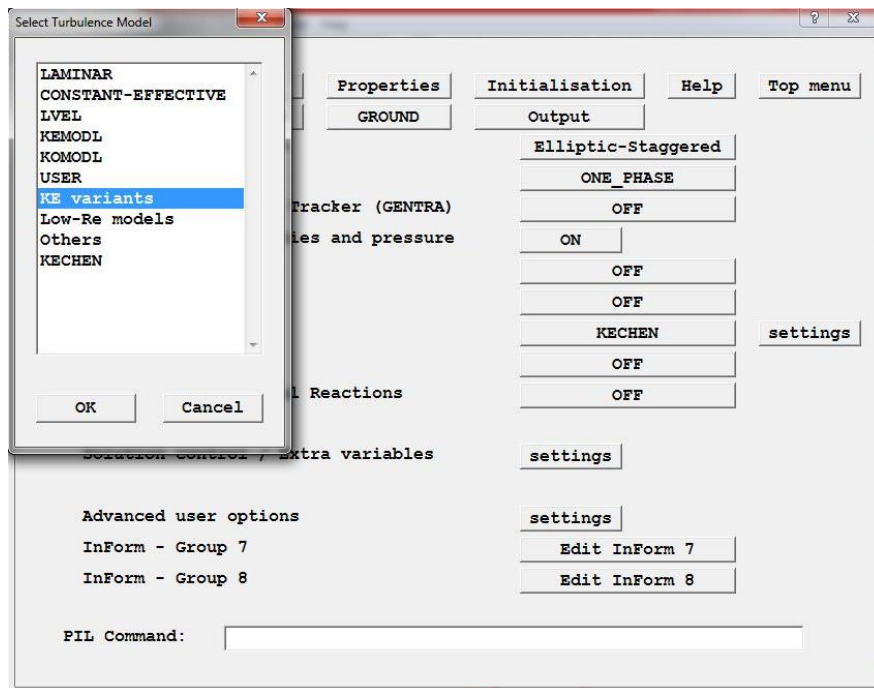


Figure 11: Choix du modèle de turbulence ; Source : Auteur.

- Les conditions initiales de déroulement de simulation sont comme ci-de suite :

La valeur de la turbulence est de : $K_e = 0.001$

La pression atmosphérique : $P = \text{négligée}$

$EP = 0.01$

La vitesse initiale : en hiver ; $V_1 = 10 \text{ m/s}$, en été $V_1 = 1 \text{ m/s}$.

Initial value for each variable

Variable	P1	U1	V1	W1	KE
FIINIT Value	AMBIENT	1.00E-10	10.00000	1.00E-10	1.000E-3

Apply

Name of restart file: PHI

Restart cut-cell values: YES from pbcl.dat

Figure 12: Paramétrage des conditions initiales ; Source : Auteur.

2.2.2.2. Paramétrage du domaine :

Cette étape consiste à préciser la nature des limites du domaine, et programmer les conditions de la simulation comme la vitesse du vent, l'orientation ainsi que l'entrée et la sortie du vent.

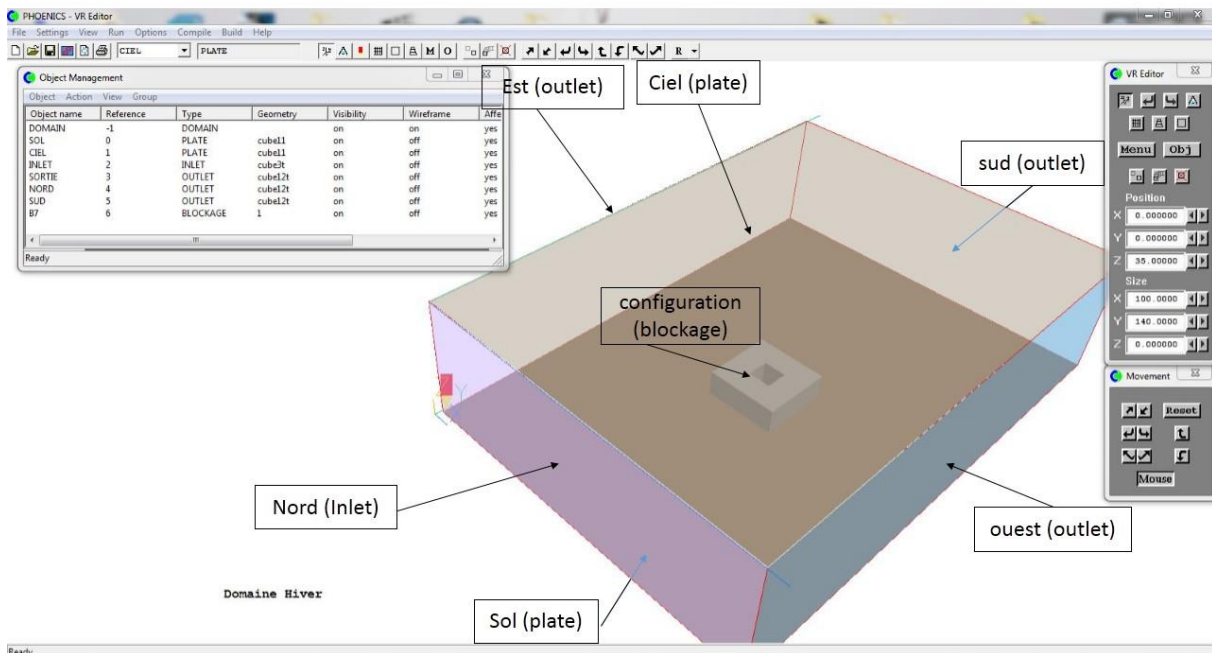


Figure 13: Paramétrage des conditions de la simulation dans le domaine ; Source : Auteur.

- Le nord (inlet) : constitue la direction des vents dominants et comme son nom l'indique (inlet) veut dire entrée en anglais et représente l'entrée au domaine de calcul. La vitesse initiale d'entrée d'air est de 10 m/s couvrant toute la partie nord du domaine.
- Le sud, l'est et l'ouest (outlet) : représentent les directions par lesquelles l'air ressort dépendant de l'interaction entre les directions du vent dans différentes cellules. (sortie du domaine de calcul).
- Le sol et le ciel (plate) : le ciel et le sol sont considérés comme des surfaces plates, lesquelles l'air n'arrivera pas à les pénétrer (le sol par sa nature solide, et l'air par la pression atmosphérique), pour orienter le vent dans les autres directions.
- La géométrie de la maison a patio (blockage) : en mettant la géométrie en mode « blockage », on lui attribue les propriétés d'un obstacle à contourner pour étudier les vents.

2.2.2.3. Le Solver :

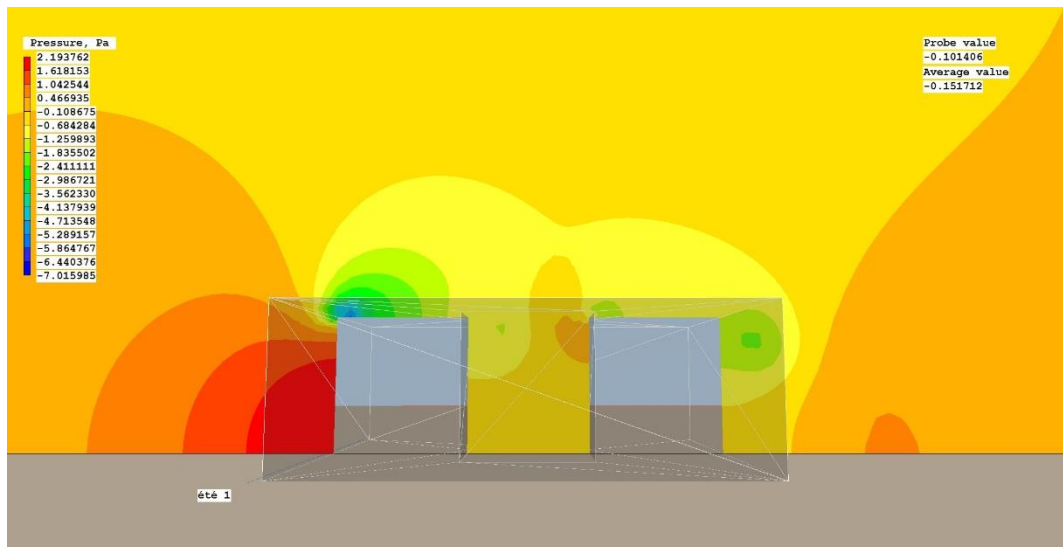
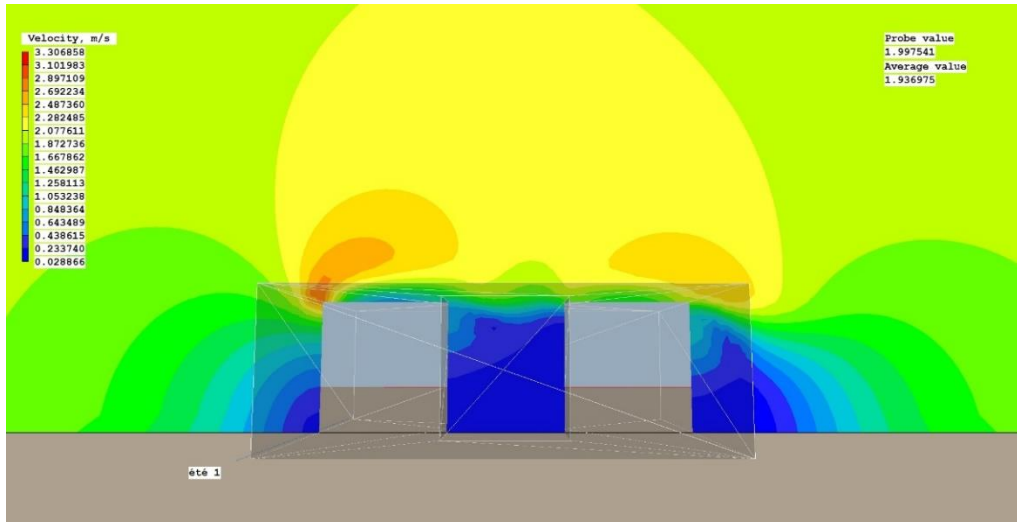
L'un des intérêts de ce logiciel de simulation généraliste, est qu'il dispose d'un nombre relativement important de modèles, pouvant faire face à divers aspects de la mécanique des fluides, il permet de définir numériquement les conditions opératoires dans lesquelles, est effectuée la simulation, ainsi que la spécification des conditions aux limites, il permet de choisir le processus itératif, en proposant plusieurs schémas numériques pour la discrétisation spatiale et temporelle, et pour le couplage de la vitesse et de la pression.



Figure 14 : Le Solver ; Source : Auteur.

2.2.2.4. Le Post-Processing (visualisation des résultats)

Pour l'exploitation des résultats dans notre étude on a utilisé dans cette étape le GUI post-processor (VR viewer). On peut tirer plusieurs informations après la résolution des équations. Dans notre cas les données qui nous sont importantes sont : la vitesse, la pression et la direction du vent. Il peut avoir accès à des images comme celles dans les figures suivantes :



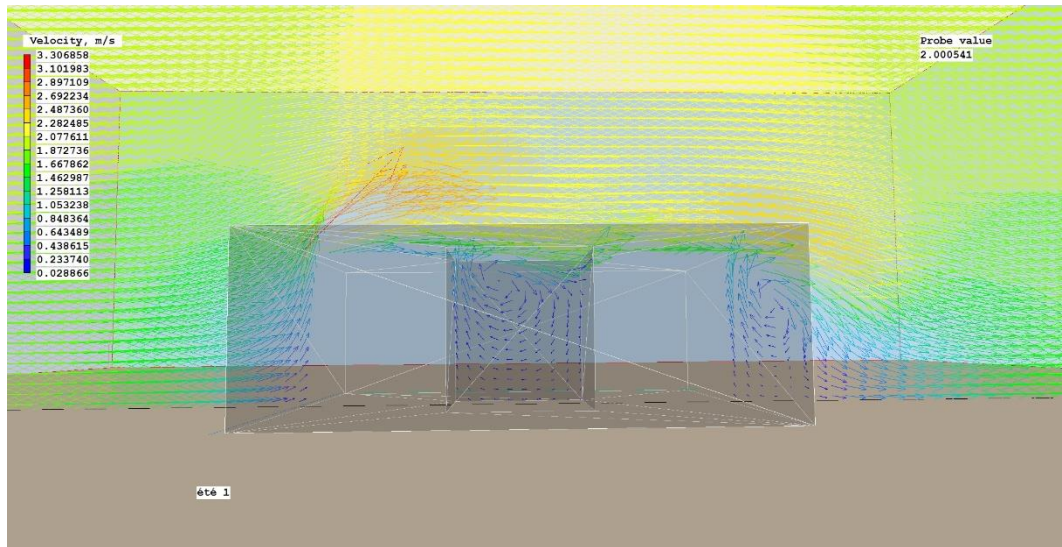


Figure 15: Visualisation des résultats, (respectivement : Vitesses, pressions et direction des vents) ; Source : Auteur.

Toute cette procédure a été appliquée sur un corpus composé de 30 configurations approprié à notre étude dans la période hivernale et la période estivale, ce qui nous donne un total de 60 simulations. Ceci pour nous permettre d'étudier l'effet de chaque critère indépendamment des autres.

Les résultats de toutes les simulations peuvent être consultés dans l'annexe III.

Conclusion :

L'analyse morphologique nous a permis d'appréhender la complexité géométrique de la maison à patio en la simplifiant, afin de ressortir les critères les plus judicieux dans notre choix du corpus et de traiter chaque variable séparément, de façon à dégager par la suite son effet sur les écoulements aérauliques.

L'étude des écoulements aérauliques c'est fait à l'aide de la CFD, un outil très performant qui a fait ces preuves, et dont plusieurs études témoignent de son efficacité. Utilisée dans plusieurs domaines, La CFD est depuis introduite dans le domaine de l'architecture, remplaçant ainsi l'utilisation des souffleries et par conséquent économisant aux chercheurs beaucoup de temps et d'efforts.

L'application de la CFD dans notre cas, s'est faite sur un corpus théorique composé de façon à ce que l'on puisse comparer les effets de manipulation des différentes variables, une par une, indépendamment des autres critères, sur les écoulement des filets d'air.

La simulation s'est déroulée à l'aide d'un outil *Phoenix* sur 30 configurations géométriques, issues de la recombinaison des critères analysés dans le chapitre précédent, en lui introduisant les données climatiques de la ville de Sétif et en les appliquant sur tous les modèles selon deux saisons hivernale et estivale, ce qui nous fait un total de 60 simulations (30 simulations dans les conditions hivernales et 30 autres dans les conditions estivales). Le logiciel fournit des images représentant les écoulements en fonction des vitesses, pressions et directions ; que nous allons analyser et comparer dans le prochain chapitre et en déduire les rapports de causalité.



Chapitre V :

Analyse et interprétation des résultats

Introduction :

Après une analyse morphologique et définition d'un corpus théorique, on a entrepris une vaste série de simulations pour déterminer et analyser les effets aérauliques et faire apparaître l'influence des variations de la morphologie sur le phénomène des écoulements aérauliques et leur impact sur le confort à l'intérieur du patio. Interpréter des résultats, c'est en fait énoncer les conséquences théoriques et établir les avenues de recherche suggérés par les résultats.

Dans ce chapitre, nous allons analyser les résultats à travers deux types d'analyses. L'analyse descriptive, qui consiste à dresser un portrait des écoulements aérauliques autour de la maison à patio, en s'appuyant sur la mise en exergue des effets recensés dans le précédant chapitre. Et une analyse explicative qui met à la lumière l'effet de la variation de morphologie sur la variation de la direction, des vitesses et des pressions du vent au tour de la maison et à l'intérieur du patio.

1. Analyse descriptive :

Comme on peut le voir dans la figure ci-après :

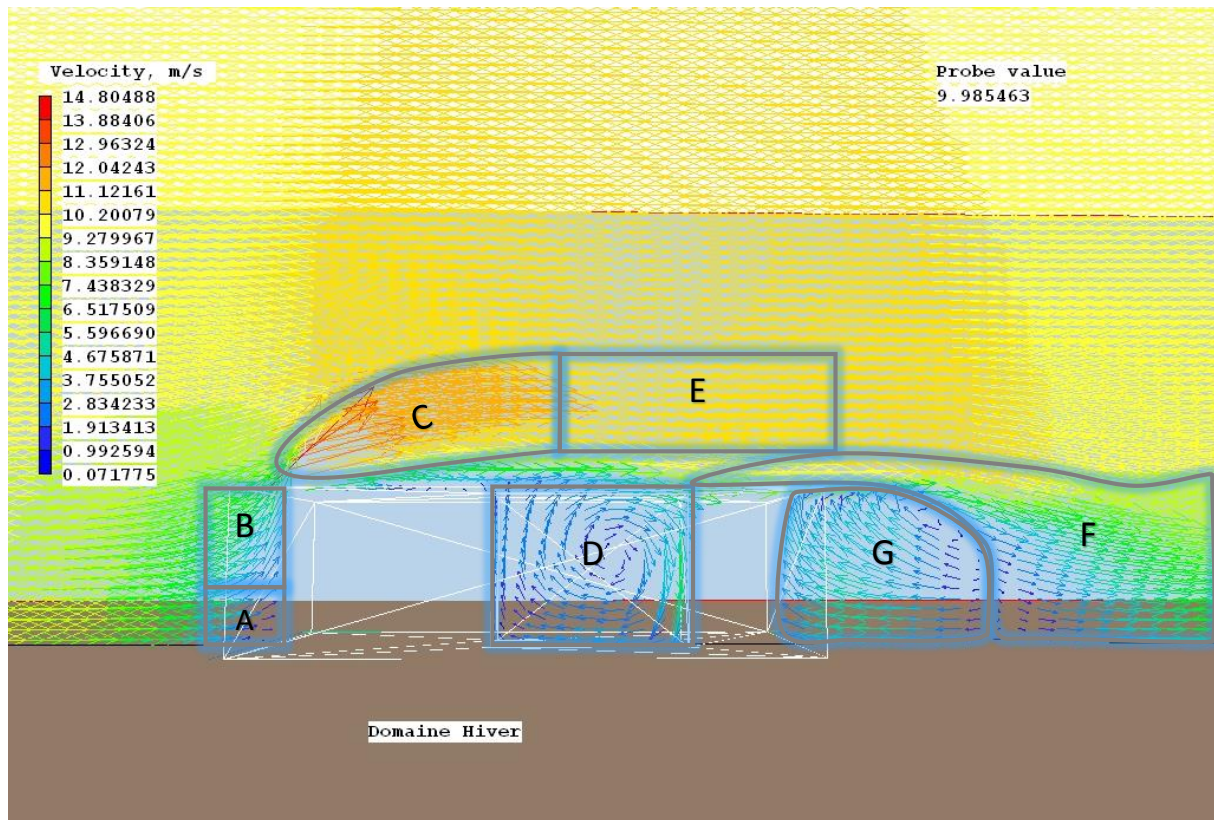
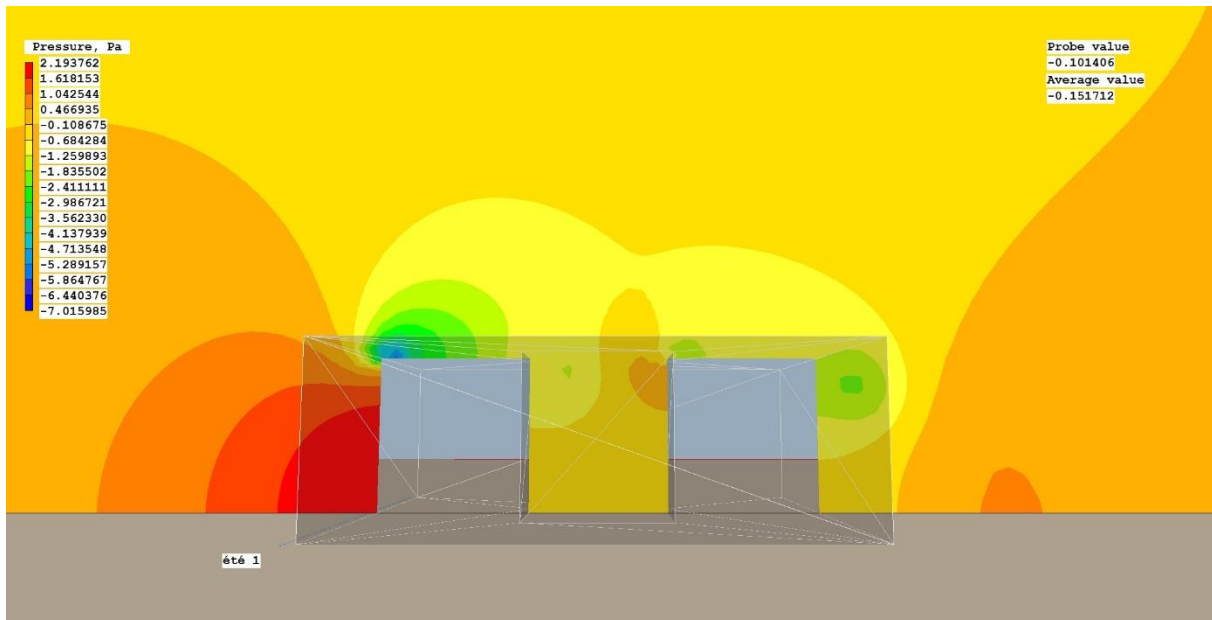


Figure 1: Ecoulements aérodynamiques autour d'une maison à patio ; Source : Auteur

Sous l'effet du vent, les filets fluides de l'air devant une maison à patio se divisent en deux. Au pied de la construction se forme une zone de recirculation de l'air, sous forme d'un rouleau tourbillonnaire. Ce phénomène génère une zone protégée du vent où les vitesses de l'air sont faibles, et donc, un grand calme aérodynamique (Zone A). Quand a ceux qui contournent la construction par sa partie supérieure (Zone B), ils se resserrent pour contourner l'angle en mettant en relation la zone de haute pression en amont de la construction avec la zone de dépression au-dessus de cette dernière (Figure 2) et créent ainsi une zone de survitesse (effet de cisaillement). L'effet de cisaillement couvre les zones à fort gradient de vitesse de vent qui entourent la zone de protection au patio due au sillage de la partie en amont de la construction (Zone C). En aval de la partie frontale de la construction (dans le patio) se développe une large zone de circulations fluides tourbillonnaires qui constitue une zone de protection appelée le sillage (Zone D). Dans cette zone le comportement des filets fluides est fortement turbulent, mais elle reste confortable car la vitesse y est très faible. Tandis que la zone de cisaillement perd sa turbulence et de la vitesse graduellement et reprends un régime laminaire (Zone E). En

arrivant à la partie postérieure de la construction, les filets fluides se divisent, une fois de plus, en deux. Il y'a ceux qui continuent en régime laminaire au-dessus de la construction pour la contourner (Zone F), et d'autres qui, en dessous de cette dernière, prennent un régime turbulent et forment une zone de protection due au sillage de celle-ci sous forme de rouleau tourbillonnaire (Zone G).



2. Analyse paramétrique :

2.1. Période hivernale :

Dans cette partie, nous analyserons les résultats de vitesse maximale à l'intérieur des patios, en les comparant les uns aux autres, et ressortir l'impact de la variation de chaque critère indépendamment des autres.

2.1.1. Effet 1 : Effet de la forme de la silhouette sur la vitesse :

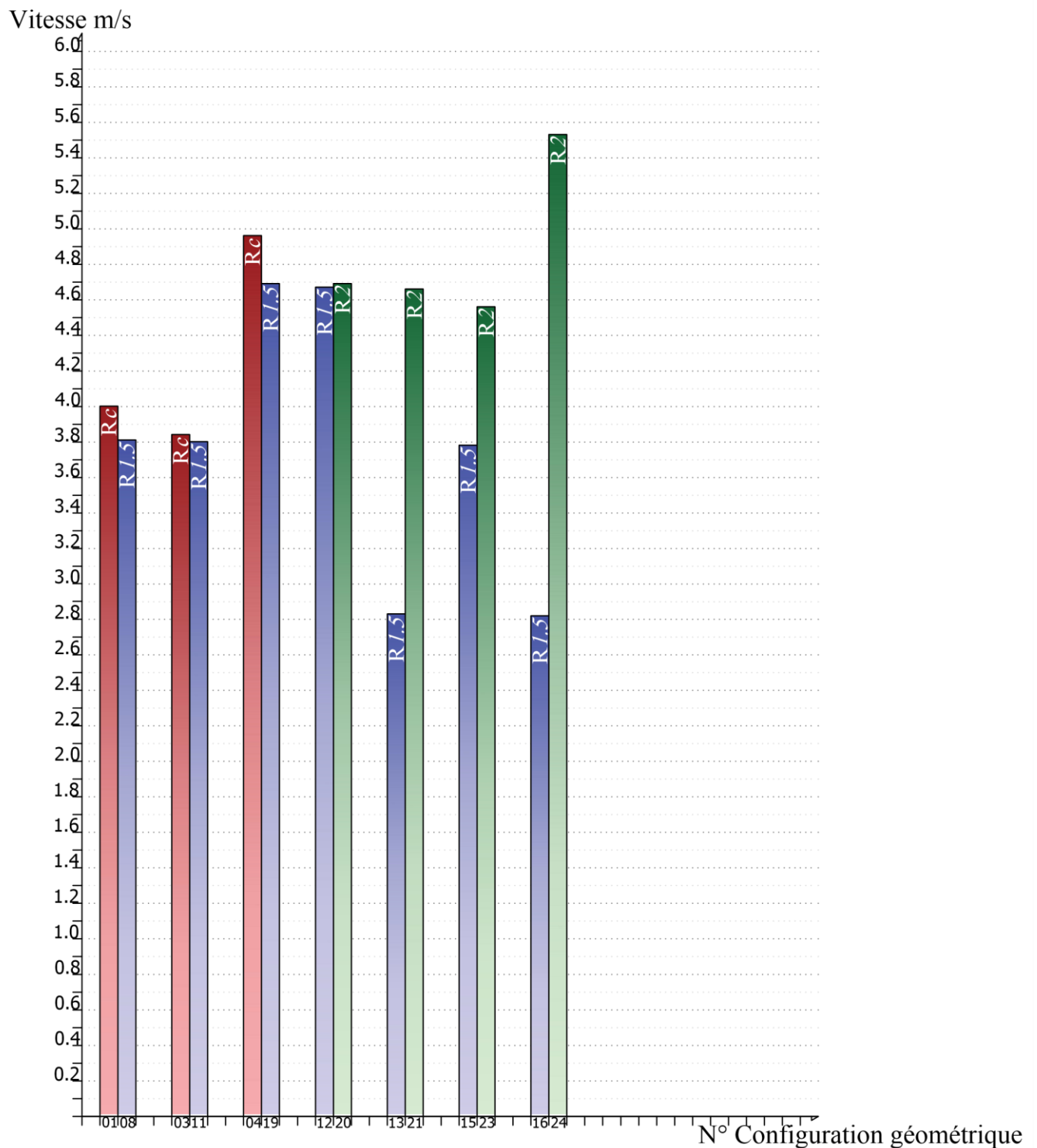


Figure 3: Variation de la vitesse en fonction de la forme de la silhouette dans la période hivernale ; Source : Auteur.

On observe sur la figure 3 que les vitesses de l'air entre différentes configurations sont très différentes, on peut aussi remarquer que :

- Entre la **forme Rc et R1.5** : plus la forme de la maison est élancée plus la vitesse diminue.

- Tandis qu'entre la **forme $R_{1.5}$ et R_2** : plus la forme est élancée et plus la vitesse augmente.

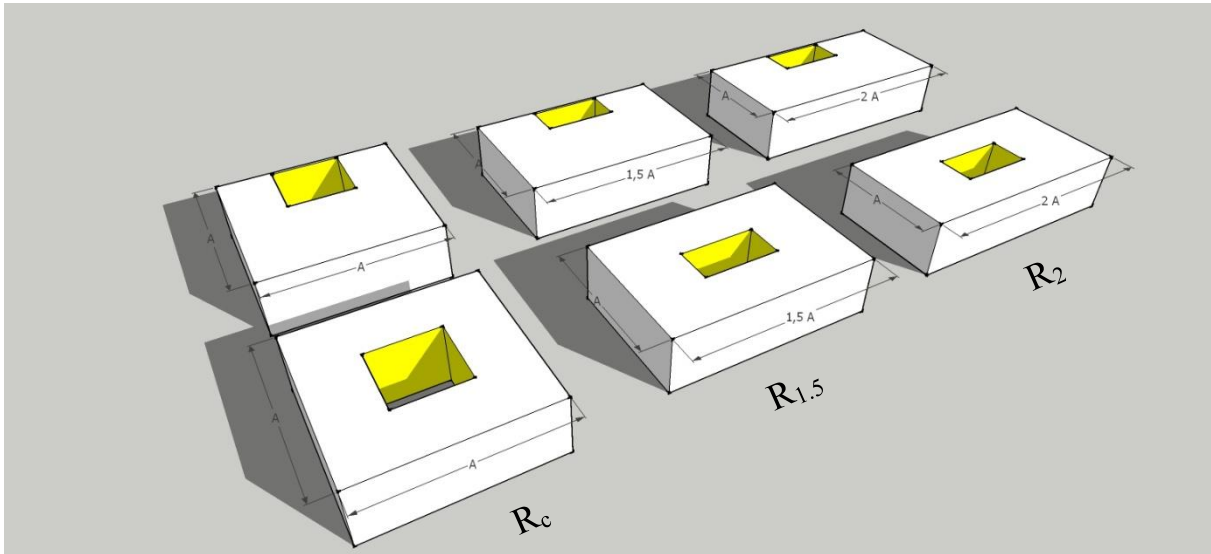
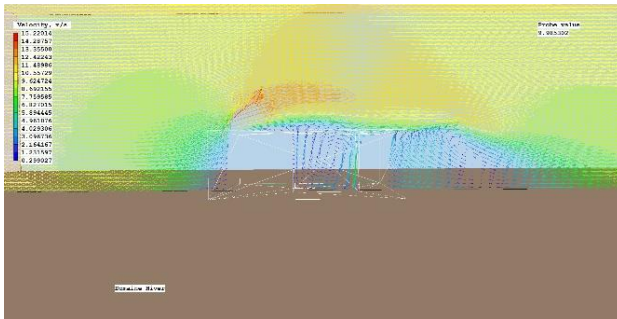
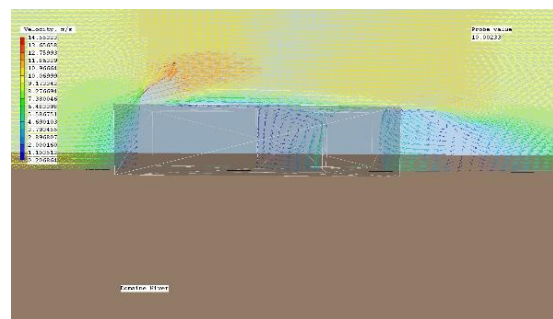


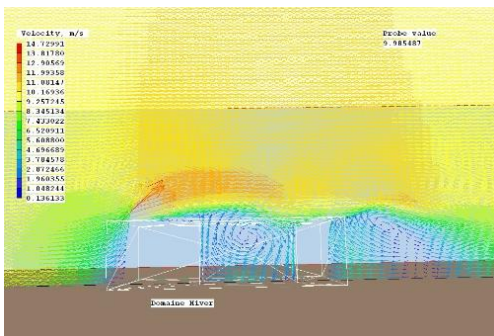
Figure 4: Différentes formes de la silhouette ; Source : Auteur.



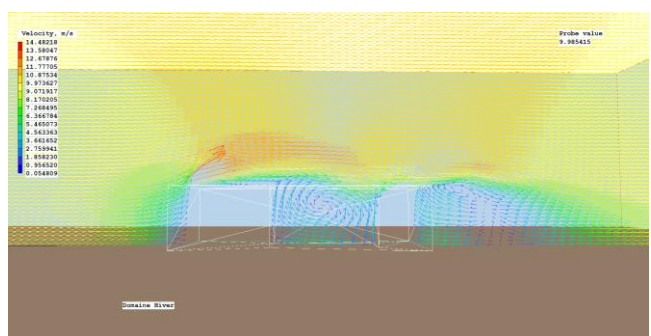
R_c



$R_{1.5}$



$R_{1.5}$



R_2

2.1.2. Effet 2 : Effet de la forme du patio sur la vitesse :

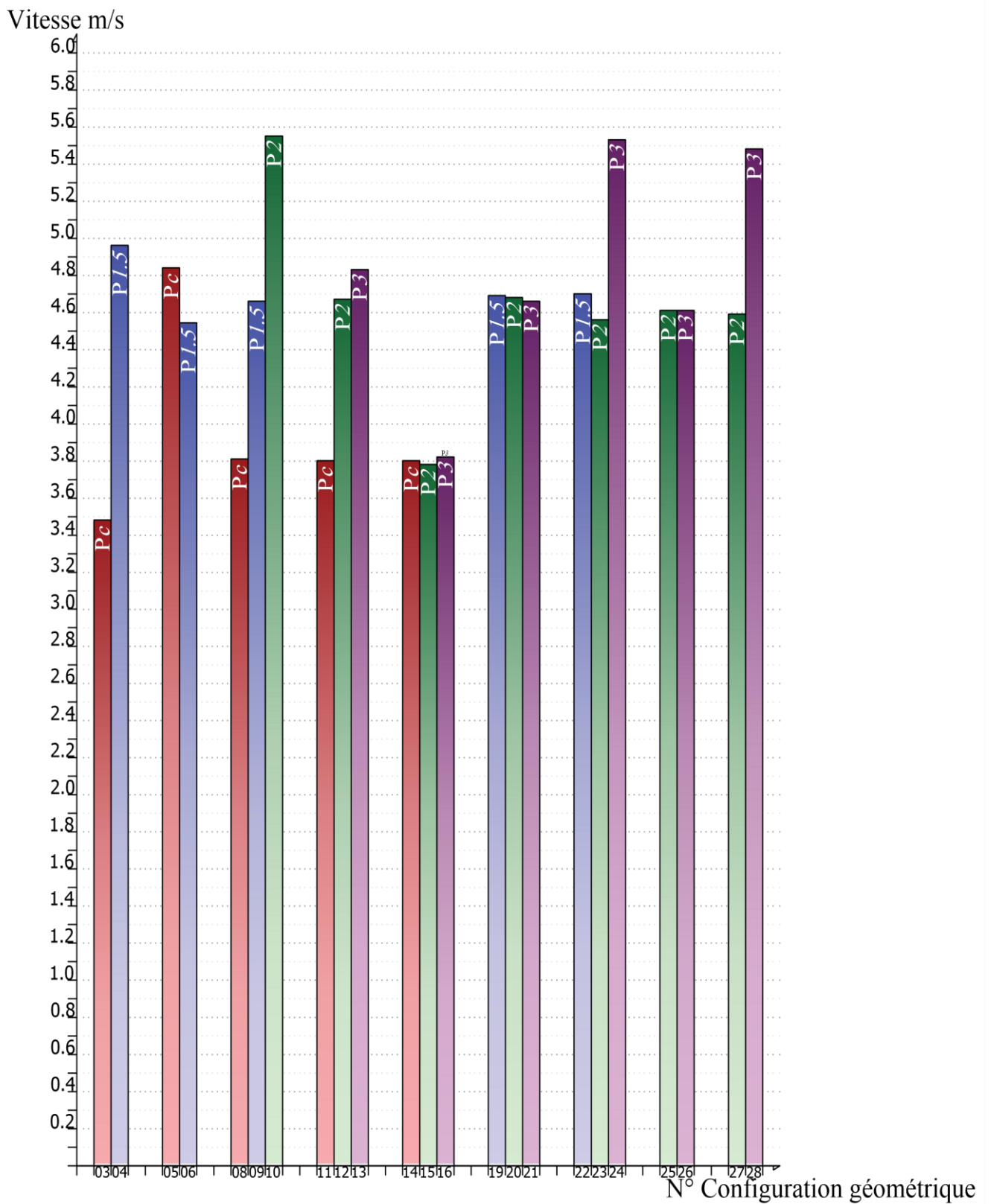


Figure 5: Variation de la vitesse en fonction de la forme du patio dans la période hivernale ; Source : Auteur.

On observe sur la figure 5 que la vitesse ne varie pas seulement en fonction de la forme du patio, il est observable qu'elle varie selon la forme du patio jumelée avec la forme de la silhouette.

La vitesse varie d'une maison à une autre comme ci-de suite :

Entre P_c et P_2 :

- dans les maisons qui ont une silhouette entre R_c et $R_{1.5}$: plus la forme du patio est élancée et étroite, plus la vitesse augmente.
- dans les maisons qui ont une silhouette entre $R_{1.5}$ et R_2 : plus la forme du patio est élancée plus la vitesse diminue.

Entre P_2 et P_3 :

- dans les maisons qui ont une silhouette entre R_c et $R_{1.5}$: plus la forme du patio est élancée plus la vitesse diminue.
- dans les maisons qui ont une silhouette entre $R_{1.5}$ et R_2 : la vitesse augmente en fonction du patio ; plus la forme est élancée, plus la vitesse augmente.

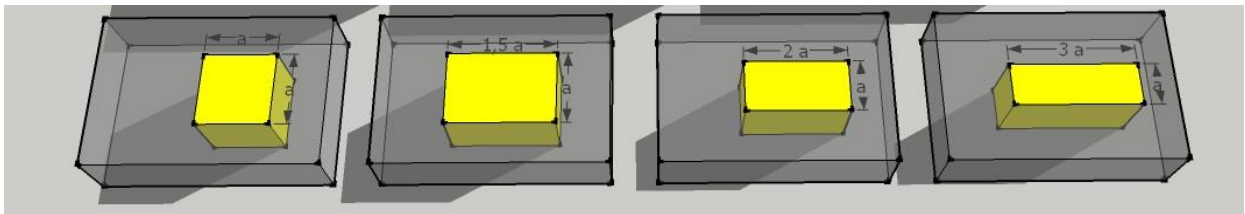


Figure 6: Différentes formes de patios ; Source : Auteur.

2.1.3. Effet 3 : Effet du rapport Vide/Plein :

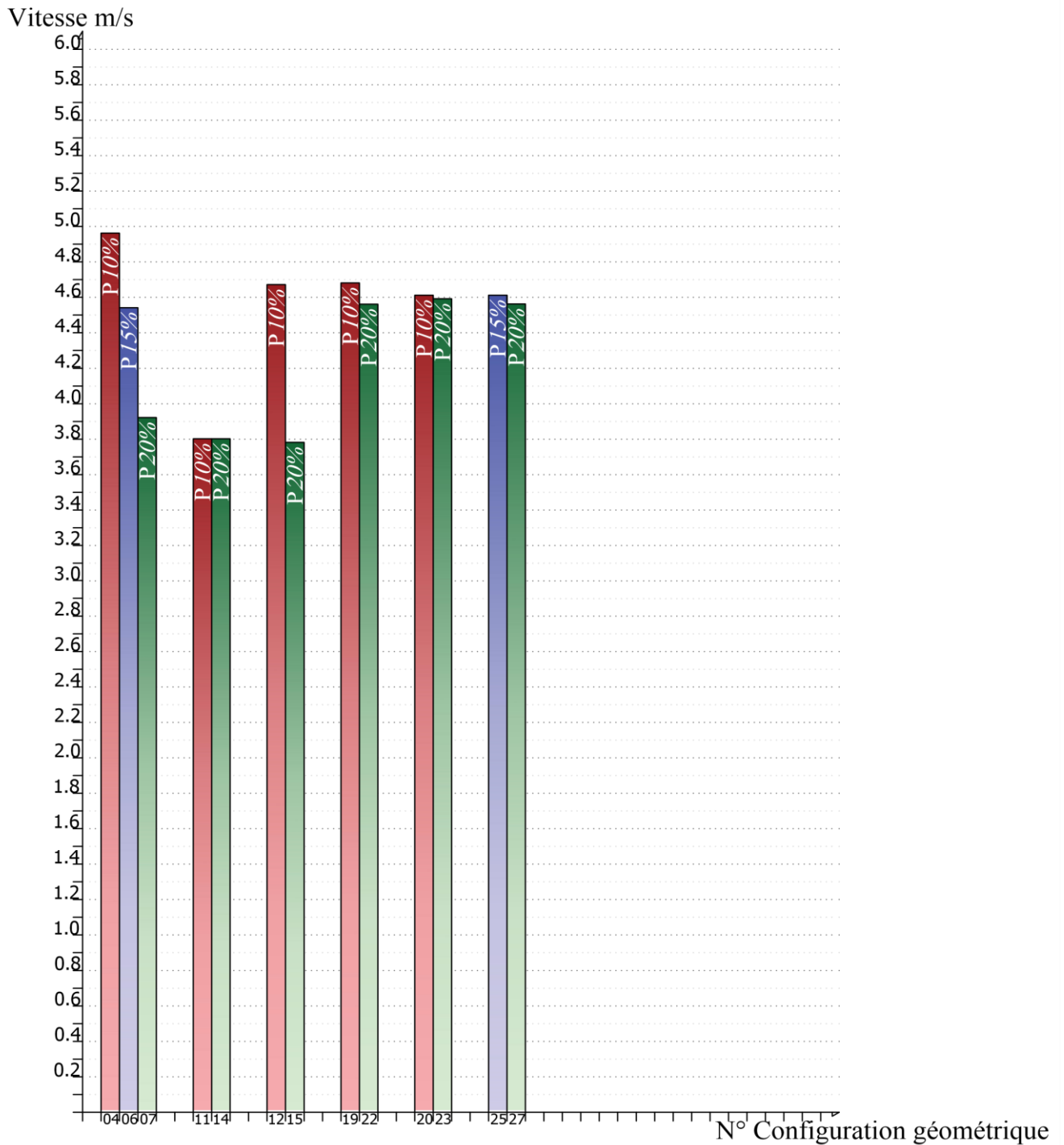


Figure 7: Variation de la vitesse en fonction de l'envergure de la taille du patio dans la période hivernale ; Source : Auteur.

La figure 7 montre que la vitesse diminue en fonction de la taille du patio par rapport à celle de la maison, plus le patio est grand, plus la vitesse diminue. Ceci est due au fait que les filets fluides en aval de la première partie de la construction sont en zone de protection, plus cette zone est grande plus la vitesse diminue.

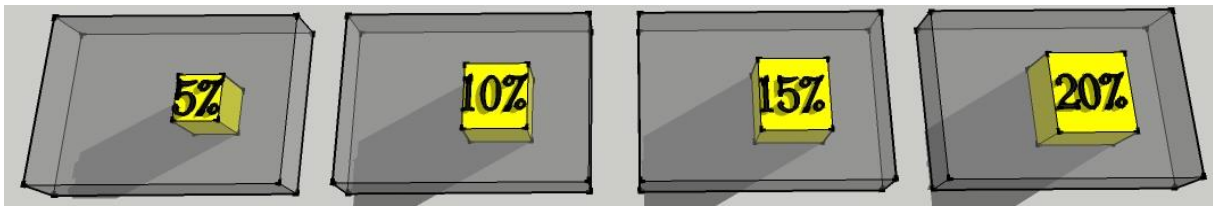


Figure 8: Différents rapports d'envergure de patios ; Source : Auteur.

2.1.4. Effet 4 : Effet de la topologie :

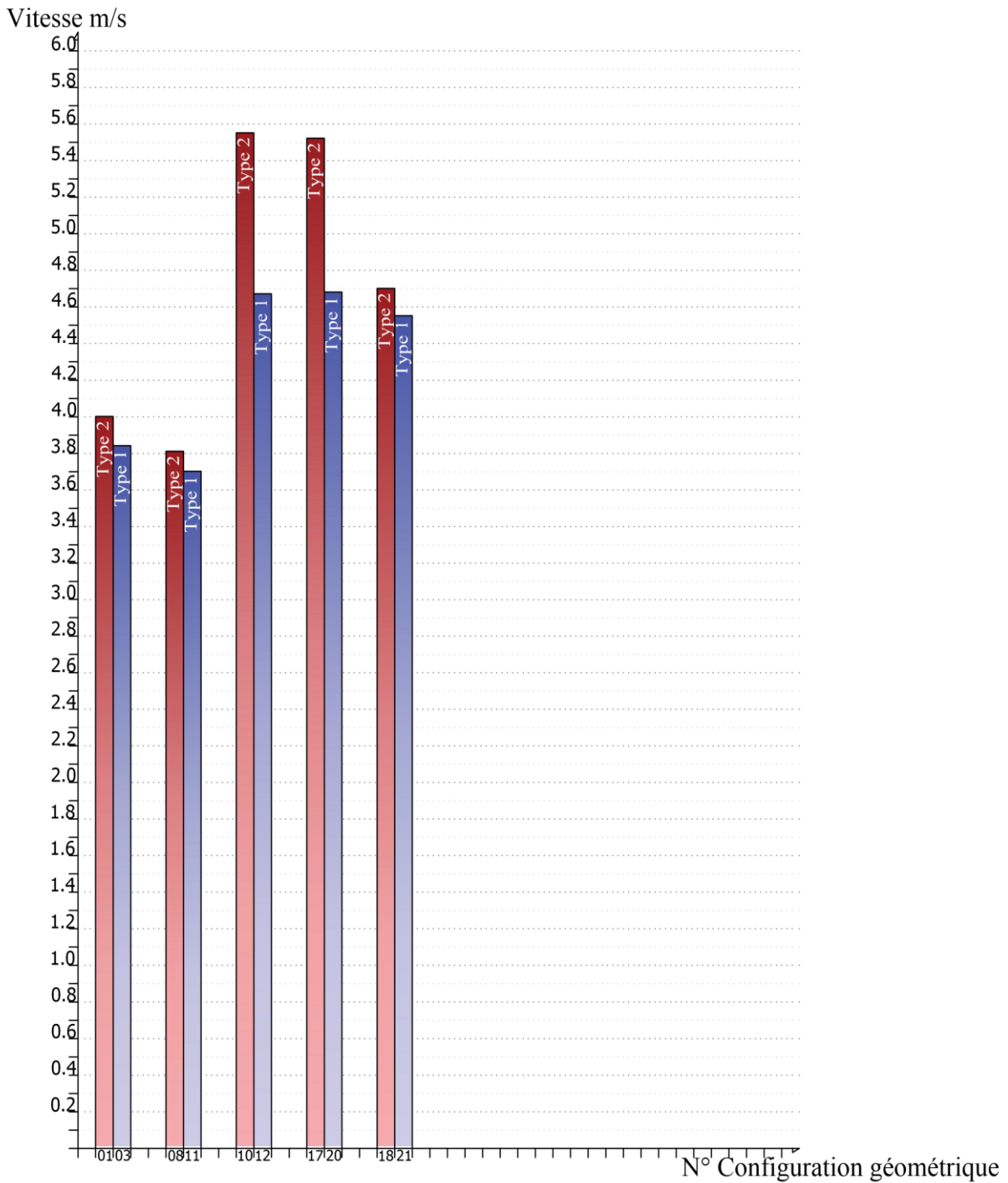


Figure 9: Variation de la vitesse en fonction de topologie dans la période hivernale ; Source : Auteur.

On peut facilement observer, dans la figure 9, la relation entre la topologie et la vitesse : il se trouve que, plus le patio s'éloigne de la façade principale, plus la vitesse baisse. Ceci est dû à l'effet de cisaillement couvre les zones à fort gradient de vitesse de vent qui entourent la zone de protection due au sillage de la partie basse au-dessus de la construction. Plus le patio est loin de la façade plus l'effet de protection sous la zone de cisaillement s'affaiblit et entraîne donc une diminution de la vitesse dans la zone protégée.

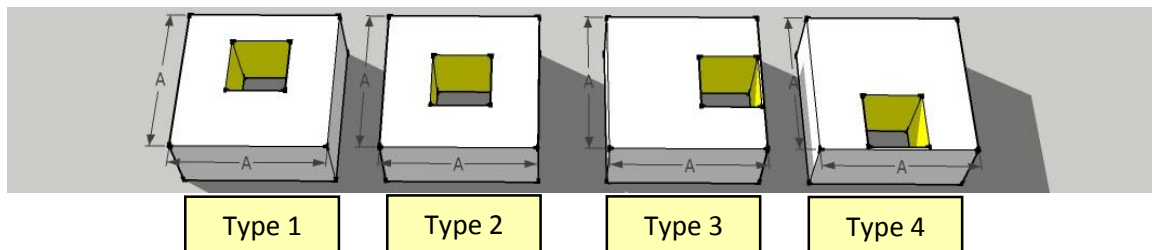


Figure 10: Différents types de topologie ; Source : Auteur.

2.2. Période estivale – Variation de la vitesse :

2.2.1. Effet 1 : Effet de la forme de la silhouette :

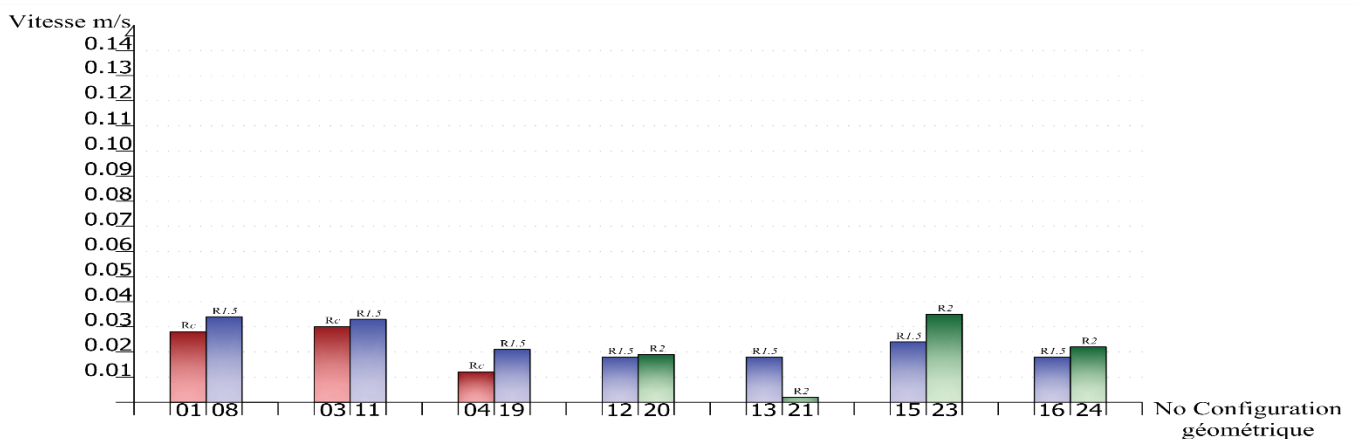


Figure 11: Variation de la vitesse en fonction de la forme de la silhouette dans la période estivale ; Source : Auteur.

Etant donné que les vents nocturnes estivaux proviennent du Nord, ces derniers traversent les maisons à patio dans le sens de la largeur, ce qui fait que la vitesse dans le patio varie en fonction de la largeur de la maison et non pas de sa longueur (comme dans la période hivernale). Il est clair dans la figure 11 que moins la silhouette est large, plus la vitesse augmente.

2.2.2. Effet 2 : Effet de la forme du patio :

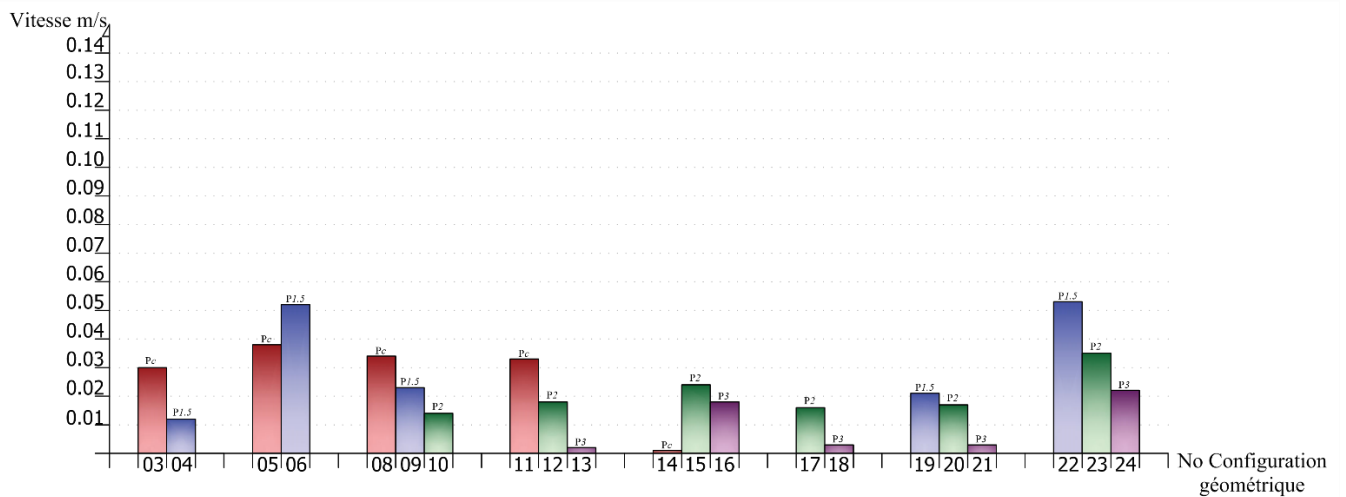


Figure 12: Variation de la vitesse en fonction de la forme du patio dans la période estivale ; Source : Auteur.

On peut observer dans la figure 12, que la forme du patio influence fortement la vitesse de l'air et donc le confort aéraulique à l'intérieur du patio. Plus la forme du patio est étroite plus la vitesse diminue.

2.2.3. Effet 3 : Effet du rapport Vide/Plein :

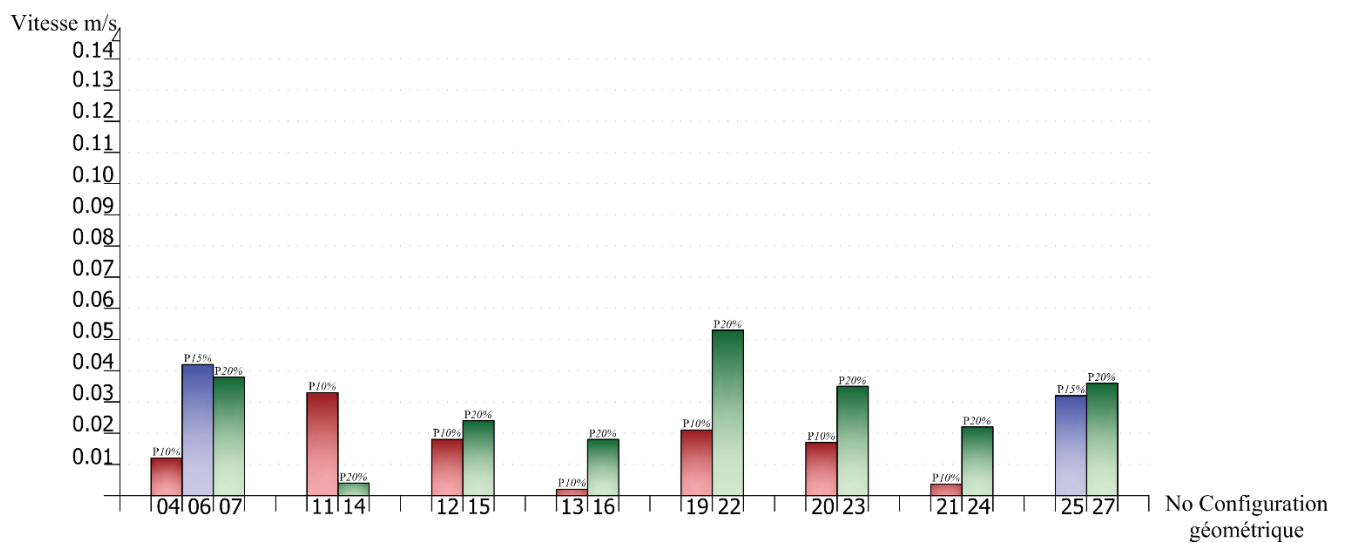


Figure 13: Variation de la vitesse en fonction de l'envergure de la taille du patio dans la période estivale ; Source : Auteur.

La figure 13 montre l'effet de la taille du patio par rapport à celle de la maison, on peut observer dans celle-ci, que la vitesse varie en fonction de taille du patio. Plus le patio est grand plus la vitesse augmente à l'intérieur de ce dernier.

2.1. Période estivale – Variation de la pression :

Dans cette partie, nous analyserons les résultats de la pression maximale appliquée par le vent sur la façade face au vent à l'intérieur du patio, en les comparant les unes aux autres, et ressortir l'impact de la variation de chaque critère indépendamment des autres.

2.1.1. Effet 1 : Effet de la forme de la silhouette :

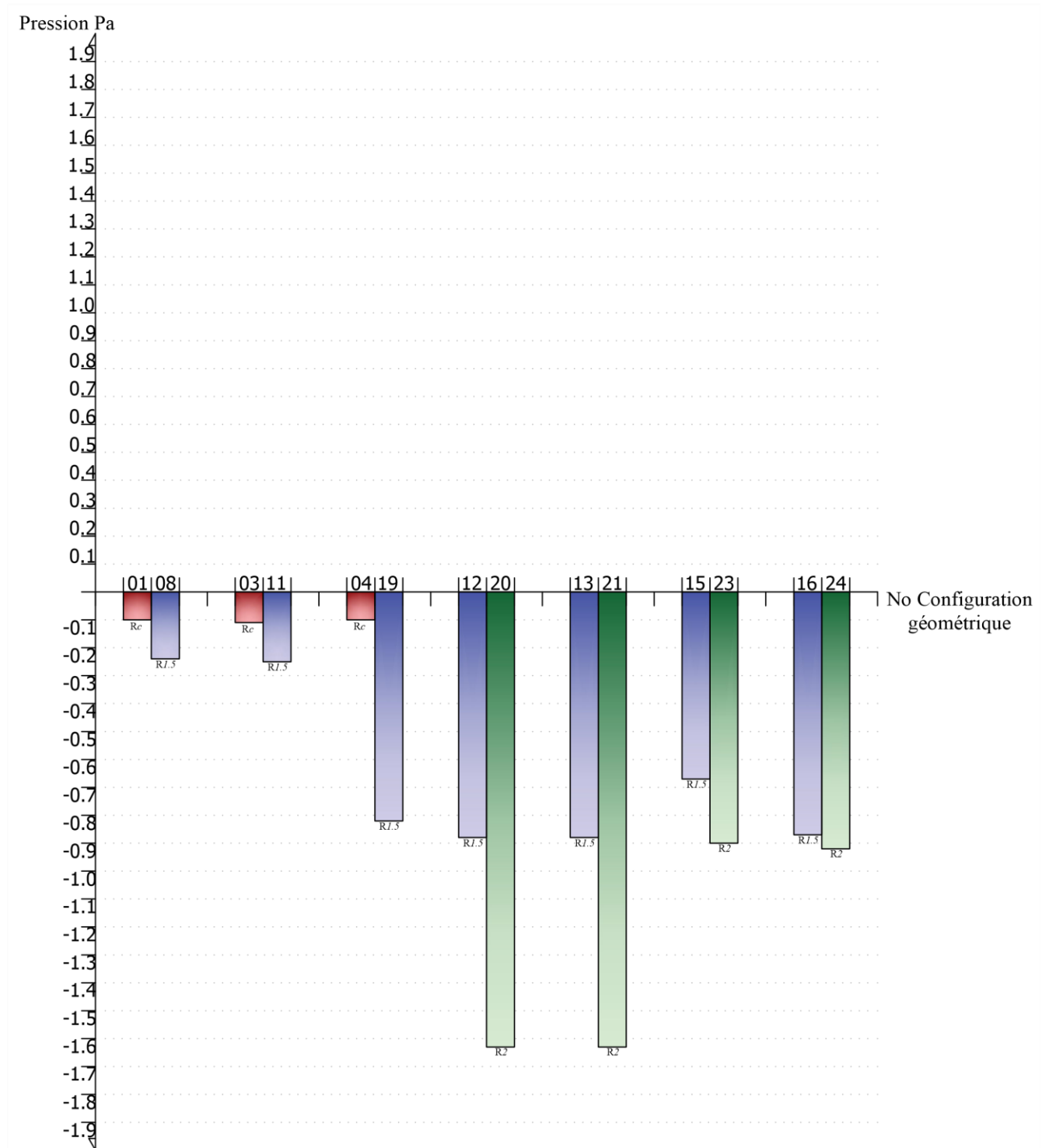


Figure 14: Variation de la pression en fonction de la forme de la silhouette dans la période estivale ; Source : Auteur.

On remarque sur la figure14, que la pression dépend énormément de la forme de la silhouette. Plus la forme est élancée, moins elle est large et plus la pression baisse. De plus en comparant les trois différentes formes proposées, on trouve que la forme R₂ est celle ou on trouve de grandes valeurs de dépression arrivant jusqu'a -1.6 Pa.

2.1.2. Effet 2 : Effet de la forme du patio :

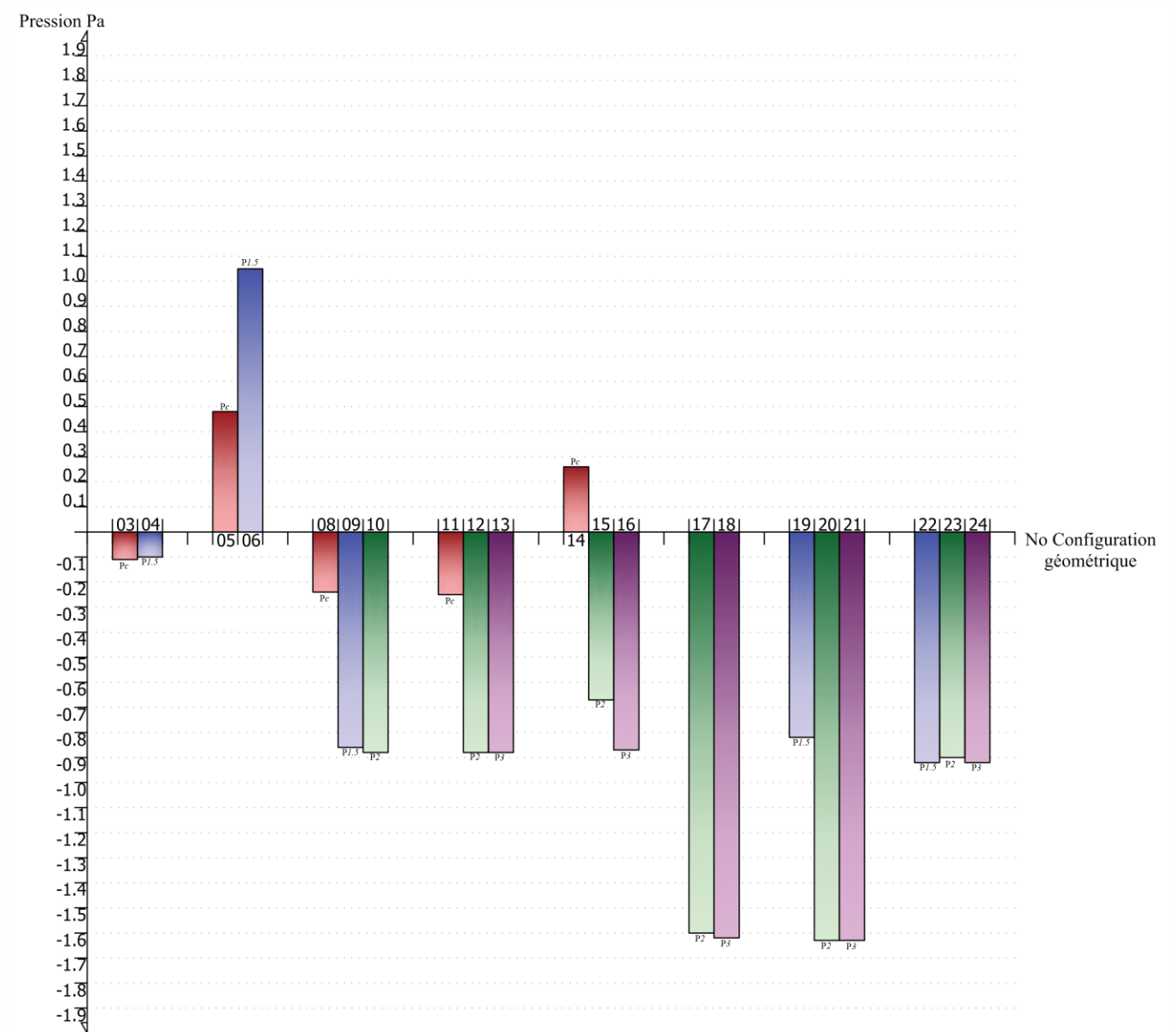


Figure 15: Variation de la pression en fonction de la forme du patio dans la période estivale ; Source : Auteur.

Dans la figure 15, on remarque que, selon la silhouette, la forme du patio influe fortement la pression, même si on constate que moins le patio est large, plus la pression diminuée, on remarque une grande différence entre les valeurs de pression (qui ne dépasse pas les -0.25 dans R_{1.5} et arrive jusqu'à -1.63 dans les silhouettes R₂)

2.1.3. Effet 3 : Effet du rapport Vide/Plein :

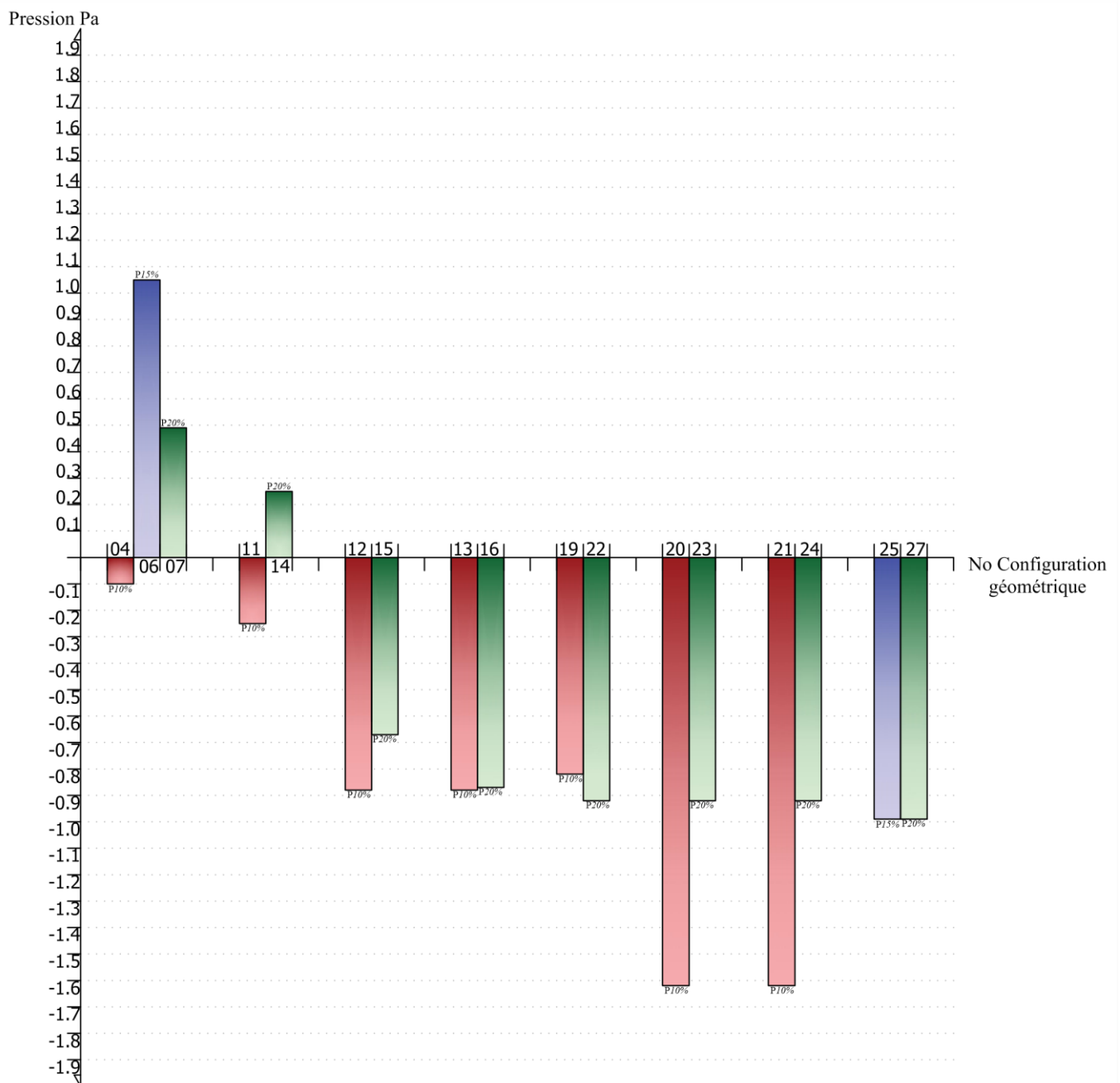


Figure 16: Variation de la pression en fonction de l'envergure de la taille du patio dans la période estivale ; Source : Auteur.

Dans la figure 11, on remarque que la pression augmente en fonction de l'envergure de la taille du patio par rapport à la taille de la maison, plus le patio prends de l'envergure plus la pression augmente. La pression dépend essentiellement de la direction du vent.

3. Evaluation du confort aéraulique à l'intérieur des patios :

Dans cette partie, on se référera à l'échelle de Beaufort pour classer le degré de confort à l'intérieur du patio, notamment dans la période hivernale où les utilisateurs des patios doivent être protégés contre les vents froids.

Beaufort scale	Wind speed				Description
	knot	mph	km/h	m/s	
0	- 0	- 0	- 0	- 0	Calm
1	1 - 3	1 - 3	1 - 6	1 - 2	Light air
2	4 - 6	4 - 7	7 - 11	3 - 3	Light breeze
3	7 - 10	8 - 12	12 - 19	4 - 5	Gentle breeze
4	11 - 16	13 - 18	20 - 30	6 - 8	Moderate breeze
5	17 - 21	19 - 24	31 - 39	9 - 11	Fresh breeze
6	22 - 27	25 - 31	40 - 50	12 - 14	Strong breeze
7	28 - 33	32 - 38	51 - 61	15 - 17	Near gale
8	34 - 40	39 - 46	62 - 74	18 - 21	Gale
9	41 - 47	47 - 54	75 - 87	22 - 24	Strong gale
10	48 - 55	55 - 63	88 - 102	25 - 28	Storm
11	56 - 63	64 - 72	103 - 117	29 - 32	Violent storm
12	64 -	73 -	118 -	33 -	Hurricane

Tableau 1: Echelle de Beaufort ; Source : www.sailgrib.com

L'échelle de Beaufort est une échelle de mesure empirique, comportant 13 degrés (de 0 à 12), de la vitesse moyenne du vent sur une durée de dix minutes. Initialement, le degré Beaufort correspond à un état de la mer associé à une « fourchette » de la vitesse moyenne du vent, elle a aussi été mise à jour pour être utilisée à terre.

Le tableau suivant comporte le prélèvement des vitesses et pressions depuis les résultats des simulations. On trouve en **vert** les vitesses les plus **favorables** pour le confort aéraulique dans le patio et les pressions qui favorisent une bonne ventilation naturelle des pièces donnant sur le

patio. Tandis qu'en **rouge**, les vitesses les plus **défavorables** pour le confort aéralique dans le patio et les vitesses défavorisant la ventilation naturelle des pièces donnant sur le patio.

Silhouette	Modèle	Type	Vide	Patio	Hiver			Eté			
					D bati	D patio	Vitesse	D bati	Dpatio	Pression	Vitesse
1	1	1	10%	P1	6,84	6,32	4	6,84	6,23	-0,1	0,028
	2	1	15%	P1	6,13	7,74	3,95	6,13	7,74	0,47	0,038
	3	2	10%	P1	9,12	6,32	3,84	6,84	6,32	-0,11	0,03
	4	2	10%	P1,5	8,17	7,75	4,96	7,42	5,15	-0,1	0,012
	5	2	15%	P1	8,81	7,74	4,84	6,13	7,74	0,48	0,038
	6	2	15%	P1,5	7	9,5	4,54	6,85	6,3	1,05	0,042
	7	3	20%	P1,5	6,04	11,02	3,92	6,35	7,3	0,49	0,032
2	8	5	10%	P1	9,09	6,32	3,81	5	6,32	-0,24	0,034
	9	5	10%	P1,5	8,37	7,75	4,66	5,58	5,15	-0,86	0,023
	10	5	10%	P2	7,75	9	5,55	5,91	4,5	-0,88	0,014
	11	6	10%	P1	12,12	6,32	3,8	5	6,32	-0,25	0,033
	12	6	10%	P2	10,34	9	4,67	5,91	4,5	-0,88	0,018
	13	6	10%	P3	9,05	10,95	2,83	6,33	3,65	-0,88	0,0018
	14	6	20%	P1	11,18	7,74	3,8	4,29	7,74	0,26	0,004
	15	6	20%	P2	9	11	3,78	5,41	5,5	-0,67	0,024
3	16	6	20%	P3	7,34	13,5	3,82	5,91	4,5	-0,87	0,018
	17	9	10%	P2	9,64	9	5,52	4,82	4,5	-1,6	0,016
	18	9	10%	P3	8,66	10,95	4,7	5,24	3,65	-1,62	0,0003
	19	10	10%	P1,5	13,7	7,75	4,69	4,5	5,15	-0,82	0,021
	20	10	10%	P2	12,86	9	4,68	4,82	4,5	-1,63	0,017
	21	10	10%	P3	11,56	10,95	4,66	5,24	3,65	-1,63	0,0026
	22	10	20%	P1,5	11,56	10,95	4,7	3,42	7,3	-0,92	0,053
	23	10	20%	P2	10,46	12,6	4,56	3,92	6,3	-0,9	0,035
	24	10	20%	P3	8,56	15,45	5,53	4,5	5,15	-0,92	0,022
	25	11	15%	P2	16,78	11	4,61	4,32	5,5	-0,99	0,032
	26	11	15%	P3	14,28	13,5	4,61	4,82	4,5	-0,99	0,032
	27	11	20%	P2	15,18	12,6	4,59	3,92	6,3	-0,95	0,036
	28	11	20%	P3	12,33	15,45	5,48	4,5	5,15	-0,95	0,022
	29	12	15%	P1	8,64	11	4,63	8,14	5,5	-0,34	0,037
	30	12	15%	P2	6,41	15,45	4,73	8,5	5,15	-0,26	0,036

Tableau 2: Tableau du prélèvement des résultats des simulations ; Source : Auteur.

On remarque depuis le tableau 2 que les configurations 2, 7 et 14 ont les vitesses les plus basses par rapport aux autres configurations, celles-ci varient entre 3,8 et 3,95 m/s ce qui correspond dans l'échelle de Beaufort a une « **légère brise** » et donc une situation confortable.

On remarque aussi que ce sont les mêmes configurations qui permettent une bonne ventilation naturelle, puisque ce sont ces dernières qui reçoivent des pressions positives sur les façades qui donnent sur le patio.

On peut aussi déduire que **la forme optimale**, par rapport au climat de la ville de Sétif, celle qui offre un bon confort aéraulique pendant l'hiver et une bonne ventilation naturelle nocturne pendant l'été, est la **configuration numéro 7**, puisqu'elle fait diminuer la vitesse de l'air jusqu'à offrir la vitesse de l'air la plus faible à l'intérieur du patio pendant la période hivernale, et reçoit la pression la plus élevée entre toutes les autres configurations en été.

Conclusion :

Malgré la simplicité de sa forme, la maison à patio génère des phénomènes complexes des plus étonnants, notamment dans le domaine de l'aérodynamique. Comme on a pu le découvrir dans ce chapitre, la moindre manipulation dans la configuration géométrique de la maison modifie considérablement les écoulements aérodynamiques au tour de la maison et dans le patio, ce qui conduit à l'atteinte directe des conditions de confort dans ces derniers, chose que la majorité des concepteurs ignorent.

Nous avons dans ce chapitre, après une longue série de simulations, pu apporter quelques éclaircissements concernant ces phénomènes, qui peuvent servir de guide aux concepteurs dans leurs futures conceptions architecturales et urbaines :

- Toute manipulation sur la morphologie de la maison influe considérablement les conditions de confort aérodynamique des usagers.
- L'influence des manipulations est observable été comme hiver.
- En hiver, c'est la forme de la silhouette qui a un impact considérable sur les écoulements aérodynamiques :
 - Plus la forme de la maison est élancée plus la vitesse dans le patio diminue.
- En été, c'est la taille du patio et ses propositions qui jouent un rôle important dans l'optimisation du confort aérodynamique dans le patio :
 - On a remarqué que plus le patio est grand, plus la vitesse de l'air dans le patio augmente.
 - Plus la forme du patio va dans le sens de la largeur, plus la vitesse de l'air à l'intérieur de ce dernier augmente.
- Pour bénéficier d'une bonne ventilation naturelle pendant l'été, il est préférable d'opter pour des patios de grande envergure, ceci permettra à la zone de survitesses au-dessus de la partie frontale de la maison (zone de cisaillement) à pénétrer dans le patio en appliquant une pression, sur les façades au vent à l'intérieur du patio, assez suffisante pour provoquer une ventilation naturelle des pièces.



Conclusion générale

Conclusion générale et recommandations :

Conclusion générale :

Cette étude analyse un modèle d'habitat spécifique à la Ville de Sétif les Harat. Il s'agit d'étudier l'impact de la géométrie de la maison sur les écoulements aérauliques dans le patio et par conséquent sur le confort des occupants en période estivale et hivernale ainsi que la ventilation naturelle des locaux qui donnent sur le patio. Cette recherche se compose de deux volets. L'un relatif à l'approche théorique, sous forme d'une recherche bibliographique dans différents domaines (les écoulements aérauliques atour des bâtiments, l'histoire des maisons à patio en évoquant ses particularités, l'analyse de quelques travaux qui traitent le même sujet), et l'autre représente le volet expérimental où on a essayé de développer une méthode efficace adaptée à notre contexte d'étude en utilisant plusieurs méthodes et outils.

Une initiation au sujet de recherche a été abordée, à travers une lecture bibliographique afin de nous familiariser avec ce domaine de recherche et enrichir notre savoir en matière de mécanique des fluides et des écoulements aérauliques, et de comprendre différents phénomènes relatifs au comportement aéraulique du bâtiment et au rôle que joue le patio comme régulateur de la ventilation intérieure. Une analyse d'un état de l'art a été faite pour étudier différentes méthodes et outils utilisés pour traiter des sujets similaires au notre et tenter de développer, depuis ces dernières, une méthode propre à notre environnement de recherche.

Le patio en tant qu'élément architectural et de composition à marquer plusieurs régions du monde et surtout le bassin méditerranéen où l'on trouve des vestiges a cour centrale datant de l'antiquité, témoignant ainsi de la richesse d'adaptation de ce modèle de maisons à une diversité de cultures, climats, sociétés et de zones géographiques. Le patio fut utiliser son seulement pour des raisons compositionnelles et d'architecture, mais aussi pour son rôle de régulateur thermique, qui est généré par des phénomènes très complexes relatifs à la thermique et à l'aéraulique.

L'analyse de sujets similaires au notre, qui ont traités les phénomènes d'écoulements aérauliques dans les patios, confirme que la forme du patio joue un rôle prépondérant sur le déplacement des masses d'air à l'intérieur de celui-ci, et ont pu démontrer le rapport entre ce dernier et la ventilation naturelle des locaux qui le bordent, et l'impact de ses dimensions sur l'efficacité de la ventilation naturelle.

Le noyau historique de la ville de Sétif obéit aux lois d'urbanise régulier, dont la structure suit deux axes perpendiculaire l'un a l'autre, donnant naissance à des ilots de forme régulière qui sont facilement découpées en formes rectilignes et elles aussi régulières.

La composition géométrique des *Harat* de Sétif, permet aux habitants une mixité sociale dans une micro entité qui est la maison. Cette mixité enrichissait le mode de vie des occupants, en favorisant l'échange de coutumes et traditions, et en encourageant les relations de voisinage. De par sa configuration spatiale, la Harat constitue une architecture savante qui abrite plusieurs concepts qui ont été concrétisés spatialement. Le cas du seuil par exemple, équivoque d'intimité, la cour qui est synonyme d'échange et beaucoup d'autres concepts qui ont été développés dans ce travail.

Cette recherche associe une deuxième démarche, qui est l'approche analytique et expérimentale. L'approche analytique nous a permis de décortiquer un modèle d'habitat en le simplifiant, en le décomposant en segments recomposables. Cette analyse nous a permis d'aborder et de comprendre au mieux la composition morphologique de la Harat, et de faire une classification de ces segments.

Pour pouvoir étudier l'impact de la géométrie sur les écoulements, il était impératif de manipuler des segments et étudier l'effet de chaque segment indépendamment des autres. Pour cela, il fallait recomposer différents segments, d'une façon à ce que l'on obtienne des modèles comparables les uns aux autres, et sortir donc avec un corpus théorique sur lequel on pouvait appliquer des simulations CFD.

La CFD est un outil très performant qui a fait ses preuves, et dont l'apparition débute depuis les années 70, dés-lors, cette outil n'a pas cessé de se sophistiquer et de se perfectionner, son large domaine d'application témoigne de sa fiabilité.

L'application de la CFD sur les modèles théorique était programmée d'une façon à ce qu'elle a reproduit les conditions de la ville de Sétif, et étudier les différents effets de différentes manipulations des critères ressortis après l'étape de l'analyse.

D'après cette étude, nous avons conclu ce qui suit :

- L'enveloppe bâtie n'est plus considérée comme une simple frontière du domaine habitable, elle devient un élément important chargé d'apprivoiser les fluctuations du climat extérieur afin d'offrir un microclimat agréable aux abords du bâtiment, ainsi qu'une ambiance confortable aux espaces intérieurs.
- La maison à patio pourrait être la meilleure solution architecturale, dont les proportions de hauteur, longueur et largeur peuvent renforcer ces particularités climatiques et remédier aux fluctuations saisonnières et annuelles.
- La Harat de Sétif est un modèle d'habitat qui fait ses preuves pendant un grand laps de temps du côté socio-culturel auprès de la société sétifienne, et qui a, d'après la présente

étude, a pu démontrer d'importantes particularités climatiques, ce qui fait de lui le modèle le plus adapté pour la société, la culture et le climat de la ville de Sétif.

- Le patio n'est plus considéré comme étant un simple espace extérieur à l'intérieur de la maison, il joue le rôle d'un régulateur chargé d'appivoiser les conditions climatiques.
- Dans le domaine de l'aéraulique, le moindre changement dans la forme du bâtiment, sa disposition par rapport à d'autres bâtiments, son orientation ou ses proportions, changera et perturbera considérablement les écoulements au tour d'un bâtiment.
- La perturbation des écoulements aérauliques par un obstacle peut se faire ressentir à une distance allant de 4 à 12 fois sa hauteur.
- La simplicité de la configuration géométrique et spatiale des maisons à patio cache derrière elle une grande complexité, cette complexité réside dans les phénomènes climatiques, psychologiques et sociaux que provoque une configuration aussi simple.
- L'habitat des maisons à patio est en quelque sorte issu d'une rencontre entre besoins humains, sociaux et culturels avec des solutions architecturales, urbaines, climatiques et environnementales.
- La reproduction du modèle des maisons à patio à travers les âges et les civilisations, dans une diversité de régions climatiques et culturelles, témoigne de son efficacité et de sa richesse en matière d'adaptabilité. Il s'agit d'un espace structurant qui alimente la maison en lumière et en air, il représente aussi une source d'inspiration spirituelle et favorise la vie en communauté et la convivialité entre les habitants d'une même demeure.
- des vestiges d'espaces centraux ouverts ont été révélés en Mésopotamie, en Grèce antique, dans la civilisation romaine, la civilisation islamique et même dans les cités coloniales au Maghreb, mais chacune avec une connotation locale.
- La *Harat* est à la base une maison coloniale approprié par la population Setifiène, en développant les structures spatiales de la maison traditionnelle précoloniale au sein des espaces de la maison coloniale.
- La *Harat* est un type d'habitat communautaire, dont la morphologie et la configuration spatiale facilite les rapports de cohabitation, un système compact et introverti qui favorise l'être et non le paraître.
- Toute manipulation sur la morphologie de la maison influe considérablement les conditions de confort aéraulique des usagers.
- L'influence des manipulations est observable été comme hiver.

- En hiver, c'est la forme de la silhouette qui a un impact considérable sur les écoulements aérauliques :
 - Plus la forme de la maison est élancée plus la vitesse dans le patio diminue.
- En été, c'est la taille du patio et ses propositions qui jouent un rôle important dans l'optimisation du confort aéraulique dans le patio :
 - On a remarqué que plus le patio est grand, plus la vitesse de l'air dans le patio augmente.
 - Plus la forme du patio va dans le sens de la largeur, plus la vitesse de l'air à l'intérieur de ce dernier augmente.

Recommandations :

Ce travail de recherche donne certain nombre d'indications aux concepteurs pour mieux gérer les dimensions des dispositifs architecturaux en vue de favoriser une ambiance adéquate à l'intérieur du patio, été comme hiver. Il appelle le développement de recherches complémentaires qui croiseraient, comme certains travaux que l'on entrepris au cours de cette période de recherche, plusieurs types de phénomènes afin de mettre en exergue les qualités de ce type d'habitation qui a été longuement négligé.

En conclusion, nous avons démontré plusieurs résultats sur l'effet de la morphologie de la maison à patio sur les écoulements aérauliques, et par conséquent, le confort aéraulique au sein du patio dans un climat continentale comme celui de la ville de Sétif. Nous proposons dans ce qui suit quelques recommandations :

- Opter pour une forme carrée pour la silhouette de la maison pour diminuer les vitesses de l'air dans le patio en hiver et bénéficier d'une bonne ventilation naturelle pendant l'été.
- Il est recommandé de concevoir des patios de forme élancée pour protéger les utilisateurs contre les vents froids en hiver et bénéficier d'une brise nocturne fraîche en été.
- Les patios d'une grande taille (par rapport à celle de la maison) offrent de meilleures conditions de confort aéraulique dans la période hivernale, ainsi qu'une bonne ventilation naturelle et une bonne circulation de l'air dans le patio en été.
- Eloigner le patio de la façade aux vents dominants permet de réduire les vitesses de l'air dans le patio en hiver.

Futures pistes de recherche :

Dans cette recherche, on n'a pas pu étudier tous les paramètres agissant sur le confort aérauliques de la maison à patio, vue la complexité du thème. De ce fait nous proposons quelques futurs axes de recherche. Il est intéressant de coupler le confort aéraulique avec le confort thermique et voir l'effet jumelé de la stratification thermique et des écoulements par le vent dans plusieurs régions géographiques et donc dans plusieurs climats.

Il est aussi intéressant d'étudier l'impact des toitures sur les écoulements et le confort thermique des patios et d'opter pour une variété spécifique pour chaque climat donné.

Tout ce travail d'investigation a pour objectif de développer une architecture et d'un urbanisme durable et écologique.

Bibliographie :

1.1. Ouvrages :

- Boughali, M. (1974). *Présentation de l'espace chez le marocain illetré*. Paris: Anthropos.
- Cousin, J. (1980). *L'espace vivant, introduction a l'espace architecturale premier*. Edition Moniteur.
- Gandemer, J. (1978). *Discomfort due tu wind near buildngs: Aerodynamic concepts*. Washington: U.S Goverment printing office.
- Golvin, L. (1988). *Palais et demeurs d'Alger à la période ottomane*. Aix-en-Provence: Edisud.
- Haut, P. d. (2007). *Chauffage, isolation et ventilation écologique*. Paris: EYROLLES.
- Le Grand Atlas de l'Architecture Mondiale. (1981). Paris: Universalis.
- Liébard, A., & De Haut, A. (2005). *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques*. Paris: Observ'ER.
- Martin, R. (1956). *L'urbanisme dans la Grèce antique*. Paris.
- Ravéreau, A. (1981). *Le M'Zab: une leçon d'architecture*. Paris: Editions Sindbad et ACTES SUD.
- Revault, J. (1984). *Palais, demeures et maisons de plaisance à Tunis et ses environs du XVI au XIX siècle*. Aix-en-Provence: Edisud.
- Tomasella, M. (1995). *Reconnaitre les styles architecturaux*. Paris: Editions de VECCHI S.A.
- V.Szokolay, S. (2004). *Introduction to architectural science: The basis of sustainable sesign*. Burlington: ELSEVIER.

1.2. Articles :

- Abbaoui, M., Azizi, N., & DJemili, A. (2008). Les mixités sociales, urbaines et de l'activité a l'échelle domestique: le cas de la Harat de Sétif. *Revue perspectives scientifiques & sociales*.
- Abdulac, S. (2011). Les maisons à patio. *ICOMOS*, 282-305.
- Aldawoud, A., & Clark, R. (2008). Comparative analysis of energy performance between courtyard and atrium in buildngs. *Energy and Buildings*, 209-214.
- Bouketta, S., & Bouchahm, Y. (2012). L'effet de la géométrie uraine sur l'écoulement du vent et la ventilation naturelle extérieure. *Revue des Energies renouvelables*, 639-659.
- El-Hemiddi, N., & Megren Al-Saud, K. (2001). The effect of a ventilated interior courtyard on the thermal performance of a house in a hot-arid region. *Renewable Energy*, 581-595.
- Hall, D., Walker, S., & Spanton, A. (1999). Dispersion from courtyards and other enclosed spaces. *Atmospheric Environment*, 1187-1203.
- Heidari, S. (2010). A deep courtyard asthe best building form fr deset climat, an introduction to effects of air movement. *Desert*, 19-26.
- Meir, I. (1998). Bioclimatic desert house: a critical view. *Environmentally friendly cities*, 245-248.
- Moonen, p., Dorer, V., & Carmeliet, J. (2011). Evaluation of the ventilation potential of courtyards and urban street conyons using RANS en LES. *Journal of wind engineering and indstrial aerodynamics*, 414-423.
- Pérez-Lombard, L. (2008). Global residential energy consumption. *Energy and building*, 394-398.
- Rajapaksha, I., Nagai, H., & Okumiya, M. (2003). A ventilated courtyard as a passive cooling strategy in the warm humid tropics. *Renewable Energy*, 1755-1778.
- Rojas, J. m., Calan-Marin, C., & Fernandez-Nieto, E. (2012). Parametric study of thermodynamics in the mediterranean courtyard as a tool for the design of Eco-Efficient buildings. *Energies*, 2381-2403.

- Sadafi, N., Salleh, E., Chin Haw, L., & Jaafar, Z. (2011). Evaluating thermal effects of internal courtyard in a tropical terrace house by computational simulation. *Energy and Buildings*, 887-893.
- Sohn, L. (1973). The stockholm declaration of the human environment. *The Harvard international law journal*, 423-515.
- Supic, P. (2000). L'aspect bioclimatique de l'habitat vernaculaire. *Arch & comport/ Arch & behav*, 27-47.
- Vitanne, R. (1996). Batir, Manuel de la construction. *Presses polytechniques et universitaires Romandes*.

1.3. Conférences :

- Cho, S., & Nooshafarin, M. (2013). Thermal comfort analysis of a traditional iranian courtyard for the design of sustainable residential buildings. 13th Conference of international building performance simulation association, (pp. 2326-2333). Chambery- France.
- Lee, R., Chan, S., Leone Jr, J., & Stevens, D. (1999). Airflow and dissipation around multiple buildings. The 7th international Conference on air pollution. San Francisco.
- Mansouri, Y., Allard, F., & Musy, M. (2003). Conceptual implementation of natural ventilation strategy. Eighth International IBPSA Conference (pp. 815-822). Eindhoven, Netherlands: Building Simulation.
- Tablada, A. (2005). The influence of courtyard geometry on airflow and thermal comfort: CFD and thermal comfort simulations. The 22nd Conference on passive and low energy architecture, (pp. 1-6). Beirut-Lebanon.
- Tsianaka, E. (2006). The role of courtyards in relation to air temperature of urban dwellings in Athens. The 23rd conference on passive and low energy architecture. Genève.

1.4. Thèses :

1.4.1. Doctorat :

- Abbaoui, M. (2011). La Harat et la cité numérique de la ville de Sétif: Une contribution pour une démarche et un habitat groupe écologiques. Sétif: Institut d'architecture et des sciences de la terre- Sétif.
- Abdelouhab, M. (2011). Contribution à l'étude du transfert des polluants gazeux entre le sol et les environnements intérieurs des bâtiments. La Rochelle : Université de La Rochelle.
- Brangeon, B. (2012). Contribution à l'étude numérique de la ventilation naturelle dans des cavités ouvertes par la simulation des grandes échelles. Application au rafraîchissement passif des bâtiments. La Réunion : Ecole doctorale de la Réunion.
- Brun, A. (2006). Amélioration du confort d'été dans des bâtiments à ossature par ventilation de l'enveloppe et stockage thermique. Grenoble : Université de Grenoble.
- Rehailia, H. (2007). "Le patio" Le plain autour di vide ou le vide dans le plein. Genève : Université de Genève.
- 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. Louvain : Université Catholique de Louvain.
- Wurtz, E. (1995). Modélisation tridimensionnelle des transferts thermiques et aérauliques dans le bâtiment en environnement orienté objet. Champs-sur-Marne : Ecole nationale des ponts et chaussées.

1.4.2. Magister

- Boulfani, W. (2010). *Les ambiances thermiques d'été dans l'habitat de la période coloniale à patio*. Biskra: Université Mohamed Khider Biskra.

1.5. Sites Web :

- [http:// www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)
- [http:// www.cerma.archi.fr](http://www.cerma.archi.fr)
- [http:// www.cstb.fr](http://www.cstb.fr)
- [http:// www.energies-renouvelables.org](http://www.energies-renouvelables.org)

- [http:// www.energie.wallonie.be](http://www.energie.wallonie.be)
- <http:// www.grenoble.archi.fr>
- <http:// www.laf.archi.fr>
- <http:// www.minergie.ch/fr>
- <http:// www.regionpaca.fr>
- <http:// www.technomc.info>
- <http:// www.sailgrib.com>

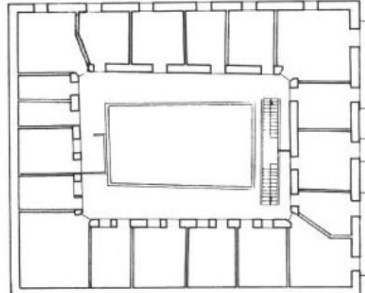
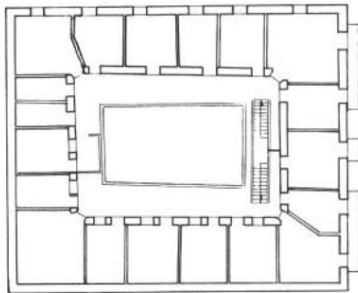
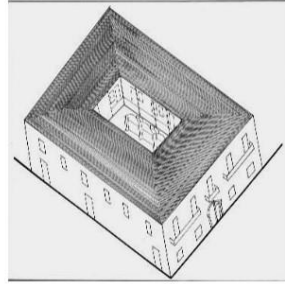


Annexes

1. Présentation du corpus d'étude :

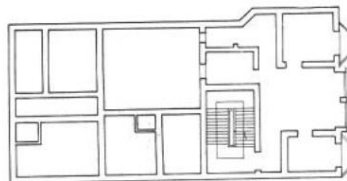
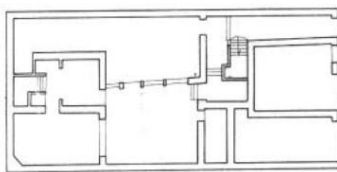
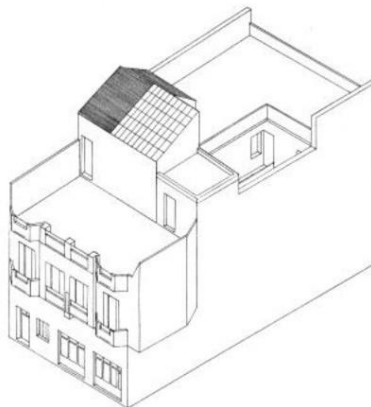
H-1

Harat Sakai
 18, rue Frantz Fanon
 Date de construction : 1903
 1er propriétaire :
 M. Sakai (d'origine juive)
 S = 480 m²
 (24m x 20m)
 Harat complètement détruite



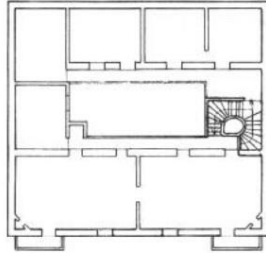
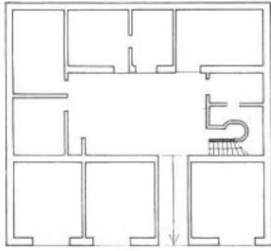
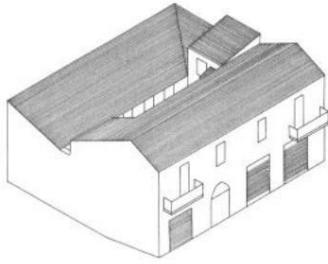
H-2

Harat Dussain
 10, rue Haffad Abdelmadjid
 Date de construction :
 1940
 1er propriétaire :
 M. Dussain
 (d'origine française)
 S = 253 m²
 (23m x 11m)

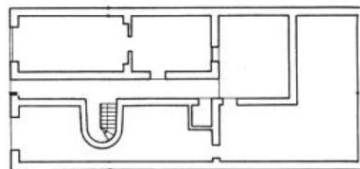
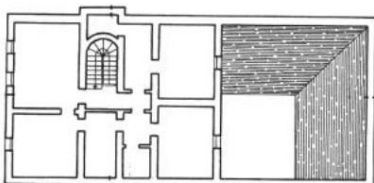
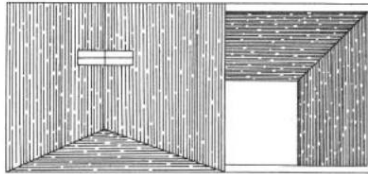


H-3

Harat Messai
 8, rue Djebel Boutaleb
 Date de construction :
 1849
 S = 288 m²
 (18 m x 16 m)

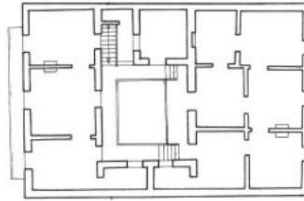
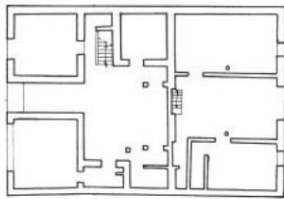
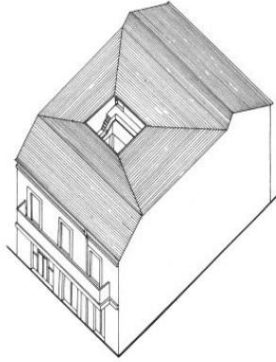
**H-4**

Harat Mme Olive Germaine
 5, rue Frantz Fanon
 Date de construction :
 1884
 1er propriétaire :
 Mme Olive Germaine
 S = 264 m²
 (24 m x 11 m)

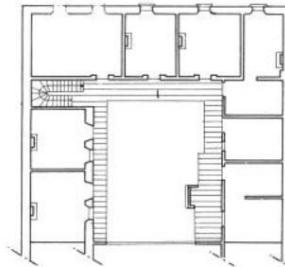
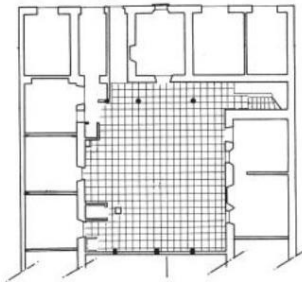
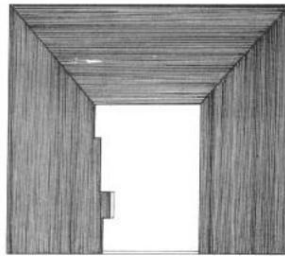


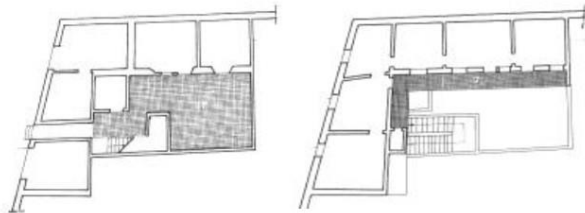
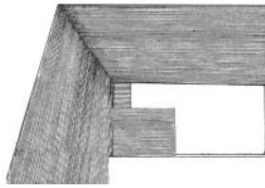
H-5

Harat Mesquine
21, rue Haffad Abdelmadjid
Date de construction :
1870
1er propriétaire :
Henri Atlani (d'origine juive)
S = 280 m²
(20 m x 14 m)

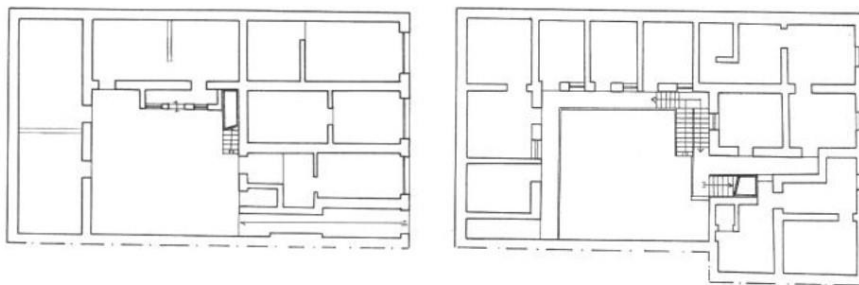
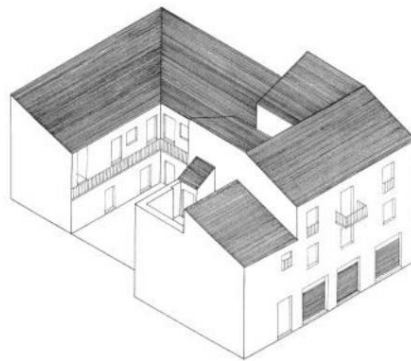
**H-6**

Harat Fellahi
30, rue Djebel Boutaleb
Date de
construction : 1845
S = 360 m²
(20 m x 18 m)



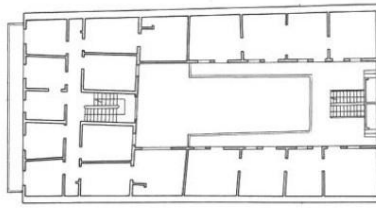
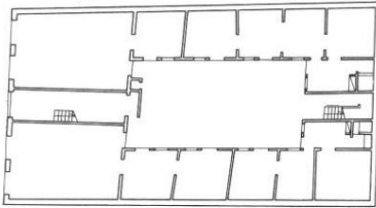
H-7**H-8**

Harat Zemite
19, avenue Ben Boulaïd
Date de construction : 1890
1er propriétaire :
M. Zemite
(d'origine maltaise)
S = 390 m²
(26 m x 15 m)

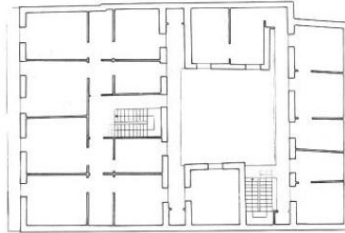
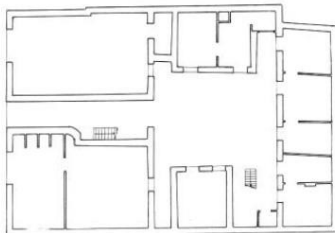
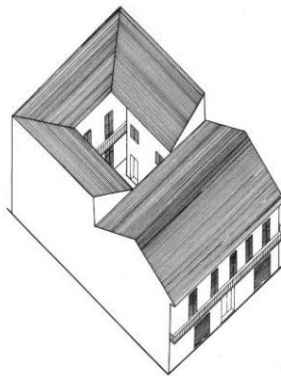


H-9

Harat Hamdi Chérif
20, rue des Frères Meslem
Date de construction :
1892
S = 470,40 m²
(29,40 m x 16 m)

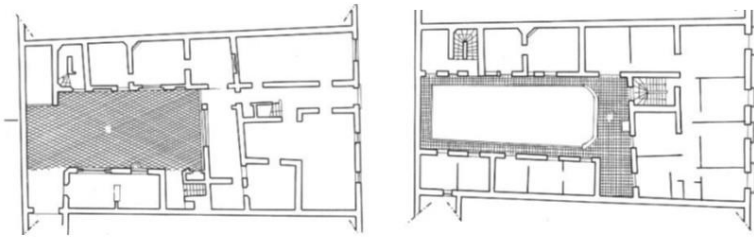
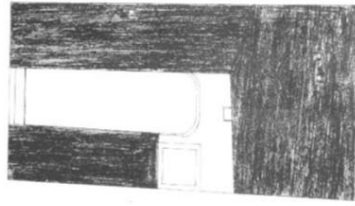
**H-10**

Harat Fiata
29, rue Fellahi Laïd
Date de construction : 1923
1er propriétaire :
M. Fiata (d'origine juive)
S = 486 m²
(27 m x 18 m)

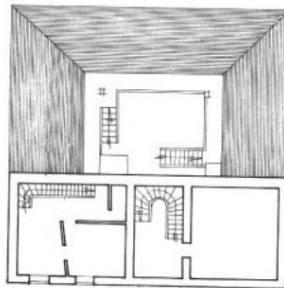
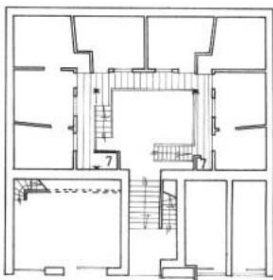
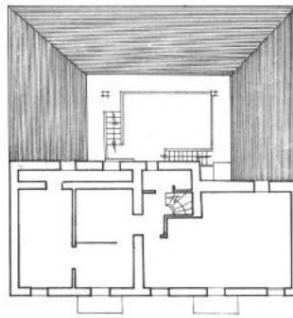


H-11

Harat "Marabout"
12, rue Djebel Boutaleb
date de construction :
1897
S = 563,76 m²
(32,40 m x 17,40 m)

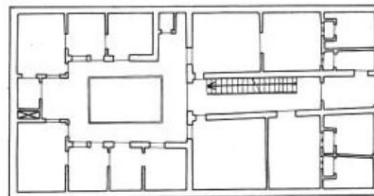
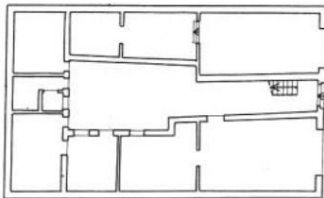
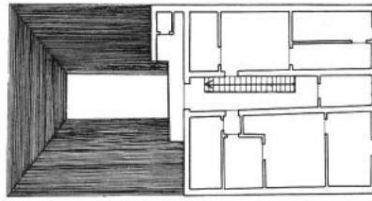
**H-12**

Harat Zara
14, avenue du 8 mai 45
1^{er} propriétaire :
M. Zara (d'origine juive)
S = 289 m²
(17 m x 17 m)

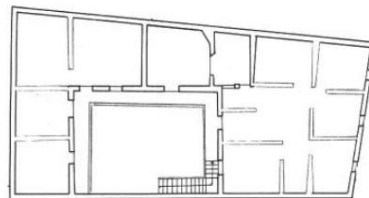
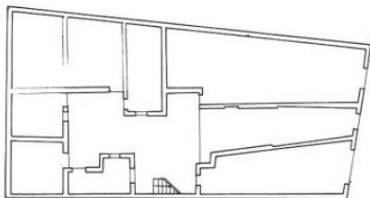


H-13

Harat Galot
17, avenue du 8 mai 45
Date de construction : 1900
1er propriétaire :
M. Galot (d'origine française)
S = 240,56 m²
(19,40m x 12,40 m)

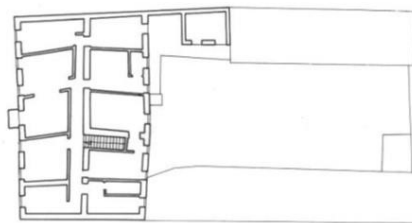
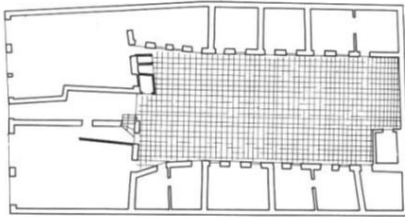
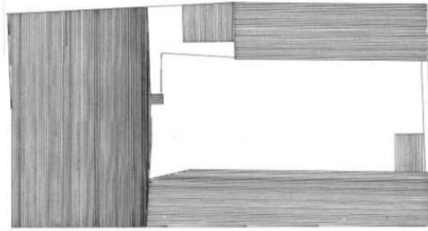
**H-14**

Harat Memoune
11, rue Meriem Bouaroura
date de construction :
1902
S = 325 m²

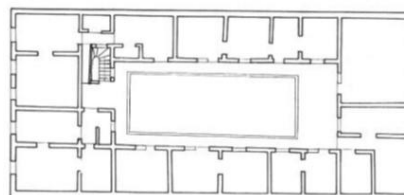
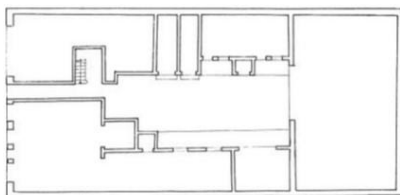


H-15

Harat Roca
3, rue meriem Bouatoura
date de construction : 1902
1er propriétaire : M. Roca
(d'origine juive)
S = 760 m²
(38 m x 20 m)

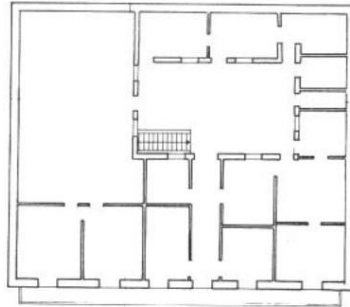
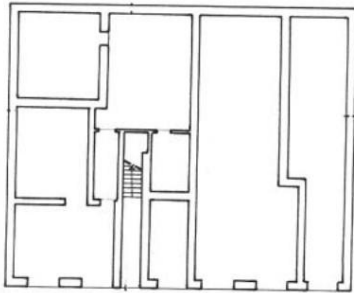
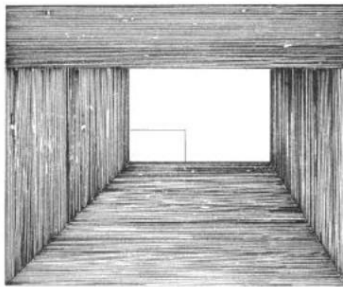
**H-16**

Harat
10, rue des Frères Meslem
Date de construction :
1898
S = 618,80 m²
(36,40 m x 17 m)
Nombre de familles avant la transformation de la harat : 2 au
Rdc et 5 à l'étage.
(Plans du Rdc et de l'étage à avant modifications).

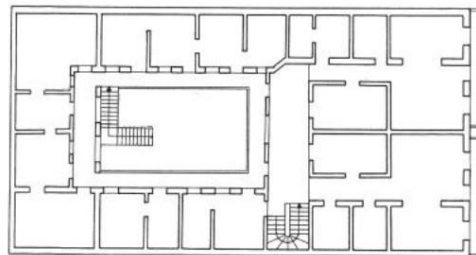
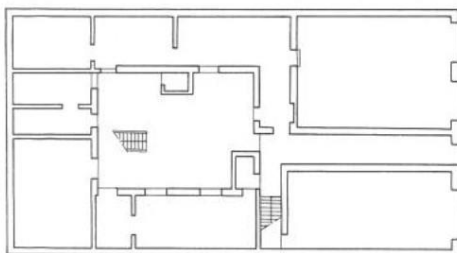


H-17

Harat Aubri
21, rue du Fida
Date de construction : 1900
1^{er} propriétaire : M. Aubri
(d'origine juive)
S = 396 m²
(22 m x 18 m)

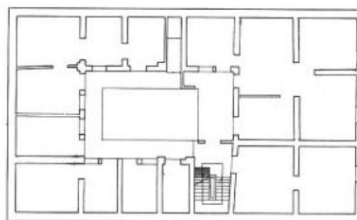
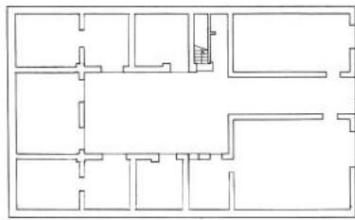
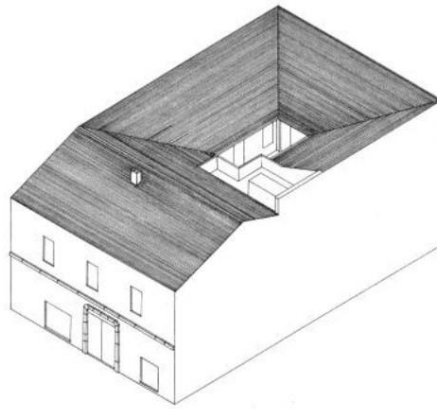
**H-18**

Harat Defendini
8, rue S/L Ahmed Agoune
Date de construction :
1901
1^{er} propriétaire :
M. Defendini (d'origine italienne)
S = 520,80 m²
(31 m x 16,80 m)

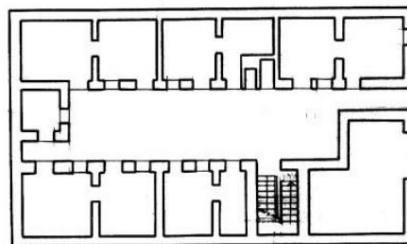
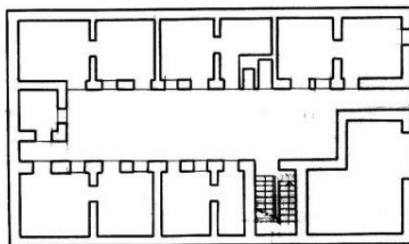
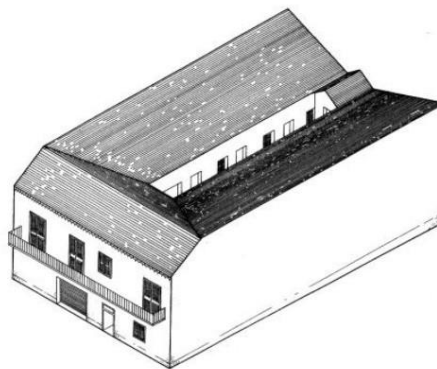


H-19

Harat Nouamane
6, rue Sabri Abdelhamid
Date de construction :
1923
S = 372 m²
(24,80 m x 15 m)

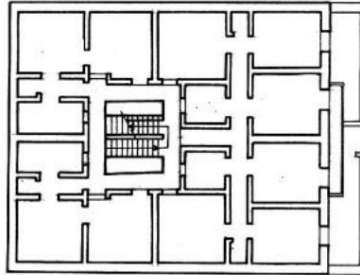
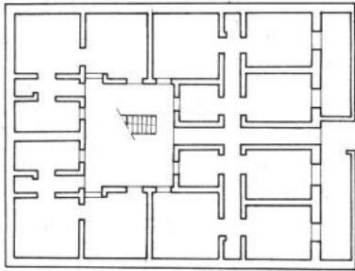
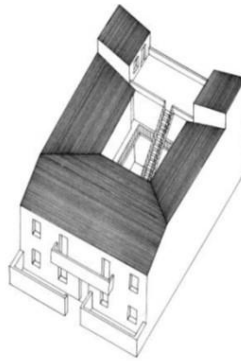
**H-20**

Harat Bensdira
11, rue Saâdna Abdenour
Date de construction : 1890
S = 456 m²
(24 m x 19 m)

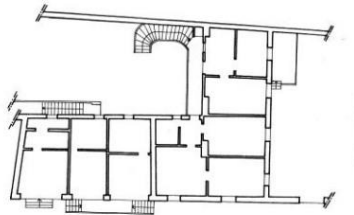
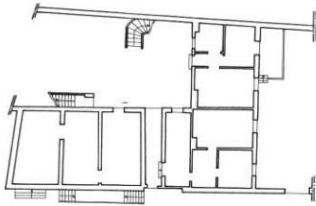
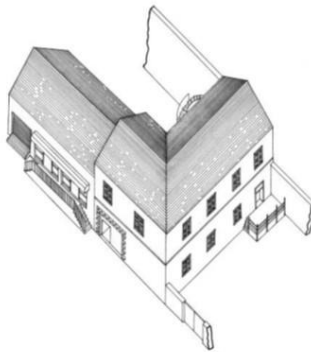


H-21

Harat Hamdi
3, rue Sakiet Sidi Youcef
Date de construction :
1862
S = 323,70 m²
(20,75 m x 15,60 m)

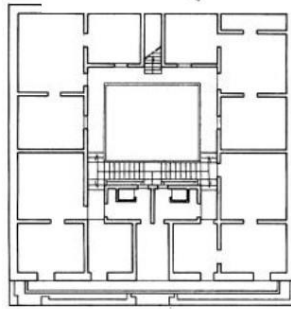
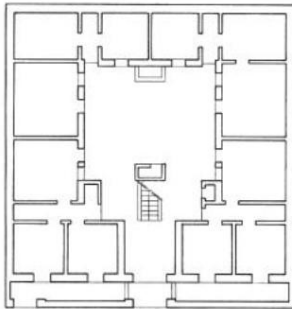
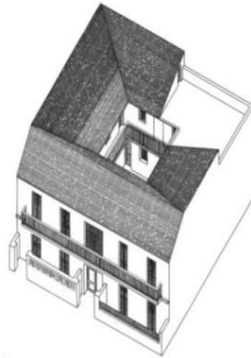
**H-22**

Harat Debonne
1, rue Saoula Lakhdar
Date de construction : 1907
1^{er} propriétaire :
Mme Debonne (d'origine française)
S = 341,28 m²
(21,60 m x 15,80 m)

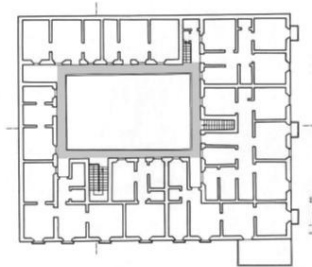
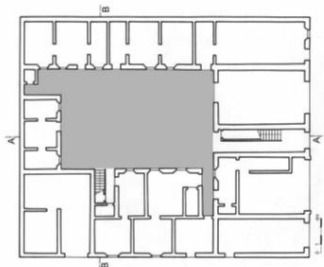
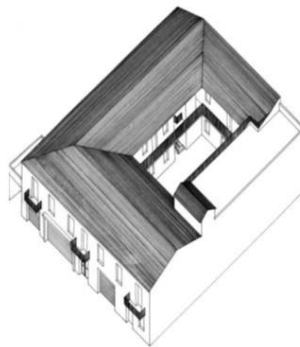


H-23

Harat Kadri
5, rue Boudoukha Mohamed
Date de construction :
1865
S = 316,48 m²
(18,40 m x 17,20 m)

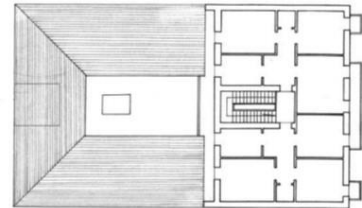
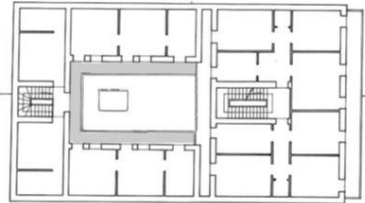
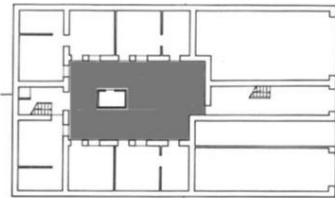
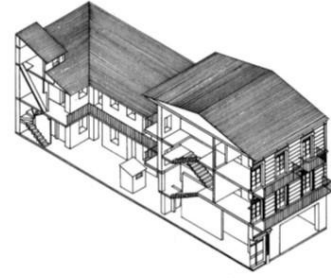
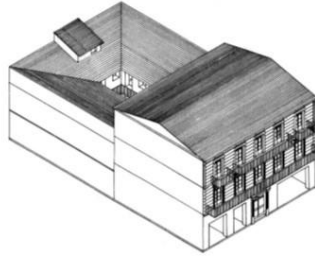
**H-24**

Harat Attar
Date de construction :
1906
S = 750 m²
(30 m x 25 m)

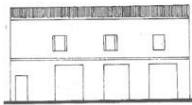


H-25

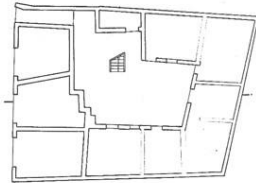
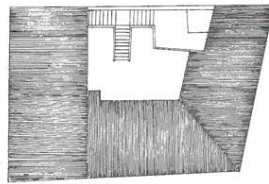
Harat Chiah
S = 405,6 m²
(26 m x 15,60 m)

**H-26**

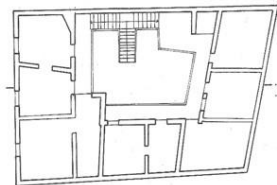
Harat
S = 254 m²



Façade

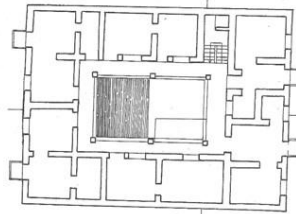
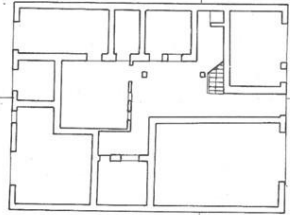
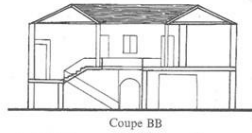
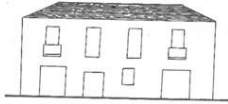
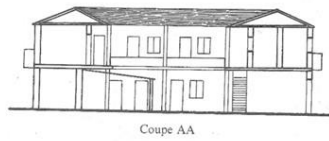


Rd.

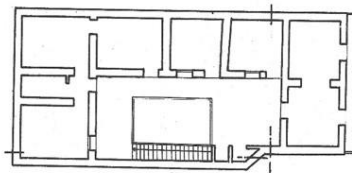
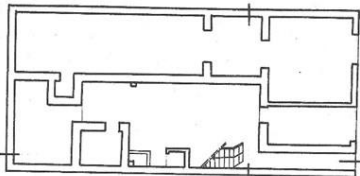
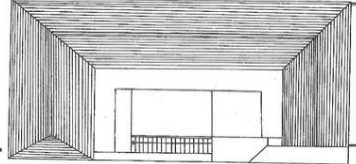
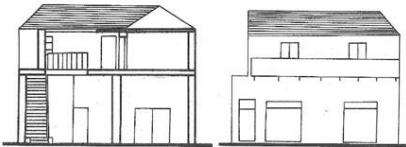
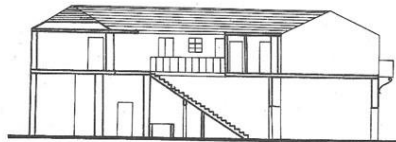


H-27

Harat Bianco
S = 229,7 m²
(17,5m x 13 m)

**H-28**

Harat
S = 253m²
(23,11m x 11 m)



Harat	S _{totale}	S _{patio}	Rapport Vide/Plain	
			%Vide	% Plain
1	480	53,6	11,16667	88,83333
2	253	34,65	13,69565	86,30435
3	228	32,4	14,21053	85,78947
4	264	29	10,98485	89,01515
5	280	15,75	5,625	94,375
6	360	78,5	21,80556	78,19444
7	330	86	26,06061	73,93939
8	390	69,7	17,87179	82,12821
9	310,4	63	20,29639	79,70361
10	486	57	11,7284	88,2716
11	563,7	95,19	16,88664	83,11336
12	289	51	17,64706	82,35294
13	240,5	12,5	5,197505	94,80249
14	325	20,5	6,307692	93,69231
15	760	159,25	20,95395	79,04605
16	618,8	79,5	12,84745	87,15255
17				
18	520,8	54,88	10,53763	89,46237
19	372	23,76	6,387097	93,6129
20	336	27,55	8,199405	91,8006
21	323,7	31,5	9,731233	90,26877
22	341,3	102	29,88573	70,11427
23	316,48	35,7	11,28033	88,71967
24	750	112,88	15,05067	84,94933
25	405,6	39,37	9,706607	90,29339
26	254	56,75	22,34252	77,65748
27	229,5	27,5	11,98257	88,01743
28	253	41,75	16,50198	83,49802

Tableau 1: Calcul du rapport Vide/Plain

Harat	Silhouette		
	Long	Large	Rapport
1	24	20	1,2
2	23	11	2,090909
3	18	16	1,125
4	24	11	2,181818
5	20	14	1,428571
6	20	18	1,111111
7			
8	26	15	1,733333
9	29,4	16	1,8375
10	27	18	1,5
11	32,4	17,4	1,862069
12	17	17	1
13	19,4	12,4	1,564516
14			
15	38	20	1,9
16	36,4	17	2,141176
17			
18	31	16,8	1,845238
19	24,8	15	1,653333
20	24	14	1,714286
21	20,75	15,6	1,330128
22			
23	18,4	17,2	1,069767
24	30	25	1,2
25	26	15,6	1,666667
26			
27	17,5	13	1,346154
28	23,11	11	2,100909

Tableau 2: Calcul du rapport de proportions de la silhouette

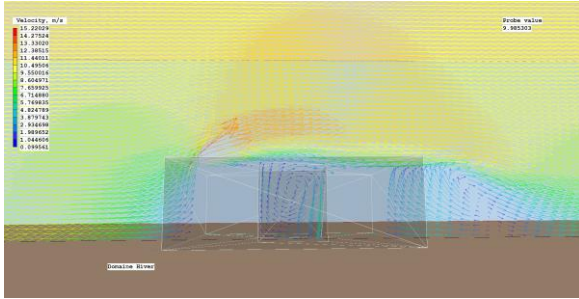
Harat	Patio		
	Long	Large	Rapport
1	9,75	5,5	1,772727
2	6,3	5,5	1,145455
3	9	3,6	2,5
4	6,3	4,6	1,369565
5	4,5	3,5	1,285714
6	10,75	7,3	1,472603
7	8,4	8,4	1
8	14	4,5	3,111111
9	7,5	7,5	1
10	16,7	5,7	2,929825
11	16,7	5,7	2,929825
12	8,5	6	1,416667
13	5	2,5	2
14	6,4	3,2	2
15	24,5	6,5	3,769231
16	15	5,3	2,830189
17			
18	9,8	5,6	1,75
19	6,6	3,6	1,833333
20	14,5	1,9	7,631579
21	6	5,5	1,090909
22			
23	6	6	1
24	13,6	8,3	1,638554
25	8,75	4,5	1,944444
26			
27	7,1	3,9	1,820513
28	10	4,2	2,380952

Tableau 3: Calcul du rapport de proportions du patio

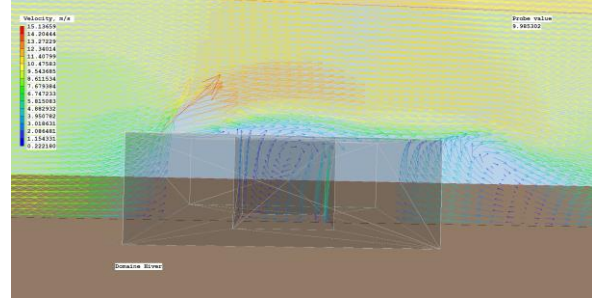
Résultats graphiques des simulations sous PHOENICS :

1.1. Période Hivernale :

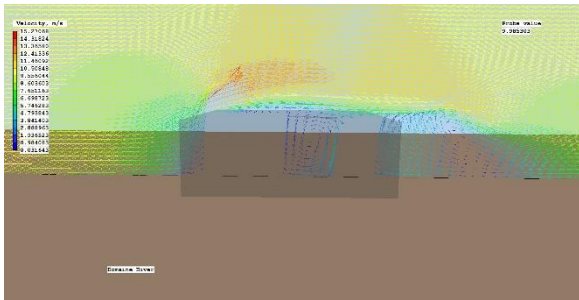
1.1.1. Vitesses :



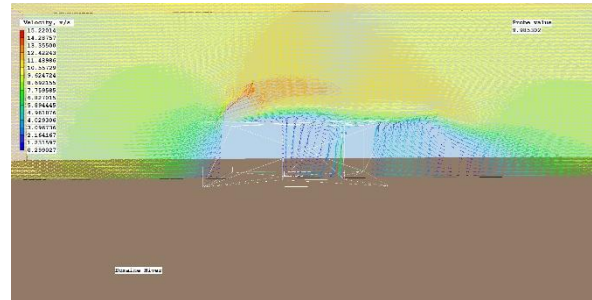
-1-



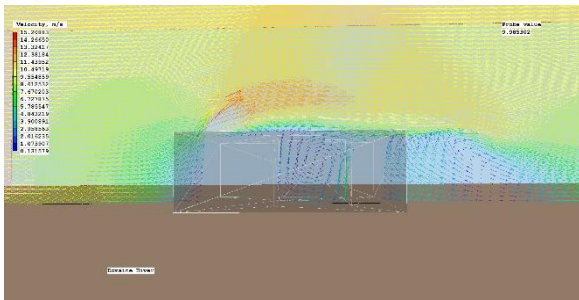
-2-



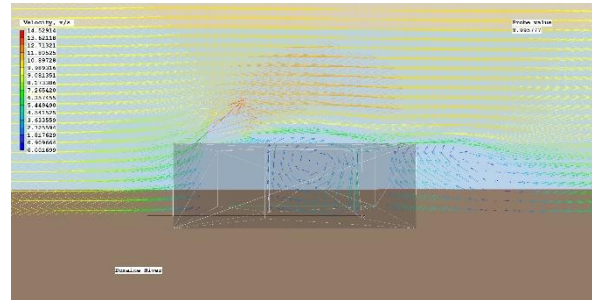
-3-



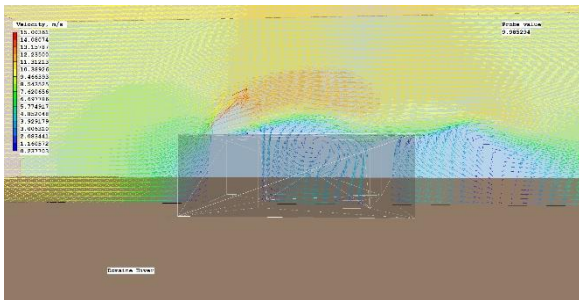
-4-



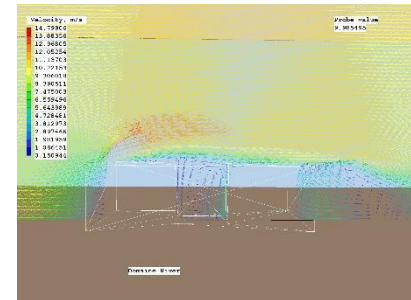
-5-



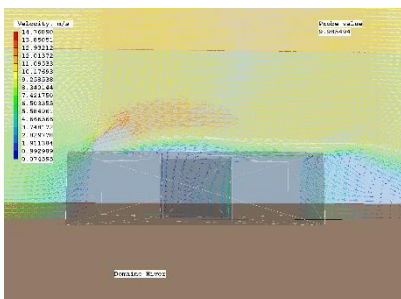
-6-



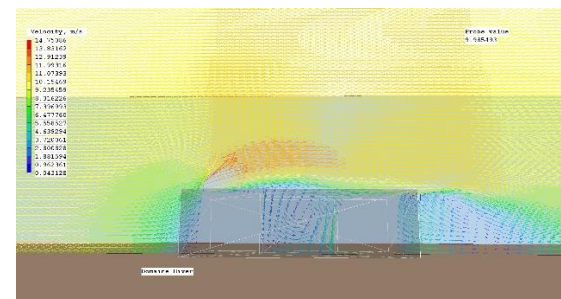
-7-



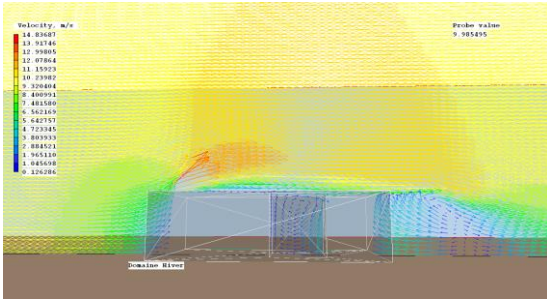
-8-



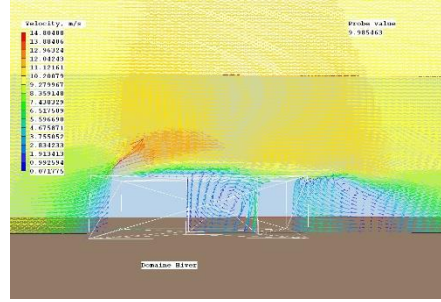
-9-



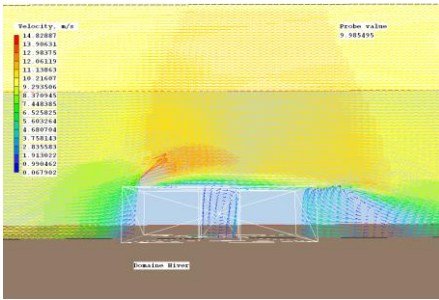
-10-



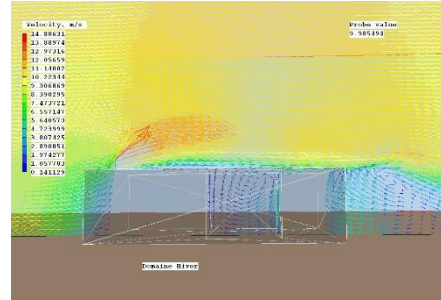
-11-



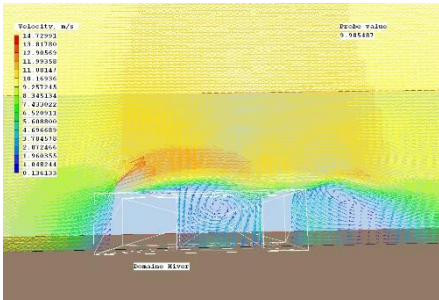
-12-



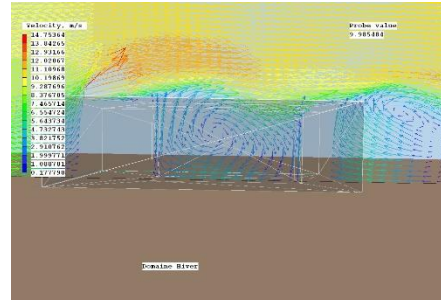
-13-



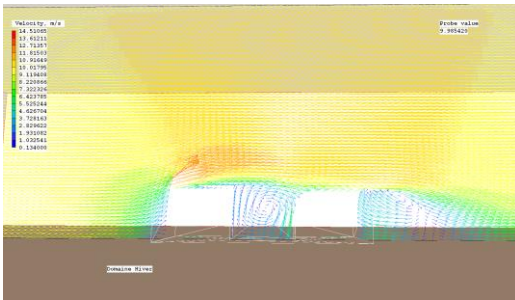
-14-



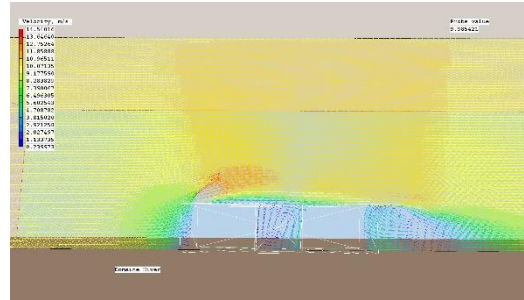
-15-



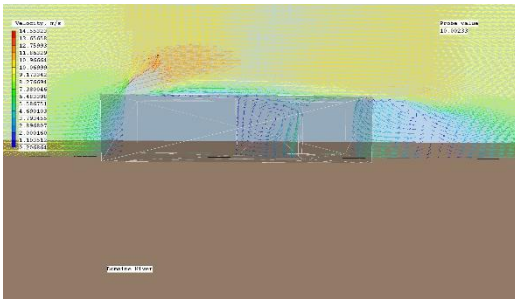
-16-



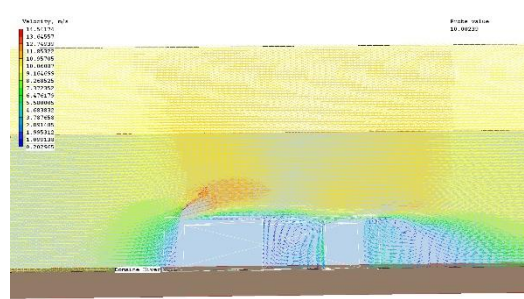
-17-



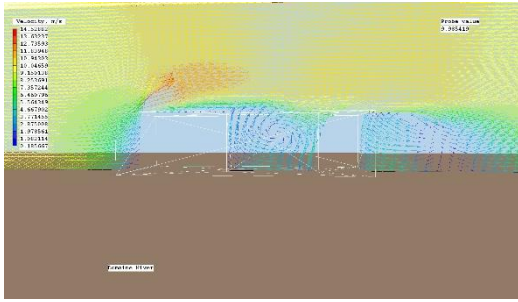
-18-



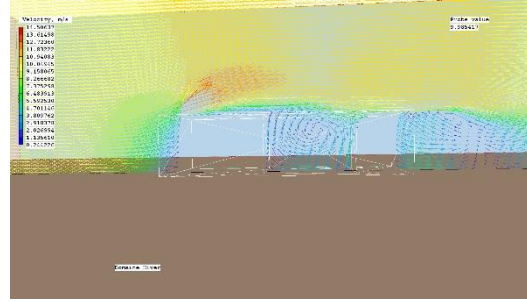
-19-



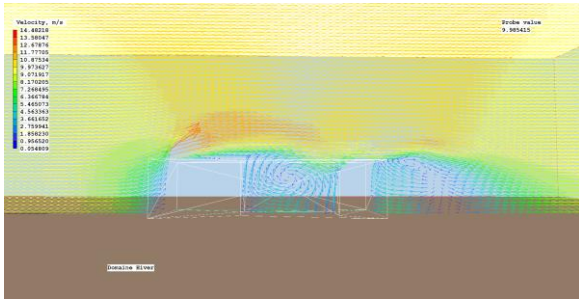
-20-



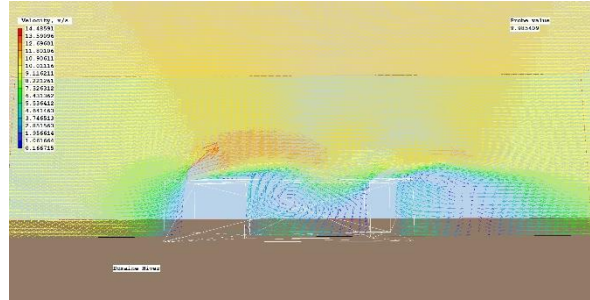
-21-



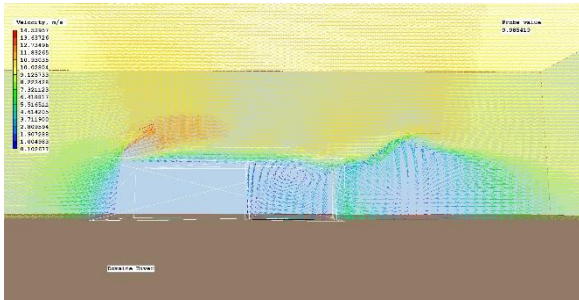
-22-



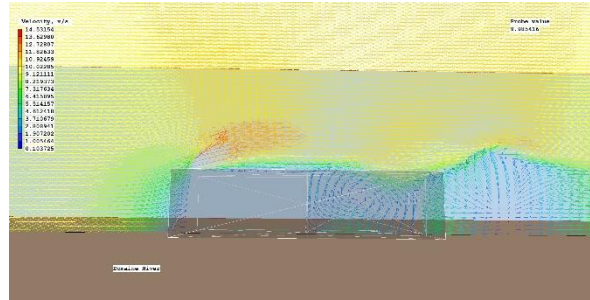
-23-



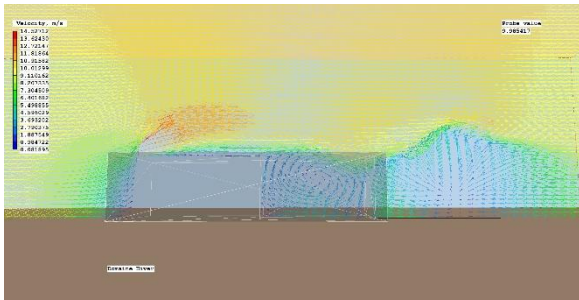
-24-



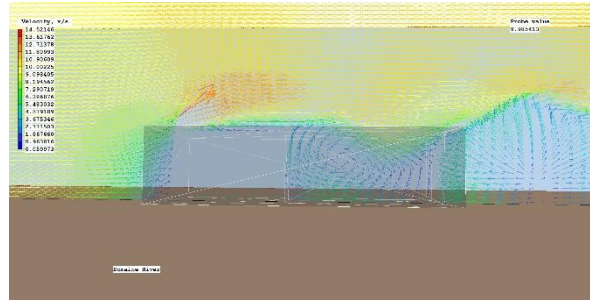
-25-



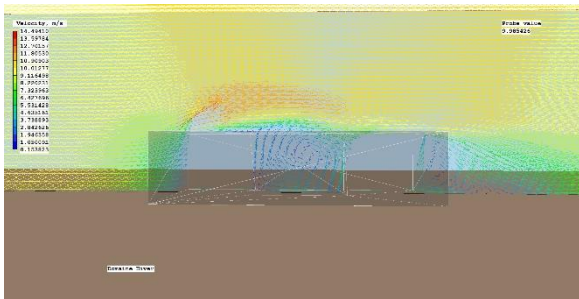
-26-



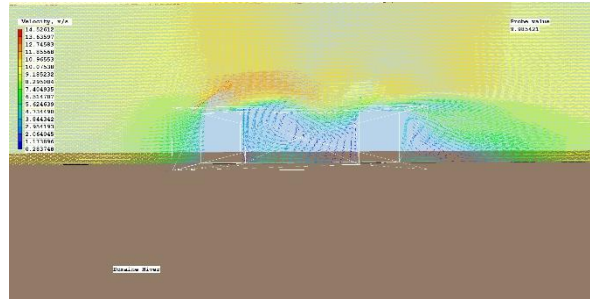
-27-



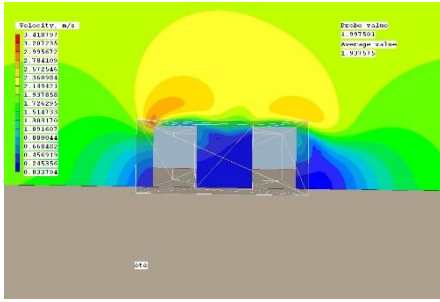
-28-



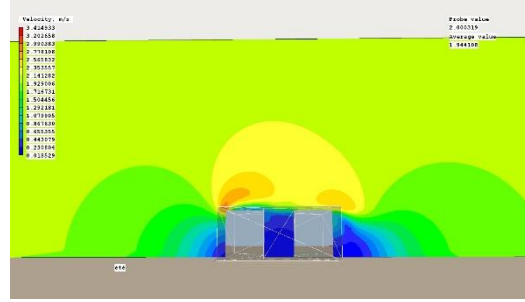
-29-



-30-



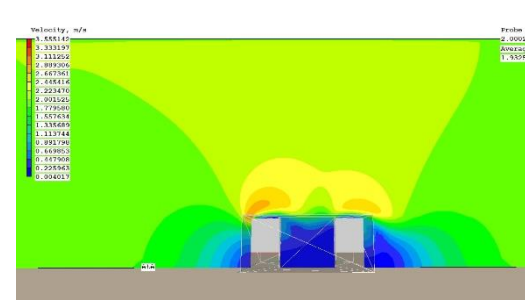
-11-



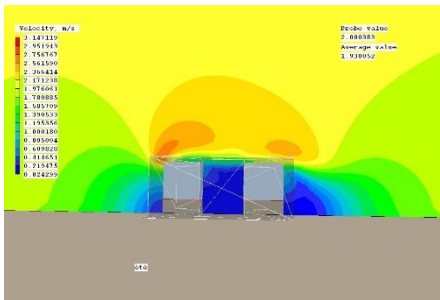
-12-



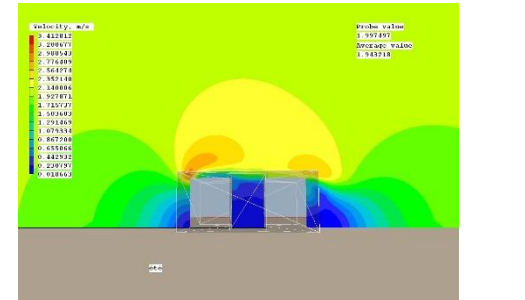
-13-



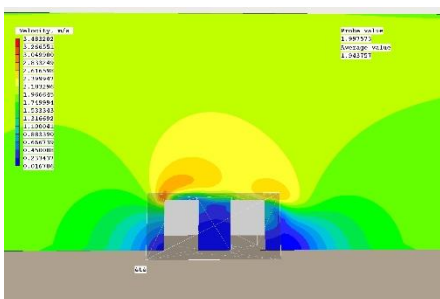
-14-



-15-



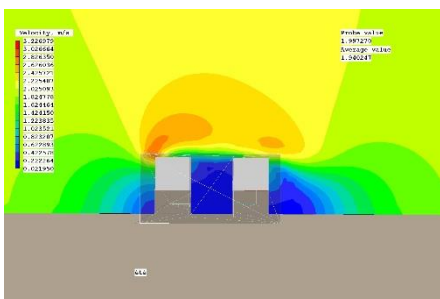
-16-



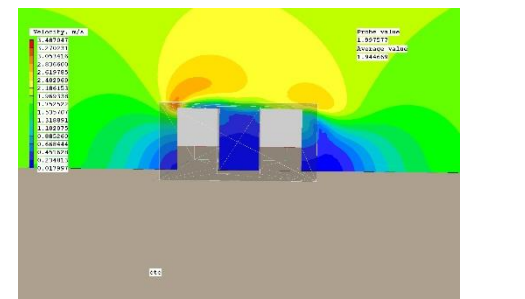
-17-



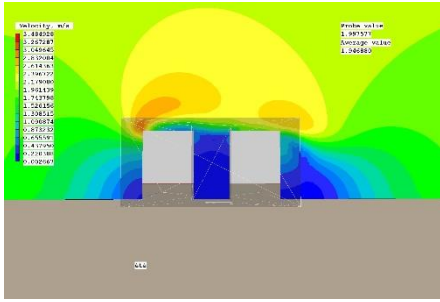
-18-



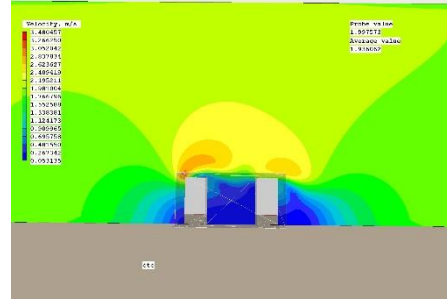
-19-



-20-



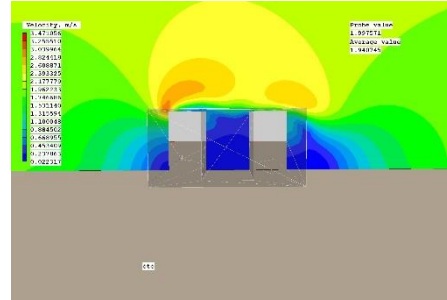
-21-



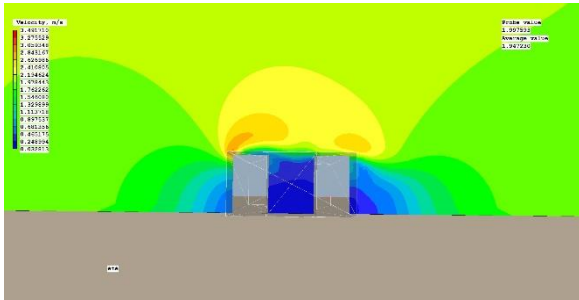
-22-



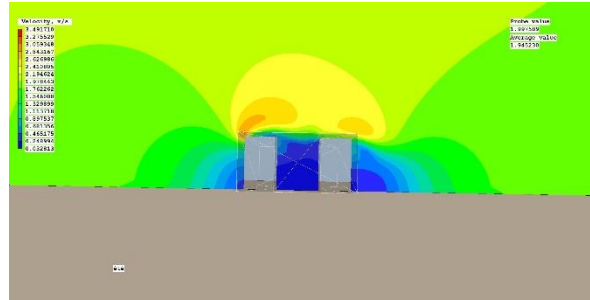
-23-



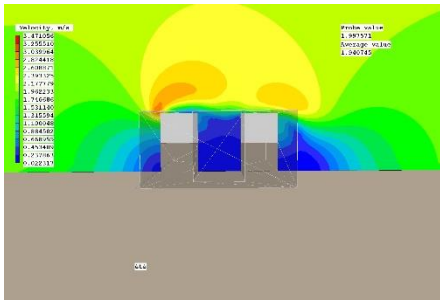
-24-



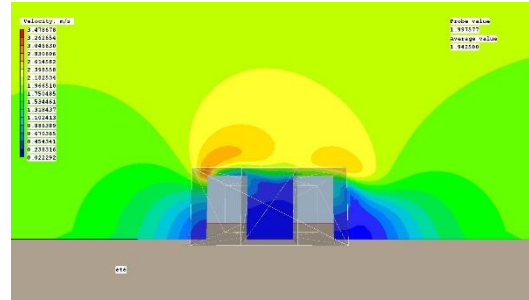
-25-



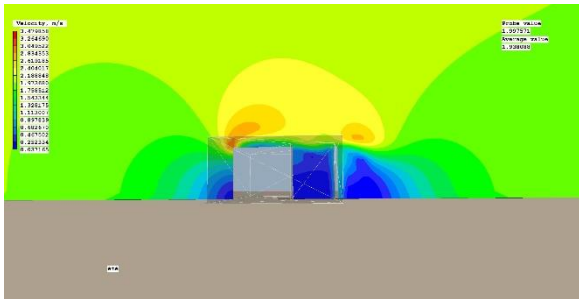
-26-



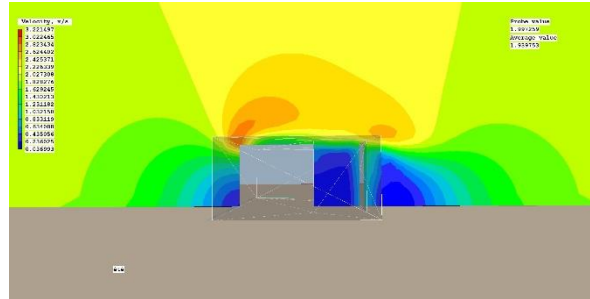
-27-



-28-

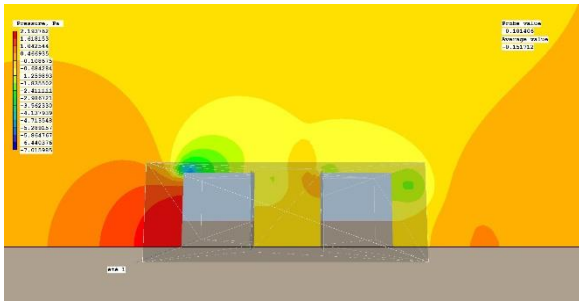


-29-

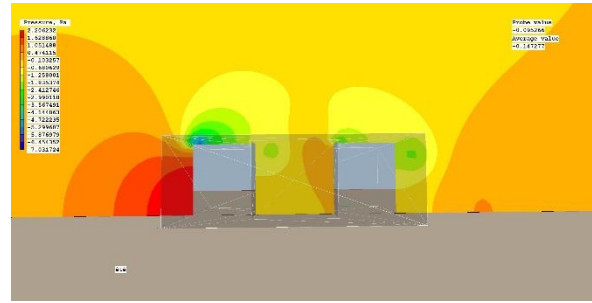


-30-

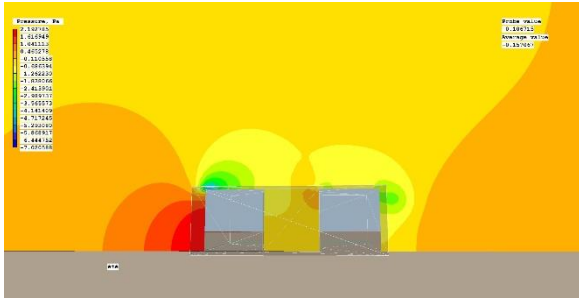
1.2.2. Pressions :



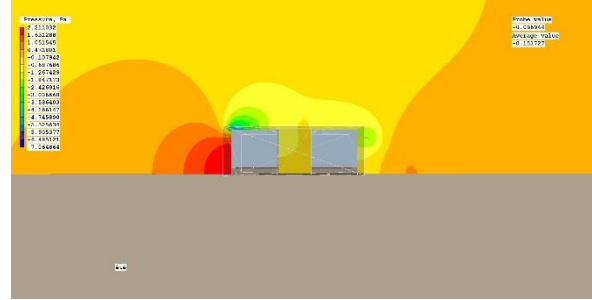
-1-



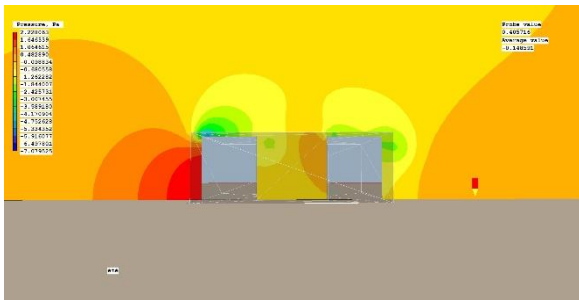
-2-



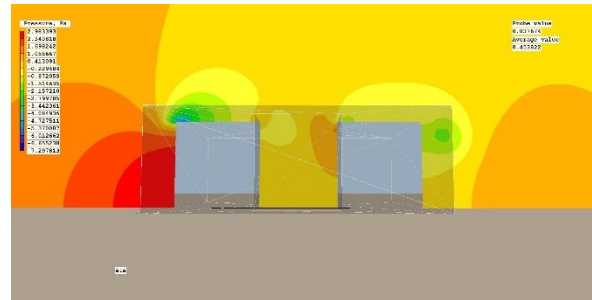
-3-



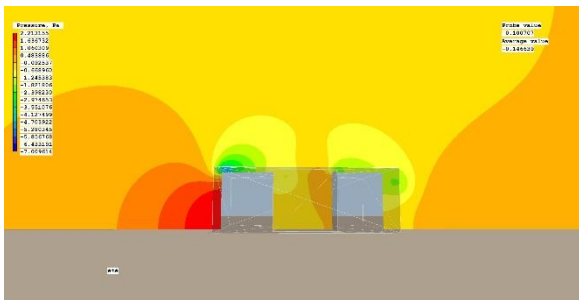
-4-



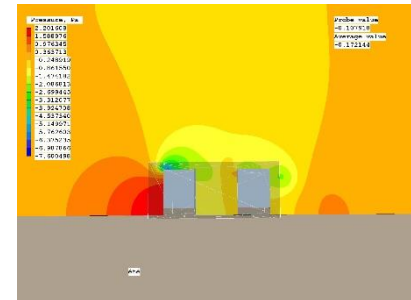
-5-



-6-



-7-



-8-



-9-



-10-



-11-



-12-



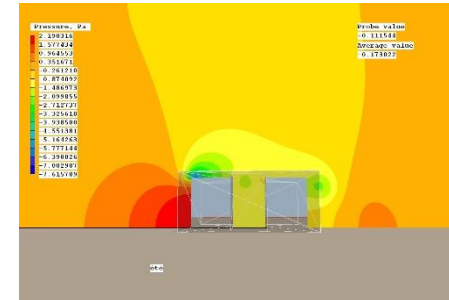
-13-



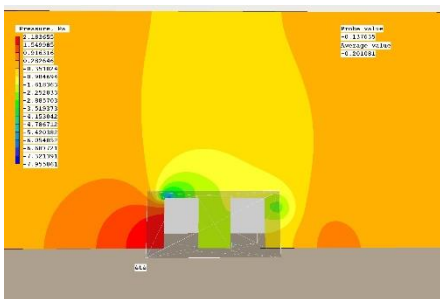
-14-



-15-



-16-



-17-



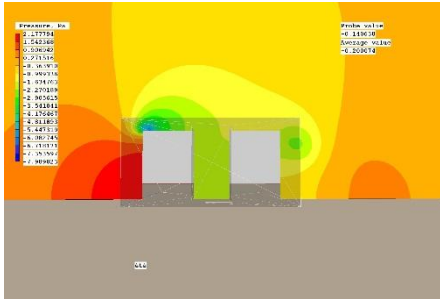
-18-



-19-



-20-



-21-



-22-



-23-



-24-



-25-



-26-



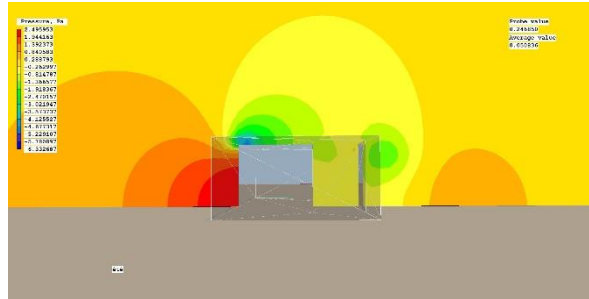
-27-



-28-



-29-



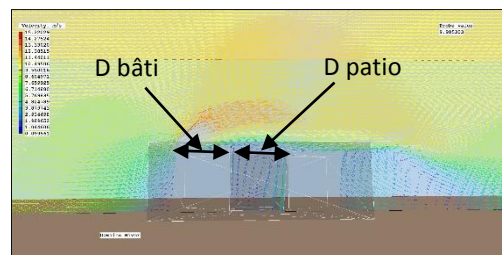
-30-

Résultats quantitatifs des simulations:

Silhouette	Modèle	Type	Vide	Patio	Hiver			Eté			
					D bâti	D patio	Vitesse	D bâti	Dpatio	Pression	Vitesse
1	1	1	10%	P1	6,84	6,32	4	6,84	6,23	-0,1	0,028
	2	1	15%	P1	6,13	7,74	3,95	6,13	7,74	0,47	0,038
	3	2	10%	P1	9,12	6,32	3,84	6,84	6,32	-0,11	0,03
	4	2	10%	P1,5	8,17	7,75	4,96	7,42	5,15	-0,1	0,012
	5	2	15%	P1	8,81	7,74	4,84	6,13	7,74	0,48	0,038
	6	2	15%	P1,5	7	9,5	4,54	6,85	6,3	1,05	0,042
	7	3	20%	P1,5	6,04	11,02	3,92	6,35	7,3	0,49	0,032
2	8	5	10%	P1	9,09	6,32	3,81	5	6,32	-0,24	0,034
	9	5	10%	P1,5	8,37	7,75	4,66	5,58	5,15	-0,86	0,023
	10	5	10%	P2	7,75	9	5,55	5,91	4,5	-0,88	0,014
	11	6	10%	P1	12,12	6,32	3,8	5	6,32	-0,25	0,033
	12	6	10%	P2	10,34	9	4,67	5,91	4,5	-0,88	0,018
	13	6	10%	P3	9,05	10,95	2,83	6,33	3,65	-0,88	0,0018
	14	6	20%	P1	11,18	7,74	3,8	4,29	7,74	0,26	0,004
	15	6	20%	P2	9	11	3,78	5,41	5,5	-0,67	0,024
3	16	6	20%	P3	7,34	13,5	3,82	5,91	4,5	-0,87	0,018
	17	9	10%	P2	9,64	9	5,52	4,82	4,5	-1,6	0,016
	18	9	10%	P3	8,66	10,95	4,7	5,24	3,65	-1,62	0,0003
	19	10	10%	P1,5	13,7	7,75	4,69	4,5	5,15	-0,82	0,021
	20	10	10%	P2	12,86	9	4,68	4,82	4,5	-1,63	0,017
	21	10	10%	P3	11,56	10,95	4,66	5,24	3,65	-1,63	0,0026
	22	10	20%	P1,5	11,56	10,95	4,7	3,42	7,3	-0,92	0,053
	23	10	20%	P2	10,46	12,6	4,56	3,92	6,3	-0,9	0,035
	24	10	20%	P3	8,56	15,45	5,53	4,5	5,15	-0,92	0,022
	25	11	15%	P2	16,78	11	4,61	4,32	5,5	-0,99	0,032
	26	11	15%	P3	14,28	13,5	4,61	4,82	4,5	-0,99	0,032
	27	11	20%	P2	15,18	12,6	4,59	3,92	6,3	-0,95	0,036
	28	11	20%	P3	12,33	15,45	5,48	4,5	5,15	-0,95	0,022
	29	12	15%	P1	8,64	11	4,63	8,14	5,5	-0,34	0,037
	30	12	15%	P2	6,41	15,45	4,73	8,5	5,15	-0,26	0,036

D bâti= largeur de la partie bâtie (sous le vent) de la maison.

D patio= largeur du patio.



Résumé :

La maison à patio représente, l'un des deux grands modèles d'habitat connus dans l'histoire. Il s'est maintenu au fil du temps. Il s'est affiné, sophistiqué, et continue même à être d'actualité. En Algérie, il existe une large palette de typologie de maisons à patio, adaptée à plusieurs contextes culturelles et climatiques, parmi celles-ci, la Harat de Sétif, un modèle d'habitat communautaire qui a répondu pendant longtemps aux exigences sociales et culturelles de la famille sétifienne. Hélas ce modèle a été délaissé par la société sétifienne, dite moderne.

La présente étude, cherche à répondre à deux objectifs différents. Le premier consiste à reprendre, revaloriser et réutiliser le modèle de maisons à patio pour les prochaines extensions de la ville et remédier au problème de « la barre » de l'habitat collectif. Le deuxième objectif est d'optimiser morphologiquement la Harat de Sétif afin de l'adapter au climat local selon deux stratégies ; l'une consiste à protéger les utilisateurs du patio contre les vents dominants hivernaux froids, et l'autre à les exposer aux brises estivales nocturnes fraîches, afin d'optimiser une ventilation naturelle des locaux.

La première étape du travail consiste à faire une analyse morphologique de différentes maisons à patio dans un périmètre défini afin de faire ressortir les critères communs entre ces dernières, et les classer par la suite, et enfin les combiner sous différentes combinaisons pour composer un corpus théorique qui nous permet d'étudier l'impact de chaque critère sur le comportement aérodynamique indépendamment des autres.

Dans la seconde étape, le corpus théorique passe par des simulations CFD, en essayant de reproduire les mêmes conditions climatiques, par rapport au vent, dans les deux périodes estivales et hivernales.

Les résultats de la simulation ont été concluants et ont confirmé notre hypothèse, et démontrent que la morphologie de la maison influe fortement les écoulements aérodynamiques et ainsi le confort des usagers, et que chacun des critères choisis a sa propre influence sur le confort et sur la ventilation naturelle.

Mots clés : Maison à patio, Morphologie, comportement aérodynamique, ventilation naturelle.

ملخص:

المنازل ذات الفناء هي واحدة من النماذج السكنية الرئيسية المعروفة في التاريخ، حيث حوفظ عليه على مر الزمن، ثم تم تكريها وتطويرها.

في الجزائر نجد مجموعة واسعة من المنازل ذات الفناء، تتكيف مع العديد من المناخات، والسياقات الثقافية، و من بينها حارة سطيف. يتميز هذا النموذج من المسكن الجماعي باستجابته و لفترة طويلة للمتطلبات الثقافية والاجتماعية للأسرة السطايفية، ولكن للأسف قد تم التخلي عن هذا النموذج من السكن، لاستبداله بالمساكن الجماعية (العمارات) من قبل الأسرة السطايفية المعاصرة.

تسعى هذه الدراسة للاستجابة لهدفين رئيسيين، الأول هو استئناف الترقية و إعادة استخدام نموذج المنازل ذو الفناء للملحقات المستقبلية للمدينة و معالجة المشاكل الناتجة عن المجمعات السكنية الجماعية الجديدة، و الهدف الثاني هو تحسين شكليا حارة سطيف للتكيف مع المناخ المحلي باستخدام استراتيجيتين. الأولى تتمثل في حماية مستخدمي الفناء ضد رياح الشتاء الباردة، و الثانية استغلال النسيم الصيفي الليلي البارد لتحقيق أقصى قدر من التهوية الطبيعية.

تتمثل المرحلة الأولى من العمل في إجراء تحليل مورفولوجي للمنازل ذو الفناء في منطقة محددة من أجل تسليط الضوء على المعايير المشتركة بينها و تصنيفها فيما بعد، و أخيرا الجمع بينها في تركيبات مختلفة لتكوين مجموعة نظرية من المنازل ذو الفناء التي ستسمح لنا بدراسة تأثير كل معيار على سلوك الهواء حول المنزل.

في الخطوة الثانية، نقوم بمحاكات CFD على كل تشكيلة من المجموعة النظرية لإعادة إنتاج الظروف المناخية الخاصة بالرياح في فترات الصيف و الشتاء على حد سواء.

كانت نتائج المحاكات قاطعة و أكدت فرضياتنا و تبين لنا أن لشكل المنزل تأثير قوي على تدفقات و سلوك الهواء داخل الفناء و بالتالي على راحة المستخدم، و أنه لكل معيار من المعايير أثر هام على راحة المستخدم و على التهوية الطبيعية.

الكلمات المفتاحية: المنزل ذو الفناء، الشكل، سلوك الهواء، التهوية الطبيعية.