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:.....

Thèse présentée en vue de l'obtention
Du diplôme de

Doctorat en sciences en: Architecture

Option : Design dans les milieux arides et semi-arides

ÉVALUATION QUALITATIVE DE L´IMPACT DE LA TOUR À VENT POUR UNE VENTILATION NATURELLE ET UN RAFRAICHISSEMENT PASSIF DANS LES RÉGIONS CHAUDES ARIDES ET SEMI ARIDES
CAS DES WILAYAS OUED SOUF ET BISKRA

Torkia Assil

Soutenue publiquement le 20 avril 2021

Devant le jury composé de :

M.ZEMMOURI Noureddine	**Professeur**	**résident**	**Université de Biskra**
M. MAZOUZ Said	**Professeur**	**Rapporteur**	**Université Oum El Bouaghi**
M. MOUMMI Abdelhafid	**Professeur**	**Examinateur**	**Université de Biskra**
M. MAHIMOUD Aissa	**MCA**	**Examinateur**	**Université de Constantine 3**

«*La qualité architecturale n'est pas la qualité cumulée de toutes les disciplines associées à la conception; ce qui compte est l'affirmation d'une intention globale et cohérente. Dans un secteur où chacun tend à limiter sa responsabilité et son intervention, l'architecte apparaît parfois comme le seul protagoniste désireux d'atteindre cet objectif.*»

Malcurat, (2001)

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

La Palestine,

L'Algérie,

Mes parents et ma belle mère

Mon époux et mes deux enfants

Mon frère et mes deux sœurs et leurs familles

A tous ceux qui de prés ou de loin ont contribué à la réalisation de cette thèse.

Remerciements

Je remercie tout d'abord Allah de m'avoir prodigué toute cette volonté pour venir à bout de cette recherche et arriver à ce stade.

Je tiens à remercier vivement Mon encadreur P. Mazouz qui a assumé la direction non seulement de ce travail mais de mon parcours en post graduation pour tout le soutien, les orientations et la patience qu'il a manifesté tout au long de la réalisation de ce travail. J'exprimerais toujours une grande gratitude à son égard pour la confiance, la disponibilité et les conseils qu'il m'a attribués pour pouvoir canaliser et concrétiser l'idée de ce travail,

Je remercie sincèrement les membres de jury qui ont accepté de juger ce travail et d'y apporter leur caution.

Je dois aussi exprimer ma sincère gratitude au Professeur Emad El Mushtah de l'université des Émirats Arabes Unies pour leur disponibilité et orientation pendant l'élaboration de ce travail. Je le remercie pour leur temps si précieux qu'il a passé avec moi pour la discussion de mon sujet.

Je ne pourrais oublier Pr Arrouf AbdelMalek ainsi que Dr Hamouda Abida pour leurs directives pertinentes et leurs aides.

Mes vifs remerciements reviennent aux Professeur Chekour Mohamed Chahine, Dr Harzelli Faiza, Dr Assassi Abdel Halim, MAA Nadia Mekaoussi et MAA Fayçal Laabidi de l'Université de Batna et MAA Mostapha Meddouki et Fayçal Laabidi pour leurs aides apportées au déroulement de l'analyse typologique.

A tous les bureaux d'études de la wilaya de Biskra et Oued Souf qui m'ont aidé de près ou de loin lors de l'élaboration de ce travail..

Je remercie également ma famille particulièrement ma mère pour m'avoir stimulé à avancer dans mes études, mon père pour sa disponibilité, mon époux pour ses encouragements incessants. Un remerciement particulier à mes chers jeunes enfants pour leurs soutiens morales et physiques dans les moments les plus difficiles afin d'accomplir ce travail ainsi que mon frère.

A tous ceux qui, par leur encouragement ou leur amitié, ont contribué à l'aboutissement de ce travail.

Résumé

La présente recherche est focalisée sur la tour à vent comme stratégie écologique traditionnelle de ventilation naturelle et de rafraîchissement passif fort utilisée auparavant au Moyen-Orient et en Iran. Elle a pour objectif principal d'évaluer dans quelle mesure ce système peut être intégré avec succès en habitat intermédiaire en Algérie. Et ce afin d'améliorer la performance énergétique, la réduction du carbone, le confort thermique des occupants et l'acceptation culturelle. Ce travail est mené en deux étapes: théorique où un modèle d'analyse systémique est développé et pratique où les trois types d'analyse composant ce modèle sont effectuées (socioéconomique et environnementale, syntaxique et typologique conceptuelle). Au moyen de ces deux parties, les objectifs visés suivants ont été accomplis:

- Évaluer les tours à vent réalisées au sud dans les années 80 à Ouargla et Ouled Djellal. Les résultats de la revue de la littérature et des trois techniques de recherche appliquées sur les 80 logements semi-collectifs à Ouled Djellal (l'observation en situation, l'entrevue et l'enquête sociologique) ont confirmé le rejet de ce dispositif sous forme de fermeture d'une ou de toutes ses ouvertures ou de sa démolition totale. Les causes de ce refus sont dues à des erreurs d'incompatibilités entre conception, réalisation, usage et système de contrôle.
- Évaluer qualitativement et quantitativement les propriétés spatiales syntaxiques de l'espace de la tour à vent ou l'espace doté de tour à vent en utilisant des outils d'analyse de l'approche «Space Syntax». Ces derniers ont été appliqués sur un échantillon de 28 maisons dotées de ce dispositif à travers quelques pays dans le monde islamique. Les critères de choix sont: l'efficacité énergétique des tours, l'emplacement de la tour dans l'organisation spatiale de la maison, la période de réalisation (ancienne ou récente) et l'effet de la diversité culturelle.
- Classer les types architecturaux de l'habitat intermédiaire conventionnel au Sud algérien cas des wilayas (Oued Souf climat aride et Biskra climat semi-aride). À travers l'analyse typologique de 45 variantes, les différents types architecturaux ont été dégagés. L'apparente diversité des configurations spatiales et la lecture des régularités qui structurent la forme urbaine, l'orientation, la hauteur, l'usage, le type de logement, la hauteur sous plafond, la surface, l'accessibilité, l'organisation spatiale et le nombre de logements desservis, nous a permis d'élaborer deux typologies d'habitat intermédiaire: initiale et développée, basées sur des constantes qui sont l'expression d'un système culturel et d'un mode de vie typique à ces régions. En dernier lieu une estimation du montant alloué à la réalisation de ce système est donnée, afin de pouvoir évaluer l'incidence de son coût sur l'enveloppe globale du projet. L'industrialisation du système diminuera les coûts et les délais d'exécution.

Mots clés: Tour à vent, Malqaf, syntaxe spatiale, analyse typologique, habitat intermédiaire.

Summary

The present research is focused on the wind tower as a traditional ecological strategy of natural ventilation and passive cooling, which was previously widely used in the Middle East and Iran. Its main objective is to assess to what extent this system can be successfully integrated into intermediate housing in Algeria. This is to improve energy performance, carbon reduction, thermal comfort for occupants and cultural acceptance. This work is carried out in two stages: theoretical where a systemic analysis model is developed and practical where the three types of analysis composing this model are carried out (socioeconomic and environmental, syntactic and conceptual typological). By means of these two parts, the following objectives have been accomplished:

- Evaluate the wind towers built to the south in the 1980s in Ouargla and Ouled Djellal. The results of the review of the literature and the three research techniques applied to the 80 semi-collective housing units in Ouled Djellal (observation in situation, interview and sociological survey) confirmed the rejection of this device in the form of closing one or all of its openings or completely demolishing it. The causes of this refusal are due to errors of incompatibility between design, production, use and control system.
- Qualitatively and quantitatively assess the spatial syntactic properties of the wind tower space or the space provided with wind towers using analysis tools of the "Space Syntax" approach. These were applied to a sample of 28 houses equipped with this device across a few countries in the Islamic world. The selection criteria are: the energy efficiency of the towers, the location of the tower in the spatial organization of the house, the period of construction (old or recent) and the effect of cultural diversity.
- Classify the architectural types of conventional intermediate habitat in southern Algeria in the case of the wilayas (Oued Souf arid climate and Biskra semi-arid climate). Through the typological analysis of 45 variants, the different architectural types were identified. The apparent diversity of spatial configurations and the reading of the regularities that structure the urban form, orientation, height, use, type of housing, ceiling height, surface area, accessibility to housing, spatial organization and the number of homes served, allowed us to develop two types of intermediate housing: initial and developed, based on constants that are the expression of a cultural system and a lifestyle typical of these regions. Lastly, an estimate of the amount allocated to the implementation of this system is given, in order to be able to assess the impact of its cost on the overall project envelope. Industrialization of the system will decrease costs and implementation times.

Keywords: Wind catcher, Malqaf, space syntax, typological analysis, intermediate habitat.

ملخص

يركز هذا البحث على برج الرياح كاستراتيجية بيئية تقليدية للتهوية الطبيعية والتبريد السلبي الذي استخدم على نطاق واسع سابقا في الشرق الأوسط وإيران. هدفه الرئيسي هو تقييم مدى إمكانية دمج هذا النظام بنجاح في السكن الشبه جماعي للمناطق الحارة الجافة والشبه الجافة بجنوب الجزائر. وذلك لتحسين كفاءته الطاقوية، خفض نسبة الكربون المنبعثة، الراحة الحرارية للسكان والقبول الثقافي له. أنجزت هذه الدراسة على مرحلتين: مرحلة نظرية أين تم من خلالها تطوير نموذج تحليل نسقي ومرحلة تطبيقية تم فيها اعتمادا على هذا الأخير إنجاز ثلاث أنواع من التحاليل: اجتماعي اقتصادي و بيئي، تركيبي وتحليل تصميمي نمطي. بفضل مرحلتي الدراسة هاته تم تحقيق الأهداف المنشودة التاليه:

ـ تقييم أبراج الرياح المنجزة في جنوب الجزائر في فترة الثمانينات بمدينتي ورقلة وأولاد جلال. إن نتائج مراجعة الأدبيات وتقنيات البحث الثلاث المطبقة على حالة الدراسة من ملاحظة ميدانية، مقابلة واستبيان أكدت رفض هذا الجهاز من قبل السكان أين اتخذ هذا الرفض عدة صور من غلق جزئي لإحدى فتحاته الخاصة بدخول وخروج الهواء إلى حذف كلي لها أو بهدم شامل له. رد هذا الرفض لأسباب عدة أهمها: عدم التوافق بين التصميم، التنفيذ، الاستخدام ونظام التحكم.
ـ تقييم الخصائص النوعية والكمية للبنية المجالية لبرج الهواء أو الفضاء المدمج فيه باستخدام أدوات خاصة بمنهج المقاربة التركيبية المجالية وذلك بتحليل عينة مكونة من 28 مسكن بملقف هواء موزعة عبر بعض دول العالم الإسلامي، أين أخذت معايير انتقائها عدة اعتبارات هي: الأداء الطاقوي للبرج، تموضعه الفراغي في المسكن، فترة البناء (قديمة أو حديثة) وتأثير التنوع الثقافي.

-تصنيف الأنواع المعمارية للسكن الشبه جماعي المتوفرة في جنوب الجزائر حالة ولايتي وادي سوف ذات المناخ الحار والجاف و بسكرة ذات المناخ الشبه جاف. من خلال التحليل النمطي لـ 45 نموذجا سكنيا شبه جماعي، تم تحديد الأنماط المعمارية المتواجدة بهما. التنوع الواضح في التشكيلات المجالية والقراءة المتكررة للثوابت المهيكلة للشكل العمراني من نمط التجميع، التوجيه، الارتفاع، الاستعمال، نمط الشقة، العلو تحت السقف، مساحة الشقة، الوصولية إلى المداخل، التنظيم الفراغي الى عدد شقق كل مستوى، جعلت من الممكن تطوير تصنيفين للسكن الشبه جماعي أولي والآخر مطور وذلك على أساس ثوابت معبرة عن نظام ثقافي ونمط معيشي خاص بهذه المناطق

وفي الأخير تم إعطاء تقديرا للمبلغ المخصص لإنجاز هذا النظام والتي يمكن أن نرى أثر تكلفته على الغلاف المالي الإجمالي للمشروع. إن تصنيع هذا النظام سيؤدي إلى تقليل التكاليف ومدد الإنجاز.

الكلمات المفتاحية: برج الرياح، ملقف، المقاربة التركيبية المجالية، السكن الشبه جماعي.

Table des matières

Dédicaces.....i
Remerciements.....ii
Résumés.....iv
Table des matières.....vii
Nomenclature.....xiv
Liste des figures.....xix
Liste des tableaux.....xxvi

Introduction générale

Introduction.....1
1. Problématique.....8
2. Objectif de cette étude.....13
3. Méthodologie de Recherche.....14

Chapitre 01: Tour à vent traditionnelle

Introduction.....16
1.1 Définition de la tour à vent traditionnelle.....17
1.2 Composition de la tour à vent traditionnelle.....17
1.3 Caractéristiques de la tour à vent traditionnelle.....18
1.4 Fonctionnement de la tour à vent (sans humidification).....23
1.5 Formes de la tour à vent traditionnelle.....25
1.6 Classification des tours à vent traditionnelles.....27
1.7 Matériaux, couleur et texture de la tour à vent.....29
1.8 La tour à vent traditionnelle et ses valeurs.....30
1.8.1 Valeur historique.....31
1.8.2 Valeur patrimoniale.....33
1.8.3 Valeur architecturale et urbaine.....35
1.8.4 Valeur esthétique.....38
1.8.5 Valeur morale et religieuse.....39
1.8.6 Valeur socioculturelle.....40
1.8.7 Valeur environnementale.....41
1.8.8 Valeur symbolique.....41
1.9 Le développement et la tour à vent traditionnelle.....42
1.10 Écho de la tour à vent de nos jours.....46
Conclusion.....49

Chapitre 2: Tour à vent contemporaine dans le monde et en Algérie

Introduction.....51
2.1 La tour à vent contemporaine et son principe de fonctionnement.....52
2.2 La différence entre la tour à vent traditionnelle et contemporaine.....54
2.2.1 Dispositifs de commande.....55
2.2.2 Transmission du bruit.....55
2.2.3 Outils auxiliaires.....56
2.2.4 Hauteur.....56
2.2.5 Dépendance du refroidissement nocturne.....57
2.2.6 Matériaux de construction.....57
2.2.7 Forme des louvers.....58

2.3 Avantages des tours à vent contemporaines 58
2.4 Nouveaux modèles d'analyse de tours à vent dans le monde 60
2.4.1 Selon le rafraîchissement passif 60
2.4.1.1 Modèles BAHADORI et DEHGHANI-SANIJ (2014) 60
2.4.2 Selon la ventilation naturelle 72
2.4.1.2.1 Modèle GOUDARZI *et al*. (2015) 72
2.4.3 Selon le système combiné (ventilation, renouvellement et rafraîchissement) 81
2.4.3.1 Modèle BACHELOR, J., BACHELOR, G. (2011) 81
2.4.3.2 Modèle DEHGHANI-SANIJ *et al*. (2015) 84
2.4.4 Selon la géométrie 87
2.4.4.1 Modèle YAVARINASAB ET MIRKHALILI (2013) 87
2.4.5 Selon le mode d'assemblage (espacement et disposition) 89
2.4.5.1 Modèle JOHN KAISER *et al*. (2014) 89
2.5 État de l'art des tours à vent en Algérie 98
2.5.1 L'étude de BENAMARA (1987) 98
2.5.2 L'étude de BOUCHAHM (2003) 98
2.5.3 L'étude de DJOUIMA (2008) 99
2.5.4 L'étude de DERRADJI (2008) 99
2.5.5 L'étude de TORKIA (2009) 100
Conclusion 103

Chapitre 3: Modèle d'analyse systémique

Introduction 105
3.1 Approches scientifiques adoptées dans les tours à vent 107
3.1.1 L'approche dynamique 107
3.1.2 L'approche par matrice 108
3.1.3 L'approche par base de connaissances 109
3.1.4 L'approche typologique (iconique) 109
3.1.4.1 Limites de l'approche typologique 112
3.1.5 L'approche socioéconomique et environnementale 112
3.1.5.1 Limites de l'approche socioéconomique et environnementale 119
3.1.6 L'approche systémique « Systems thinking » 120
3.2 Modèle d'analyse des problèmes 122
3.3 Choix du modèle d'analyse systémique 123
3.4 Objectif du modèle d'analyse systémique développé 124
3.5 Positionnement méthodologique 124
3.6 Fondements épistémologiques du modèle 125
3.6.1 1re Approche utilisée socioéconomique et environnementale 126
3.6.1 La perception et l'acceptation socioculturelle 127
3.6.2 Le confort thermique 127
3.6.3 La performance énergétique et les potentialités économiques 128
3.6.2 2e Approche utilisée syntaxique 128
3.6.2.1 La syntaxe spatiale 128
a. Son Fondement 129
b. Son Rôle dans la conception 130
c. Ses composantes 130
d. L'analyse des relations spatiales 132
e. Ses notions de base 132
f. La topologie des espaces 133

g. Ses outils d'analyse....134
g.1 L'analyse qualitative....134
g.2 L'analyse Quantitative (Les mesures syntaxiques spatiales)....136
3.6.2.2 Limites de l'approche syntaxique....140
3.6.3 3e Approche utilisée typologique conceptuelle....141
3.6.3.1 Définition de la typologie....141
3.6.3.2 Différence entre modèle et type....141
3.6.3.3 Objectif de l'analyse typologique....142
3.6.3.4 Critères de choix et paramètres d'analyse....142
Conclusion....142

Chapitre 4: Analyse socioéconomique et environnementale

Introduction....144
4.1 Paramètres d'analyse....145
4.2 La perception de la tour à vent au Sud algérien....145
4.3 Choix cas d'étude....145
4.4 Présentation des 80 logements cas d'enquête....147
4.5 Présentation de la tour à vent cas d'enquête....155
4.6 Techniques d'investigation....157
4.6.1 L'observation en situation non participative....157
4.6.1.1 Résultats de l'observation ouverte non participative....157
4.6.1.2 Analyse et interprétation des résultats de l'observation directe....161
4.6.1.3 Limites de l'observation directe non participative....162
4.6.2 L'entrevue....162
4.6.2.1 Résultats de l'entrevue....163
4.6.2.2 Analyse et interprétation de l'entrevue....164
4.6.2.3 Limites de l'entrevue....165
4.6.3 Le questionnaire auto-administré....165
4.6.3.1 L'échantillonnage....165
4.6.3.2 Construction du formulaire de questions....165
4.6.3.3 Distribution, Collecte et Dépouillement du questionnaire....166
4.6.3.4 Analyse et interprétation des résultats du questionnaire....167
4.6.3.5 Commentaires sur les points positifs du système tour à vent....176
4.6.3.6 Commentaires sur les points négatifs du système tour à vent....176
4.7 Aspect du confort thermique....176
4.8 Aspect de la performance énergétique et économique....177
Conclusion....177

Chapitre 5: Analyse syntaxique

Introduction....179
5.1 But de l'analyse de l'espace doté de tour à vent....179
5.2 Choix et objectif de l'analyse syntaxique....180
5.3 La mise en application....181
5.3.1 Choix des exemples....181
5.3.2 Répartition des exemples analysés....182
5.3.3 Choix de l'outil d'analyse «Agraph»....185
5.4 Déroulement de l'analyse....185
5.4.1 Définition de quelques terminologies....186
5.4.1.1 En Égypte....186
5.4.1.2 En Arabie saoudite/ Koweït/ Émirats arabes unis....194

5.4.1.3 En Iran.....195
5.4.1.4 Aperçu sur la maison traditionnelle iranienne 200
5.4.1.5 Principe d'implantation de la tour à vent (Badjir) dans les maisons iraniennes 203
5.4.1.6 Caractéristiques de la tour à vent (Badjir) des maisons iraniennes 204
5.4.2 Terminologie liée à la tour à vent contemporaine 205
5.4.2.1 Cheminée solaire.....205
5.4.2.2 Tour à vent assistée par une cheminée solaire.....205
5.4.2.3 Puits canadien 206
5.4.2.4 Tours à vent avec refroidissement souterrain 206
5.4.2.5 Tours à vent commerciales 207
Conclusion..... 207

Chapitre 6: Résultats et interprétations de l'analyse syntaxique

6.1 Analyse des maisons traditionnelles 209
6.1.1 Maison à Baghdad en Iraq (non datée) 209
Résultats et interprétations de l'analyse syntaxique 211
6.1.2 Maison en Arabie Saoudite.....212
6.1.2.1 Maison à Djeddah, (1973).....212
Résultats et interprétations de l'analyse syntaxique 213
6.1.2.2 Maison à Dariya, (1975) 214
Résultats et interprétations de l'analyse syntaxique 215
6.1.3 Maisons au Koweït 216
6.1.3.1 Résidence Cheikh Nacer Ahmed Sobbah au Koweït, (1978).....216
Résultats et interprétations de l'analyse syntaxique 217
6.1.4 Maisons en Égypte.....218
6.1.4.1 Maison Hamdi Sif El Nasr El Fayoum, (1945).....218
Résultats et interprétations de l'analyse syntaxique 219
6.1.4.2 Villa Ismail Abdelrazik à Abu Girg- El Menia, (1941).....220
Résultats et interprétations de l'analyse syntaxique 220
6.1.4.3 Villa Tahar El Umari Bek El Fayoum, (1937).....222
Résultats et interprétations de l'analyse syntaxique 223
6.1.4.4 Maison El Sennary au Caire, (1794).....224
Résultats et interprétations de l'analyse syntaxique 225
6.1.5 Maisons en Émirats arabes unies 226
6.1.5.1 Maison M^{ed} Salah Fikree, El Bastakia Dubai 227
Résultats et interprétations de l'analyse syntaxique 227
6.1.5.2 Maison Abdullah M^{ed} El Bastaki, El Bastakia Dubaï.....228
Résultats numériques de l'analyse syntaxique.....229
6.1.5.3 Maison Mir Abdullah Amiri, El Bastakia Dubai 230
Résultats numériques de l'analyse syntaxique.....230
6.1.5.4 Maison Sherif Sultan El Olama, El Bastakia Dubai 231
Résultats numériques de l'analyse syntaxique.....232
6.1.5.5 Maison Mir Abdulwahid, El Bastakia Dubaï.....233
Résultats numériques de l'analyse syntaxique.....233
6.1.5.6 Maison Mir Abdul Rahman.F, El Bastakia Dubaï.....235
Résultats et interprétations de l'analyse syntaxique 235
6.1.5.7 Maison Abdul Quader Rashidi, El Bastakia Dubaï 237
Résultats et interprétations de l'analyse syntaxique 237
6.1.6 Maison en Iran 238

6.1.6.1 Maison Gerami, Yazd, (entre 1893- 1903) 238
Résultats et interprétations de l'analyse syntaxique 239
6.1.6.2 Maison Boroujerdi, Kashan, (1857) 241
Résultats et interprétations de l'analyse syntaxique 241
6.1.6.3 Maison Mortaz, Yazd, (1865) 243
Résultats et interprétations de l'analyse syntaxique 245
6.1.6.4 Maison Lariha, Fahadan.Yazd, (1863/1864) 246
Résultats et interprétations de l'analyse syntaxique 246
6.1.6.5 Maison Historique1, Yazd, (non datée) 248
Résultats et interprétations de l'analyse syntaxique 248
6.1.6.6 Maison Historique2, Yazd, (non datée) 249
Résultats et interprétations de l'analyse syntaxique 250
6.1.6.7 Maison Sigari, Yazd, (date non précise) 252
Résultats et interprétations de l'analyse syntaxique 253
6.1.6.8 Maison Attarha, Yazd, (date non précise) 255
Résultats et interprétations de l'analyse syntaxique 255
6.2 Analyse des maisons contemporaines 256
6.2.1 Maison Ahmed Abdin, Caire, Égypte 256
Résultats et interprétations de l'analyse syntaxique 257
6.2.2 Maison contemporaine durable à Wardan, Égypte (2012) 259
Résultats et interprétations de l'analyse syntaxique 261
6.2.3 Maison contemporaine, Iran (2007-2012) 262
Résultats et interprétations de l'analyse syntaxique 263
6.2.4 Maison contemporaine à Ouargla, Algérie (1980) 265
Résultats et interprétations de l'analyse syntaxique 265
6.2.5 Maison contemporaine à Ouled Djellal, Algérie (1980) 267
Résultats et interprétations de l'analyse syntaxique 267
6.3 Détermination des propriétés de l'espace doté de tour à vent 269
6.3.1 La profondeur 269
6.3.2 L'asymétrie relative réelle 270
6.3.3 La topologie de l'espace doté de tour à vent 270
6.3.4 La valeur de contrôle 271
6.3.5 La valeur de la connectivité 272
6.3.5 La valeur de l'intégration par rapport à l'extérieur 272
6.4 L'emplacement de la tour à vent 273
6.5 L'aspect environnemental et rendement thermique de la TàV 274
Conclusion **275**

Chapitre 7: Analyse typologique conceptuelle

7.1 Paramètres d'analyse 277
7.1.1 Paramètres étudiés en environnement physique 277
7.1.1.1 Le climat 277
7.1.1.2 Le site 278
7.1.2 Paramètres étudiés en contexte conceptuel 279
7.1.2.1 Type de logement 279
7.1.2.2 Échantillonnage (nombre et type de projets analysés / Wilaya) 279
7.2 Identification des éléments à analyser relatifs à la conception du projet 280
7.2.1 Éléments relatifs à l'aspect morphologique 281
7.2.2 Éléments rapportant au planning spatial 281
7.2.3 Éléments relatifs à l'environnement socioculturel liés à la tour à vent 281

7.2.4 Éléments relatifs à l'aspect environnemental 281
7.3 L'analyse des exemples 282
7.3.1 Application sur les projets collectés appartenant à la wilaya de Biskra 282
7.3.2 Application sur les projets collectés appartenant à la wilaya d'Oued Souf..299
Conclusion.....315

Chapitre 8: Développement des typologies et performances du prototype adopté

Introduction.....316
8.1 Interprétation des résultats de la recherche typologique.....316
8.2 Élaboration des typologies.....318
8.2.1 La forme urbaine.....318
8.2.1.1 Typologie de la forme urbaine (conception initiale).....318
8.2.1.1.1 Assemblage groupé.....318
8.2.1.1.2 Assemblage en bande (linéaire).....320
8.2.1.1.3 Assemblage mixte.....322
8.2.1.2 Typologie développée selon la forme urbaine.....324
8.2.1.2.1 Critère d'implantation.....324
8.2.1.2.2 Choix et modes d'assemblages des tours à vent.....324
8.2.1.2.3 Classification.....324
8.2.1.2.3.a Typologie selon la forme urbaine avec tour intégrée à l'extérieur du logement.....325
8.2.1.2.3.b Typologie selon la forme urbaine avec tour intégrée à l'intérieur du logement.....325
Recommandations.....330
8.2.2 L'orientation 331
8.2.2.1 Typologie selon l'orientation (conception initiale).....331
8.2.2.2 Typologie développée selon l'orientation.....332
8.2.2.2.1 Classification.....335
8.2.3 La hauteur (nombre d'étages) 340
8.2.3.1 Typologie selon la hauteur.....340
8.2.3.2 Typologie développée selon la hauteur.....340
8.2.4 L'usage.....340
8.2.4.1 Typologie selon l'usage 340
8.2.4.2 Typologie développée selon l'usage.....340
8.2.5 Le type de logement.....341
8.2.5.1 Typologie selon le type de logement 341
8.2.5.2 Typologie développée selon le type de logement.....341
La typologie et la typologie développée sont similaires selon le critère type de logement. Voir (tableau 8.15). 341
8.2.6 La hauteur sous plafond.....341
8.2.6.1 Typologie selon la hauteur sous plafond 342
8.2.6.1 Typologie développée selon la hauteur sous plafond 342
8.2.7 La surface.....342
8.2.7.1 Typologie selon la surface 342
8.2.7.2 Typologie développée selon la surface.....344
8.2.8 L'accessibilité aux logements.....347
8.2.8.1 Typologie selon l'accessibilité aux logements 347
8.2.8.2 Typologie développée selon l'accessibilité aux logements 348
8.2.9 L'organisation spatiale.....350

8.2.9.1 Typologie selon l'organisation spatiale 350
8.2.9.2 Typologie développée selon l'organisation spatiale 351
8.2.10 Le nombre de logements desservis 361
8.2.10.1 Typologie selon le nombre de logements desservis.....362
8.2.10.2 Typologie développée selon le nombre de logements desservis 362
8.3 Prototype adopté et ses performances.....370
8.3.1 Critères de choix 370
8.3.2 Caractéristiques techniques.....370
8.3.3 Performance thermique.....370
8.3.4 Étendue de la performance thermique 375
8.3.5 Performance énergétique 381
8.3.5.1 Résultats de la puissance électrique équivalente 381
8.4 Estimation du coût et délais de réalisation.....382
8.5 Suggestions d'amélioration de l'efficacité du prototype 383
Conclusion.....384

Conclusion générale et perspectives

Conclusion générale.....385

Limites de la recherche.....404

Perspectives et futures recherches.....404

Références bibliographiques.....405

Annexes.....441

NOMENCLATURE

Lettres majuscules latines

A: Hauteur totale de la tour à vent	m
A_m : Surface de transfert de masse	m^2
B: Longueur de la tour à vent	m
C: Largeur de la tour à vent	m
C_p : Coefficient de chute de pression	-
C_p : Coefficient de puissance	-
C_p : Chaleur spécifique de l'air sec	kJ/kg. K
C_{pc} : Chaleur spécifique du conduit en argile	J/kg. K
C_{pm} : Chaleur spécifique de l'air humide	J/kg. °C
C_{ps}: Chaleur spécifique de la vapeur	J/kg. K
C_{pw}: Chaleur spécifique du mur extérieur Badgir	J/kg. K
C_{pw}: Chaleur spécifique de l'eau	J/kg. K
$Cv,_A$: Coefficient de la tour en conditions d'exploitation, qui inclut l'effet des variations de la zone entre l'entrée de la tuyère et la vitesse à la sortie	-
D_T : Hauteur de la tour à vent au-dessus du plancher	m
D: hauteur de la tour à vent au-dessus du plancher	m
D : Profondeur moyenne,	m
D_k : Nombre de cellules k dans le système analysé	
D_p : Épaisseur de la toile en jute	cm
Gb : Source d'énergie cinétique turbulente due à la force de flottabilité (solide fluide)	m^2/s^2
Gk : Source d'énergie cinétique turbulente due au gradient de la vitesse moyenne	m^2/s^2
H_t : Élévation de la colonne	cm
Ji : Flux de diffusion des espèces i	$mol/m^2.s$
K_w : Conductivité thermique du mur extérieur Badgir	W/m.K
MD: Profondeur moyenne à partir d'un nœud (espace).	
P : Puissance de la turbine	W
P : Pression de l'air	Pa
P_a : Densité du flux calculée à une température de 35,7° C	W/m^2
P_{01} et P_4 : Stagnation et pression statique à l'entrée et sortie air de la tuyère	Pa

R_A : Asymétrie relative d'une cellule ou nœud

Ri : Taux net de production des espèces i par des réaction chimiques kg/m^3.s

Si : Taux de création par addition à partir de la phase dispersée plus les sources définies par l'utilisateur -

T : Tenseur de contrainte totale N/m^2 ou Pa

T : Température de l'air sec ° C

Ta : Température ambiante ou température extérieure °C

T_t : Température de l'air après avoir traversé la toile de jute °C

T_{wb} : Température humide (we t-bulb temperature) °C

T_{amb} : Température ambiante absolue Kelvin (K)

T_{dp} : Température du point de rosée. °C

T_{sk} : Température du ciel absolue Kelvin (K)

T_t : Température de l'air après avoir traversé la toile de jute °C

T_{wb} : Humidité de l'air à l'extérieur %

V : Vitesse de l'air m/s

V : Vecteur de la vitesse d'écoulement avec ses composantes u, v et w dans les directions x, y et z, respectivement m/s

V_0: Masse du flux kg

Z_1 : Hauteur du conduit tour (entrée d'air) m

Z : Hauteur de la tuyère (sortie d'air) m

Lettres minuscules latines

a : indice concerne le flux d'air extérieur

d: Profondeur (1, 2, 3, ... etc.) m

d : Épaisseur de la toile en jute cm

d_{ij} : Distance la plus courte entre deux points i et j dans un graphe justifié m

d_p : Épaisseur de la toile en jute cm

g : L'accélération de la pesanteur m/s^2

h : Coefficients de transfert thermique

h_D : Coefficients de transfert de masse

h_g : Enthalpie de la vapeur saturée kJ/kg

h_t : Hauteur de la colonne cm

k : Nombre de nœuds dans le système

k : Coefficient de pression différentiel -

m^0_v : Taux de l'eau évaporée %

m^0_v : Débit massique de l'air sec kg/s

n: Nombre de nœuds à une profondeur spécifique,

u :Vecteur de la vitesse du fluide m/s

p :Pression Pa

t : Temps seconde (s)

x_c : Épaisseur du conduit en argile mm

x_w : Épaisseur du mur extérieur Badgir mm

x_{wt} : Épaisseur de la couche d'eau mm

z : Hauteur de la tuyère m

Lettres grecques

αk , αε : Nombres turbulents de Prandtl associés à k et ε respectivement -

β : Forces du corps agissant sur le fluide N

ΔP : Chute de pression dynamique et de friction dans le Badgir Pa

ΔP_a : Perte de pression Pa ou N/m^2

ΔP_p : Chute de pression d'air dans les pailles Pa

ΔP_T : Chute de pression d'air dans la tuyère Pa

ΔC_p : Coefficient de différence de pression entre l'entrée supérieure, les portes et les fenêtres du bâtiment -

δ : Coefficient de site -

∇ : L'opérateur différentiel Del

ρ : Densité de l'air ou la masse volumique de l'air kg/m^3

ρ_0 : densité de flux kg/m^3

ρ_c : Masse volumique du conduit en argile kg/m^3

ρ_w : Masse volumique du mur extérieur Badgir kg/m^3

ρ_{wt} : Masse volumique de l'eau kg/m^3

ω : Teneur en eau dans l'air $kg_{\text{vapeur d´eau}}/kg_{\text{air sec}}$

ωa: Taux d'humidité de l'environnement immédiat jour et nuit $kg_{\text{vapeur d´eau}}/kg_{\text{air sec}}$

ωc: Taux d'humidité dans les murs saturés de chaleur $kg_{vapeur\ d´eau}/kg_{air\ sec}$

η : chute de température sèche de l'air passant à travers les pailles ou l'efficacité des pailles

μ : Viscosité dynamique moléculaire Pa. s

ε : Taux de dissipation d'énergie par unité de masse

τ_t : Divergence des contraintes de turbulence -

C1ε, C2ε et C3ε : Constantes de modèles empiriques -

Abréviations

CV : Control value (Valeur de contrôle)

Ch : Chambre

Cour/ T : Cour/terrasse

Cui : Cuisine

CFD : Computer Fluid Dynamics

EAU : Émirats arabes unis

E : Espace

E.EXT : Espace extérieur

E-O : Est-ouest

ESC : Escalier

Etg : Étage

E.V : Espace de vie

EXT : Extérieur

F2 : Un appartement F2 est composé d'un salon et d'une chambre ainsi que d'une cuisine et d'une salle de bain qui ne sont pas comptées.

F3 : Un appartement F3 est composé d'un salon et de deux chambres ainsi que d'une cuisine et d'une salle de bain qui ne sont pas comptées.

F4 : Un appartement F4 est composé d'un salon et de trois chambres ainsi que d'une cuisine et d'une salle de bain qui ne sont pas comptées.

F5 en duplex : Un appartement F5 en duplex regroupant deux étages d'un immeuble et possédant un escalier intérieur. Il est composé d'un salon et de quatre chambres ainsi que d'une cuisine et d'une salle de bain qui ne sont pas comptées. Les deux étages ayant une hauteur sous plafond habitable, ce qui fait la différence avec un simple appartement avec mezzanine.

F6 en duplex : Un appartement F6 en duplex regroupant deux étages d'un immeuble et

possédant un escalier intérieur. Il est composé d'un salon et de cinq chambres ainsi que d'une cuisine et d'une salle de bain qui ne sont pas comptées.

I : Intégration

Int : Intérieur

l : Largeur

Logts ou Lgt : Logements ou logement

L : Longueur

MD : Mean depth (profondeur moyenne)

min : Minimale

max : Maximale

Nc : Nombre de connexions

NIV : Niveau

N-S : Nord –Sud

RA : Relative asymmetry (Asymétrie relative)

RDC : Rez-de-chaussée

RRA : Real relative asymmetry (Asymétrie relative réelle)

S/C : Semi-collectif

Sej : Séjour

S.H : Surface Habitable

S.N.H : Surface non habitable

ST : Surface tour à vent

S TOT : Surface totale

SDB : Salle de bain

TàV : Tour à vent

TD : Total depth (profondeur totale)

V1 : Variante 1

V2 : Variante 2

Indices

i : Relatif au nombre de compartiments

i : Relatif au nœud ou aux espèces

n : Relatif à l'espace

t : Relatif au flux d'air intérieur

(t) : Relatif à la tour à vent

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1: La composition principale de la tour à vent traditionnelle 18
Figure 1.2: Caractéristiques de la tour a vent traditionnelle dans quelques pays arabes 19
Figure 1.3: Système de rafraîchissement évaporatif avec jarre dans la tour à vent traditionnelle 19
Figure 1.4: Les alternatives de rafraîchissement évaporatif dans la tour à vent traditionnelle 20
Figure 1.5: La hauteur de la tour à vent traditionnelle dans le climat chaud sec et chaud humide.....20
Figure 1.6: Les zones de pression autour de la tour à vent 21
Figure 1.7: Schéma de position et orientation de la tour à vent traditionnelle 22
Figure 1.8: Efficacité de capture d'air dans différentes conceptions de tête de la tour à vent traditionnelle 23
Figure 1.9: Tour à vent effet attrape vent.....24
Figure 1.10: Tour à vent effet de tirage thermique 24
Figure 1.11: Fonctionnement de la tour à vent jour et nuit. 25
Figure 1.12: Les capteurs à vent muraux 26
Figure 1.13: Tour à vent sous forme de puits à Kachan et à Yazd en Iran 26
Figure 1.14: Maison dotée de Malqaf El Saath en Égypte.....27
Figure 1.15: Type de tour à vent selon l'utilité.....27
Figure 1.16: Tour à vent avec lames sous forme de X.....28
Figure 1.17: Tour à vent avec lames sous forme de + ...28
Figure 1.18: Tour à vent avec lames sous forme de H.....29
Figure 1.19: Tour à vent avec lames sous forme de K.....29
Figure 1.20: Tour à vent avec lames sous forme de I 29
Figure 1.21: Tour à vent dans la maison pharaonique du Bout-Amun en Égypte.....32
Figure 1.22: Tour à vent unidirectionnelle à Khost oasis près de Birjanden en Iran..32
Figure 1.23: Maison dans la casbah d'Alger avec capteur à vent mural 32
Figure 1.24: Tour à vent unidirectionnelle au Sud algérien.....33
Figure 1.25: Vue d'ensemble du vieux Dubaï, El Bastakia 34

Figure 1.26: Vue d'ensemble de la ville historique de Yazd en Iran.....34
Figure 1.27: La tour à vent façonne la ligne de ciel dans l'urbanisme traditionnel au vieux Dubaï.....35
Figure 1.28: Différents types de tour à vent selon le mode constructif 35
Figure 1.29: La tour à vent façonne la ligne de ciel dans l'urbanisme traditionnel en Iran 36
Figure 1.30: La tour à vent façonne la ligne de ciel en Pakistan et Afghanistan.....36
Figure 1.31: Vues sur les tours à vent à Al Djoumaira Dubaï 36
Figure 1.32: Tours à vent à El Djoumaira.....38
Figure 1.33: Quelques modèles d'ornementations des orifices des tours à vent 39
Figure 1.34: Tour à vent de la mosquée Med Moharrem en Égypte 40
Figure 1.35: Tour à vent décorative aux EAU 44
Figure 1.36: Exemple de tour à vent dans le monde arabe au début de XXe siècle ...45
Figure 1.37: Centre des visiteurs du parc national de Zion, aux États-Unis.....45
Figure 1.38: Terrain de cricket de kensington a barbados (a) et Zenith Rhone-alpes de Saint-Étienne (b)..... 46

Figure 1.39: Bâtiment à usage collectif en R+4 doté de tour à vent à Alep au Moyen-Orient 46
Figure 1.40: La médina des enfants dotée de tour à vent à Tadjourah Djibouti. 47
Figure 1.41: Les tours à vent de Bedzed à Londres 48
Figure 1.42: Nouvelle conception des tours fraiches dans une immeuble d´habitation en Australie. 48
Figure 1.43: Immeuble de bureau doté de tours à vent fraiches à Melbourne en Australie 49
Figure 2.1: La tour à vent traditionnelle et contemporaine 50
Figure 2.2: Principe de fonctionnement d'une tour à vent contemporaine unidirectionnelle avec dispositifs de transfert de chaleur 50
Figure 2.3: La différence tour à vent traditionnelle et contemporaine 51
Figure 2.4: L'isolation acoustique à l'intérieur de la structure du capteur à vent 52
Figure 2.5: Intégration d'un tube solaire et d'un ventilateur dans un capteur à vent 53
Figure 2.6: Intégration d'un système de refroidissement évaporatif dans un capteur à vent 53
Figure 2.7: Différentes formes de capteur à vent contemporains en tôle ou en plastique mince 54
Figure 2.8: La différence entre les matériaux de la tour à vent traditionnelle et moderne 54
Figure 2.9: Modèle tour à vent avec colonnes mouillées 59
Figure 2.10: Variation de la (T°C), (HR%) et le Débit d'air au soufflage modèle T à V avec colonnes mouillées 61
Figure 2.11: Modèle tour à vent avec surfaces mouillées 63
Figure 2.12: Réalisation des prototypes proposés des tours à vent 66
Figure 2.13: Comparaison de la performance thermique entre la tour à vent avec colonnes et Pads humides 67
Figure 2.14: Comparaison entre la T à V traditionnelle, avec colonnes et Pads humides 68
Figure 2.15: Comparaison de la T(°C) entre T à V traditionnelle, avec colonnes et Pads humides le 10/9/2003 68
Figure 2.16: Schéma modèle Tour à vent avec turbines à tambours et tuyères 70
Figure 2.17: Découpage de la tour à vent en 4 quadrants de 45°d'angle 70
Figure 2.18: Aménagements des diffuseurs et des turbines à tambour dans la tour à vent 71
Figure 2.19: Les différentes possibilités d'implantation de la tour à vent dans un bâtiment 71
Figure 2.20: Coupe schématique dans le conduit 72
Figure 2.21: Les valeurs du ratio vitesse (V4/V1) dans une tour sans et avec obstacle (tuyère) 73
Figure 2.22: Les valeurs du ratio vitesse (V4/V1) dans une tour sans et avec obstacle (tuyère) 75
Figure 2.23: Prototype tour à vent Goudarzi et al à échelle 1/8 75
Figure 2.24: Prototype Tour à vent solaire de Jazayeri et al dans une journée ensoleillée 79
Figure 25: Prototype tour à vent Dehghani-sanij et al 82
Figure 2.26: Schéma du 1eret 2èmeScénario a(Tour à vent- Fenêtre); b(Tour à vent-Cheminée solaire) 83
Figure 2.27: Schéma du 3^{e} Scénario c (Tour à vent-tour à vent) et d (Tour à vent-dôme avec fenêtres) 83

Figure 2.28: Charte de la relation entre Surface hall et surface Tour à vent (m).....84
Figure 2.29: Charte de la relation entre longueur et largeur tour à vent (m) 85
Figure 2.30: Charte de la relation entre hauteur tête et hauteur totale Tour à vent (m) 85
Figure 2.31: Tour à vent montée sur le toit (a) disposition en parallèle (b) disposition en quinconce 86
Figure 2.32: Domaine de calcul et configurations mode d'assemblage tours à vent..88
Figure 2.33: Résume de la méthodologie numérique et expérimentale adoptée dans cette étude 90
Figure 2.34: Validation du prototype de référence vis-à-vis la vitesse de l'air au niveau du conduit pour une 90
Figure 2.35: Validation du prototype de référence vis-à-vis l'écoulement d´air à l'intérieur de la salle pour une vitesse de vent de 3m/s 91
Figure 2.36: Effet de la disposition des T à V (en parallèle ou décalée) sur la distribution de l'air à l'intérieur.....92
Figure 2.37: Effet de la variation de l'angle du vent sur les débits d'approvisionnement dans les dispositions étudiées.....93
Figure 2.38: Effet de la disposition en parallèle sur le taux de concentration en CO2 à l'intérieur.....94
Figure 2.39: Effet de la disposition en quinconce sur le taux de concentration en CO2 à l'intérieur.....94
Figure 2.40: Résumé graphique des résultats de la recherche 95
Figure 3.1: Approche analytique et systémique.....126
Figure 3.2: Les différents types de comportement dans l'espace 130
Figure 3.3: Les types de lignes axiales selon Penn et al (1997.....131
Figure 3.4: La carte axiale et convexe 131
Figure 3.5: Des isovists produits de différents points d'observation dans un environnement.....132
Figure 3.6: La génération de l'isovist 132
Figure 3.7: La topologie des espaces convexes 134
Figure 3.8: Une disposition d'une construction et sa représentation graphique (A).135
Figure 3.9: Plan RDC de la même zone ayant des graphes justifiés radicalement différents 135
Figure 3.10: Application d'une analyse (VGA) sur une maison à Kantara au Sud algérien.....136
Figure 3.11: Fréquence des parcours de nombreux agents à travers un environnement (magasin Ikea).....136
Figure 3.12: Les mesures fondamentales de la syntaxe spatiale.....137
Figure 3.13: Mesure de la connectivité dans un graphe justifié.....138
Figure 4.1: Transformation du logement en locaux commerciaux 147
Figure 4.2: Situation de la ville d'Ouled Djellal.....147
Figure 4.3: Situation de cas d'étude.....148
Figure 4.4: La cité des 80 logements à Ouled Djellal -vues d'ensemble- 149
Figure 4.5: Plans d'assemblage.....150
Figure 4.6: Le jeu d'ombre dans la cité 151
Figure 4.7: État des lieux cas d'étude (F3 et F2)-Vues en plan-.....152
Figure 4.8: Vues de l'intérieur cas d'étude (F3 et F2).....152
Figure 4.9: État des lieux cas d'étude-Coupe AA- 153
Figure 4.10: Revêtement extérieur tour à vent des 80 logements à Ouled Djellal ...155
Figure 4.11: Coupe sur conduits tour à vent des 80 logements à Ouled Djellal.....156

Figure 4.12: Vues en plan tour à vent des 80 logements à Ouled Djellal 156
Figure 4.13: Disparition de la tour à vent dans le champ de vision due à la surélévation importante de l'acrotère 157
Figure 4.14: Condamnation totale des bouches d'entrée air de la tour à vent 158
Figure 4.15: Transformation de la tour à vent en une cheminée pour l'évacuation du gaz carbonique 158
Figure 4.16: Démolition de la tour à vent dans certains logements 158
Figure 4.17: Tour à vent ouverte à la bouche d'entrée air dans certains logements .159
Figure 4.18: La tour à vent comme gaine technique pour passage câbles (électrique, de la parabole, etc) 160
Figure 4.19: Obstruction de la bouche de soufflage de la tour à vent dans certains logements 160
Figure 4.20: À l'intérieur, transformation du conduit tour à vent en placard mural .160
Figure 4.21: À l'intérieur, transformation du conduit tour en gaine pour l'évacuation de gaz carbonique 161
Figure 4.22: Vues générales sur les 106/200 logements réalisés en poteau-poutre et sans tour à vent 163
Figure 4.23: Tableau récapitulatif et graphique de la variable origine tour à vent selon les habitants 167
Figure 4.24: Graphiques des variables niveau d'étude chef de ménage et nombre d'enfants 168
Figure 4.25: Graphique de la variable de l'utilité du système tour à vent 170

Figure 4.26: Graphique de la variable mode d'utilisation système tour à vent 170
Figure 4.27: Histogramme de l'état des lieux des tours à vent dans la cité cas d'étude 171
Figure 4.28: Histogramme des Causes de la condamnation du système tour à vent 171
Figure 4.29: Histogramme de l'état des lieux du système tour à vent dans la cité cas d'enquête 172
Figure 4.30: Histogramme des avis des usagers sur la convenance du système tour à vent 172
Figure 4.31: Histogramme des avis des usagers sur les causes de refus de vulgarisation de la tour à vent 173
Figure 4.32: Tableau et Histogramme des variables croisées (niveau d'étude; reconnaissance du système) 174
Figure 4.33: Tableau et histogramme des variables croisées (type de possession logement; état de la tour) 175
Figure 5.1: Axonométrie mode d'agencement d'une grande maison traditionnelle.186186
Figure 5.2: Vue en plan de Ka'ah (cas de la villa Abdelrazik),El Menya 187
Figure 5.3: Vues sur la ka'ah de la maison Zeinab Khatoun au Caire 188
Figure 5.4: Vues sur la Dorka'a de la maison Hamdi Sif El Nasr El Fayoum 188
Figure 5.5: Vue sur la Dorka'a de la maison El Sennary au Caire garnie d'une fontaine au centre 188
Figure 5.6: Vue de l'extérieur et vues en plan de quelques Iwans au Caire en Égypte 189
Figure 5.7: Exemple d'une maison prototype disposant de Maqa'ad ouvert sur Sahn en Égypte 190
Figure 5.8: Vue en plan Maqa'ad maison Chabchiri au Caire en Égypte 190

Figure 5.9: Maqa'ad et Takhtabush maison El Sennary en Égypte donnant sur la cour 191
Figure 5.10: Principe de disposition de Takhtabouche 191
Figure 5.11: Exemple d'une maison dotée de Takhtabouche ouvert sur la cour 192
Figure 5.12: Le Sahn du Palais Bayt al-Kritliyya au Caire.....193
Figure 5.13: Principe de la Salsabil 194
Figure 5.14: Exemple d'une maison disposant de 2 Majlis à Bastakia.....195
Figure 5.15: Vues sur l'iwan desservant les deux Majlis 195
Figure 5.16: Vues d'intérieures sur le Hashti (vestibule d´entrée) 196
Figure 5.17: Vue sur le Talar donnant sur la grande cour (Birouni) résidence à kashan, Iran 196
Figure 5.18: Vue sur le Sedari d'une maison traditionnelle Iranienne 197
Figure 5.19: Vues sur le Panjdari dans une maison traditionnelle Iranienne.....197
Figure 5.20: Vues générales sur les Iwans donnants sur la grande cour.....198
Figure 5.21: Vue sur le Pishtaq (portail d'accès principal de l'Iwan) 198
Figure 5.22: Petite cour intérieure, maison historique Tabatabei, Kashan, Iran.....199
Figure 5.23: Matbakh maison des Tabâtabâ'i, Kâshân en Iran.....199
Figure 5.24: Vue sur un tunnel d'un Qanat près de Ispahan (Iran).....200
Figure 5.25: Exemple d'un plan de maison traditionnelle iranienne 201
Figure 5.26: Traitement accès maison traditionnelle iranienne (Rabbat, n.d.) 202
Figure 5.27: Emplacement de la tour à vent selon l'orientation dans la maison traditionnelle iranienne 204
Figure 5.28: Principe de la cheminée solaire.....205
Figure 6.1: Plan du RDC d´une maison avec tour à vent à Baghdad.....210
Figure 6.2: Coupe sur le principe du système combiné tour à vent- échangeur de chaleur sol-air.....210
Figure 6.3: Carte Gamma pour une maison à Baghdad 211
Figure 6.4: Vue en plan RDC maison Nassief à Djeddah.....212
Figure 6.5: Vue en plan RDC maison Nassief à Djeddah.....212
Figure 6.6: Façades maison Nassief à Djeddah 212
Figure 6.7: Carte Gamma de la maison Nassief à Djeddah 213
Figure 6.8: Vue en plan maison prototype à Dariya 214
Figure 6.9: Coupes AA et CC (une maison prototype à Dariya) 214
Figure 6.10: Carte Gamma d'une maison prototype à Dariya 215
Figure 6.11: Façade nord et façade ouest résidence Sobbah au Koweït 216
Figure 6.12: Vue en plan résidence Sobbah au Koweït 216
Figure 6.13: Carte Gamma de la résidence Sobbah au Koweït 217
Figure 6.14: Vues sur la maison de Sif El Nasr et son Malqaf à El Fayoum en Égypte 218
Figure 6.15: Vue en plan, façade et coupe maison Sif El Nasr à El Fayoum 218
Figure 6.16: Carte Gamma de la maison Hamdi Sif El Nasr, El Fayoum 219
Figure 6.17: Vues en plan villa Ismail Abdelrazik à Abu Girg en Égypte 220
Figure 6.18: Carte Gamma de la villa Ismail Abdelrazik à Abu Girg en Égypte 221
Figure 6.19: Façades villa Tahar El Umari, El Fayoum 222
Figure 6.20: Vues en plan villa Tahar El Umari, El Fayoum 222
Figure 6.21: Carte Gamma de la maison de Tahar El Umari, El Fayoum 223
Figure 6.22: Vues d'intérieur maison El Sennary, Caire 224
Figure 6.23: Vues en plan maison El Sennary, Caire 225
Figure 6.24: Carte Gamma de la maison El Sennary, Caire 225

Figure 6.25: Vues générales sur les maisons de Bastakia (ancien site réaffectées en zone touristique).....227
Figure 6.26: Vues en plan et façade principale maison M[ed] Salah Fikree, Dubaï 227
Figure 6.27: Carte Gamma pour la maison M[ed] Salah Fikree, Dubaï UAE.....228
Figure 6.28: Vues en plans et façade principale maison El Bastaki, Dubaï 229
Figure 6.29: Carte Gamma pour la maison El Bastaki, Dubaï.....229
Figure 6.30: Vue en plan RDC et façade principale maison Mir Abdullah, Dubaï ..230
Figure 6.31: Carte Gamma de la maison Mir Abdullah, Dubaï.....231
Figure 6.32: Vues en plan et façade principale maison Sherif Sultan, Dubai.....232
Figure 6.33: Carte Gamma de la maison Sherif Sultan, Dubaï.....232
Figure 6.34: Vues en plan et façade principale maison Mir Abdulwahid, Dubaï.....233
Figure 6.35: Carte Gamma de la maison Mir Abdulwahid, Dubaï.....234
Figure 6.36: Vues en plans et façade principale maison Mir AbdulRahman, Dubaï235
Figure 6.37: Carte Gamma de la maison Mir Abdul Rahman.F, Dubaï 236
Figure 6.38: Vues en plan et façade latérale maison AbdulQuader.R, Dubaï 237
Figure 6.39: Carte Gamma de la maison Mir Abdul Quader. R, Dubaï 237
Figure 6.40: Vue de l'intérieur, axonométrie et coupe, maison Gerami, Yazd (1863) 238
Figure 6.41: Vues en plans maison Gerami, Yazd (entre 1893- 1903).....239
Figure 6.42: Carte Gamma de la maison Gerami, Yazd 239
Figure 6.43: Vues et schéma de la maison des Boroudjerdi à Khashan avec ces trois Badgirs, (1857) 241
Figure 6.44: Carte Gamma de la maison des Boroudjerdi à Khashan 242
Figure 6.45: Vues sur la cour extérieure de la maison Mortaz à Yazd, (1865) 244
Figure 6.46: Détail Badgir maison Mortaz, Yazd.....244
Figure 6.47: Carte Gamma de la maison Mortaz 245
Figure 6.48: Vue en plan RDC maison Lariha, Fahadan, Yazd, (1863).....246
Figure 6.49: Carte Gamma de la maison Lariha, Fahadan, Yazd (1863) 247
Figure 6.50: Vue en plan RDC et coupe maison historique1 (non datée), Yazd.....248
Figure 6.51: Carte Gamma de la maison historique1, Yazd 249
Figure 6.52: Vue en plan et coupes maison historique2 (non datée), Yazd.....250
Figure 6.53: Carte Gamma de la maison historique2, Yazd 250
Figure 6.54: Vues générales sur la maison Sigari et sa tour à vent, Yazd 252
Figure 6.55: Coupes AA et BB (maison Sigari à Yazd).....252
Figure 6.56: Vues en plans maison Sigari, Yazd 253
Figure 6.57: Carte Gamma de la maison Sigari, Yazd.....254
Figure 6.58: Vue en plan RDC maison Attarha, Yazd (non datée) 255
Figure 6.59: Carte Gamma de la maison Attarha, Yazd 255
Figure 6.60: Vue générale sur la maison Abdin, Caire 256
Figure 6.61: Vue en plan RDC maison Abdin et soltuions écologiques appliquées, Caire.....257
Figure 6.62: Carte Gamma de la maison Abdin au Caire, Égypte.....257
Figure 6.63: Vues en plan maison avant et après rénovation à Wardan, Égypte.....259
Figure 6.64: Design des solutions écologiques adoptées dans la maison à Wardan, Égypte 260
Figure 6.65: Carte Gamma de la maison écologique à Wardan.....261
Figure 6.66: Maison Firouzmandan, Lars Iran 262
Figure 6.67: Coupes sur la maison Firouzmandan et sa tour à vent, Iran.....263
Figure 6.68: Carte Gamma de la maison contemporaine à Lars, Fars en Iran.....263
Figure 6.69: Vues générales sur la maison contemporaine à Ouargla, Algérie 265

Figure 6.70: Vue en plan maison contemporaine à Ouargla, Algérie.....265
Figure 6.71: Carte Gamma de la maison contemporaine à Ouargla, Algérie 266
Figure 6.72: Carte Gamma de la maison contemporaine à Ouled Djellal, Algérie ..267
Figure 6.73: Comparaison des profondeurs de l'espace TàV ou doté de la TàV dans les exemples étudiés 270
Figure 6.74: Comparaison des RRA de l'espace TàV ou doté de TàV dans les exemples étudiés.....270
Figure 6.75: Comparaison de la topologie de l'espace TàV ou doté de TàV dans les exemples étudiés 271
Figure 6.76: Taux de répartition de la topologie de l'espace de la tour à vent dans les exemples étudiés 271
Figure 6.77: Comparaison de la valeur de contrôle de l'espace TàV ou doté de TàV dans les exemples étudiés 272
Figure 6.78: Comparaison du nombre de connexions de l'espace TàV ou doté de TàV dans les exemples étudiés. 272
Figure 6.79: Comparaison de la valeur d'intégration de l'espace TàV ou doté de TàV dans les exemples étudiés. 273
Figure 6.80: Carte de l'emplacement de l'espace TàV ou doté de TàV dans les exemples étudiés 274
Figure 6.81: Typologie selon le mode de fonctionnement de la TàV dans les exemples étudiés.....275
Figure 7.1: Carte climatique de l'Algérie selon la classification de Koppen.....278
Figure 8.1: Géométrie de l'unité de composition 319
Figure 8.2: Géométrie bloc d'angle 321
Figure 8.3: Géométrie du bloc composé de 4 unités de logement 323
Figure 8.4: Effet de l'angle de la direction du vent sur le taux de débit d'air pénétrant pour V_{air}=3m/s 333
Figure 8.5: Comportement des quadrants en fonction de l'angle du vent 333
Figure 8.6: Représentation de la climatologie du vent pour les régions d'El Oued et Biskra 335
Figure 8.7: Zoom1 sur la typologie selon l'espace en mitoyenneté lié à la TàV (espace de vie, de repos et mixte) 353
Figure 8.8: Zoom 2 si le nombre d'étages desservis est de 2 (R+2) cas du duplex..360
Figure 8.9: Zoom 3 si le nombre d'étages desservis est de 3 (R+3) cas du duplex..361
Figure 8.10: Détails de la forme du bloc en barre / typologie selon le nombre de logements desservis/ étage (cas d'un logement/palier intermédiaire -suite1-) 365
Figure 8.11: Détails de la forme du bloc compact / typologie selon le nombre de logements desservis/ étage (cas de 2 logements/palier).....366
Figure 8.12: Typologie développée cas de 3 logements et plus avec espaces d'entrée filtre à l'extérieur/espace intermédiaire (Zoom4) 368
Figure 8.13: Typologie développée cas de 3 logements et plus avec espaces d'entrée filtre à l'intérieur/espace intermédiaire (Zoom5).....369
Figure 8.14: Typologie cas de 3 logements et plus sans espaces filtre / espace intermédiaire (Zoom6) 369
Figure 8.15: Disposition des stations de mesures à l'intérieur et à l'extérieur du Bureau 371
Figure 8.16: Comparaison des températures du 14 au 21/7/2012 à la zone de confort étendue pour la ventilation.....372
Figure 8.17: Comparaison des humidités relatives des stations 1/3, 2/3 et 3/3 du 14 au 21/7/2012 à la zone de confort.....373

Figure 8.18: Comparaison des vitesses de l'air des stations 1/3, 2/3 et 3/3 du 14 au 21/7/2012, à la zone de confort.....374
Figure 8.19: Tmoy et HRmoy simulées au RDC et à l'étage et étendue de l'effet de rafraîchissement (V1).....375
Figure 8.20: Tmoy et HR moy simulées au RDC et à l'étage et étendue de l'effet de rafraîchissement (V2).....376
Figure 8.21: Simulation des températures zones de 1 à 9 m du 14 au 21 juillet 2012, et zones de confort (une bouche de soufflage) 377
Figure 8.22: simulation des humidités relatives du 14 au 21 juillet 2012, zones de 1 à 9 m et zones de confort (une bouche de soufflage) 378
Figure 8.23: simulation des températures du 14 au 21 juillet 2012, zones de 1à 9m (une bouche de soufflage) et la zone de confort étendue par ventilation.....379

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1: Caractéristiques de la tour à vent traditionnelle dans les différents climats. 18
Tableau 2.1: Comparaison des performances des différents systèmes de refroidissement évaporatif 69
Tableau 2.2: La vitesse de l'air dans les différents essais 80
Tableau 2.3: Données d'entrées appliquées pour l'analyse de la concentration en CO2 92
Tableau 2.4: Conditions aux limites du modèle CFD.....92
Tableau 4.1: Répartition et comparaison des surfaces logements cas d'étude aux normes.....145
Tableau 4.2: Caractéristique des échantillons de populations 168
Tableau 4.3: Identification du système tour à vent par les usagers 169
Tableau 4.4: État des lieux du système tour à vent et causes de condamnation.....170
Tableau 4.5: Perception du système tour à vent 172
Tableau 5.1: Liste des exemples analysés à travers le monde islamique.....184
Tableau 5.1: Liste des exemples analysés à travers le monde islamique 184
Tableau 5.2: Les différentes typologies de la tour à vent traditionnelle selon son emplacement.....204
Tableau 6.1: Résultats de la température de l'air à l'intérieur et à l'extérieur, été 2014 210
Tableau 6.2: Résultat mesures syntaxiques pour une maison à Baghdad.....211
Tableau 6.3: Résultat mesures syntaxiques de la maison Nassief à Djeddah.....213
Tableau 6.4: Résultat mesures syntaxiques d'une maison prototype à Dariya.....215
Tableau 6.5: Résultat mesures syntaxiques résidence Nacer Sobbah au Koweït 217
Tableau 6.6: Résultat mesures syntaxiques maison Hamdi Sif El Nasr, El fayoum 219
Tableau 6.7: Résultat mesures syntaxiques maison Ismail Abdelrazik à Abu Girg en Égypte 221
Tableau 6.8: Résultat mesures syntaxiques maison Tahar El Umari, El fayoum.....223
Tableau 6.9: Résultat mesures syntaxiques maison El Sennary, Caire 226
Tableau 6.10: Résultats mesures syntaxiques maison M^{ed} Salah Fikree, Dubaï UAE 228
Tableau 6.11: Résultats mesures syntaxiques maison El Bastaki, Dubaï.....229
Tableau 6.12: Résultats mesures syntaxiques maison Mir Abdullah, Dubaï 231

Tableau 6.13: Résultats mesures syntaxiques maison Sherif Sultan, Dubaï 232
Tableau 6.14: Résultats mesures syntaxiques maison Mir Abdulwahid, Dubaï.....234
Tableau 6.15: Résultats mesures syntaxiques maison Mir Abdul Rahman.F, Dubaï 236
Tableau 6.16: Résultats mesures syntaxiques maison Abdul Quader. R, Dubaï.....238
Tableau 6.17: Résultats des mesures syntaxiques maison Gerami, Yazd 240
Tableau 6.18: Résultats mesures syntaxiques maison Boroudjerdi, Kashan.....242
Tableau 6.19: Résultats des mesures syntaxiques maison Mortaz 245
Tableau 6.20: Résultats des mesures syntaxiques maison Lariha 247
Tableau 6.21: Résultats des mesures syntaxiques maison Historique1.....249
Tableau 6.22: Résultats des mesures syntaxiques maison historique2.....251
Tableau 6.23: Résultats des mesures syntaxiques maison Sigari 254
Tableau 6.24: Résultats des mesures syntaxiques maison Attarha.....256
Tableau 6.25: Résultats des mesures syntaxiques maison Abdin.....257
Tableau 6.26: Résultats des mesures syntaxiques maison à Wardan 261
Tableau 6.27: Résultats des mesures syntaxiques maison Firouzmandan, Fars province Iran 264
Tableau 6.28: Résultats des mesures syntaxiques villa cité Amrane, Ouargla, Algérie 266
Tableau 6.29: Résultats des mesures syntaxiques logement contemporain à Ouled Djellal, Algérie.....267
Tableau 7.1: Liste des projets analysés dans les wilayas d'Oued Souf et Biskra.....280
Tableau 7.2: Analyse de la forme urbaine et architecturale (40 Logts S/C Branis, 14 Logts S/C Bordj Ben Azouz et 20 Logts S/C Loutaya) 283
Tableau 7.3: Analyse de l'accessibilité et de l'organisation spatiale (4o Logts S/C Branis, 14Logts S/C Bordj Ben Azouz et 20 Logts S/C Loutaya).....284
Tableau 7.4: Analyse des espaces à lier à la TàV et des espaces en mitoyennetés entre logements (4o Logts S/C Branis, 14Logts S/C Bordj Ben Azouz et 20 Logts S/C Loutaya) 285
Tableau 7.5: Éléments et principe de ventilation naturelle (4o Logts S/C Branis, 14Logts S/C Bordj Ben Azouz et 20 Logts S/C Loutaya) 286
Tableau 7.6: Analyse de la forme urbaine et architecturale (4o Logts S/C Loutaya, 50 Logts S/C Loutaya et 20 Logts S/C Tolga).....287
Tableau 7.7: Analyse de l'accessibilité et de l'organisation spatiale (4o Logts S/C Loutaya, 50 Logts S/C Loutaya et 20 Logts S/C Tolga).....288
Tableau 7.8: Analyse des espaces à lier à la TàV et des espaces en mitoyennetés entre logements (4o Logts S/C Loutaya, 50 Logts S/C Loutaya et 20 Logts S/C Tolga)...289
Tableau 7.9: Éléments et principe de ventilation naturelle (4oLogts S/C Loutaya, 50 Logts S/C Loutaya et 20 Logts S/C Tolga).....290
Tableau 7.10: Analyse de la forme urbaine et architecturale (5o Logts S/C Ourlal, 20Logts S/C M'Chounech et 40 Logts S/C M'Chounech).....291
Tableau 7.11: Analyse de l'accessibilité et de l'organisation spatiale (5o Logts S/C Ourlal, 20 Logts S/C M'Chounech et 40 Logts S/C M'Chounech).....292
Tableau 7.12: Analyse des espaces à lier à la TàV et espaces en mitoyennetés logements (5o Logts S/C Ourlal, 20 Logts S/C M'Chounech et 40 Logts S/C M'Chounech) 293
Tableau 7.13: Éléments et principe de ventilation (5o Logts S/C Ourlal, 20Logts S/C M'Chounech et 40 Logts S/C M'Chounech) 294

Tableau 7.14: Analyse de la forme urbaine et architecturale (5o Logts S/C Sonatrach Biskra, 32 Logts El Chetma, 350 Logts S/C Biskra et 80 Logts Ouled Djellal) 295
Tableau 7.15: Analyse de l'accessibilité et de l'organisation spatiale (5o Logts S/C Sonatrach Biskra, 32 Logts El Chetma, 350 Logts S/C Biskra et 80 Logts Ouled Djellal) 296
Tableau 7.16: Analyse des espaces à lier à la TàV et des espaces en mitoyennetés entre logements (5o Logts S/C Sonatrach Biskra, 32 Logts El Chetma, 350 Logts S/C Biskra et 80 Logts Ouled Djellal).....297
Tableau 7.17: Éléments et principe de ventilation (5o Logts S/C Sonatrach Biskra, 32Logts El Chetma, 350 Logts S/C Biskra et 80 Logts Ouled Djellal).....298
Tableau 7.18: Analyse de la forme urbaine et architecturale (18Logts S/El Nakhla, 34Logts S/C Debila et100Logts S/C L'Aachèche El Oued).....299
Tableau 7.19: Analyse de l'accessibilité et de l'organisation spatiale (18Logts S/El Nakhla, 34Logts S/C Debila et 100Logts S/C L'Aachèche El Oued) 300
Tableau 7.20: Analyse des espaces à lier à la TàV et des espaces en mitoyennetés entre logements (18Logts S/El Nakhla, 34Logts S/C Debila et 100Logts S/C L'Aachèche El Oued).....301
Tableau 7.21: Élément et principe de ventilation (18Logts S/El Nakhla, 34Logts S/C Debila et 100Logts S/C L'Aachèche El Oued).....302
Tableau 7.22: Analyse de la forme urbaine et architecturale (200Logts S/C Guemar, 150Logts S/C Hassi Khalifa et 100Logts S/C El Chott El Oued).....303
Tableau 7.23: Analyse de l'accessibilité et de l'organisation spatiale (200Logts S/C Guemar, 150Logts S/C Hassi Khalifa et 100Logts S/C El Chott El Oued).....304
Tableau 7.24: Analyse des espaces à lier à la TàV et des espaces en mitoyenneté entre logements (200Logts S/C Guemar, 150Logts S/C Hassi Khalifa et 100Logts S/C El Chott El Oued) 305
Tableau 7.25: Élément et principe de ventilation (200Logts S/C Guemar, 150Logts S/C Hassi Khalifa et 100Logts S/C El Chott El Oued).....306
Tableau 7.26: Analyse de la forme urbaine et architecturale (216Logts S/C El Oued, 334Logts S/C El Nadhour et 72Logts S/C El Chott El Oued).....307
Tableau 7.27: Analyse de l'accessibilité et de l'organisation spatiale (216Logts S/C El Oued, 334Logts S/C El Nadhour et 72Logts S/C El Chott El Oued) 308
Tableau 7.28: Analyse des espaces à lier à la TàV et des espaces en mitoyennetés entre logements (216Logts S/C El Oued, 334Logts S/C El Nadhour et 72Logts S/C El Chott El Oued) 309
Tableau 7.29: Élément et principe de Ventilation (216Logts S/C El Oued, 334Logts S/C El Nadhour et 72Logts S/C El Chott El Oued).....310
Tableau 7.30: Analyse de la forme urbaine et architecturale (20Logts S/C El Alenda, 150Logts S/C Taghzout et 50Logts S/C Taleb Larbi) 311
Tableau 7.31: Analyse de l'accessibilité et de l'organisation spatiale (20Logts S/C El Alenda, 150Logts S/C Taghzout et 50Logts S/C Taleb Larbi).....312
Tableau 7.32: Analyse des espaces à lier à la TàV et des espaces en mitoyennetés entre logements(20Logts S/C El Alenda, 150Logts S/C Taghzout et 50Logts S/C Taleb Larbi) 313
Tableau 7.33: Éléments et principe de ventilation (20Logts S/C El Alenda, 150Logts S/C Taghzout et 50Logts S/C Taleb Larbi).....314
Tableau 8.1: Typologie de l'habitat intermédiaire selon la forme urbaine /Assemblage groupé.....320

Tableau 8.2: Typologie de l'habitat intermédiaire selon la forme urbaine /Assemblage en bande et mixte.....322
Tableau 8.3: Typologie développée avec tour à vent à l'extérieur selon la forme urbaine /Assemblage groupé.....326
Tableau 8.4: Typologie développée avec TàV à l'extérieur selon la forme urbaine /Assemblage en bande et assemblage mixte.....327
Tableau 8.5: Typologie avec TàV à l'extérieur selon la forme urbaine /Circulation horizontale/ Assemblage groupé et mixte.....328
Tableau 8.6: Typologie développée avec TàV à vent à l'intérieur selon la forme urbaine /Assemblage groupé.....329
Tableau 8.7: Typologie développée avec TàV à l'intérieur selon la forme urbaine /Assemblage en barre et mixte.....330
Tableau 8.8: Typologie selon l'orientation.....332
Tableau 8.9: Effet de l'angle du vent sur son rendement pour une vitesse de l'air de 3m/s.....334
Tableau 8.10: Typologie développée selon l'orientation.....337
Tableau 8.11: Typologie développée selon l'orientation pour la région d'Oued Souf 338
Tableau 8.12: Typologie développée selon l'orientation pour la région de Biskra..339
Tableau 8.13: Typologie selon la hauteur (nombre d'étages) 340
Tableau 8.14: Typologie selon l'usage.....341
Tableau 8.15: Typologie selon le type de logement 341
Tableau 8.16: Typologie selon la hauteur sous plafond 342
Tableau 8.17: Typologie de logement intermédiaire selon la surface 343
Tableau 8.18: Typologie développée selon la superficie du logement /type de logement.....346
Tableau 8.19: Typologie développée selon l'accessibilité aux logements /Répartition accès et circulation.....349
Tableau 8.20: Typologie avec TàV selon l'organisation spatiale/ Distribution et régulation socio-spatiale 354
Tableau 8.21: Typologie selon les parties communes entre logements (Espace de vie/ Espace de circulation).....355
Tableau 8.22: Typologie selon les parties communes entre logements (Circulation mixte/Assemblage groupé) suite1.....356
Tableau 8.23: Typologie selon les parties communes entre logements (Circulation mixte / Assemblage en barre) suite 2.....357
Tableau 8.24: Typologie selon les parties communes entre logements (Circulation mixte / Assemblage en barre) suite 3.....358
Tableau 8.25*:* Typologie selon les parties communes en mitoyenneté entre logements (Circulation mixte / Assemblage en barre) suite 4.....359
Tableau 8.26: Typologie selon les parties communes en mitoyenneté entre logements (Circulation mixte /Assemblage en barre) suite 5.....360
Tableau 8.27: Typologie selon le nombre d'étages desservis par espace intermédiaire 362
Tableau 8.28: Typologie développée selon le nombre d'étages desservis par espace intermédiaire 363
Tableau 8.29: Typologie développée selon le nombre de logements desservis/ étage (cas d'un logement/palier d'arrivé).....364
Tableau 8.30: Typologie développée selon le nombre de logements desservis/étage (cas d'un logement/palier intermédiaire -suite1-).....365

Tableau 8.31: Typologie développée selon le nombre de logements desservis/ étage (cas de 2 logements/palier) 366
Tableau 8.32: Typologie développée selon le nombre de logements desservis/ étages (cas de 3 logements/Palier) 367
Tableau 8.33: Typologie développée selon le nombre de logements desservis/ étage (cas de 3 logements et plus/palier).....367
Tableau 8.34: Typologie développée selon le nombre de logements desservis/ étage (cas de 3 logements et plus /palier).....368
Tableau 8.35: L'étendue de la performance thermique du prototype adopté 380
Tableau 8.36: Puissance frigorifique avec et sans tour à vent 381
Tableau 8.37: Puissance frigorifique du prototype 381
Tableau 8.38: EER des marques de climatiseurs en Algérie 382
Tableau 8.39: Devis quantitatifs et estimatifs du prototype adopté dans les logements.....383

Introduction générale

Introduction générale

Introduction

La multiplication des épisodes du dérèglement climatique et ses implications ont été largement discutées dans la société académique au cours de ces dernières décennies. Des mutations dans la fréquence, le temps et la magnitude des événements climatiques ont été observées (PARAPARI, 2015). La Croix-Rouge et le Croissant-Rouge international ont déclaré une croissance alarmante de l'intensité et la fréquence des catastrophes.

En effet, une augmentation de 142% de sinistres a été relevée dans la période 1999-2003 comparativement à celle de 1994-1998 (UNCHS, 2006). Le rapport du bureau des Nations unies concernant la réduction des risques de catastrophes (UNISDR) annonce qu'un taux de 90% des catastrophes liées à la période 1998- 2017 sont dues aux changements climatiques dont la plupart sont des inondations et tempêtes.

L'accumulation de gaz à effet de serre dans l'atmosphère est la cause principale de ce dérèglement ou réchauffement planétaire. L'évolution de ce phénomène apparaît de quatre manières principales à savoir: les changements lents des conditions climatiques moyennes, l'augmentation de la variabilité saisonnière et interannuelle, la fréquence accrue d'événements extrêmes et les changements climatiques rapides. Ce qui a engendré ces transformations catastrophiques dans les écosystèmes (TOMPKINS et ADGER, 2004).

En raison du réchauffement climatique et des phénomènes météorologiques extrêmes; d'innombrables maladies affectant la santé et la vie sont apparues. La conception défectueuse des bâtiments et des villes a participé amplement à cet état. « *S'il est important d'éviter toutes conditions thermiques dangereuses, il est également essentiel d'éviter tout inconfort.* » (PAPARI, 2015). Donc, prendre des mesures d'adaptation au climat urbain devient indispensable.

D'après BAKER et STANDEVEN (1995), plus les occupants ont la possibilité d'adapter et contrôler l'environnement selon leurs aspirations, moins ils sont susceptibles de subir un stress thermique et plus l'éventail des conditions de vie acceptables sera large (BAKER et STANDEVEN, 1995, cité dans ROAF *et al*. 2009). Le stress thermique est l'incapacité du corps humain à maintenir une température corporelle normale en raison des conditions climatiques. Il constitue un risque pour la santé et la sécurité et peut mener à un coup de chaleur qui peut être fatal (https://scfp.ca/le-stress-thermique, 2011).

Dans les régions à climat chaud et sec où les températures sont plus importantes et les humidités de l'air sont plus basses, le réchauffement planétaire a engendré des impacts néfastes sur l'individu et son confort thermique, aussi bien dans l'espace extérieur qu'à l'intérieur. Le stress thermique ressenti dans ces espaces augmente non seulement les risques du coup de chaleur et des maladies cardiaques, mais diminue également les performances mentales et physiques de l'individu (GEHL, 2001).

Dans les espaces intérieurs, les mauvaises conditions microclimatiques urbaines entraînent une détérioration indirecte du confort thermique (JOHANSSON, 2006). Une conséquence majeure de ce fait est l'utilisation accrue de la climatisation.

Actuellement, une forte demande de systèmes HVAC (heating, ventilation and air-conditioning) a été observée dans ces régions et même à l'échelle mondiale, et cela est dû au réchauffement des températures récurrentes et surtout de la croissance économique. Ces facteurs font en sorte que la climatisation est et restera très populaire et sa diffusion dépend non seulement des conditions climatiques locales et/ou de la situation économique du pays, mais aussi du facteur culturel qui joue le rôle principal à cet égard. De plus, l'amélioration de l'efficacité énergétique des climatiseurs et la conception des bâtiments ont contribué à l'augmentation de cette demande d'air conditionné.

La technique de conditionnement de l'air a permis non seulement de contrer les charges thermiques et hydriques d'un local, mais aussi d'assurer la qualité de l'air par le renouvellement d'air neuf hygiénique. Le climatiseur est facile à utiliser, à entretenir et à bas prix. Le confort thermique intérieur est assuré hiver comme été en modifiant, contrôlant et régulant les conditions climatiques à savoir: la température de l'air selon la saison (chauffage ou refroidissement), le degré d'hygrométrie (humidification ou déshumidification), le maintien permanent des conditions intérieures programmées et la qualité de l'air intérieur.

La croissance du nombre d'utilisations d'appareils de climatisation a été confirmée par les données mondiales de l'expertise de 2018-2019 de EnerDemand sur l'efficacité énergétique et de la demande par pays: « *La récurrence de températures plus chaudes a un impact direct sur la consommation d'électricité pour la climatisation: une hausse de 1°C l'augmente d'environ 15%. La consommation d'air conditionné des 20 pays les plus prospères a ainsi augmenté d'environ 400TWh au cours des trois dernières années (2015-2018), les températures ayant été en moyenne de 6% supérieures à la normale sur la période de refroidissement: une surconsommation équivalente à la consommation annuelle des bâtiments en Afrique* (ENERDATA, 2019). Il n'y a aucun doute que la possession de climatiseurs est appelée à fortement augmenter dans les décennies à venir, mais l'impact global sur les émissions de

CO2 est incertain, car elle dépend des efforts d'efficacité énergétique et de décarbonisation du mix énergétique (ENERDATA, 2019).

Bien que la climatisation contribue largement au confort thermique, elle s'accompagne de plusieurs désagréments sanitaires et risques pour la santé et l'environnement. Ces risques sont dus au non-respect de certaines précautions d'usage des systèmes HVAC et à leur mauvais entretien. Comme la climatisation n'a de sens que dans un local relativement clos, divers risques peuvent être provoqués dont les plus importants sont le risque de choc thermique et le syndrome des bâtiments mal sains.

La demande en air conditionné explose dans le monde sous l'effet de l'élévation des températures. Mais paradoxalement, le recours à la climatisation renforce les changements climatiques.

En ces temps où l'environnement et les économies d'énergie sont devenus un enjeu, de nombreuses voix publiques s'élèvent contre les climatiseurs: « *1g de gaz réfrigérant impacte sur l´environnement autant que 1300g de CO2, sans parler de l'électricité que le climatiseur consomme pour fonctionner: en moyenne (selon l'usage et le climat) de 500kWh par an. Soit une augmentation de 30% de la facture d'électricité* (http://www.travaux.com/climatisation), (http://www.encyclo-ecolo.com). Outre l'augmentation de la consommation énergétique des bâtiments, le rejet des fluides frigorigènes qui sont de puissants gaz à effet de serre, le pouvoir de la climatisation en termes d'effet de serre est 2000 fois plus fort que celui du CO2,et dont une partie s'échappe inévitablement dans l'atmosphère (LE NEVÉ, 2019).

Afin de préserver la santé et l'environnement, la climatisation au gaz pourrait être remplacée par une climatisation passive, mécanique ou par des bâtiments mieux conçus dont le mode de fonctionnement repose sur l'exploitation de l'énergie propre. Contrairement aux systèmes de climatisation, le refroidissement passif peut être considéré comme une stratégie viable pour un concept de bâtiment durable, englobant simultanément l'atténuation de la consommation d'énergie et des gaz à effet de serre (GEETHA &VELRAJ, 2012).

L'expérience existante a montré que le refroidissement passif offre un excellent confort thermique et une qualité de l'air intérieur, en plus d'une très faible consommation d'énergie (SANTAMOURIS & KOLOKOTSA, 2012) dont le principe de fonctionnement repose sur trois techniques de contrôle constituant un cadre largement accepté dans ce domaine à savoir: le contrôle solaire et thermique, le contrôle de dissipation thermique et le contrôle de modulation de la chaleur (JOMEHZADEH *et al.*, 2016).

Les techniques de modulation de la chaleur concernent la capacité de stockage thermique de la structure du bâtiment tandis que les techniques de contrôle solaire et thermique traitent la réduction des gains de chaleur du bâtiment de plusieurs façons telles que la végétation, le vitrage, l'ombrage, l'isolation, etc. L'air ambiant et l'eau sont utilisés dans les techniques de dissipation thermique pour évacuer l'excès de chaleur dans le bâtiment. Généralement, les techniques de dissipation thermique sont classées en trois grandes catégories: refroidissement du sol utilisant le sol comme dissipateur thermique pour le bâtiment, refroidissement par évaporation basé sur l'utilisation de l'eau et ventilation naturelle exploitant l'air ambiant comme dissipateur thermique (JOMEHZADEH *et al.*, 2016).

Dans ce contexte, des alternatives moins coûteuses et à haute performance énergétiques fondées sur ces techniques de refroidissement passif, ont été appliquées telles que: le bâtiment passif (conception architecturale réfléchie en amont), le free cooling (refroidissement en utilisant la différence de température entre l'air extérieur et l'air intérieur ou fonctionnant avec de l'eau très froide), les murs thermiques (refroidissement par inertie thermique), la thalassothermie (rafraîchissement à l'eau), le puits canadien (échangeur air-sol), le toit végétal et le refroidissement adiabatique (rafraîchissement de l'air via un échangeur humide). Il a été constaté que la plupart de ces solutions passives sont inspirées des principes de l'architecture vernaculaire. El Qanat, El Salsabil, le Malqaf ou Badgir (utilisant le vent et l'eau pour le rafraîchissement évaporatif passif) ainsi que la pierre, l'adobe et les feuilles de palmiers (utilisant la forte inertie thermique des matériaux de construction pour une bonne isolation thermique) sont quelques exemples de remèdes précédemment utilisés dans les régions à climat chaud et aride du monde islamique (au Moyen-Orient et en Iran), et qui ont été développées et améliorées au 21ème siècle.

L'adoption de toutes solutions venant du passé n'est pas facile de nos jours à cause des nécessités de l'architecture contemporaine telles qu'une bonne étanchéité à l'air, une bonne isolation thermique, la demande de prestation élevée, et également le contrôle manuel dans beaucoup de systèmes vernaculaires (SCHIANO & FORD, 2008). Les solutions vernaculaires sont souvent rejetées sous prétexte des quelques lacunes qu'elles représentent: une réduction limitée de la température et du taux de débit d'air pénétrant, l'absence de la réversibilité, un système non contrôlable dépendant des facteurs climatiques et inadapté au mode de vie et aux besoins contemporains, malgré leurs innombrables avantages. La préoccupation environnementale est le facteur déclenchant qui a conduit à la revalorisation et au développement de ces anciens systèmes comme alternatives aux climatiseurs largement

utilisés, afin de les adapter aux besoins actuels de la société. L'un des systèmes de refroidissement passif les plus anciens encore utilisés aujourd'hui est la tour à vent.

Non seulement les tours à vent étaient des éléments architecturaux esthétiques de repères et d'appels composant la silhouette urbaine de certaines villes anciennes telles que Yazd en Iran, mais elles étaient également très fonctionnelles. Elles jouaient un rôle majeur dans le refroidissement et la ventilation des espaces de vie, des sous-sols des bâtiments résidentiels, des réservoirs d'eau, des salles de prière des mosquées, des parties de jardins, et des hostelleries à cour centrale (pour les voyageurs dans les régions désertiques d'Asie ou Afrique du Nord) de manière naturelle sans aucune utilisation d'énergie (GHAEMMAGHAMI & MAHMOUDI, 2005) (BAHADORI & DEGHNI-SANIJ, 2014).

Réintroduire une approche ancestrale dans le processus de refroidissement via la tour à vent, dont le principe de fonctionnement est basé sur la dissipation thermique en utilisant le vent et l'eau comme sources d'énergies renouvelables, devient un projet de recherche ayant pour but de mutualiser les expériences, de réduire la consommation d'énergie et la pollution environnementale.

En raison de ses caractéristiques en tant que système écologique sain, une attention particulière a été accordée à la tour à vent ces dernières années afin qu'elle puisse être adaptée et réintégrée dans la construction, en menant de nombreuses recherches pour la développer.

Les articles de revue de la littérature réalisés sur les tours à vent se sont principalement concentrés sur leur conception en termes de configurations et composants (tels que les travaux de YAVARINASAB ET MIRKHALILI, 2013) ainsi que sur les performances des tours traditionnelles et modernes en termes de taux de débit d'air pénétrant (tels que les travaux de AZIZIAN *et al*., 2014), de qualité d'air intérieur et d'aspects de confort de l'usager (telles que les recherches de SCHIANO & FORD, 2008). Selon (JOMEHZADEH *et al.*, 2016), deux méthodes principales sont utilisées pour traiter ce domaine: la méthode expérimentale à grande échelle et à l'échelle du laboratoire ainsi que la méthode théorique telles que la dynamique des fluides numérique (CFD) et la modélisation analytique. Des recherches très limitées ont été réalisées par simulation énergétique du bâtiment pour étudier la tour à vent.

Pour la méthode expérimentale, de nombreuses études ont utilisé l'analyse à grande échelle en raison des limites des tests à petite échelle tels que les travaux de BAHADORI ET DEGHNI-SANIJ en 2014 pour le développement du système de rafraîchissement évaporatif, et les enquêtes sur la qualité de l'air intérieur et le confort thermique assuré par le capteur à vent de JOMEHZADEH et ses collaborateurs (2016). Cependant, plusieurs recherches ont également

indiqué que les essais à grande échelle sont coûteux et que les résultats sont limités à un cas spécifique qui ne peut pas être facilement généralisé à d'autres cas comme les travaux réalisés en soufflerie subsonique à petite échelle par El MUALIM (2006) pour étudier l'effet des Dampers déflecteurs contrôleurs de débit d'air sur la performance du capteur en ventilation.

En ce qui concerne la méthode théorique, la plupart des études effectuées sur les tours à vent ont utilisé la modélisation analytique et la simulation numérique CFD en raison de leurs capacités à prédire avec précision les flux 3D vis-à-vis le développement significatif de la puissance de calcul ces dernières années. Cependant, la simulation numérique est généralement combinée avec d'autres méthodes telles que des tests à grande ou petite échelle (par exemple l'analyse numérique et expérimentale d'une ventilation naturelle via le capteur à vent avec récupération passive de la chaleur dans les climats doux et froids réalisée par CALAUTI et ses collaborateurs (2019)) et/ou avec des modèles analytiques pour la validation des résultats prévus (telle que l'étude de MONTAZERI. H & MONTAZERI. F (2010) pour l'évaluation des performances des capteurs de vent bilatéraux expérimentalement, numériquement et analytiquement).

En outre, la revue de la littérature a également examiné les différentes techniques de refroidissement combinées à la tour à vent pour améliorer ses performances thermiques telles que le refroidissement par évaporation, les échangeurs de chaleur sol-air et les dispositifs de transfert de chaleur.

Bien que la plupart des recherches aient porté sur les caractéristiques climatiques et techniques de la tour à vent, peu d'études ont traité ses performances thermiques liées à des aspects sociaux culturels. Très peu d'études ont exploité l'approche d'évaluation post-occupation pour déterminer aussi bien la capacité des systèmes tours à vent à fournir une plage de confort thermique intérieur acceptable pour les occupants ainsi que la question de perception vis-à-vis leurs convenances et commodités par rapport à l'usager.

En 2008, SCHIANO et FORD ont effectué une recherche comparative dans quatre bâtiments non résidentiels au sud-ouest des États-Unis (Californie, Arizona et Utah) entre les systèmes de refroidissement passif représentés par les tours à vent et les systèmes de refroidissement hybrides équipés de dispositifs de brumisation et pads (écrans en cellulose) comme auxiliaires de refroidissement intégrés, ont été installées. L'étude a été focalisée sur la perception de l'occupant aussi bien envers le système passif intégré (tours à vent) qu'aux systèmes hybrides de refroidissement. Elle a pris en considération les conditions internes de confort thermique, les besoins réels des usagers et l'efficacité énergétique des systèmes.

L’évaluation de la post-occupation des bâtiments utilisant le système de refroidissement passif et le système hybride, a été réalisée au moyen d’un questionnaire traitant les points suivants: le confort thermique en été et en hiver, la qualité de l’air, l’éclairage, le bruit, la conception, les besoins, l’état de santé, la productivité des travailleurs et l’image offerte aux visiteurs. Les résultats de cette recherche ont révélé que les occupants ont une meilleure perception de la tour à vent lorsqu’ils maîtrisent son fonctionnement, la stratégie de son contrôle et connaissent l’intention visée par sa conception. Il a été constaté également que d’autres facteurs importants tels que la culture locale, le contexte et la nature de la profession des occupants (particulièrement le domaine environnemental) contribuent fortement au succès de ce dispositif (SCHIANO et FORD, 2008).

En Iran, AHMADREZA et FERGUS NICOL (2008) ont proposé une méthode de recherche axée sur les stratégies de refroidissement vernaculaire passif. Cette méthode a été accomplie en deux étapes. La première consistait à évaluer les stratégies de refroidissement passif existant selon trois critères: l’acceptation culturelle, le confort thermique des occupants et la performance énergétique du système. La deuxième étape consistait à classer les types des bâtiments contemporains selon leurs constructions et formes, et par la suite évaluer numériquement leurs performances énergétiques. Selon cette recherche, l’intégration de ces systèmes passifs dans les constructions existantes devait répondre à plusieurs critères, dont les plus importants étaient la convenance d’application et la compatibilité avec les exigences réelles des usagers (AHMADREZA & FERGUS, 2008).

En 2012, FORUZANMEHR a enquêté sur les facteurs influant le succès et /ou l'échec de cette stratégie vernaculaire dans les logements traditionnels à Yazd. Les attributs positifs et négatifs de ce système ont été identifiés au moyen d’une enquête. Les aspects négatifs les plus cités par les utilisateurs étaient: la pénétration de poussières et d'insectes, le coût de réalisation, l´inapplicabilité du dispositif dans les nouveaux bâtiments et son rendement énergétique limité. Par contre, les aspects positifs cités étaient: visuellement esthétique, économique (solution passive ne consommant pas d´énergie électrique) et thermiquement rafraichissant. La diversité des facteurs positifs perçus par l´utilisateur de la tour à vent a confirmé que ce système a été conçu, non seulement pour assurer la ventilation et le confort thermique, mais aussi pour subvenir aux différents besoins et exigences (FORUZANMEHR, 2012).

GIANLUCA CADONI, (2012) a proposé des règles propres à la réalisation des systèmes de rafraîchissement passifs aptes à aider les architectes à concevoir un système de bâtiment bioclimatique et contemporain, en analysant 14 exemples rafraîchis passivement

avec évaporation directe et répartis à travers le monde (où les conditions climatiques et le type de bâtiment sont différents). Il a considéré ces bâtiments et leurs différentes composantes telles que: usages, ingénierie et facteur social en tant qu'un système en interaction. Il a aussi proposé une méthodologie d'analyse et d'évaluation basée sur la théorie du système général. Cette approche a été accomplie en deux étapes théorique (compréhension des systèmes de rafraîchissement passif et leurs applications dans l'architecture vernaculaire) et analytique (le confort thermique assuré par le système de rafraîchissement passif). Les résultats théoriques de cette recherche ont montré que: le concept de confort a évolué à travers le temps, il est en grande partie culturel et dépend des paramètres sociaux et psychologiques. L'architecture vernaculaire, dans les régions à climat chaud, s´est souvent basée sur l´amélioration du confort estival ainsi que sur la réduction de l'activité physique en pleine canicule. Aujourd'hui le concept de confort a changé vu la simplicité et le faible coût d'installation des climatiseurs. Dans l'architecture contemporaine, les constructeurs ont abandonné les systèmes de rafraîchissement naturels au profit des installations HVAC. Les résultats de la partie analytique qui a été fondée sur une approche dérivée de la recherche de S. Hanrot et l´approche du point de vue des acteurs en démembrant le bâtiment en dispositifs architecturaux regroupés par niveaux de lecture (tels que: territoire, ensembles, éléments, et systèmes utilisés de confort) ont prouvé que l'analyse des dispositifs critiques permet d'approfondir la connaissance du bâtiment. Les dispositifs critiques ce sont ceux qui, mal conçus ou mal réalisés, peuvent compromettre le fonctionnement bioclimatique du bâtiment. Les dispositifs critiques reportés sur le graphe radar, le diagramme psychométrique et les fiches créées permettent la vérification de l'efficacité de la stratégie de contrôle du système de rafraîchissement passif, la détermination des points faibles de la conception architecturale et aussi de rendre comparables des bâtiments différents (GIANLUCA, 2012).

1. Problématique

Actuellement, le problème énergétique de l'Algérie est un problème qui se pose en termes de stratégie de valorisation de ces ressources énergétiques (pour les besoins du développement du pays), de choix d'une véritable politique énergétique à long terme et de définition immédiate d'un modèle cohérent de consommation énergétique couvrant le court et le moyen terme avant la date fatidique de l'épuisement de ses ressources fossiles stratégiques (AMIRAT & EL HASSAR, 2005). L'intégration des énergies renouvelables (solaire photovoltaïque, thermique, éolienne, géothermique et biomasse) devient une nécessité afin d'éviter la dépendance aux énergies non renouvelables, l'utilisation abusive des énergies

fossiles, l'émission de gaz à effet de serre, le changement climatique et de commencer à se préparer dès aujourd'hui à l'après-pétrole. Dans ce contexte, une démarche a été préconisée par les nouveaux textes règlementaires algériens en vigueur, à savoir:

La **loi n°99-09 juillet 1999** relative à la maîtrise de l'énergie (JORA, 1999), le **décret exécutif n° 2000-90 du 24 avril 2000** (JORA, 2000) portant règlementation thermique dans les bâtiments neufs, la **loi n° 02-01 du 05 février 2002**, J.O N° 8 (JORA, 2002) pour la promotion de la production d'électricité à partir des énergies renouvelables et son intégration au réseau, la **loi n° 04-09 du 14 août 2004**, J.O N° 52 (JORA, 2004) relative à la promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable, et les **textes règlementaires du ministère de l'habitat et de l'urbanisme de 2009** visant à améliorer le confort intérieur des logements à moindre énergie (MHU, 2009).

Dans le Sud algérien, l'une des solutions passives adoptées dans les années 80 et abandonnées de nos jours pour la dissipation thermique via l'utilisation du vent et de l'eau est la tour à vent. Cette dernière constitue un élément phare de la conception des habitations réalisées à Ouled Djellal et Ouargla comme solution alternative à la climatisation. La conception et la réalisation des deux projets ont été faites par les frères El Menyaoui le représentant du bureau d'étude de Hassen Fathy, et cela dans le cadre de la coopération algéro-égyptienne. Malgré l'expérience et le savoir-faire des concepteurs dans le domaine de l'architecture vernaculaire et les solutions passives en ventilation naturelle et rafraîchissement évaporatif passif, les deux réalisations ont connu une fermeture totale ou partielle du système adopté.

En premier lieu, le rendement thermique du système a été mis en exergue. Plusieurs études consacrées aux performances thermiques ont été réalisées sur ce dispositif.

BOUCHAHM en 2003, a confirmé l'efficacité thermique du système réalisé en habitat individuel des 60 villas Sidi Amrane à Ouargla. La variation maximale obtenue de la température entre l'extérieur (orifice entrée d'air) et l'intérieur (orifice de la sortie d'air) induite par le conduit de la tour était de 6°C. Une optimisation du système a été proposée par la suite et validée numériquement. L'écart maximum simulé était de 18°C. Une autre confirmation des résultats obtenus était faite à travers un travail expérimental (réalisation et campagne de mesures) par (DJOUIMA *et al*., 2018). L'enquête effectuée in situ non seulement a confirmé les résultats de BOUCHAHM, mais a également dépassé les attentes en termes d'écart de température et d'humidité relative moyenne (ΔT=22°C, ΔHR=46,26%).

Après l'ouverture des entrées d'air d'une des tours à vent fermées par les habitants des logements bioclimatiques 80/200 logements à Ouled Djellal, les performances thermiques de ce dispositif ont été validées (Mazouz & Torkia, 2014). Les résultats ont été très encourageants et ont confirmé l'avantage de l'application de ce dispositif dans les climats chauds et secs. La variation maximale de température obtenue en été à 16h00 à l'entrée d'air était de 12,4°C au rez-de-chaussée et de 11,5°C au premier étage. La chute de température obtenue dans la salle équipée de tour à vent (Wastdar) était de 13°C au rez-de-chaussée et de 10,2°C au 1er étage.

Les résultats des études expérimentales menées à Ouargla et à Ouled Djellal ont validé l'efficacité thermique de ce système passif dans le Sud, malheureusement les tours à vent sont toujours fermées. L'échec de ces deux expériences est probablement dû à d'autres facteurs que le facteur thermique.

Ce constat n'était pas seulement lié à l'Algérie, mais aussi à la plupart des pays où ce système existait, notamment à Yazd en Iran, qui a la plus grande concentration et la plus grande diversité de tours à vent dans toutes les villes en raison de son développement au XIX siècle (ROAF, 1997). Malheureusement, dans de nombreuses parties du monde y compris l'Iran, il y a eu un manque de connaissance holistique de ces systèmes qui sont en train d'être perdus pour toujours (BONINE, 1980). Les travaux de (FORUZANMEHR, 2012) sur la cité traditionnelle à Fahadan (Yazd), ont montré qu'uniquement 8% des occupants des maisons échantillon d'étude utilisent ce système pour se refroidir alors que 80% des habitants préfèrent l'avoir dans leurs maisons, quartiers et ville.

Malgré la diversité socioculturelle et l'éloignement géographique, la tour à vent de nos jours connaît le même sort qui est l'inexploitation en habitat pour devenir une gaine technique ou une armoire en Algérie (TORKIA, 2009), un symbole décoratif international de la ville de Dubaï aux Émirats arabes unis (COLES & JAKSON, 2007) et un élément de ventilation et de refroidissement de rendement insuffisant, inapplicable aux nouveaux bâtiments, mais économique, durable et esthétique en Iran (FORUZANMEHR, 2012). Par conséquent, il existe des raisons communes et entrelacées entre elles autres que le facteur thermique, qui ont conduit à cette situation malheureuse dans le secteur résidentiel équipé de tours à vent.

Notre travail ne s'intéresse qu'aux causes propres au cas algérien afin d'évaluer qualitativement l'impact de ce système sur la construction, et cela dans le but de les réintégrer de nouveau dans des programmes de logements semi-collectifs, le type le plus utilisé au sud. Ainsi, essayer de faire réussir ce système écologique et sain en identifiant les causes de son

échec pour les éviter, puis en le développant pour qu'il devienne approprié aux exigences de la communauté contemporaine et locale.

En Algérie, peu de recherches établies sur les habitations dotées de cette technologie vernaculaire qui expliquent leurs avantages, leurs inconvénients et particulièrement leur convenance et commodité par rapport à l'usager. Lorsque les études ont été entreprises dans ce domaine, elles décrivaient de manière prédominante le point de vue des chercheurs universitaires. Ces études sont souvent des analyses à court terme impliquant l'observation physique, la campagne de mesures et la modélisation, tout en évitant la question de la perception de la performance de la tour en termes de commodité, d'économie, de préoccupations sociales, environnementale ou d'esthétique.

Cette étude tente de rassembler les connaissances existantes sur différents aspects des tours à vent traditionnels du point de vue des universitaires avec celui des utilisateurs réels (et potentiels) afin de parvenir à une compréhension plus holistique. Les difficultés rencontrées pour utiliser un système de refroidissement traditionnel tel que la tour à vent et les possibilités qu'elle pourrait offrir à l'architecture actuelle notamment en habitat semi-collectif n'ont pas été abordées. La plupart des études menées dans ce domaine sont focalisées sur le système lui-même ignorant ainsi son impact sur l'espace où il est implanté ainsi que son acceptation culturelle par les usagers. À travers ces constats et d'après les études menées sur ce sujet jusqu'à présent, on a pu constater que parcourir les autres axes de recherches qui peuvent bien être les causes réelles de cet échec semble indispensable. Cette situation mène à poser un certain nombre de questions:

L'échec des tours à vent

- Serait-il lié à une mauvaise perception des usagers envers ce système en termes de commodité de sa performance vis-à-vis l'acceptation socioculturelle, le confort thermique des occupants et la performance énergétique du dispositif ?
- Serait-il lié à un échec architectural conceptuel relatif à l'insuffisance de la surface habitable du logement et à la mauvaise implantation de la tour en vue en plan ?
- Serait-il lié à un facteur économique relatif à un coût supplémentaire lors de la réalisation et au prolongement des délais de réalisation de la construction ?

Au regard de cette problématique, trois hypothèses seront avancées et qu'on aura le soin de vérifier tout au long de cette étude. Elles sont énumérées comme suit:

- La tour à vent est un concept nouveau mal perçu en Algérie. Un système mal connu ne peut être accepté et exploité par les usagers, car il ne découle pas de leurs cultures. La généralisation d'utilisation des systèmes de refroidissement actifs, le confort thermique insuffisant à l'intérieur et la performance énergétique faible via la tour à vent ont favorisé l'abandon des systèmes de rafraîchissement passif.
- L'inadaptation de la conception architecturale par rapport aux besoins sociaux actuels que ce soit au niveau de l'insuffisance de la surface habitable du logement semi-collectif qu'au niveau de l'emplacement de la tour à vent au sein de cette habitation, semble être la cause de l'échec.
- La tour à vent est coûteuse augmentant ainsi l'enveloppe affectée au logement et prolongeant les délais prévisionnels de réalisation.

Chacune de ces hypothèses représente un axe de recherche important (socioculturel, environnemental, conceptuel et économique) qu'on ne peut négliger ou dissocier des autres axes afin d'évaluer qualitativement ce système écologique, comprendre, cerner et identifier les causes réelles de son abandon et par la suite l'intégrer dans de nouvelles conceptions dans le secteur de l'habitat. Pour la validation de ces hypothèses complémentaires qui interagissent les unes avec les autres, un modèle analytique systémique est développé. Ce dernier est composé de différentes approches d'analyse: socioéconomique et environnementale, syntaxique spatiale et typologique conceptuelle dont diverses techniques d'investigation sont utilisées.

Pour la validation de la première hypothèse, une enquête socioculturelle directe sur les lieux (Ouled Djellal et Ouargla) est fondamentale. L'approche suivie dans cette étude basée sur l'observation en situation des tours à vents, l'interrogation des utilisateurs et l'entreprise des entrevues avec les responsables de la réalisation, exige une présence prolongée sur site et un accès facile à l'information. Pour cela, l'enquête s'est limitée uniquement à Ouled Djellal. L'enquête socioculturelle des logements équipés de tour à vent à Ouargla et la comparaison des résultats des deux enquêtes sont à explorer dans les recherches futures. La validation de la deuxième partie de la 1ère hypothèse concernant le confort thermique des habitants et la performance énergétique insuffisants du système tour à vent intégrée dans les logements d'Ouled Djellal, a été validée en s'appuyant sur la revue de la littérature des recherches antérieures de TORKIA en 2009.

La validation de la deuxième hypothèse traitant l'aspect conceptuel est fondée sur une analyse syntaxique comme technique directe d'investigation. L'analyse concerne les dossiers graphiques (plans, coupes et façades) de maisons dotées de tours à vent anciennes et contemporaines du monde islamique. L'analyse de ces dernières permet de tirer les caractéristiques syntaxiques spatiales, sociologiques et environnementales de l'espace doté de tour à vent et de la tour elle-même. Par conséquent, elle permet de déterminer les points forts en conception contribuant à la réussite de ce système dans son pays d'origine et les points faibles causant son échec en Algérie.

La validation de la troisième hypothèse repose sur l'analyse des performances thermiques, énergétiques et des coûts de la réalisation d'un prototype adopté déjà réalisé à Hassi Messaoud dont les performances ont été prouvées dans des études antérieures. Le coût dépend des fluctuations des prix du marché national.

Malgré leurs importances en conception et, vu la complexité de l'analyse de plusieurs paramètres combinés, ce travail n'a pas traité certains aspects tels que l'effet esthétique de la tour à vent sur la façade et sur la ligne du ciel et l'impact des matériaux de construction sur la performance thermique du système.

2. Objectif de cette étude

L'objectif principal de cette étude est de procéder à une évaluation qualitative de l'impact de la tour à vent sur l'usager et sur la conception architecturale, en particulier sur le schéma d'organisation spatiale, pour un rafraîchissement passif et une ventilation naturelle dans un climat chaud aride et semi-aride (wilayas Oued Souf et Biskra) via un modèle développé et une nouvelle typologie d'habitat intermédiaire. Le développement de la conception architecturale des logements dotés de tours à vent est un objectif à atteindre. L'harmonie entre l'homme, la nature, le climat et l'architecture est une visée à établir. La tour à vent, système de refroidissement du passé, issue de l'architecture traditionnelle et vernaculaire est une source d'enseignement incontestable à valoriser, néanmoins la vision critique vis-à-vis ce dispositif doit perpétuer. C'est la modernisation et le développement de ce système que se trouverait la solution idéale à la substitution de la climatisation mécanique dans ces régions.

Ce travail aspire aussi à:

- Déterminer les véritables raisons du rejet de ce système par les habitants du Sud.
- Sensibiliser la communauté à l'importance de cet élément architectural durable, tout en reconnaissant ses valeurs intrinsèques qui évoluent dans le temps et dans le lieu.

- Définir les propriétés des espaces équipés de tours à vent incluant les caractéristiques spatiales syntaxiques, sociologiques et environnementales du système de refroidissement.
- Étendre son emploi dans les régions à climat chaud aride et semi-aride afin d'économiser l'énergie fort consommée en climatisation dans le secteur résidentiel.
- Favoriser l'utilisation de l'énergie verte et par conséquent préserver notre environnement et notre santé.

Enfin, ce travail serait un outil aux concepteurs et architectes pour une meilleure sélection et un large éventail de choix de positionnement du système "tour à vent" en habitat semi-collectif. Il offrirait aussi la possibilité aux spécialistes de concevoir et de réaliser des constructions équipées de ce système passif. Et ce afin de fournir des ambiances thermiques intérieures saines et confortables dans les régions à climat chaud aride et semi-aride.

3. Méthodologie de Recherche

Afin d'atteindre les objectifs cités et d'aboutir à un résultat, le parcours de recherche a été scindé en deux parties:

Une partie théorique issue d'une recherche bibliographique répartie en trois chapitres à travers lesquels l'objectif sera de préciser le domaine de recherche par rapport aux objectifs. Cerner et comprendre les éléments théoriques de base qui contribuent à la canalisation de la présente recherche vers les objectifs ciblés. Elle donnera des notions de bases sur la tour à vent traditionnelle, sa genèse, ses caractéristiques, son principe de fonctionnement, ses valeurs et son écho de nos jours (avantages et inconvénients). La tour à vent contemporaine comme solution aux inconvénients de la tour traditionnelle a été traitée dans cette partie en expliquant ses composantes, ses avantages à travers quelques modèles d'analyse les plus récents dans le monde et en Algérie. Explorer les différentes approches traitant ce domaine de recherche en tour à vent contribue à l'élaboration de notre modèle d'analyse systémique et les approches qui le compose. Le modèle d'analyse systémique objet du dernier chapitre de la partie théorique est l'élément essentiel autour duquel s'articule la partie pratique.

Une deuxième partie pratique, consiste en l'évaluation qualitative et quantitative de l'impact de la tour à vent sur l'usager et sur la conception architecturale. Elle est répartie en cinq chapitres comme suit:
Une analyse socioéconomique et environnementale est établie. Elle est focalisée sur trois aspects: la perception de l'usager, le confort thermique et la performance énergétique du système intégré dans le logement semi-collectif. Une enquête socioculturelle directe

exploitant trois techniques de recherche (l'observation en situation, l'entrevue et le formulaire de questions) a été adoptée pour explorer les véritables raisons du rejet de ce système passif par les autorités et les habitants. L'approche par "base de connaissance" est utilisée pour l'exploration des deux autres aspects. Cette analyse faisant l'objet du quatrième chapitre.
L'analyse syntaxique fournit un complément nécessaire à l'analyse socioéconomique et environnementale pour faire le point sur les défaillances de la configuration du cas algérien. Elle est aussi un moyen d'aide pour mettre en évidence les propriétés qualitatives et quantitatives de l'espace équipé de la tour à vent dans les maisons où ce système a réussi dans le monde islamique. Les principes de la syntaxe spatiale, les critères de choix, l'échantillon d'étude (projets analysés) et le lexique des espaces liés à la tour à vent font l'objet du cinquième chapitre. L'application, les résultats et l'interprétation de cette analyse font l'objet du sixième chapitre.

À la lumière des chapitres précédents, une analyse typologique a été réalisée sur différents modèles de type d'habitat intermédiaire en climat chaud aride (cas de la wilaya d'Oued Souf) et semi-aride (cas de la wilaya de Biskra), faisant l'objet du septième chapitre.

Sur la base du chapitre précédent (septième chapitre), une classification typologique de l'habitat intermédiaire conventionnel a été établie, à partir de laquelle une nouvelle typologie d'habitat intermédiaire a été développée. Des caractéristiques techniques, thermiques, énergétiques et économiques (coût de mise en œuvre estimé) ont également été effectuées pour le prototype proposé de système tour à vent. Tous ces points constituent le contenu du dernier chapitre (huitième chapitre).

Enfin, une conclusion générale est élaborée pour répondre aux questions et vérifier les hypothèses de la recherche, ainsi que les perspectives suggérées pour des recherches ultérieures.

Chapitre 1

Chapitre 01

Tour à vent traditionnelle

Introduction

La tour à vent est un élément architectural traditionnel utilisé depuis des siècles dans les régions à climat chaud et aride ou chaud et humide, elle est destinée à capter les vents en hauteur ou à évacuer l'air chaud de l'intérieur par l'effet de tirage thermique. La date précise de sa première utilisation n'est pas connue, mais c'est en l'époque abbasside que ce système était le plus répandu dans la construction. Durant cette période, la plupart des maisons et des hôpitaux ont été équipés de Malqaf (ABDELBAKI & HASSANIN, 2013).

Aujourd'hui, on peut voir la tour à vent dans de nombreux pays sous diverses formes et plus développées. C'est le résultat du besoin d'adaptation du bâtiment au climat de la région où il est réalisé.

Tours à vent, Wind-catchers ou Malqafs sont souvent cités dans les textes académiques comme modèles de systèmes de refroidissement durables et ingénieux. Ces études traitent généralement ce sujet sur le plan technique notamment son design géométrique, son rendement thermique et le plus souvent les deux à la fois, tout en ignorant ou évitant dans la plupart du temps les questions de la perception de l'utilisateur de ce système (FORUZANMEHR, 2012).

La tour à vent a été utilisée dans le monde non seulement pour assurer la ventilation naturelle et le rafraîchissement passif, mais aussi pour répondre aux aspirations morales, socioculturelles et esthétiques symboliques. Ce dispositif architectural de refroidissement a incarné beaucoup de valeurs et d'aspects significatifs dans le passé et il en garde toujours quelques-uns de nos jours (EL BANNA, 2006) et (LAITHY, 2008).

Malgré les valeurs morales et physiques considérables que détient ce patrimoine humain, il est exposé actuellement et de plus en plus aux facteurs de menace non seulement naturels et environnementaux, mais aussi humanitaires imposés par le changement rapide de la structure économique et sociale des sociétés communautaires (El BANNA, 2006).

Dans ce chapitre, nous aborderons d'abord quelques notions de base sur la tour à vent traditionnelle et ses caractéristiques qui semblent nécessaires pour comprendre, cerner et maîtriser ce système. Puis, citer et expliquer les valeurs significatives qu'elle incarne. À la fin de ce chapitre, nous essayerons de voir l'impact du développement technologique et la renaissance urbaine contemporaine sur son avenir.

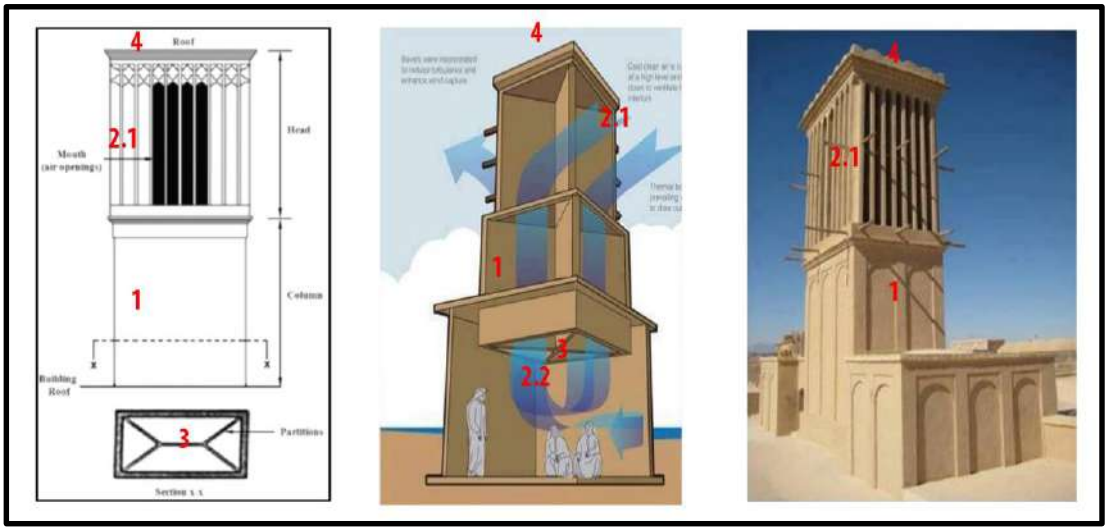
1.1 Définition de la tour à vent traditionnelle

Pendant des siècles, les tours à vent ont été utilisées pour la ventilation et le refroidissement des bâtiments dans les régions chaudes et sèches ou chaudes et humides. Elles sont toujours présentes dans certains endroits du Moyen-Orient et en Iran. En menant l'air extérieur à l'intérieur du bâtiment, les tours servent à ventiler naturellement aussi bien les lieux de travail que les maisons. Les tours à vent contribuent à maintenir la fraîcheur de l'eau dans les réservoirs et les châteaux d'eau (BAHADORI *et al.*, 2014). Les tours à vent voulant dire capteurs à vent sont connues en tant que بادگیر Bâdgir en Iran, ملقف Malqaf en Égypte ou بارجیل Barjeel aux pays du Golfe, Windscoop au Pakistan et Manch en Afghanistan. Elles sont apparues sous plusieurs formes selon la direction du vent: unidirectionnelles, bidirectionnelles et multidirectionnelles (GHAEMMAGHAMI, 2005). La tour à vent est un élément architectural de rafraîchissement traditionnel à zéro énergie, construite avec des matériaux et des méthodes locaux en harmonie avec la société et l'environnement.

1.2 Composition de la tour à vent traditionnelle

Les tours à vent se composent de quatre parties principales à savoir:

1. Colonne (corps, conduit, tube, ou tige), 2. Bouches ou ouvertures entrée et sortie air, 3. Partitions ou compartiments, 4. Toit (SHARIAT, 1966) (figure 1.1).



1. Colonne; 2. Bouches ou ouvertures: 2.1 entrée d'air et 2.2 sortie d'air; 3. Partitions; 4. Toit

***Figure 1.1**: La composition principale de la tour à vent traditionnelle*
***Source**: Bahadori et Deghani (2014); Municipalité de Dubaï (1996)*

1.3 Caractéristiques de la tour à vent traditionnelle

Le tableau (1.1) et la figure (1.2) ci-dessous résument les caractéristiques les plus importantes de la tour traditionnelle et son principe de fonctionnement dans des climats différents et à travers quelques pays où elles ont été répandues autrefois.

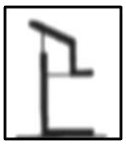
	Zone aride d´Iran	**Golf du Perse**	**Iraq**	**Égypte**	**Pakistan**	**Afghanistan**
						
La zone climatique	Chaud et sec	Chaud et humide	Chaud et sec	Chaud et sec	Chaud et humide	Sec et semi aride
Direction du vent	Nord-Est	Breeze	Nord-Ouest	Nord-Ouest	Sud-Ouest	Nord
Forme de la section (vue en plan)	Carré-Rectangle-Hexagon-Octogone	Carré	Rectangle	Rectangle	Carré	Carré
Dimensions moyennes (m)	0,5 x 0,8 0,7x1,1	1,0 x 1,0	0,5 x 0,15 1,20 x 0,60	-	1,0 x 1,0	1,0 x 1,0
Hauteur (m)	3 à 5	3 à 5	1,80 à 2,10	Un étage au-dessus du toit	5 et plus	1,5 au-dessus du toit
Capture d´Air	Multi-faces (Multi-directionnelle)	Multi-faces	1 ou 2 côté (Bidirectionnelle)	Un côté (Uni-directionnelle)	Un côté unidirectionnelle	un côté (Uni-directionnelle)
Rafraichissement Evaporatif	Parfois	Jamais	Parfois	Parfois	Jamais	Jamais

***Tableau 1.1**: Caractéristiques de la tour à vent traditionnelle dans les différents climats.*
***Source**: Mahyari (1996)*

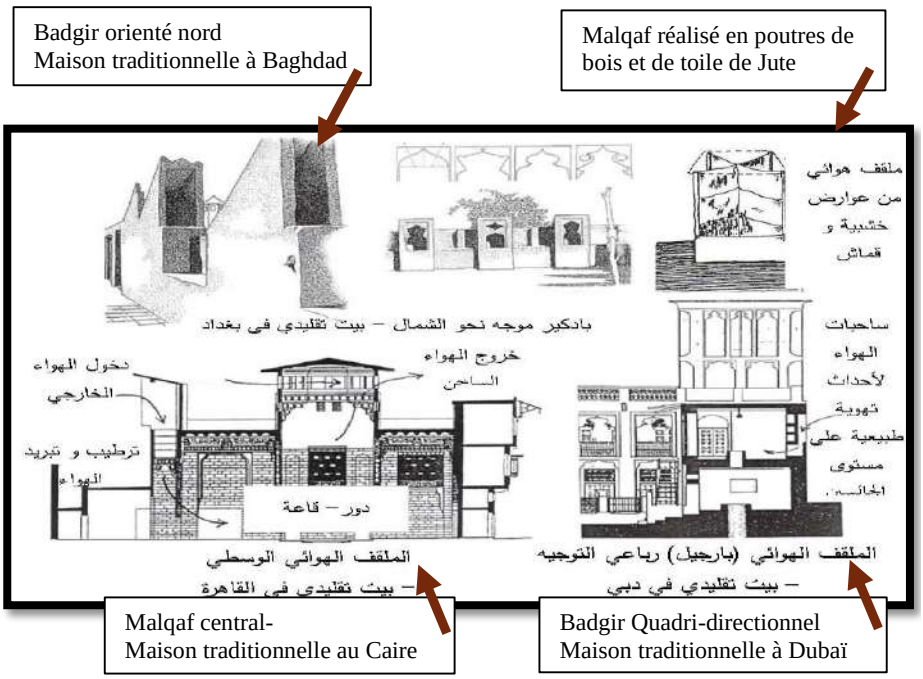
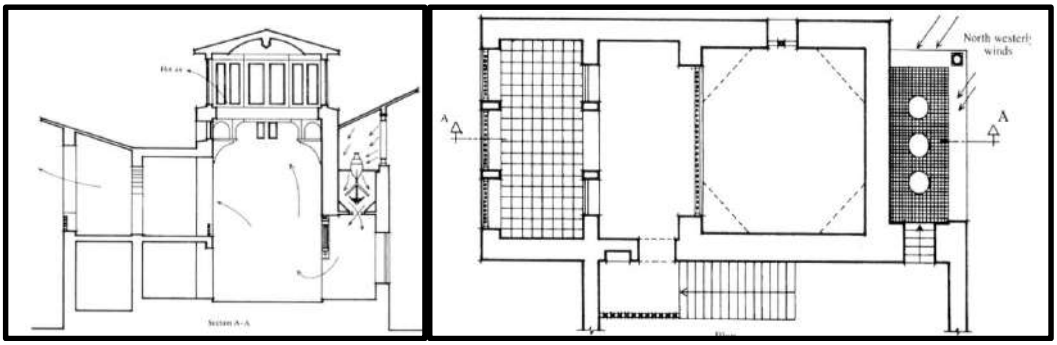


***Figure 1.2**: Caractéristiques de la tour à vent traditionnelle dans quelques pays arabes*
***Source**: Abdelbaki et Hassanin (2013)*

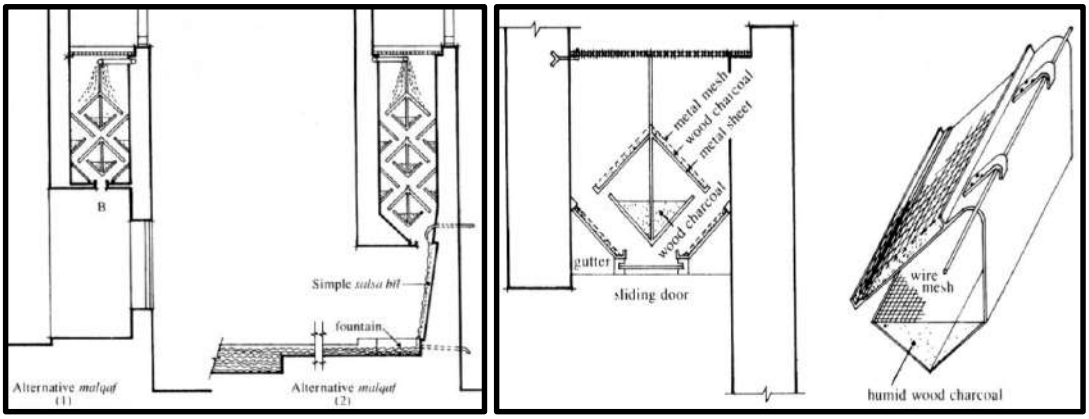
La taille de la tour à vent dépend grandement de la température de l'air à l'extérieur. Si cette dernière est plus basse par rapport à la limite inférieure de la température du confort, la section transversale de la bouche d'entrée d'air sera grande. Mais si la température extérieure de l'air est plus élevée que la limite supérieure de la température de confort, la section transversale deviendra impérativement petite, l'introduction de l'eau sera indispensable pour augmenter le taux d'humidité de l'air pénétrant et par conséquent, une diminution de la température sera produite (ABDELBAKI & HASSANIN, 2013).

Le rafraîchissement dans la tour à vent peut être assuré sous d'innombrables formes telles que la jarre poreuse (figure 1.3) (AL SHAALI, 2002), le charbon de bois mouillé et la Salsabile avec fontaine (figure 1.4) (KHATAMI, 2009).



Coupe A-A Plan de terrasse

***Figure 1.3**: Système de rafraîchissement évaporatif avec jarre dans la tour à vent traditionnelle*
***Source**: Al Shaali (2002)*



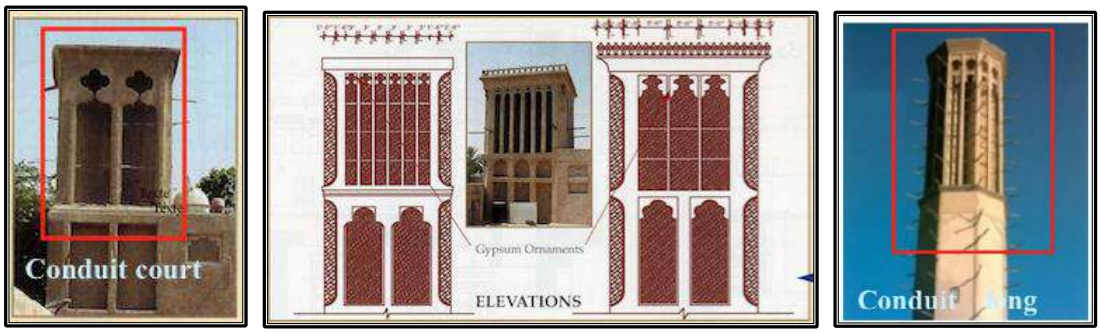
1 2 3

1. Malqaf humidifié en charbon de bois mouillé; 2. Association Charbon en bois mouillé et Salsabile; 3. Détail de la technique

Figure 1.4*: Les alternatives de rafraîchissement évaporatif dans la tour à vent traditionnelle*
Source*: Al Shaali (2002)*

La hauteur de la tour est affectée grandement par les conditions environnementales et climatiques. Les tours à vent dans les zones chaudes et arides sont plus élevées que celles qui se trouvent dans les zones chaudes et humides, afin de: profiter de l'air frais en hauteur (qui est plus fort, moins poussiéreux), augmenter la surface de transfert de chaleur (air-paroi tour) et par conséquent diminuer la température intérieure de l'air dans les conduits verticaux (AZAMI, 2005).

En raison de la faible puissance du vent et de la brise de mer qui souffle dans des niveaux bas, les tours à vent dans les zones chaudes et humides disposent d'ouvertures relativement importantes et d'un conduit court (GHOBADIAN, 2006). Ce qui favorise une bonne ventilation naturelle qui peut aider à l'évaporation de la sueur et la contribution à créer un environnement confortable pour les occupants dans ces régions (ROAF, 2005) (figure 1.5).

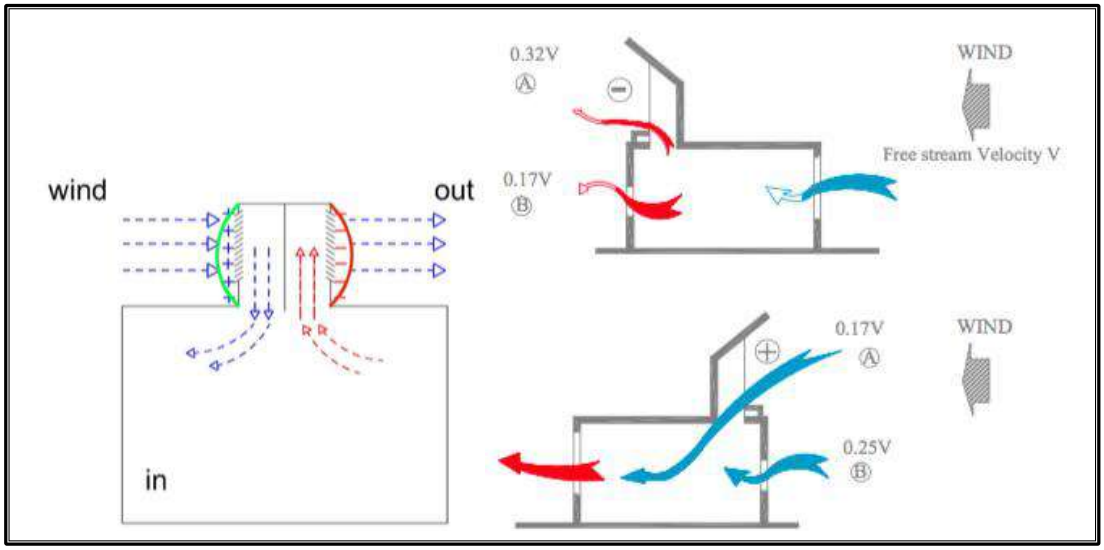


Tour à vent à Bastakia, Dubaï
Climat chaud et humide

Tour à vent à Yazd, Iran
Climat chaud et sec

Figure 1.5*: La hauteur de la tour à vent traditionnelle dans le climat chaud sec et chaud humide*
Source*: Municipalité de Dubaï (2006); Yavarinasab et Mirkhalili (2013)*

La ventilation naturelle: Bien que la hauteur et la surface des ouvertures d'entrée d'air de la tour à vent soient différentes entre les régions chaudes sèches et chaudes humides, le principe de son fonctionnement en ventilation naturelle est le même (KONYA, 1980). Dans la tour à vent, les forces motrices pour générer un flux d'air sont naturelles. Elles proviennent soit de la force du vent, soit de la différence de température entre l'intérieur du bâtiment et l'extérieur, en l'absence du vent. Lorsque la tour est installée sur le toit d'un bâtiment, un vent va générer une pression positive élevée sur le côté de la tour face au vent et des pressions négatives plus faibles à l'intérieur du bâtiment sur le côté sous vent (BAHADORI, 1994) et (PYRNIA, 1981). Ces différences de pression sont souvent suffisantes pour faire circuler l'air frais dans le bâtiment et extraire l'air intérieur vicié à travers les ouvertures (CIBSE, 1997; BATAILLE MCCARTHY CONSULTING ENGINEERS, 1999). Quand il y a une différence de température entre l'intérieur du bâtiment et l'extérieur, la tour à vent peut également fournir une ventilation naturelle par l'effet de cheminée ou de tirage thermique (figure 1.6). L'air chaud moins dense monte en raison des changements dans la force de flottabilité tout en formant des strates d'air de températures différentes sur toute la longueur du conduit vertical. Ce mode de ventilation, particulièrement, est le plus efficace pendant les nuits d'été, lorsque l'air extérieur est nettement plus froid que l'air à l'intérieur. Cette efficience est obtenue grâce à la fréquence du refroidissement effectuée au niveau du conduit de la tour qui est beaucoup plus rapide que celle procédée par l'air à l'extérieur (HUYNH, 2010).



1- La tour multidirectionnelle 2- La tour unidirectionnelle

Figure 1.6*: Les zones de pression autour de la tour à vent*
Source*: Khatami (2009); El Wakil et Sirage (1989)*

Donc, le mouvement d'air dans la tour à vent peut être accompli par une différence de pression ou par convection et parfois par la combinaison des deux principes. Cependant quand il y a peu de mouvement d'air et une quantité considérable de rayonnement solaire l'utilisation du principe de convection dans lequel l'air chaud ascendant est remplacé par un air frais pourrait être efficace. Ceci permettra de créer une différence de pression permanente entre l'air interne de la pièce et l'air ambiant de l'extérieur. (DERRADJ, 2008).

La capture d'air: l'efficacité de capture d'air dans la tour à vent traditionnelle pendant la période estivale dépend énormément de:

- Son orientation par rapport aux vents désirés: l'orientation typique de la tour à vent traditionnelle soit face aux vents désirés (figure 1.7) (ATTIA & DE HERDE, 2009). La bonne orientation de la tour à vent (faisant face aux vents dominants) permet une ventilation transversale avec une vitesse d'air maximale à l'intérieur de l'espace desservi (ALLARD & ÀLVAREZ, 2002).

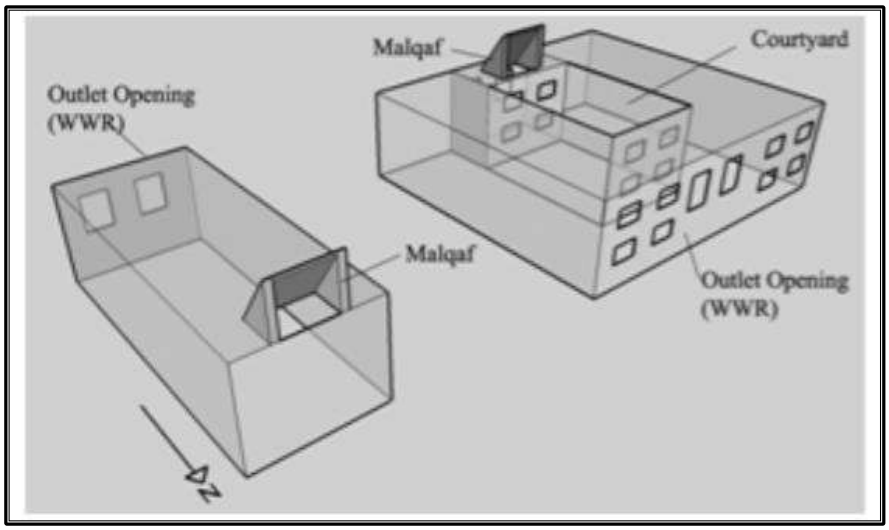


Figure 1.7*: Schéma de position et orientation de la tour à vent traditionnelle*
Source*: Attia et De Herde (2009)*

- Sa position: la tour orientée face aux vents dominants est sise soit au-dessus du toit de l'espace destiné à ventiler (le cas le plus fréquent dans les bâtiments traditionnels) ou bien en association d'une cour,
- La conception de sa tête telle que: taille, forme, type de toit (plat, incliné ou curviligne); surface et nombre d'ouvertures d'admission de l'air (tour unidirectionnelle, bidirectionnelle ou quadri-directionnelle; ratio (taille ouverture sortie d'air / hauteur mur façade).

La tour à vent unidirectionnelle, disposant d'une seule ouverture d'entrée d'air orientée vers la direction des vents désirés et quel que soit le type de son toit (plat ou incliné), représente la configuration la plus performante en quantité de débit d'air pénétrante par rapport aux autres types (BROWN & DEKAY, 2001) (figure 1.8).

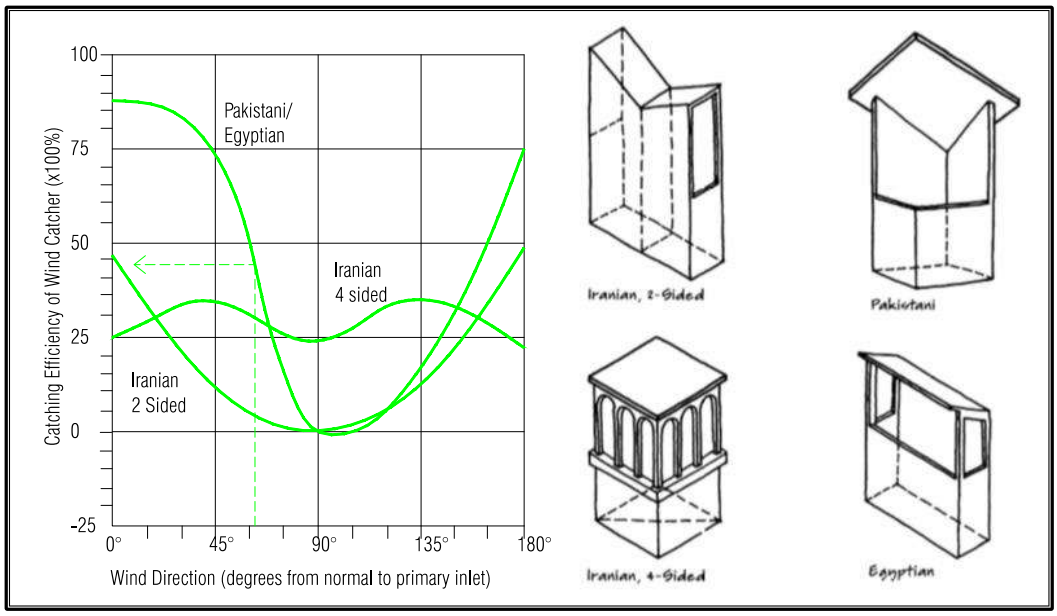


Figure 1.8: *Efficacité de capture d'air dans différentes conceptions de tête de la tour à vent traditionnelle*
Source: *Brown et Dekay (2001)*

1.4 Fonctionnement de la tour à vent (sans humidification)

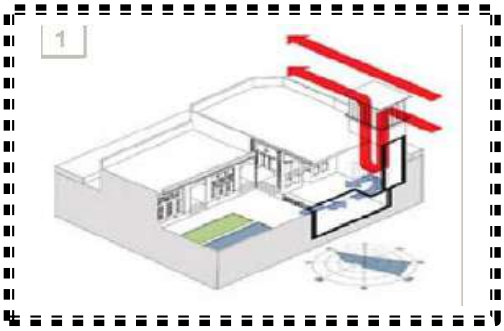
Deux principes sont en jeu et prévalent l'un ou l'autre en fonction de: l'orientation de la tour par rapport au vent, la vitesse du vent, le temps (jour ou nuit) et la différence de températures entre l'intérieur et l'extérieur (TORKIA, 2009).

Effet capture vent (attrape vent)

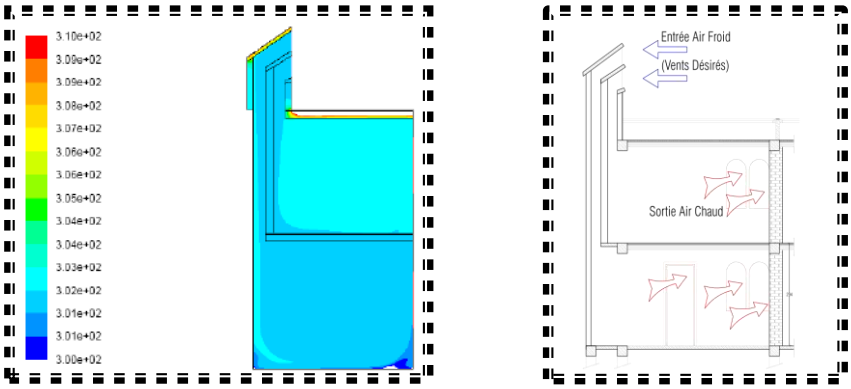
En disponibilité de ce facteur climatique et pour une vitesse de l'air à l'extérieur supérieure à 0.5m/s, la tour à vent assure un rafraichissement passif par la force du vent. Elle favorise la ventilation naturelle et le balayage d'air à l'intérieur de l'espace au moyen de l'ouverture de soufflage (EL MUALIM, 2006), (TORKIA, 2009) (figure 1.9).

Effet de tirage thermique

En absence du vent ou pour une vitesse faible inférieure ou égale à 0.5m/s, la tour à vent assure un rafraichissement passif par la réduction de la température de l'air à l'intérieur de l'espace sous l'effet de cheminée (EL MUALIM, 2006), (TORKIA, 2009) (figure 1.10).



Cas de la tour quadri-directionnelle. Source: Tolouie (2006)

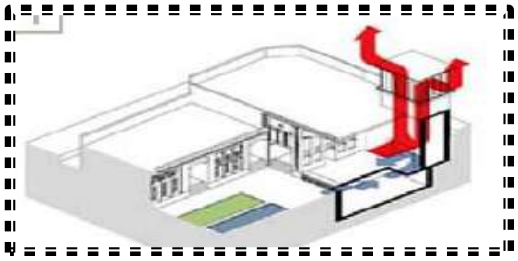


Simulation de l´effet *Principe de l'effet*

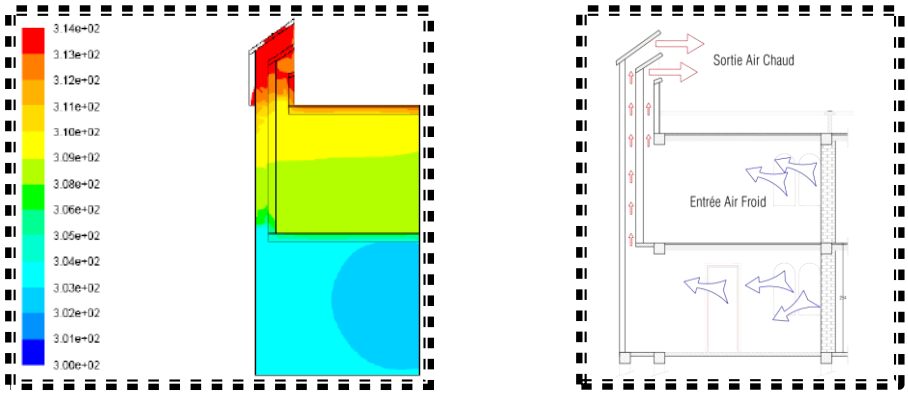
Cas de la tour Unidirectionnelle. Source: Torkia (2009)

***Figure 1.9**: Tour à vent effet attrape vent*

***Source**: Tolouie (2006) et Torkia (2009)*



Cas de la tour quadri-directionnelle. Source: Tolouie (2006))



Simulation de l'effet *Principe de l'effet*

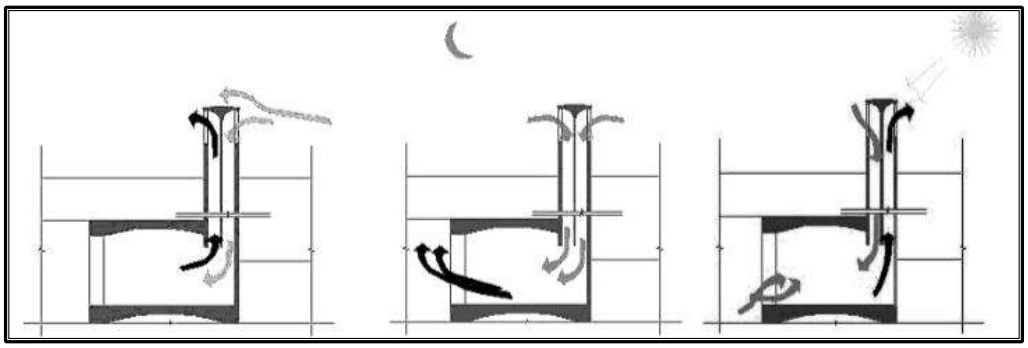
Cas de la tour Unidirectionnelle. Source: Torkia (2009)

***Figure 1.10**: Tour à vent effet de tirage thermique*

***Source**: Tolouie (2006) et Torkia (2009)*

Selon le temps jour ou nuit

Le fonctionnement de la tour à vent change selon le temps jour ou nuit et la disponibilité du vent. Pendant la nuit, en l'absence du vent le fonctionnement d'une tour à vent est similaire à celle d'une cheminée thermique. La chaleur stockée, dans la masse de la tour pendant le jour, chauffe l'air emprisonné dans les conduits par radiation. Puisque l'air chaud est moins dense que l'air frais, la pression dans la partie supérieure est moins que celle dans la partie inférieure, ce qui permet de créer un courant d'air ascendant. L'air chaud circulant à l'intérieur de la construction est évacué au moyen de la tour à vent pour être remplacé par un air plus frais introduit via les portes et les fenêtres (figure 1.11a) et ce processus continue durant la nuit (AZAMI, 2005). Par contre, lorsque la nuit est ventée, la tour refroidit la pièce par la force du vent venant de haut en bas et pousse l'air chaud à sortir via toutes ouvertures que dispose l'espace (figure 1.11b).



a) Le mouvements d'air dans le 1er type b) Les différents mouvements d'air dans le 2nd type
***Figure 1.11**: Fonctionnement de la tour à vent jour et nuit.*
***Source**: Dehnavi et al.(2012)*

Cependant, durant la journée, en l'absence du vent, le fonctionnement de la tour s'inverse. Étant refroidie pendant la nuit précédente, la masse de la tour absorbe la chaleur de l'air ambiant en contact et par conséquent ce dernier est refroidi par convection. L'air rafraichi descendra vers le bas au moyen de la tour en créant un courant descendant et l'air chaud est poussé vers toutes ouvertures (figure 1.11b).
En présence du vent (figure 1.11b), l'effet de refroidissement de la tour à vent varie en accord avec la fluctuation de la température de l'air, de l'intensité des radiations solaires et de la vitesse du vent (BOUCHAHM, 2003) et (DJOUIMA, 2008).

1.5 Formes de la tour à vent traditionnelle

La tour à vent se présente dans la construction sous trois formes différentes (CHALABAYA, 2011). On peut les distinguer comme suit:

1.5.1 Le capteur à vent mural (Malqaf Hawa): C'est un système de refroidissement passif qui a été employé dans l'architecture du Moyen-Orient, sis au-dessus du bâtiment et orienté face aux vents désirés. Le capteur de vent est une cavité d'air entre deux parties d'un mur mitoyen. Sa partie supérieure est munie d'un godet d'air incliné, permettant de diriger le flux d'air vers le bas du bâtiment (DERRADJI, 2008). Ces cavités d'une forme architecturale simple et sans ornementation sont intégrées dans la façade uniquement par son crépissage extérieur, elles assurent un écoulement permanent de l'air à l'intérieur sans aucune ouverture directe (figure 1.12). Le capteur à vent est considéré comme une technique complémentaire indispensable pour un rendement optimal de la tour à vent (MUNICIPALITÉ DE DUBAÏ, 2006).



Figure 1.12: *Les capteurs à vent muraux*
Source: *Municipalité de Dubaï (2006).*

1.5.2 La tour à vent ou Malqaf: est un puits de ventilation qui dépasse le toit de la construction, doté d'ouvertures faisant face aux vents désirés afin de capter l'air en hauteur et les diriger vers l'intérieur à rafraîchir. Elle ressemble à une grande cheminée qui peut atteindre des hauteurs très élevées telles que le cas des tours des maisons des familles riches en Iran (FORUZANMEHR, 2015) (figure 1.13).



Figure 1.13: *Tour à vent sous forme de puits à Kachan et à Yazd en Iran*
Source: *Azami (2005)*

1.5.3 Malqaf El Saath: est un conduit de ventilation qui dépasse le toit de la construction ayant une hauteur très réduite (figure 1.14)

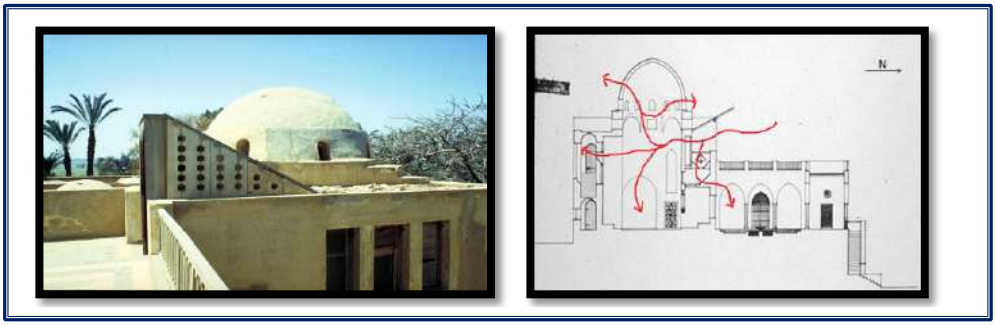
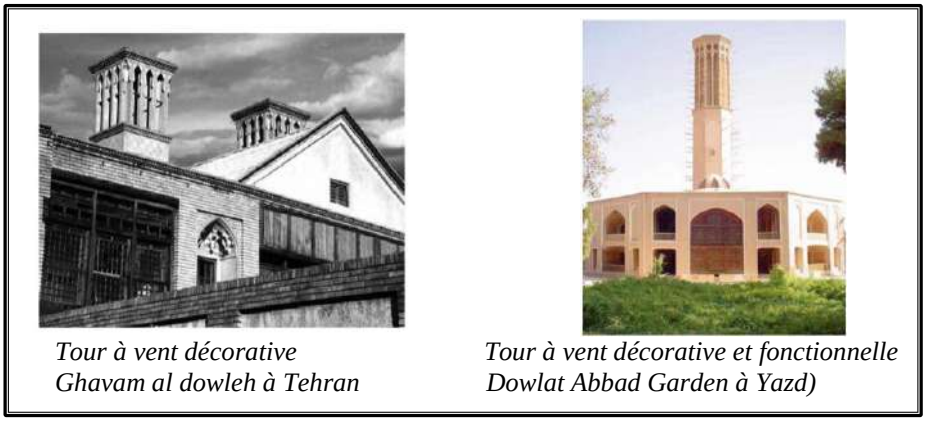


Figure 1.14: *Maison dotée de Malqaf El Saath en Égypte*
Source: *Serageldin (2007)*

1.6 Classification des tours à vent traditionnelles

Les tours à vent peuvent être classées selon plusieurs critères à savoir: l'utilité, la composition architecturale et le mode de son fonctionnement.

1.6.a Selon l'utilité: il existe trois types différents: tour à vent opérationnelle qui représente le type le plus dominant, la tour à vent décorative (rare) et la tour à vent opérationnelle et décorative à la fois comme Badgir de Dowlat Abbad Garden à Yazd (BAHADORI & DEHGANI-SANIJ, 2014) (figure 1.15).



Tour à vent décorative
Ghavam al dowleh à Tehran

Tour à vent décorative et fonctionnelle
Dowlat Abbad Garden à Yazd)

Figure 1.15: *Type de tour à vent selon l'utilité*
Source: *Bahadori et Dehgani-Sanij (2014)*

1.6.b Selon la conception architecturale: Les tours à vent peuvent être également classées selon les caractéristiques architecturales suivantes: la forme de la colonne, le nombre et la forme d'ouverture, le nombre d'étages à ventiler et la structure intérieure de la colonne (partition) en plusieurs types (BAHADORI & DEHGANI-SANIJ, 2014):

1.6.b.1 Selon la forme de la colonne: Deux formes ont été rapportées: rectangulaire et circulaire. La tour à vent traditionnelle cylindrique a été rarement construite parce que sa mise en œuvre était compliquée et exigeait une main-d'œuvre qualifiée.

1.6.b.2 Selon le nombre et le type d'ouverture: la tête de la tour peut avoir des ouvertures d'air sur un ou plusieurs côtés pour s'adapter au vent dans des directions

appropriées. Les différents types que la tour à vent est souvent décrite par le nombre de directions auxquelles sa tête fait face sont: l'unidirectionnel (à un seul côté), le bidirectionnel (à deux côtés), le multidirectionnel à quatre, six, huit côtés et la tour à vent cylindrique.

1.6. b.3 Selon le nombre d'étages à ventiler

1.6. b.4 Selon la structure intérieure de la colonne: les tours à vent sont distinguées selon leurs formes en plan (position et nombre de compartiment ou lame) dont chacune fonctionne différemment des autres. Le corps de la tour peut être subdivisé en deux catégories de lame ou conduit: lames principales ayant un rôle structurel ou thermique et lames latérales plus esthétiques. Les lames principales (conduits) prennent naissance à partir de 1,50m jusqu'à 2,20 m de hauteur à partir de la base au-dessus du RDC jusqu'au toit tour où elles contribuent au développement des conduits secondaires. Les lames sont faites d'adobe (briques de terre) pour absorber la chaleur durant la journée et la restituer pendant la nuit. Les formes de cloisons les plus connues sont en formes de I, de H et de X (J. BACHELOR & G. BACHELOR, 2011).

Tour à vent avec lames sous forme de X: Les tours à vent dotées de lames sous forme de X sont rarement utilisées dans la maison traditionnelle iranienne. La longueur de ce type égale 1/5 fois sa largeur (figure 1.16).

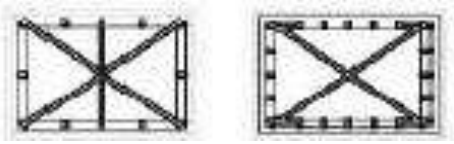


***Figure 1.16**: Tour à vent avec lames sous forme de X*
***Source**: Mofidi (2008).*

Tour à vent avec lames sous forme de plus (+): C'est le type le plus dominant et le plus performant par rapport aux autres formes de partition en habitations traditionnelles (ZARANDI, 2009). Les lames sont perpendiculaires les unes aux autres ayant une forme de (+) (figure 1.17).



***Figure 1.17**: Tour à vent avec lames sous forme de +*
***Source**: Maleki (2011).*

Tour à vent avec lames sous forme de H: Dans ce type vraiment rare dans les maisons traditionnelles dotées de tour à vent, la lame principale isole le conduit totalement de la tour. Elle est insérée au centre du canal et ne se prolonge pas vers les murs latitudinaux de la tour à vent. Les plans de ce type sont symétriques (figure 1.18).

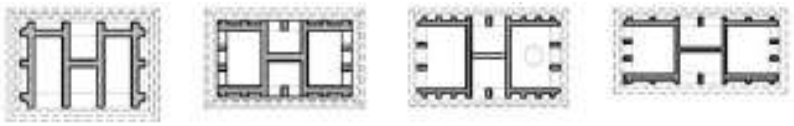


Figure 1.18: *Tour à vent avec lames sous forme de H*
Source: *Mofidi (2008).*

Tour à vent avec lames sous forme de K: Ce genre de conception de plan est une combinaison entre lame sous forme de (x) et lame sous forme de (+). Il est rare dans les maisons traditionnelles (MALEKI, 2011) (figure 1.19).

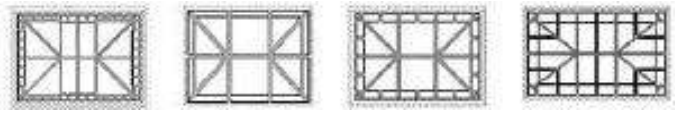


Figure 1.19: *Tour à vent avec lames sous forme de K*
Source: *Maleki (2011).*

Tour à vent avec lames sous forme de (I): C'est le type rectangulaire le plus répandu et le plus étendu (MALEKI, 2011) (figure 1.20).

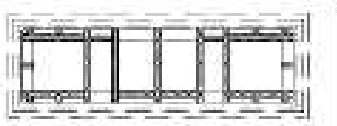


Figure 1.20: *Tour à vent avec lames sous forme de I*
Source: *Maleki (2011).*

1.7 Matériaux, couleur et texture de la tour à vent

Les tours à vent dans les régions chaudes et sèches sont construites en brique de terre crue ou brique de terre cuite recouverte de plâtre de boue, car l'adobe leur confère la particularité de réguler la température à l'intérieur. Les propriétés de ce matériau de construction telles que sa grande inertie thermique qui permet d'emmagasiner la chaleur durant la journée et de la restituer la nuit lorsque la température baisse, sa composition (argile, sable, eau et chaume), sa nature poreuse et son volume incompressible, empêchent la pénétration d'une grande quantité de chaleur ou de froid au sein des molécules de la brique (PARRA-SALDIVAR & BATTY, 2006) et (MINKE, 2006). Le crépissage extérieur appliqué sur les façades de la tour à vent est en plâtre de boue, il sert comme une couche protectrice, il est constitué d'un mélange de terre

humide et de paille hachée grossière ou fine. Cette composition offre une texture rugueuse brute à la tour à vent qui est teintée par la suite en couleur jaune clair pour refléter les rayons solaires.

Les tours à vent dans les régions chaudes et humides sont aussi construites en adobe qui est un matériau disponible et moins couteux pour profiter pleinement de sa capacité de régulation hygrothermique, elles sont revêtues d'une couche protectrice en plâtre de gâche et (Sarooj) résistant mieux à l'humidité. Leurs textures sont polies, teintées en couleur blanche afin d'éviter l'absorption des rayons solaires.

1.8 La tour à vent traditionnelle et ses valeurs

L'architecture dans la société musulmane traditionnelle est en harmonie avec l'environnement. Afin de tolérer les aléas du climat chaud qui caractérisent la plupart des régions du monde islamique, plusieurs solutions étaient adoptées telles que la cour, le design du mur (mur-écran et/ou mur épais), l'orientation des plans, les valeurs de pluralisme et les tours à vent. Ces solutions sont basées sur l'utilisation des ressources naturelles (SUZAN NIHAD, 2017). Bien que les musulmans aujourd'hui font de plus en plus partie du nouvel ordre mondial, qui croit en la croissance économique comme moteur du développement humain, ils étaient auparavant un modèle dans la construction des sociétés équilibrées écologiquement, respectueuses de l'environnement et guidées par des principes et une éthique totalement différente de ceux adoptés par le monde industriel actuel. La large utilisation de la tour à vent dans l'architecture islamique notamment dans les régions chaudes et arides, n'est qu'un exemple des mesures appliquées par les architectes et les constructeurs. Ces mesures sont axées sur l'environnement (AL HASSANI, 2009). La tour est un système de technologie intelligente, économique et durable, qui non seulement a pris en compte pour sa rentabilité et son efficacité l'utilisation de ressources naturelles renouvelables (terre, air et eau), mais a combiné également des facteurs régionaux aux besoins sociaux et aux valeurs environnementales pour devenir un système écologiquement et socialement durable (SUZAN NIHAD, 2017) et (IKERD, 2005).

Pour toutes ses qualités, cette tradition de construction des tours à vent doit être encouragée et revivifiée comme le confirme EL HASSANI, (2009) dans sa citation: «*Nous devons redécouvrir les mérites des maisons musulmanes traditionnelles (de cour et de tour à vent) afin que nous utilisions leurs conceptions et matériaux de construction*

écoénergétiques dans nos constructions contemporaines et par conséquent réduire la consommation énergétique et l'empreinte carbone. Au lieu de bâtir des boîtes en verre de grande hauteur totalement nouvelles et grandes consommatrices d'énergies non renouvelables, il suffit d'utiliser la technologie contemporaine pour améliorer ce genre de maisons et les rendre plus efficaces et plus adaptées au style de vie contemporain».

Récemment, et vu les valeurs que ce système possède, son emploi a dépassé le monde musulman médiéval où il a été répandu autrefois dans de nombreuses villes telles que Yazd et Kashan en Iran pour s'étendre jusqu'en Europe, l'Afrique du nord et en Amérique (BAHADORI, 1994). De nombreux architectes occidentaux ont adopté la tour à vent dans leurs projets tels que le centre d'accueil du parc national de Zion dans l'Utah, aux États-Unis, le terrain de cricket ovale de Kensington à la Barbade (USA) et le Zénith de Saint-Étienne Métropole en France. Les tours à vent avaient comme objectif initial apparent la mise en évidence du pouvoir important de refroidissement par ventilation naturelle et rafraîchissement passif, mais en réalité elles incarnent beaucoup de valeurs à explorer dont nous citerons:

1.8.1 Valeur historique

La tour à vent ou Al Barjeel est un élément architecturalement emprunté à la civilisation perse. C'est un dispositif technique qui reflète la réactivité et l'interaction entre l'homme et son environnement. L'intensité des migrations entre les côtes du Golf a contribué à la vulgarisation de cet élément (MUNICIPALITÉ DE DUBAÏ, 2006). L'origine et la date exacte de l'utilisation de la première tour à vent à travers le monde ne sont pas définies et convenues par les historiens et chercheurs. Nous pouvons citer les plus fréquentes, à savoir:

***** Dans la littérature arabo-islamique, plusieurs auteurs croient que la tour à vent, sous l'appellation Badhanj, Malqaf ou Badgir, date de la période 2100AJ/1580-322AJ (FATHY, 1988; SIRAGELDIEN, 2007a; CHALABAYA, 2011) du fait que les pictographies à Papyri trouvé sur les tombes du nouveau royaume des pharaons en Égypte montrent des dessins de capteurs à vent sur les toits des maisons de Tal Al Amarna (figure 1.21).

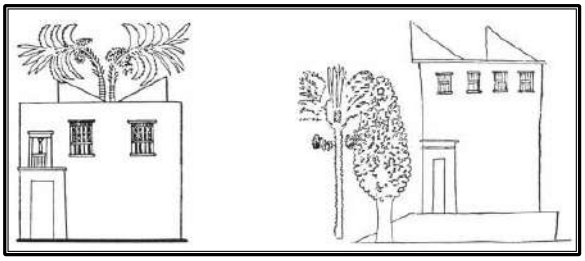


Figure 1.21: *Tour à vent dans la maison pharaonique du Bout-Amun en Égypte*
Source: *Fathy (1988).*

* En Iran pays des tours à vent (figure 1.22), le manque de preuves de documents architecturaux concernant la date exacte de leurs premières évidences historique a été compensé par des textes littéraires tels que les poèmes de Naser Khosrow et Masoud Saed Salman. «*Les Badgirs remontent à 1500AJ ans et leur utilisation a été étendue même en Afrique du Nord*» (BAHADORI *et al*., 2014).

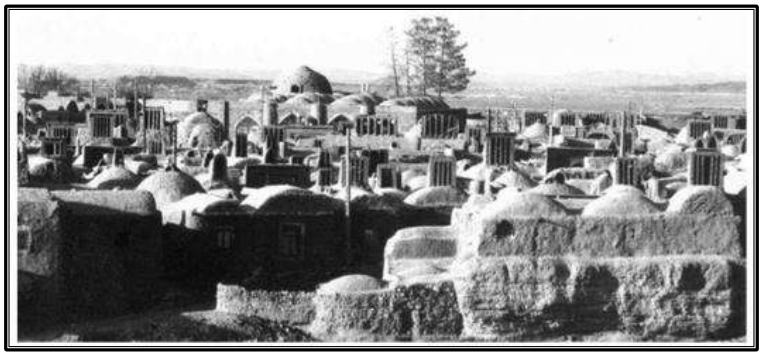


Figure 1.22: *Tour à vent unidirectionnelle à Khost oasis près de Birjanden en Iran*
Source: *Bahadori et al. (2014)*

* En Afrique du Nord, particulièrement en Algérie, l'introduction de la tour à vent est récente. Elle est importée et réalisée dans la ville d'Alger bien avant 1830. Certaines maisons de la casbah d'Alger ont été équipées de capteur à vent mural intégré d'une façon discrète dans la façade pour assurer la ventilation naturelle (figure 1.23). Ces capteurs muraux ont été orientés nord ou nord-est pour profiter de la brise de mer.

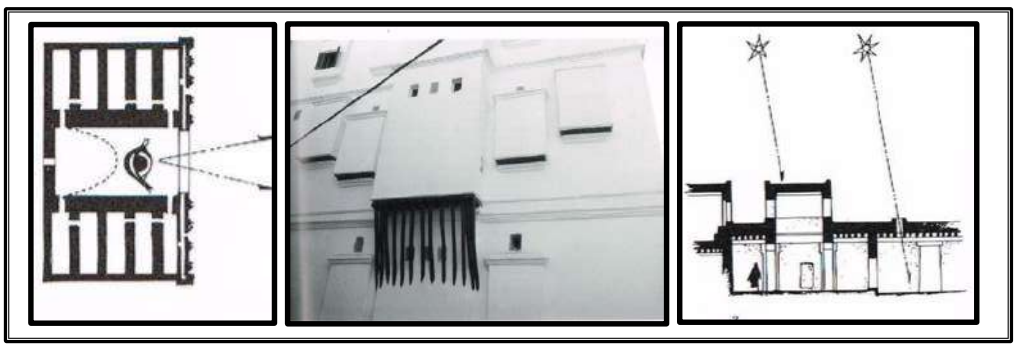


Figure 1.23: *Maison dans la casbah d'Alger avec capteur à vent mural*
Source: *Ravéreau (1989)*

Par contre l'apparition de la tour à vent en tant que puits de ventilation n'a vu le jour qu'après l'indépendance au Sud algérien et cela dans le cadre de la coopération algéro-égyptienne. Le Malqaf a été réalisé dans plusieurs types d'habitations individuelles et semi-collectives conçues par le bureau d'étude de Hassen Fathy représenté par les frères Menyaoui à Ouargla et Ouled Djellal en 1980 (figure 1.24).



Ouled Djellal *Ouargla*

Figure 1.24: *Tour à vent unidirectionnelle au Sud algérien*
Source: *Torkia (2009) et Bouchahm (2003)*

1.8.2 Valeur patrimoniale

Le patrimoine est l'ensemble des biens hérités des ascendants ou réunis et conservés pour être transmis aux descendants. En général, l'héritage du passé dont nous profitons aujourd'hui et que nous transmettons aux générations futures est divisé en deux types: le patrimoine matériel qui peut être perçu par nos sens et le patrimoine immatériel qui relève beaucoup plus de la tradition. Tout ce qui a été construit et son environnement immédiat, peut entrer dans la catégorie de ce qu'on appelle le patrimoine bâti. Le patrimoine bâti est le type le plus connu et qui fait partie du paysage.

Les tours à vent, comme points de repère caractérisant plusieurs villes islamiques médiévales, ont donné à leurs paysages urbains une valeur patrimoniale importante reconnue à l'échelle nationale et ont joué un rôle historique majeur dans leurs développements tels que le cas de Yazd en Iran et le vieux Dubaï en UAE. Ce dernier abrite deux anciens quartiers restaurés: El Bastakiya et Shindagha, où l'ambiance est authentique et ne ressemble en rien à celle que l'on peut retrouver dans le reste de la ville. El Bastakia est un village patrimonial touristique n'est plus habité, bordé de maisons dotées de tours à vent (figure 1.25).



***Figure 1.25**: Vue d'ensemble du vieux Dubaï, El Bastakia*
***Source**: https:// www.augoutdemma.be/27613-à-la-decouverte-du-vieux-dubaï*

En Iran, et dans certaines villes telles que Yazd (ville des tours à vent), la structure historique et les constructions en brique de terre marquées par leurs Badgirs, ont apporté une valeur exceptionnelle au paysage urbain (figure 1.26), dépassant ainsi largement l'échelle locale ou régionale pour être inscrit par l'UNESCO en juillet 2017 comme première ville historique iranienne ajoutée sur la liste du patrimoine mondial (http://www.irna.ir/fr/News/82592097).



***Figure 1.26**: Vue d'ensemble de la ville historique de Yazd en Iran*
***Source**: https://fr.dreamstime.com/photo-libre-de-droits-ville-de-yazd-image20740855*

En Outre, la tour à vent a fait l'objet de nombreuses références dans les écrits de patrimoine où ces derniers ont considéré ce système comme: un élément architectural de ventilation et de confort, une source d'inspiration pour les écrivains, les poètes et les philosophes et un dispositif d'émerveillement pour les voyageurs. Le philosophe Al-Baghdadi Abdullatif (décédé en 1207) lors de son discours décrivant l'Égypte et de tout ce qu'il y a vu comme architecture différente était impressionné par la tour à vent au point de la considérer comme un témoin de cette architecture: «*Quant à leurs constructions, elles sont d'une architecture ingénieuse et ordonnée, ils n'ont rien conçu sans utilité. Leurs maisons sont spacieuses où les habitants souvent occupent les niveaux supérieurs. Leurs fenêtres sont orientées vers le nord, sens des vents désirés, il est rare de trouver une habitation sans tour à vent. Cette dernière est grande, élancée et couteuse faisant face au vent et bien finie. »* (Al BAGHDADI, 1983 cité dans CHALABAYA, 2011). Dans le patrimoine immatériel aussi, la tour à vent بادهنج, a été mentionnée dans les contes de mille et une nuits (BAHADORI *et al*., 2014),

(CHALABAYA, 2011). Elle a marqué sa forte présence en poésie arabe et perse tels que les versets de Chihab Eddine Ben Abi Hadjela (BENABDELLAH, 2000):

وباذاهنـج غدا في الجو منظر	من فوق منظره تبدو على سننه
فانظر فديتك يا محبوب رفعته	واستنشق الريح من تنقاه يا سكنه
وبـاذاهنـــــج لا خلـــت	ديــارنـا من أنـــــــسـه
كـــأنـــه متيـــــــم	يلقـــــي الهـــواء بنفســه

1.8.3 Valeur architecturale et urbaine

La tour à vent constitue dans l'architecture de la société musulmane traditionnelle un élément majeur qui contribue à façonner le caractère architectural, urbain et la ligne de ciel. Et comme elle est conceptuellement liée à des espaces spécifiques qui prennent des emplacements différents, une diversité dans la forme architecturale du cadre bâti est produite (ABDELJALIL, 2001), (MUNICIPALITÉ DE DUBAÏ, 2006) (figure 1.26).



Figure 1.27: *La tour à vent façonne la ligne de ciel dans l'urbanisme traditionnel au vieux Dubaï*
Source: *Municipalité Dubaï (2006).*

Les éléments architecturaux et esthétiques composants la tour à vent, sont des compléments de la forme et de la silhouette de la façade urbaine. Il existe deux types de tours selon la nature du bâtiment: traditionnel fixe en dur et temporaire léger «El Arish» fabriqué à partir de frondes de palmier tissées (MUNICIPALITÉ DE DUBAÏ, 2006) (figure 1.28).



Tour à Vent fixe et temporaire à Dubai / Tour à vent temporaire de Mirjan Khan à Bagdad

Figure 1.28: *Différents types de tour à vent selon le mode constructif*
Source: *Damluji (1998*), *www.augoutdemma.be/27613*

La prévalence de l'utilisation de cet élément architectural traditionnel de ventilation naturelle et de rafraîchissement passif, sous forme de tour élancée, de large ouverture d'admission et d'échappement d'air ou de Malqaf Hawa, de petites cavités d'air pour éviter les grands orifices, a offert aux vieilles villes: un cachet distinct, un style dominant spécifique et une qualité architecturale marquée par la ligne de ciel (MUNICIPALITÉ DE DUBAÏ, 2006) telles que les villes de Yazd, Bam et Bushehr en Iran (figure 1.29), la ville de Hyderabad en Pakistan et Harat en Afghanistan (figure 1.30).



Figure 1.29: *La tour à vent façonne la ligne de ciel dans l'urbanisme traditionnel en Iran*
Source: *Bahadori et Deghani-Sanij (2014).*

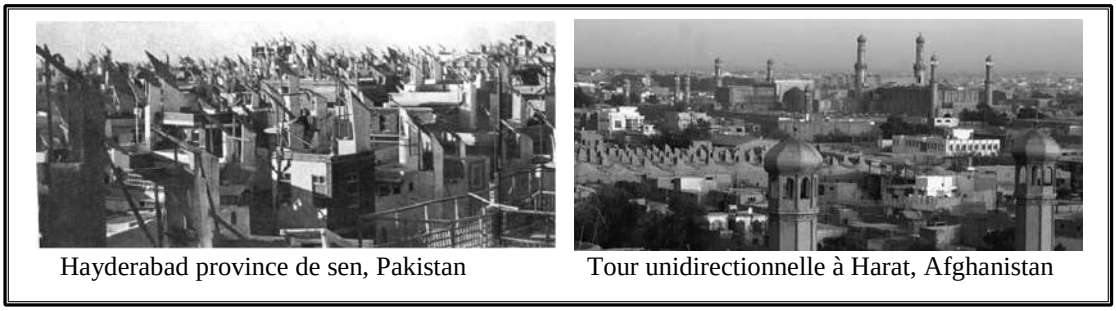


Figure 1.30: *La tour à vent façonne la ligne de ciel en Pakistan et Afghanistan*
Source: *Tavasolli (1981) & Bahadori et Deghani-Sanij (2014).*

L'ajout des éléments naturels tels que la végétation et l'eau au niveau des sites urbains traditionnels dotés de tours à vent a offert un paysage urbain vivant, rafraîchissant et visuellement attrayant et par conséquent des sites touristiques par excellence (figure 1.31).



Figure 1.31: *Vues* sur les tours à vent *à Al Djoumaira Dubaï*
Source: *http://architecturalmoleskine.blogspot.com/2010*

Les contrôles environnementaux représentés par la nature géographique (Sahara ou littoral) et le facteur climatique (climat chaud sec ou chaud humide) ont agi sur la détermination de la zone d'apparition et de propagation de ce dispositif et donc sur son cachet architectural par la domination du même type de tour à vent. Comme le climat des régions dotées de tours à vent est très dur caractérisé par: des températures très élevées sur toute l'année avec un écart important entre le jour et la nuit et un taux d'humidité relative soit très faible ou très élevé (climat chaud sec ou chaud humide), la plupart des tours à vent étaient conçues face aux vents désirés pour fournir une bonne ventilation naturelle à l'intérieur. La convergence vers une orientation bien déterminée a produit une image paysagère spécifique marquée par la répétition d'un seul prototype de tour à vent, et par conséquent un impact constant, invariable sur le caractère et la forme architecturale et urbaine.

Les variables et les valeurs culturelles ont affecté aussi le caractère architectural local et urbain des tours à vent dans chaque région ou pays pour atteindre des dimensions esthétiques (améliorer l'aspect physique) et plastiques (réparer les défauts) multiples et par conséquent enrichir les caractéristiques conceptuelles et constructives de ce système. Parmi ces variables, on cite:

- La composition démographique et la classe sociale (bédouin, citadin, communauté entre la côte de l'Iran et le monde arabe): ont contribué à l'évidence des tours de différents matériaux et systèmes constructifs selon la classe sociale.
- Les dimensions tribales et sociales: le périmètre géographique des tours à vent a subi des migrations dans des périodes différentes et un mélange de plusieurs cultures principalement de l'Inde, l'Iran et l'Égypte.
- Le facteur religieux et le facteur économique qui sont liés aux enseignements de la charia et de la classe sociale des propriétaires.
- Les échanges culturels et commerciaux entre les pays voisins qui se distinguent par une diversité civilisationnelle (persane et indienne mongole en Extrême-Orient, syrienne en Moyen-Orient, Irakienne en pays du golfe et égyptienne sur la côte de l'Afrique), ont permis d'importer de nouveaux matériaux et d'adapter de nouvelles techniques de réalisation. En conséquence, l'utilisation des tours a été généralisée à travers ces pays avec une adaptation au cachet spécifique de chaque région par des détails architectoniques. L'utilisation des stéréotypes de tour à vent via des moules ayant des normes bien déterminées dans leur mise en œuvre a offert un caractère

d'équilibre et d'homogénéité à ce système ainsi qu'une large propagation de son exploitation (MUNICIPALITÉ DE DUBAÏ, 2006). En revanche, cette stéréotypie a des implications sur la singularité de chaque région sur le plan architectural et urbain.

1.8.4 Valeur esthétique

Les tours à vent sont bâties en utilisant des procédés locaux de construction et de matériaux naturels, leurs design et esthétique constituent un exemple architectural concret de l'intégration en harmonie aussi bien avec la société traditionnelle locale qu'avec son environnement (goumbook.com, 2012). En donnant un rythme aux façades, ces éléments de ventilation naturelle et de rafraîchissement passif contribuent à la formation d'une esthétique caractérisée par la spécificité de la différence et la richesse de la composition. La construction dotée de tour à vent devient une identité ainsi que son paysage.

La tour à vent comme élément architectural, accentue l'effet de verticalité marquée par la ligne sinueuse de la silhouette de la façade urbaine (ligne du ciel) et atténue la sensation de lourdeur de la bâtisse par: la taille importante de ses orifices d'entrée et sortie d'air, ses ornementations et la légèreté de sa structure (bois) (MUNICIPALITÉ DE DUBAÏ, 2006). L'engagement envers le principe de la simplicité et de l'abstraction dans la mise en exécution est la base de la formation de son esthétique. Ce principe est renforcé par l'utilisation d'une seule couleur généralement la couleur de la terre (figure 1.32).



Figure 1.32: *Tours à vent à El Djoumaira*
Source: *El Djoumaira (http://architecturalmoleskine.blogspot.com/2010)*

Les éléments décoratifs supplémentaires et complémentaires de la forme de la tour à vent au niveau de la tête ont pour but la délimitation de la fin de la hauteur de ce dispositif. Ils sont marqués par de larges ouvertures d'entrée et sortie d'air, garnies d'ornementation géométrique ou florale (figure 1.33). Cette dernière ajoute aux orifices

un effet décoratif par la diversité de ses motifs pour que ces ouvertures deviennent plus que d'éléments fonctionnels et par conséquent offrir une image paysagère variée, riche et agréable à voir.



***Figure 1.33**: Quelques modèles d'ornementations des orifices des tours à vent*
***Source**: Municipalité de Dubaï (2006)*

1.8.5 Valeur morale et religieuse

La fenêtre offre de nombreuses fonctions pour le local: l'éclairage, la vue intérieur-extérieur ou vers l'extérieur seul et l'aération. Selon les régions et les cultures l'une ou plusieurs de ces fonctions ne peuvent être assurées. La tour à vent peut remplacer la fenêtre pour fournir la ventilation.

Selon LAITHY (2008), la tour à vent est conçue pour répondre en premier lieu aux aspirations morales et sociales et non seulement pour subvenir aux besoins climatiques environnementaux. L'architecture islamique dans ses détails est à l'origine un dialogue avec les traditions qui ont façonné la cohésion environnementale de nos constructions traditionnelles. Ces bâtiments sont venus traduire et incarner les principes des enseignements de la charia qui définissaient la relation entre l'individu et sa communauté. Parmi ces principes nous citerons, la préservation de la famille (Sourat El Nour verset 30,31), le respect de la vie privée (Hadith Charif) (JOHNSON, 1995) et le respect du voisin (Hadith charif) (EL BANAA, 2004). L'architecture islamique tente

d'une façon générale de réduire le taux d'apparition des femmes dans les espaces d'accueil masculins à la maison et de minimiser au maximum tout contact ou fréquentation avec les hommes dans les milieux sociaux mixtes, denses et surpeuplés par tous les moyens possibles (CHALABAYA, 2011). Dans son ouvrage l'architecture masculine, LAAIBI (2007), a considéré la tour comme une ruse architecturale servant à garder la femme à l'intérieur dans des conditions favorables.

Dans un souci de respect de la vie privée des autres, notamment les habitants des résidences à proximité des équipements publics, l'idée de l'emploi du Malqaf dans les bâtiments non résidentiels était une solution pour éviter le vis-à-vis (inconvénient) que peut causer la fenêtre. La tour à vent de la mosquée Slimane Agha (figure 1.34) et celle de l'Iwan école El Ashrafia au Caire sont des exemples témoins de ce constat (LAITHY, 2008).



Figure 1.34: *Tour à vent de la mosquée Med Moharrem en Égypte*
Source: *Laithy (2008).*

1.8.6 Valeur socioculturelle

Le système tour à vent est un moyen d'expression désignant la classe sociale des habitants. Il est proportionnel à la taille de la construction et aussi à la capacité financière de ses propriétaires. Certaines constructions disposent d'une tour ou plus dans des lieux et des configurations différentes. Le nombre de tours à vent par habitation augmente à deux ou plus selon le degré de richesse de la famille qui y habite. (KHAOULA ALI, 2014). La présence de l'ornementation au niveau de la tête (bouche d'admission d'air) est un indice de noblesse et d'aisance économique et sociale de la famille. Il était souvent très difficile d'ouvrir des fenêtres au niveau de la rue, les odeurs, la poussière et la chaleur emprisonnées au niveau des rues auraient pu pénétrer à travers les ouvertures plus basses et la ventilation de la maison ne serait plus bénéfique pour le rétablissement des conditions de confort. Ainsi, la plupart des ouvertures ont été placées dans les parties élevées de la maison près des toits plats mais utilisées seulement pour l'éclairage naturel (DERRADJ, 2008). La tour à vent a remplacé la fenêtre pour

satisfaire au besoin de la ventilation. Elle assure un degré de privacité et de confort sans recourir aux percements de grandes ouvertures au niveau des parois extérieures. Elle représente une solution simple à réaliser inspirée de l'environnement où elle est implantée.

1.8.7 Valeur environnementale

La tour à vent est considérée comme un système ingénieux durable, car elle utilise pour son fonctionnement de l'énergie renouvelable, non polluante de l'environnement (vent et eau), et par conséquent, elle contribue à la réduction des émissions des gaz à effet de serre et à la fourniture d'un confort thermique dans les espaces intérieurs. Selon FATHY (1988), son importance pourrait se ressentir aussi bien à l'échelle de la ville qu'à l'échelle de la construction. À l'échelle de la ville surtout dans les régions à climat chaud et humide, où les constructions denses gênent la circulation libre de l'air au niveau de la rue, le capteur à vent pourrait être un remède. À l'échelle de la construction, la tour à vent permet une réduction de la température intérieure de l'air par rapport à l'extérieur via une ventilation naturelle par la force du vent ou par l'effet de tirage thermique et un rafraîchissement passif par humidification (refroidissement par évaporation de l'eau).

1.8.8 Valeur symbolique

Outre les aspects environnementaux et techniques, les capteurs à vent ont des aspects symboliques. COLES et JACKSON (1975) pensent que les capteurs à vent jouent le rôle de symboles décoratifs du patrimoine national, par exemple à Dubaï, ils sont devenus des « symboles internationaux clés » de la ville au début du XXIe siècle. Selon MONTAZERI et AZIZIAN (2008), la forme et les dimensions d'un Badgir étaient des indices de dignité, de richesse et de position sociale de ses propriétaires. Les propriétaires les plus riches étaient les plus susceptibles d'avoir une tour grande et complexe, alors que les tours des maisons des pauvres avaient des formes plus simples. Cela montre qu'un Badgir a servi de signe de distinction entre les riches et les pauvres auparavant. De plus, BOURGEOIS et PELOS (1983), pensent qu'à l'époque des ventilateurs encastrés dans le plafond, des ventilateurs de table et des ventilateurs autonomes, le capteur à vent devient un symbole visible concret d'un mode de vie lent, sous-développé, soi-disant plus arriéré et sur le déclin, bien qu'ils soutiennent que le coût croissant de l'énergie peut bientôt forcer la mode de nouveau autour de ce système.

1.9 Le développement et la tour à vent traditionnelle

Les tours à vents étaient l'un des résultats des interactions culturelles, sociales, économiques et notamment environnementales des sociétés humaines depuis l'aube de l'histoire jusqu'à l'époque moderne, comme il a été cité auparavant. Elles ont été liées au développement imposé par la nature et l'homme avec ses priorités, ses besoins, ses nécessités et ses contraintes. La proximité géographique des pays où la tour à vent a vu le jour a conduit positivement à la fusion des cultures, à l'adaptation aux valeurs locales et aux paramètres environnementaux. Par conséquent, ce voisinage a contribué à la créativité d'un patrimoine et d'un paysage marqué par le développement du système tour à vent dans la région islamique médiévale.

L'homme a pu gérer et ajuster l'espace en fonction des constantes urbaines et non urbaines comme les systèmes environnementaux, les facteurs naturels, les valeurs religieuses islamiques et les matériaux de construction disponible localement. Ceci a généré un cadre de vie en symbiose avec l'environnement physique et par conséquent un tissu urbain conçu simple, bien intégré et distinct dans ses caractéristiques et qualités architecturales jusqu'aux années 60 où une période de transformation politique, économique a été vécue (MUNICIPALITÉ DE DUBAÏ, 2006). Cette période a coïncidé avec la découverte du pétrole, qui a bouleversé rapidement et radicalement divers domaines et a changé la structure traditionnelle du tissu urbain en raison de la construction en grande masse. La renaissance urbaine proprement dite a débuté après la 2^{e} guerre mondiale suite à l'accroissement du revenu national dû aux exportations de pétrole l'or noir, chose qui a développé l'économie des pays islamiques disposant de cette ressource épuisable d'une façon spectaculaire. Ce développement économique a contribué aussi à l'accélération du taux de la croissance urbaine et à l'adoption de la technologie dans la construction pour subvenir aux nouveaux besoins sans penser aux coûts ou à l'environnement. L'évolution scientifique et technique est faite au détriment de la qualité architecturale et urbaine traditionnelle locale.

La prédominance de la dimension technique et technologique, a eu des répercussions néfastes sur la tour à vent directement et indirectement. Ces effets ont été constatés par l'abandon quasi-total ou l'utilisation très restreinte de cet élément architectural de ventilation naturelle et de rafraîchissement passif (MUNICIPALITÉ DE DUBAÏ, 2006). Le recours aux moyens mécaniques dynamiques tels que climatiseur, ventilateur, façade ventilée et façade dynamique a remplacé la tour à vent afin d'atteindre cet

équilibre et assurer le confort thermique adéquat durant toute l'année dans ces régions chaudes. La disponibilité du pétrole à bas prix a participé à l'augmentation et à la vulgarisation rapides de l'emploi de ces systèmes de climatisation actifs comme une alternative à la tour à vent. Ces systèmes sont plus sûrs, efficaces, faciles à entretenir, et indépendants des facteurs climatiques.

L'introduction de la réfrigération mécanique a permis non seulement d'augmenter la capacité de rétablir d'une manière plus ou moins satisfaisante le confort thermique pendant de longues périodes, mais également à avoir plus de flexibilité dans la conception des bâtiments, et simultanément l'usage et les pratiques exercées dans l'espace, les habitudes et les modes de vie des individus ont changé. Cependant, l'utilisation d'une technologie développée de refroidissement a eu comme conséquence la marginalisation des techniques de ventilation et de refroidissement naturel (DERRADJI, 2008).

L'intégration de nouveaux styles intrus dans l'architecture locale, de nouveaux matériaux de construction et l'exploitation du dernier cri de la technologie ont marginalisé la tour comme technique traditionnelle passive, sous prétexte que cette dernière fait rappeler aux gens la dureté de la vie vécue autrefois. De nombreuses tours à vent dans les anciennes constructions ont été complètement condamnées au niveau du soufflage (sortie d'air) par mesure de sécurité, d'éviter la pénétration de toutes sortes d'impuretés, des vents froids d'hiver et leurs nuisances sonores et surtout son rendement thermique insuffisant.

Dans la recherche formelle de l'esthétique, la tour à vent était présente dans les nouvelles constructions dans certains pays islamiques comme un symbole architectural exprimant l'identité culturelle locale de la région et la nostalgie vers le passé et non pas comme un écosystème fonctionnel. Elles ont été utilisées uniquement pour des fins décoratives et ont peu ou pas de fonction pratique (BAHADORI & DEHGHANI-SANIJ, 2014). Ces tours décoratives ne possédant pas de conduit, leurs têtes dépassent le plancher de la construction sans aucune connexion avec l'intérieur telles que le cas de la plupart des tours à vent réalisées aux Émirats arabes unis (figure 1.35).



Souk El Dhaheb (Or) Sharjah



Centre commercial Dubaï



Ascenseurs station de métro



Logt collectif



Dubaï Mall à Dubaï

***Figure 1.35**: Tour à vent décorative aux EAU*
***Source**: Djouima (2019)*

Depuis les années 60, l'humanité a commencé à prendre conscience de l'épuisement des ressources fossiles et de l'environnement. Les risques de la révolution industrielle ont commencé à se faire sentir sur deux domaines très sensibles à la survie de l'être humain à savoir: la santé et l'environnement. Aujourd'hui, la question du changement climatique s'est installée durablement au premier plan de l'actualité et des préoccupations des opinions publiques. Les nouveaux modèles architecturaux produits durant ces dernières décennies sont de plus en plus inadaptés et gros consommateurs d'énergie. Les choix architecturaux ont rarement été effectués à partir du critère de moindre émission de carbone, mais à partir de considérations esthétiques et de coût. L'abus de l'utilisation des systèmes de ventilation et de climatisation actives mécaniques sous ses différentes formes accentue encore plus le problème d'utilisation des gaz à effet de serre, causant ainsi la perforation de la couche d'ozone et le réchauffement planétaire par le phénomène de l'ilot de chaleur. Le recours aux énergies renouvelables est inévitable. Le retour aux concepts anciens dont la tour à vent présente un des remèdes passifs dans le secteur du bâtiment est aussi incontournable. Architectes concepteurs et chercheurs ont pris conscience de l'importance écologique de ce système ingénieux et durable, alors plusieurs études, expériences et projets ont été élaborés et réalisés à travers le monde entier afin de maîtriser, moderniser et développer ce système.

Au début du XXe siècle, les conceptions et les écrits de l'architecte égyptien Hassan Fathy, ont ouvert les opportunités et sont devenus une source d'inspiration aux architectes pour reconnaître et apprécier son architecture traditionnelle caractérisée par l'utilisation des formes vernaculaires ayant des fonctions environnementales telles que: la cour et le Malqaf (EL SHORBAGY, 2010). De nombreux exemples illustrent le retour vers l'utilisation de la tour à vent dans le monde arabe et islamique dans l'habitat et dans les équipements tels que: l'exemple de l'université de Doha qui a exprimé l'esprit de son temps moderne, tout en conservant sa fonction d'origine en tant que dispositif générant de flux d'air dans le bâtiment et le patio sous forme de tour à vent fraîche du siège principal de la ville de Masdar «à 0 carbone» aux Émirats arabes unis. (figure 1.36).



a. Coupe et vue sur le patio du siège principal de Masdar-UAE/ b.Tour à vent université Doha Qatar

Figure 1.36: *Exemple de tour à vent dans le monde arabe au début de XXe siècle*
Source: *El-Shorbagy (2010)*

L'idée des tours à vent a attiré l'attention des architectes occidentaux, qui ont relancé le capteur d'air traditionnel en tant que forme et fonction. Ils ont employé ce système dans leurs bâtiments modernes sous plusieurs formes et techniques tels que: en bois sans addition de dispositifs mécaniques modernes comme le cas du centre des visiteurs du parc national de Zion, aux États-Unis (figure1.37).

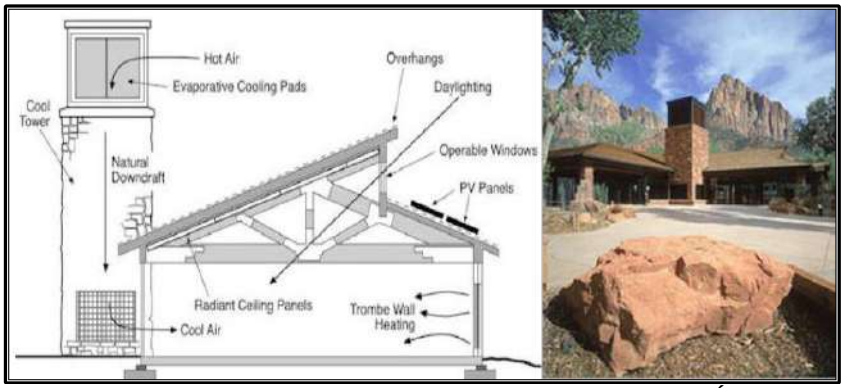
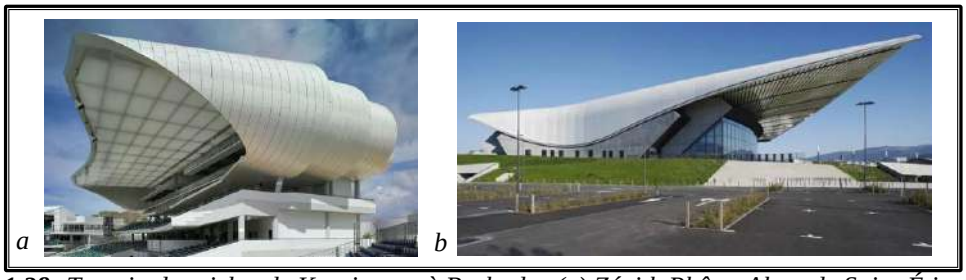


Figure 1.37: *Centre des visiteurs du parc national de Zion, aux États-Unis*
Source: *El-Shorbagy (2010)*

Le terrain ovale de cricket de Kensington à Barbados et le Zénith Rhône-Alpes de Saint-Étienne (figure 1.38) conçus par Norman Foster et Partners, représentent une nouvelle interprétation contemporaine pour le capteur à vent traditionnel islamique en appliquant le concept de capture des vents dominants.

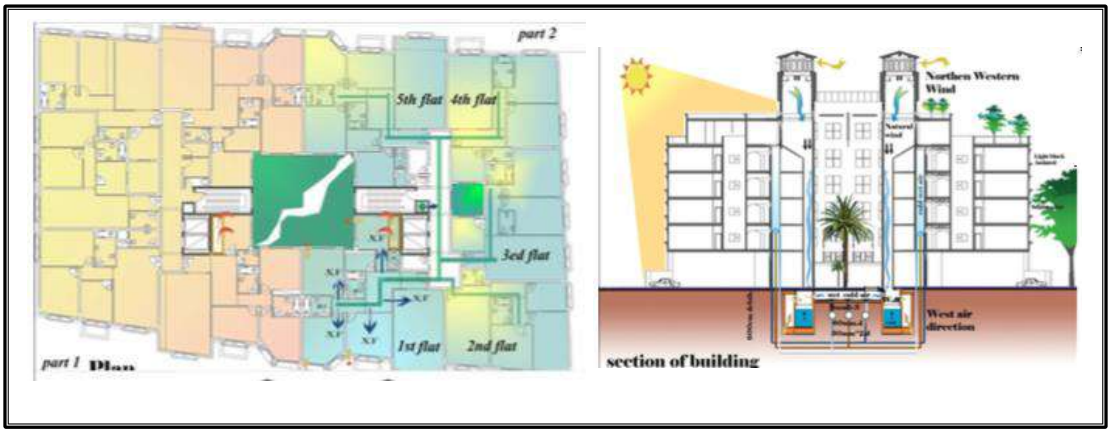


a *b*

Figure 1.38: *Terrain de cricket de Kensington à Barbados (a) Zénith Rhône-Alpes de Saint-Étienne (b)*
Source*: Tolba (2014)*

1.10 Écho de la tour à vent de nos jours

La valeur de l'architecture du passé ainsi que l'aspiration des architectes à la réalisation d'une architecture respectueuse de l'environnement de leur région ont pu inspirer de futures approches novatrices. Dans le monde arabe et islamique, la tour à vent, a trouvé un écho dans notre époque actuelle que les tentatives de Hassan Fathy en Arabie Saoudite et en Égypte étaient les débuts de sa large vulgarisation. De nombreux projets résidentiels contemporains équipés de tour à vent ont eu de succès tels que: la maison de Abdine au Caire (voir chapitre 5) et le bâtiment proposé à usage collectif en R+4 à Alep (sa conception est inspirée de l'architecture locale traditionnelle comme l'utilisation de la cour et la moucharabieh. Voir figure 1.39).



Vue en plan *coupe*

Figure 1.39*: Bâtiment à usage collectif en R+4 doté de tour à vent à Alep au Moyen-Orient*
Source*: Al Suliman, (2014)*

Un autre projet doté de tour à vent comme système de ventilation naturelle et qui a eu un certificat de mérite en « architecture pour le gain social 2015 » et le premier prix Arch marathon 2016 Catégorie de logements et bâtiments mixtes: c'est la médina

moderne à Tadjourah Djibouti à climat chaud et humide, conçue par Urko Sanchez et réalisée en (2014). Il s'agit d'un ensemble résidentiel de 15 maisons possédant certaines singularités (figure 1.40) à savoir:(urkosanchez.com); (www.sos-childrensvillages.org):

1. C'est une médina pour les enfants : un environnement sûr, sans voitures, où les rues étroites et les places deviennent des lieux pour jouer.
2. C'est une médina avec beaucoup d'espaces ouverts et de végétation.
3. C'est une médina d'une architecture locale d'une société sud-africaine où toutes les maisons suivent le même schéma, mais sont disposées de différentes manières, placées les unes à côté des autres, donnant de l'ombre l'une à l'autre et générant des allées entre elles d'une manière apparemment désordonnée.
4. La ventilation naturelle et l'ombrage du soleil ont été intensément étudiés, en introduisant des tours de ventilation naturelle là où cela était nécessaire. Des rues étroites qui se fondent les unes dans les autres, fournissant une ventilation naturelle et des couloirs de vent. Les matériaux utilisés sont très simples : blocs de ciment, structure en béton armé et finition à base de ciment.



Figure 1.40*: La médina des enfants dotée de tour à vent à Tadjourah Djibouti.*
Source*: urkosanchez.com*

Le Bedzed près de Londres est un développement immobilier de zéro énergie et un concept complètement durable. L'une des mesures prises pour l'obtention d'une consommation d'énergie minimale est la ventilation passive avec récupération de chaleur. Les toits des maisons sont caractérisés par de grands capteurs à vent colorés, rotatifs vers la direction des vents (figure 1.41). Ces derniers sont conçus spécifiquement pour les flux d'entrée et sortie d'air qui se transmettent à l'intérieur où l'échange de chaleur s'effectue dedans. Environ 70% de la chaleur de l'air d'exfiltration est récupérée de cette façon (LAZARUS, 2003).

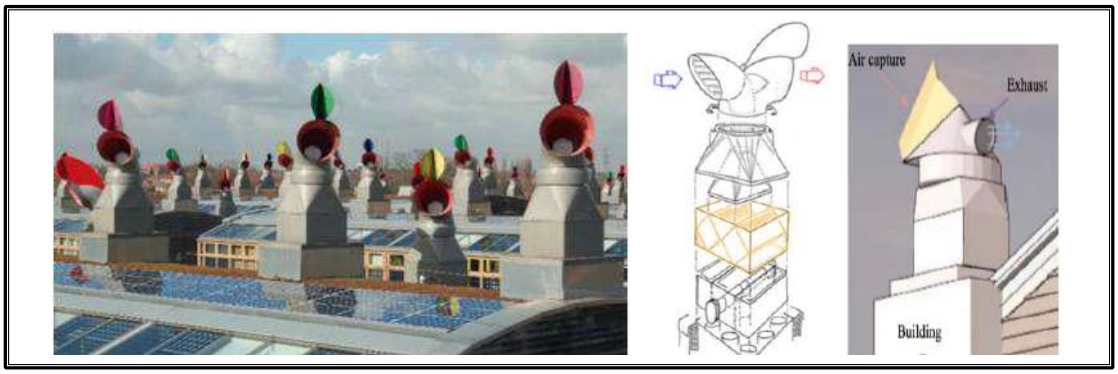


Figure 1.41*: Les tours à vent de Bedzed à Londres*
Source*: Lazarus (2003)*

Deux autres exemples expressifs de l'architecture du 21ème siècle dotés de tour à vent fraîche système spray sont en Australie. Le 1er exemple s'agit d'un immeuble résidentiel collectif vert (SU-FERN TAN, 2007) voir (figure 1.42).



Figure 1.42*: Nouvelle conception des tours fraiches dans une immeuble d´habitation en Australie.*
Source*: Su-Fern Tan (2007)*

Le 2e exemple représente l'équipement Council House2 réalisé en (2006) à Melbourne, classé comme l'édifice administratif le plus vert et le plus sain de l'Australie. Il possède des technologies durables intégrées dans tous ses 10 étages. Les tours fraîches ventilent l'espace de vente au-dessous des niveaux de bureau. L'air extérieur est aspiré à partir des niveaux élevés (8m ou plus au-dessus du niveau de la rue), il est induit dans les

bureaux après rafraîchissement par évaporation lors de son passage dans la tour équipée d'un système de douchette (figure 1.43)

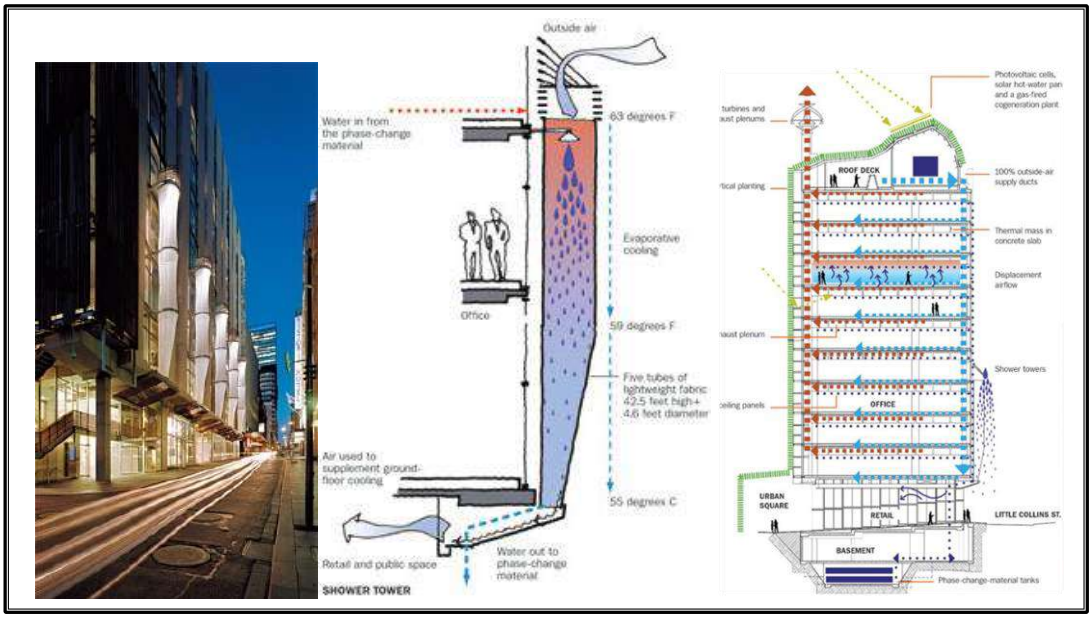


Figure 1.43: *immeuble de bureau doté de tours à vent fraiches à melbourne en australie*
Source: *Su-Fern Tan (2007); https://fre.architecturaldesignschool.com/ch2-melbourne-city-council-house-2-98126*

Conclusion

Autrefois, ce n'était que l'architecture intelligente des bâtiments qui a permis aux gens de tolérer l'été chaud. Les structures de ventilation appelées tours à vent étaient parmi les moyens les plus importants par lesquels l'intérieur était refroidi: en climat chaud et humide par l'effet attrape vent et l'effet de tirage thermique et en climat chaud et sec par le rafraîchissement évaporatif (introduction de l'eau). Les tours à vent constituent dans l'architecture traditionnelle du monde médiéval islamique l'élément principal dans la formation du caractère architectural, de la ligne de ciel et la cause de la diversité formelle dans la masse architecturale**.** La tour à vent était une source d'inspiration pour les poètes et les voyageurs, vu les différentes valeurs qu'elle possédait. Elle a débuté comme un élément purement utilitaire qui répondait aux besoins climatiques, puis avec le temps son rôle a été transformé en élément visuel qui satisfait le besoin esthétique symbolique*: «Le fait que ces éléments soient honnêtes par rapport à ses ressources, son origine, son environnement et de sa mission allouée, elles vont devenir inévitablement esthétiques »* (FATHY, 1969). L'occupation d'un des symboles d'un grand prestige comme la tour à vent et sa continuation d'existence au fil de temps, prouve que ce symbole occupe une place importante dans l'esprit des gens

depuis l'antiquité. La valeur de la tour à vent n'est pas limitée aux atouts tirés par extrapolation de sa valeur historique héritée et réverbérée, elle se réalise aussi par l'influence mutuelle avec son environnement, ce qui lui donne une valeur acquise. La combinaison entre les deux, offre à ce dispositif de ventilation naturelle une signification culturelle. Malgré les valeurs que la tour traditionnelle incarne, elle fait rappeler aux gens la dureté de la vie vécue dans le passé. Et comme ce système dépend fortement de la présence du vent, il devient rentable uniquement quelques mois dans l'année. Donc, le climatiseur présente un substitut alternatif de ce dispositif traditionnel vu qu'il est plus sûr, opérationnel 24h/24h selon le besoin et indépendant des conditions climatiques bien qu'il soit un grand consommateur d'énergie fossile et polluant de l'environnement. Ces dernières années avec la prise de conscience de l'épuisement rapide des ressources d'énergie non renouvelable et les incidences environnementales, il s'avère primordial de s'arrêter de consommer d'une façon abusive des énergies fossiles dans le conditionnement d'air (la climatisation), quand nos ancêtres ont pu diminuer, contrôler les effets nuisibles des conditions microclimatiques par des moyens naturels tels que la tour à vent. Le nouvel intérêt pour les tours à vent a beaucoup à apprendre du patrimoine, mais les solutions purement traditionnelles semblent assez dépassées, difficiles à appliquer et à être acceptées par les architectes contemporains. Il est donc nécessaire de combiner les connaissances traditionnelles et les technologies de pointe pour une tour à vent moderne performante thermiquement, intégrée, adaptée aux besoins et au mode de vie actuel. Cette dernière fera l'objet du chapitre suivant.

Chapitre 2

Tour à vent contemporaine dans le monde et en Algérie

Chapitre 02

Introduction

Hassen Fathy déclare que: « *Avant toute investigation ou proposition de nouvelles solutions mécaniques, les solutions vernaculaires doivent d'abord être évaluées, adoptées, modifiées et développées pour qu'elles soient compatibles avec les exigences contemporaines*.» (BATTLE MCCARTHY, 1999).

Aujourd'hui, l'énergie et sa conservation suscitent beaucoup d'intérêt, elles sont devenues une connaissance commune, la tour à vent peut économiser l'énergie électrique utilisée pour fournir un confort thermique pendant les mois chauds de l'année, en particulier pendant les heures de pic (DEGHNI-SANIJ *et al*., 2015). La tour à vent est un exemple d'architecture durable pour une énergie propre (KHOSRO, 2016), un ancien dispositif de ventilation naturelle, rentable, de faibles coûts (pas de frais de fonctionnement ou de consommation d'énergie), c'est aussi un système plus sain qui ne nécessite que peu d'entretien (KHATAMI, 2009). En revanche, ce dispositif présente beaucoup d'inconvénients. Il permet la pénétration de toutes sorte d'impuretés et présente parfois des dysfonctionnements en cas de faible vitesse du vent ou un refroidissement insuffisant en pleine canicule. Il affecte la conception architecturale et le paysage environnant par la hauteur importante de son conduit, particulièrement en climat chaud et sec et exige une structure spécifique. L'irrégularité et le non-contrôle de la ventilation naturelle fournie, la perte d'une quantité de débit d'air pénétrante au niveau de la tête avant d'arriver au conduit et la limitation du nombre d'installations de tours à vent par édifice, agissent aussi sur son rendement thermique et par conséquent sur le confort de l'usager (J. BACHELOR & G. BACHELOR, 2011).Toutes ces défaillances ont poussé les habitants des maisons dotées de tours à vent à adopter le climatiseur comme dispositif de refroidissement actif, très efficace, facile à installer et à entretenir, bien qu'il soit énergivore, polluant, grand émetteur de CO2 et nocif pour la santé, surtout pour des utilisations abusives. La question de la diminution des taux des gaz nocifs tels que le CO2 et les CFC, dégagés par les climatiseurs, s'est installée durablement au premier plan des préoccupations des opinions publiques de nos jours. L'importance de la tour à vent traditionnelle a permis d'ouvrir des possibilités d'amélioration de sa performance thermique et d'élargissement de ses applications tout en évitant ses inconvénients.

Le présent chapitre traite la tour à vent contemporaine dans le monde comme réponse aux besoins de la société actuelle en ventilation naturelle et rafraîchissement passif. Deux axes clés directeurs à l'étude de ce système seront définis: la tour à vent contemporaine (son principe de fonctionnement, la différence entre la tour traditionnelle et contemporaine, les avantages qu'apporte cette dernière) et quelques modèles d'analyse. L'approche de notre exploration est purement sélective, le choix des modèles est justifié par le fait qu'ils pourraient aboutir aux objectifs du présent travail. Afin d'éviter les inconvénients de la tour traditionnelle et les déficiences de la tour contemporaine, des nouvelles technologies et modèles ont été apportés à ce système par certains chercheurs vis-à-vis de sa performance, son design, sa géométrie et son mode d'assemblage en parallèle ou décalé. L'état de l'art du système tour à vent en Algérie a été aussi discuté à la fin du chapitre à travers quelques recherches et réalisations effectuées notamment au Sud.

2.1 La tour à vent contemporaine et son principe de fonctionnement

Les conceptions contemporaines de la tour à vent tirent profit des principes des capteurs à vent traditionnels, elles les adaptent et les introduisent dans le capteur à vent contemporain. Les bouches d'entrée et sortie d'air de ce dernier ont les mêmes caractéristiques que celles des tours traditionnelles, elles permettent d'introduire de l'air frais et d'évacuer l'air vicié simultanément (MONODRAUGHT, 2003). Le principe de la tour à vent contemporaine consiste à encapsuler tout vent dominant soufflant de toute direction au moyen des segments internes afin de fournir la ventilation requise pour les espaces intérieurs. La différence de pression induite par le vent et la différence de température entre les conditions internes et externes sont la force motrice qui génère la ventilation passive souhaitée en dirigeant l'air dans et hors du bâtiment.

Pour surmonter les problèmes liés à l'application de la tour à vent conventionnelle dans les nouvelles constructions en hiver (la perte de chaleur et la nuisance sonore des vents) et en été (l'inefficacité du système pour fournir une quantité d'air acceptable), les capteurs de vent contemporains ont été équipés de dampers (registres), dont l'angle et la taille ont été optimisés dans les recherches de HUGHES et GHANI (2009). Cependant, peu de recherches ont été faites pour accroitre la quantité totale d'air pénétrant dans la pièce. Dans les capteurs à vent contemporains, pour augmenter la quantité totale d'air frais introduite dans le bâtiment, il faut généralement accroitre la taille et le nombre de capteurs à vent par construction (KHATAMI, 2009).

L'air pénètre dans la tour à vent contemporaine à travers des louvers (lamelles ou volets), dont la forme et la taille ont une influence directe sur l'efficacité du système. Les tours à vent contemporaines profitent des lamelles au lieu des cloisons secondaires verticales traditionnelles (figure 2.1).

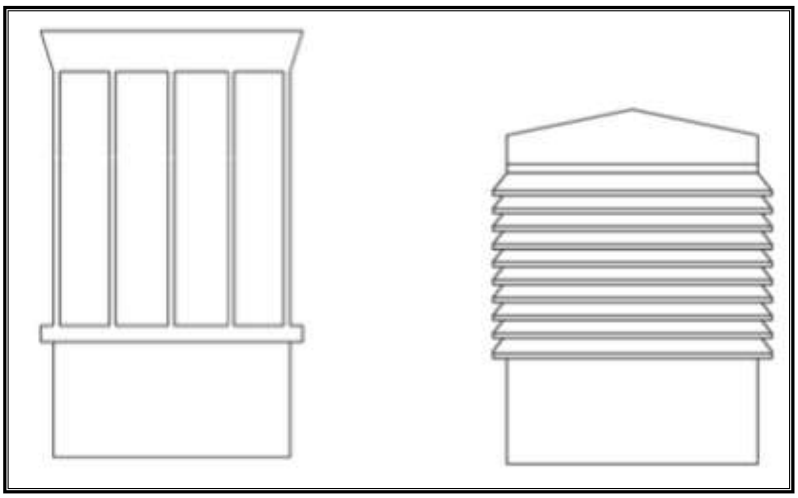


***Figure 2.1**: La tour à vent traditionnelle et contemporaine*
***Source**: Khatami (2009)*

Bien que les lamelles horizontales modernes offrent une meilleure protection contre la pluie, la poussière, les oiseaux, l'ensoleillement direct et augmentent la sécurité des bâtiments, elles peuvent affecter l'efficacité du système.

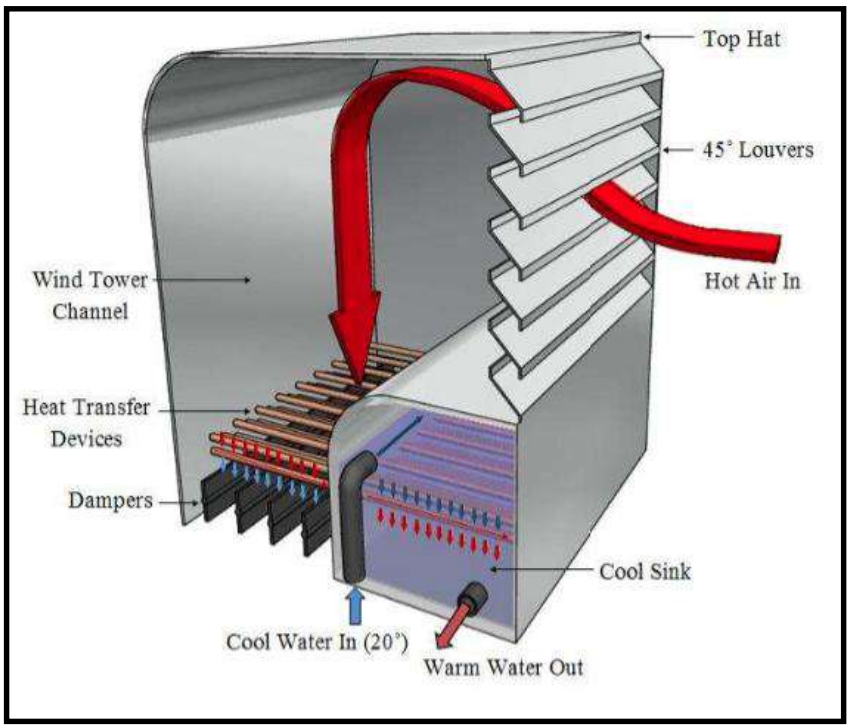


***Figure 2.2**: Principe de fonctionnement d'une tour à vent contemporaine unidirectionnelle avec dispositifs de transfert de chaleur*
***Source**: John Kaiser et al. (2015)*

La figure (2.2) montre le fonctionnement d'un capteur à vent avec dispositifs de

transfert de chaleur disposés horizontalement. L'air extérieur chaud entre dans le capteur à vent via des louvers. Le flux d'air sis dans le conduit est entraîné vers le bas en traversant une série de dispositifs horizontaux qui absorbent sa chaleur et la transfère à un système de refroidissement parallèle. Les dampers réglables à commande manuelle sont montés au bas de l'unité afin de contrôler le débit de l'air extérieur, car les fluctuations de la vitesse du vent externe influencent grandement le taux de mouvement de l'air dans l'espace occupé. L'air refroidi est fourni dans la salle à travers des diffuseurs de plafonds sis sous le capteur à vent (El ZAIDABI, 2008) et (JOHN KAISER *et al.*, 2015).

2.2 La différence entre la tour à vent traditionnelle et contemporaine

Selon KHATAMI (2009), la différence entre la tour à vent traditionnelle et contemporaine se résume dans la (figure2.3) ci-dessous:

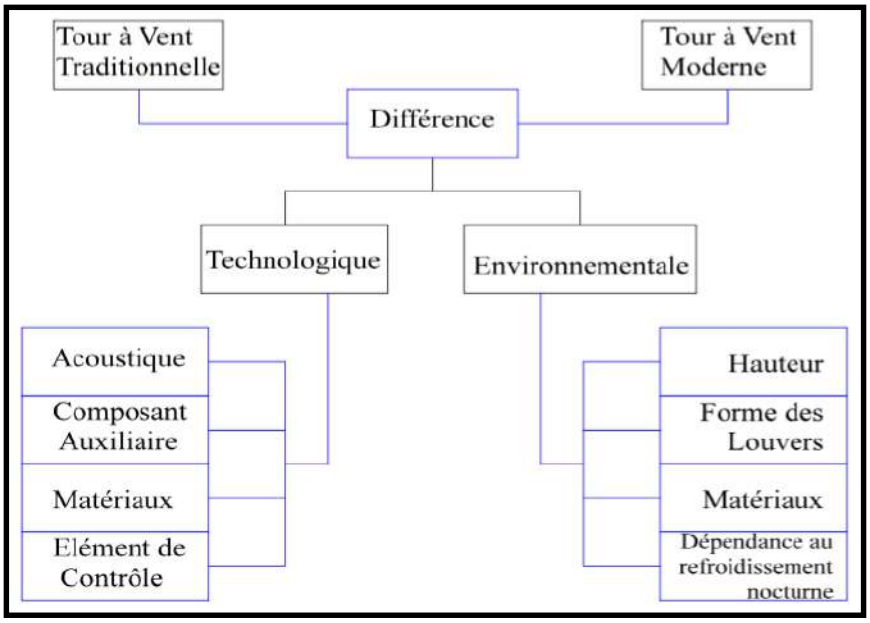


***Figure 2.3**: La différence entre la tour à vent traditionnelle et moderne*
***Source**: Khatami (2009)*

Le premier groupe de différences découle de la disponibilité technologique. De telles technologies incluant des dispositifs de contrôle ou des matériaux acoustiques qui n'existaient pas au moment où les tours à vent traditionnelles ont été conçues. En effet, ce groupe de dissemblances renforce la conception traditionnelle.

Le deuxième groupe comprend les différences de hauteur et la forme des louvers dues aux spécificités de l'environnement et du climat. Toutefois, les points du deuxième groupe pourraient affecter la performance des tours à vent. Ces dissimilitudes peuvent être énumérées comme suit:

2.2.1 Dispositifs de commande

Dans la tour à vent traditionnelle, la trappe d'accès était le seul dispositif de commande pour les utilisateurs, par contre la conception moderne offre plus de possibilités de contrôle aux utilisateurs. Dans les systèmes contemporains, trois principaux types de dispositifs de commande sont appliqués à savoir:

Contrôle automatique: ce sont des dispositifs possédant une sensibilité à la température, au CO2, à la qualité de l'air et à l'humidité de l'air et, selon les besoins de l'utilisateur, ils peuvent être réglés.

Commande manuelle: les dispositifs de commande manuelle agissent de la même manière que ceux dans les tours traditionnelles (ouverture et fermeture manuelle des volets bouche admission d'air). Dans les capteurs à vent modernes, il y a des dampers au niveau du plafond, contrôlés manuellement par l'utilisateur.

Commande du positionneur: contrôle l'air de l'intérieur en appliquant un cadran. Par exemple, les utilisateurs mettent le cadran à 20°C dans ce cas, le registre s'ouvre automatiquement pour permettre à l'air d'entrer dans la pièce jusqu'à ce que la température de l'air intérieur atteigne 20°C.

2.2.2 Transmission du bruit

En entrant l'air de l'extérieur dans la tour à vent, le bruit pénètre aussi. Les capteurs de vent contemporains sont plus isolés contre le bruit extérieur par rapport aux capteurs traditionnels grâce à l'application d'une doublure acoustique dans les passages d'air (MONODRAUGHT, 2006) (figure 2.4).

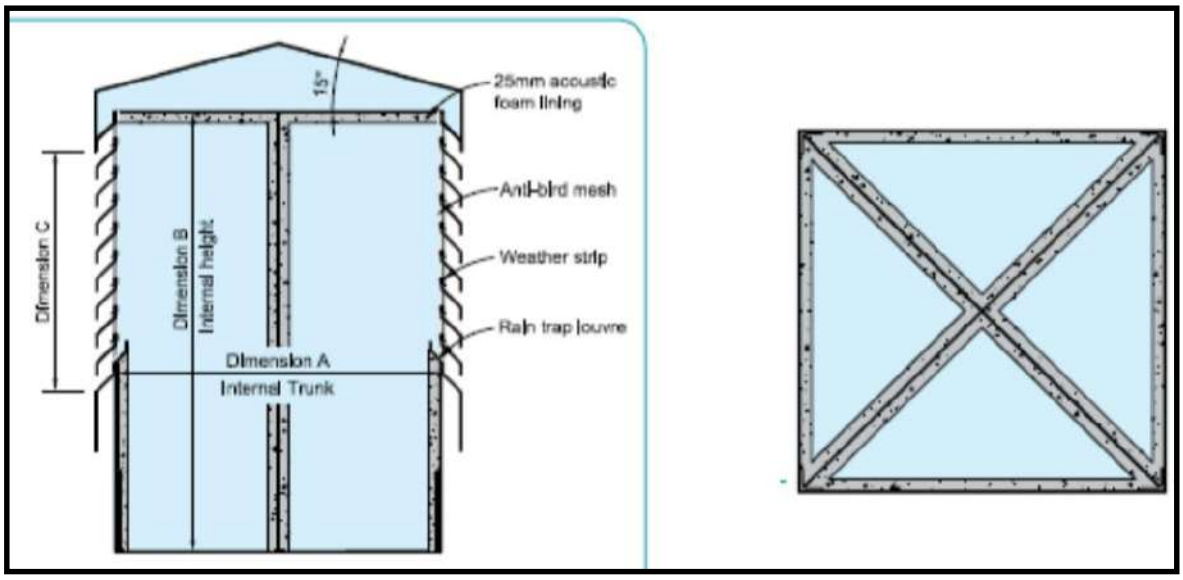


Figure 2.4*: L'isolation acoustique à l'intérieur de la structure du capteur à vent*
Source*: Monodraught (2006)*

2.2.3 Outils auxiliaires

Dans une certaine forme de conceptions contemporaines, la structure de la tour à vent est accompagnée d'outils auxiliaires tels qu'un ventilateur (figure 2.5) ou une source d'eau pour améliorer ses performances (figure 2.6).

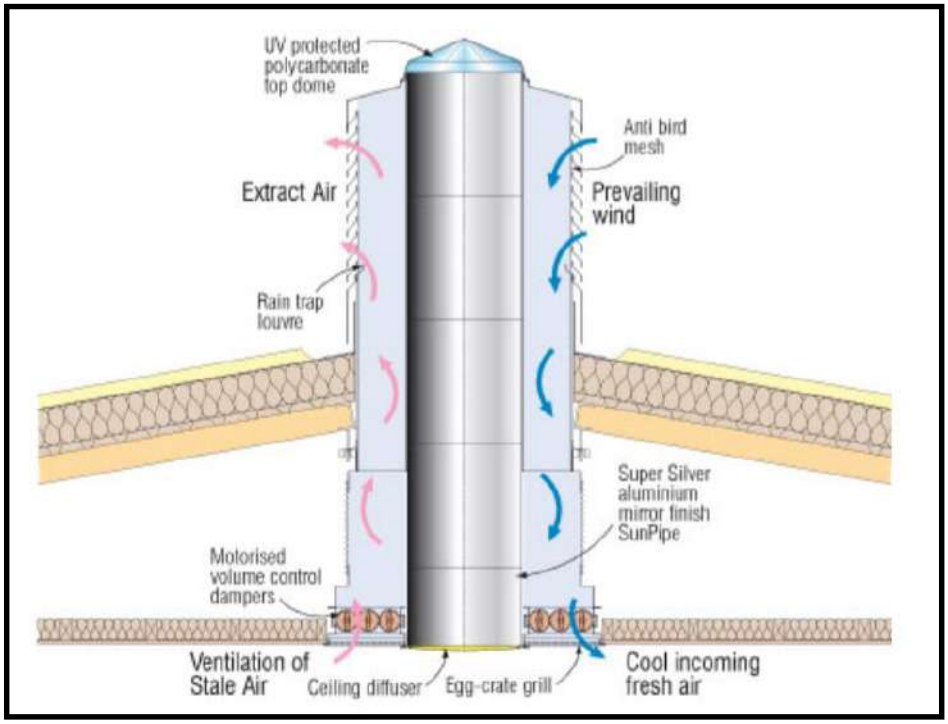


Figure 2.5: *Intégration d'un tube solaire et d'un ventilateur dans un capteur à vent*
Source: *Monodraught (2006)*

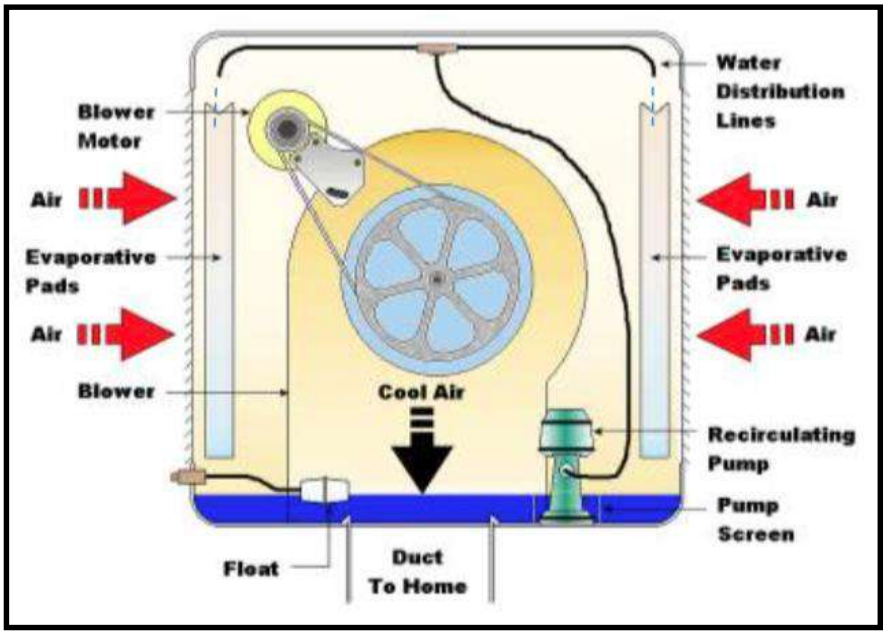


Figure 2.6: *Intégration d'un système de refroidissement évaporatif dans un capteur à vent*
Source: *El Zaidaibi (2008)*

2.2.4 Hauteur

Pour des raisons économiques, esthétiques et environnementales, la hauteur des tours à vent modernes est conçue courte (HARWOOD, 1998). Dans les villes modernes,

l'application d'ouvertures de faible hauteur dans une zone polluée, bruyante et encombrée est essentielle. Par conséquent, les capteurs à vent contemporains courts sont moins susceptibles de tirer parti des différences de température et sont moins performants en effet de tirage thermique (effet de cheminée) par rapport aux systèmes traditionnels (GAGE & GRAHAM, 2000).

2.2.5 Dépendance du refroidissement nocturne

Comme l'écart de température entre le jour et la nuit dans le climat chaud et sec est important, les tours à vent modernes ont plus de possibilités de profiter du refroidissement nocturne par rapport à celles sises dans le climat froid tel qu'au Royaume-Uni. En été, les dampers de contrôle du volume d'air permettent à l'air frais d'entrer dans la pièce pendant la nuit et forcer également l'air vicié de sortir vers l'extérieur via un deuxième compartiment du système côté sous-vent par l'effet de cheminée (HARWOOD, 1998; EL ZAIDAIBI, 2008).

2.2.6 Matériaux de construction

Les matériaux qui ont été utilisés dans la conception moderne de la tour à vent sont légers, ils sont en plastique mince et en tôle (comme l'aluminium) (figure 2.7) et (figure 2.8).



Figure 2.7*: différentes formes de capteur à vent contemporains en tôle ou en plastique mince*
Source*: El Zaidaibi (2008)*

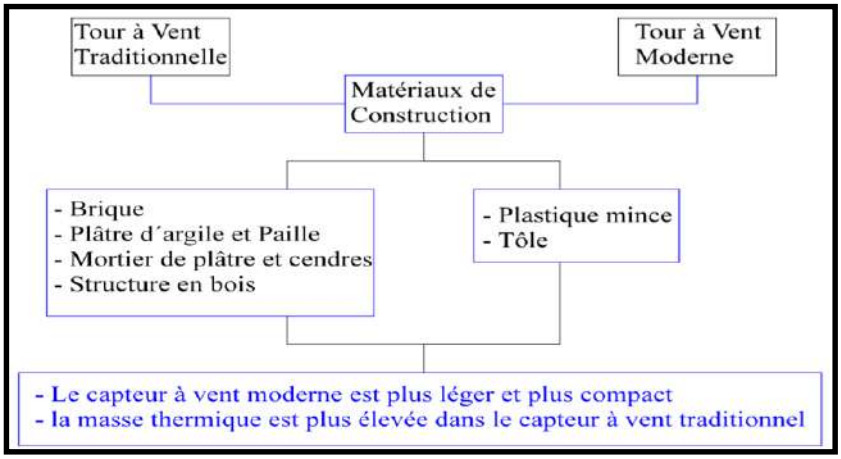


Figure 2.8*: La différence entre les matériaux de la tour à vent traditionnelle et moderne*
Source*: Khatami (2009)*

D'une part, les tours à vent modernes présentent une meilleure protection contre le feu par l'utilisation de la résine ignifuge classe 0 dans leurs conceptions (MONODRAUGHT, 2003). D'autre part, les tours à vent traditionnelles en brique de terre possèdent une capacité thermique importante d'emmagasiner une grande quantité de chaleur pendant les journées chaudes.

• Les capteurs de vent contemporains sont plus légers et plus compacts.

• La Masse thermique est plus élevée dans les capteurs traditionnels.

2.2.7 Forme des louvers

La forme des louvers est fortement liée aux conditions climatiques. Dans les zones à climat chaud et sec, les tours à vent traditionnelles ont de grands volets structuraux verticaux à quatre, six ou huit éléments afin d'empêcher toute pénétration de poussière ou de grande quantité de lumière du jour au lieu d'une porte ou d'une fenêtre (BAHADORI et DEHGHANI, 2008; HAYATY *et al*., 2016). Le principe de fonctionnement des volets traditionnels est de favoriser l'admission et l'extraction de l'air simultanément. Mais, malheureusement, ces louvers n'ont pas assuré convenablement leur fonction allouée; en outre, ils n'étaient pas valables dans les zones à faible vitesse de vent (RAOUFI, 2006; MAHNAZ, 2009).

Les louvers modernes font appel à la structure des volets traditionnels pour surmonter les défauts de cette dernière et concevoir ainsi des éléments contemporains avec moins de défaillances. Les conceptions modernes sont plus fiables, efficaces et sécurisantes par rapport aux traditionnelles (KHAMOUSHIAN, 2011), ils permettent l'entrée ou bien la sortie d'air dans le compartiment. Dans les zones à climat froid, les capteurs à vent modernes, comme ceux conçus au Royaume-Uni, ont plusieurs lames horizontales obliques pour se protéger contre les intempéries et contre toute impureté ou encore contre les oiseaux.

2.3 Avantages des tours à vent contemporaines

- Plus performantes: les tours à vent contemporaines disposent de louvers immobiles afin d'éviter la perte de grande quantité d'air via les orifices de la tête. Par conséquent, elles deviennent plus performantes par rapport aux traditionnelles et plus sécurisées, par l'installation de grille en acier inoxydable à l'intérieur des volets (MAHNAZ, 2009). Ces systèmes offrent un haut niveau de ventilation au bâtiment sans compromettre les performances et un refroidissement nocturne important grâce aux dampers installés (EL ZAIDABI, 2008).

- Fourniture de l'air frais sans poussière ou particules de saleté.

- Possibilité de ventiler et rafraîchir au niveau du plancher sur plusieurs étages et à différentes distances avec la même quantité de débit d'air via des louvers de guidage et de boussole divisant le conduit intérieur de la tour, cette dernière peut desservir trois étages simultanément comme c'est le cas de la faculté ANS au New Jersey USA (MAHMOUDI & MOFIDI, 2008).

- Variété de formes et flexibilité de design: du fait que l'utilisation de louvers affecte grandement la conception des bâtiments, les concepteurs de tour à vent contemporaine diffèrent en fonction des idées et des formes qu'ils préfèrent, bien que cela implique une difficulté de travail pour les constructeurs.

- Système photoconducteur par l'intégration de l'éclairage naturel: les volets modernes présentent un autre avantage qui est l'utilisation de la lumière du jour. Ce système fonctionne à base de tuyaux solaires qui reflètent l'énergie solaire naturelle et renouvelable. Il sert aussi à renforcer les lumières faibles en plein jour et les faire guider à l'intérieur de la construction en utilisant des tuyaux spéciaux couverts d'argent. L'utilisation de ce système combiné de ventilation, de refroidissement et d'éclairage naturel contribue à économiser de l'énergie particulièrement en été (KHAMOUSHIAN, 2011).

- Système plus au moins acoustique: la pollution sonore peut être réduite au minimum en fermant les portes et les fenêtres dans les bâtiments ventilés naturellement. En comparaison avec les standards mondiaux, la transmission du son via des louvers modernes est inférieure de 26 unités à celle d'une fenêtre ouverte. L'ajout d'un isolant phonique de 15mm d'épaisseur à l'intérieur du dispositif rend la transmission sonore inférieure de 36 unités par rapport à la fenêtre lorsqu'elle est ouverte. Par conséquent, le taux se rapproche des limites du confort sonore (MAHMOUDI & MOFIDI, 2008).

- Utilisation dans différentes saisons et anti-incendie: la tour à vent moderne peut être utilisée en différentes saisons. Ce système est équipé de dampers spéciaux qui consomment une faible quantité d'énergie et contrôlent l'afflux d'air. Il existe quatre modes sur le panneau de commande: printemps, été, hiver et automne. En sélectionnant chacun de ces modes et au moyen d'un baromètre et d'un contrôle de la quantité de dioxyde de carbone dans l'air, l'entrée et la sortie d'air et des polluants peuvent être contrôlées facilement et changées en plus du système intelligent. Le taux d'ouverture au soufflage (dampers) est de 100% en été et de 3 à 5% en hiver uniquement pour la ventilation. Les dampers -contrôleurs de l'entrée d'air agissent également en cas d'incendie, ils sont fermés à la suite d'une connexion intelligente avec le système détecteur d'incendie dans le bâtiment et arrêtent également la pénétration d'air afin d'éviter la propagation du feu via la tour à vent à d'autres étages.

-Système totalement sans énergie dans son mode naturel et sans maintenance (EL ZAIDABI, 2008).

2.4 Nouveaux modèles d'analyse de tours à vent dans le monde

Aujourd'hui, alors que le CO2 est l'un des plus préoccupants soucis dans le monde, plusieurs recherches ont été conduites afin de développer de nouveaux modèles de tour à vent selon des technologies innovantes, car ce système passif reste toujours une solution écologique, durable, non polluante, moins couteuse d'énergie et saine, comme il a été déjà cité. Ces modèles se différencient selon plusieurs paramètres à savoir: la performance, la géométrie et le design. La connaissance des paramètres de conception de la tour à vent et les différentes techniques d'amélioration de ces performances expérimentalement ou numériquement sont indispensables pour atteindre les résultats voulus.

2.4.1 Selon le rafraîchissement passif

Le choix a été porté sur le modèle de Bahadori et Dehghani-Sanij où plusieurs techniques de rafraîchissement par évaporation ont été étudiées.

2.4.1.1 Modèles BAHADORI et DEHGHANI-SANIJ (2014)

Pour étudier et évaluer les performances des modèles traditionnels et modernes, des prototypes de chaque type avec des spécifications identiques ont été utilisés. Les nouveaux modèles comprenaient ceux avec des colonnes mouillées et des surfaces mouillées. Toutes les tours à vent avaient les mêmes mesures et étaient assez similaires dans leurs caractéristiques. Dans cette étude, beaucoup des insuffisances de la tour à vent conventionnelle ont été atténuées. Certains changements ont été accomplis pour l'orifice d'entrée d'air et la colonne verticale, par l'ajout de dampers, d'un tissu supplémentaire en toile de jute et de sous conduits en argile tout le long de la colonne. La technique de refroidissement évaporatif du système tour à vent a été discutée, révisée et développée. Le principe de ces améliorations se résume comme suit:

1. La tête: dans les régions où le vent souffle dans des directions différentes, l'utilisation des dampers ou des rideaux unilatéraux est indispensable (figure 2.9). Les entrées face au vent ayant un coefficient de pression d'écoulement positif (Cp) bénéficient de dampers ou de rideaux étirés tandis que les entrées sous vent ayant un coefficient de pression d'écoulement négatif sont bloquées, donc l'air ne peut pas échapper. Pour éviter la perte de pression, les rideaux doivent être en matériaux légers par exemple en plastique. La paroi de séparation intérieure est omise dans les structures modernes, car le débit se déplace de façon permanente vers le bas.

2. La colonne: l'accroissement du transfert de chaleur a été effectué par l'augmentation de nombre de conduits partageant la colonne de la tour à vent et de la capacité de stockage chaleur, par l'adoption de l'argile ou de la terre cuite comme matériaux de construction performants.

3. Le système de refroidissement par évaporation: dans les tours à vent contemporaines, le flux se refroidit sensiblement. L'évaporation refroidit considérablement les parois intérieures. Donc, un système de pulvérisation doté de pompe pour un arrosage approprié des conduits proposés a été introduit pour réduire la température de l'air dans la tour. Ce processus de refroidissement s'effectue parfaitement par rapport aux systèmes traditionnels.

Comme il a été déjà cité, les modèles proposés ainsi que la tour à vent traditionnelle fonctionnent dans des conditions physiques et climatiques identiques à savoir:

Conditions physiques: longueur effective de la colonne: 6m; section transversale: 2 × 1m; section soufflage d'air en bas: 2 × 0,6 m; épaisseur des murs: 10 cm; o4 panneaux mobiles de 1,5m à la partie supérieure de chaque tour.

Conditions climatiques: les tests ont été effectués le 6 juillet où la température maximale était de 35,7°C et la minimale de 17,7°C à 15 heures et 3 heures du matin, respectivement.

Il faut noter que cette étude a traité le débit massique, la température de l'air et l'humidité relative. Les performances des prototypes proposés ont été comparées par rapport à la tour à vent traditionnelle et validées analytiquement, numériquement et expérimentalement.

1er Modèle: Tour à vent avec colonnes mouillées (avec écrans):

Le modèle proposé (figure 2.9) a une tête équipée d'un rideau en plastique et de dampers. Son conduit vertical est partagé en sous-conduits de section carrée de 10 x 10cm et d'une épaisseur de 10mm en argile non vernissés et non émaillés, empilés longitudinalement l'un au-dessus de l'autre. Un pulvérisateur en eau a été installé au-dessus des sous-conduits afin d'humidifier uniformément la surface entière de chacun. L'eau excessive sortante de la colonne est recueillie dans un puisard situé au bas de la tour à vent et réutilisée à l'aide d'une pompe placée en haut au niveau de la tête (figure 2.9). De cette façon, la surface de transfert de chaleur et de la masse ont été augmentées considérablement. La conception proposée avec des colonnes mouillées a fourni un air beaucoup plus frais dans le bâtiment, mais d'une vitesse réduite et cela était dû aux effets des dampers.

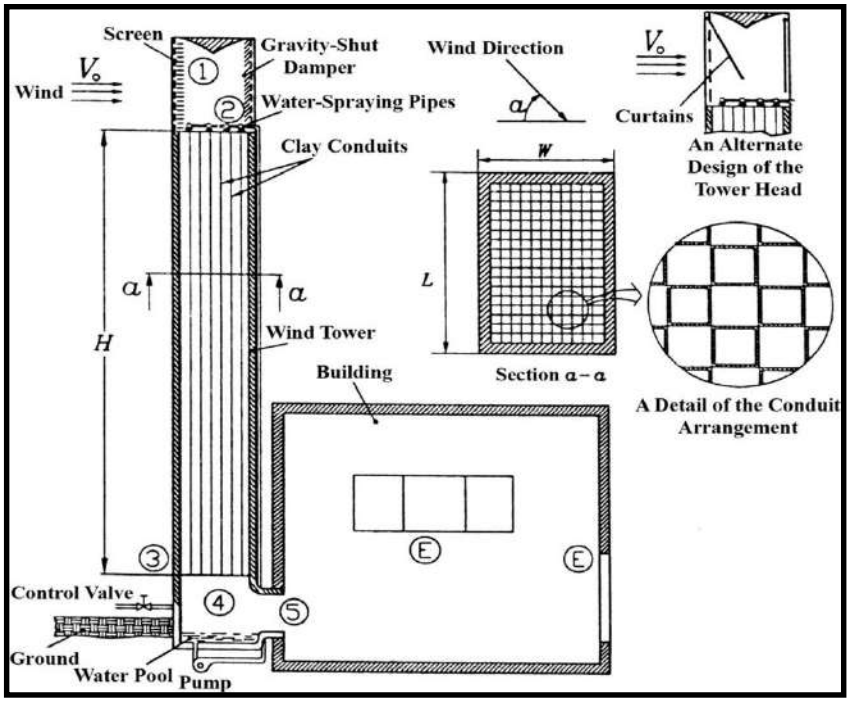


Figure 2.9: *Modèle tour à vent avec colonnes mouillées*
Source: *Bahadori et Dehghani-Sanij (2014)*

L'objectif de l'étude analytique établie sur les nouveaux modèles de tour à vent a été l'exploration du changement de température, de l'humidité relative et de l'écoulement d'air apportés à la construction. Ces paramètres climatiques dépendent de divers facteurs qui ont été divisés en deux groupes principaux:

(a) Conditions climatiques et environnementales, y compris la température ambiante, les rayonnements, la température diurne, l'humidité relative, la vitesse et la direction du flux d'air, la pression de l'air et la température équivalente du ciel.

(b) Les facteurs géométriques et techniques, y compris l'élévation du Badgir, le nombre d'ouvertures d'entrée d'air, le type de rideau ou pads (une série de plaques en toile de jute de 5cm d'épaisseur placée au niveau des orifices et mouillées par pulvérisation d'eau sur elles), les mesures des sous conduits, le type des parois et la quantité d'eau pulvérisée.

Les équations de continuité de mouvement, de la conservation de l'énergie et de débit massique ont été réalisées et vérifiées simultanément pour voir la répartition de la vitesse et la température de l'air tout au long du canal. La distribution de la vitesse de l'air dans la tour à vent a été évaluée par le débit massique de l'air transporté. Après la détermination des différents coefficients de pression, le potentiel de poussée et la chute de pression a été calculé par l'équation 2.1 suivante:

$$\Delta Pa = (0/83 - (-0/25)\tfrac{1}{2}(1/14)(5)^2 = 15/39(Pa) \qquad \text{(équation 2.1)}$$

Tels que: ΔP_a est la perte de pression (en Pa ou N/m^2) et Pa est la densité du flux calculée à une température de 35,7 °C en W/m^2.

- Le flux thermique et la température de l'air ont été évalués par l'équation d'énergie. Le transfert thermique par conduction le long de la hauteur de la colonne a été considéré négligeable, car les différences de température sont trop faibles pour être prises en considération. La température du ciel est obtenue grâce à l'équation 2.2 suivante:

$$T_{sk} = T_{amb}(0{,}8 + 0.004T_{dp}) \quad \text{(équation 2.2)}$$

Tels que:

T_{sk} et $T_{ambiante}$ sont la température absolue (en Kelvin) et T_{dp} est la température du point de rosée selon l'échelle Celsius.

- Pour définir l'humidité, il a été supposé que tous les conduits d'argile soient humidifiés d'une façon uniforme. Il s'agit d'un écoulement turbulent dans les sous conduits, l'équation 2.3 de Lewis a été exploitée pour calculer le débit massique pour l'air et l'eau comme suit:

$$h_d = {}^{h}/_{C_{pm}} \quad \text{(équation 2.3)}$$

Tels que:

h et h_d sont les coefficients de transfert thermique et de masse respectivement.

C_{pm} est la chaleur spécifique de l'air humide (J/kg °C).

La chaleur spécifique de l'air humide est obtenue, sur la base d'un kilo d'air sec. Ainsi, l'équation 2.4 suivante peut être utilisée:

$$C_{pm} = C_p + \omega_a C_{ps}(5.4) \quad \text{(équation 2.4)}$$

C_{ps} et C_p indiquent la chaleur spécifique de la vapeur et de l'air sec, respectivement.

Le taux de l'eau évaporée est fourni par l'équation 2.5 suivante:

$$m_V^0 = h_D A_m(\omega_c - \omega_a) \quad \text{(équation 2.5)}$$

Tels que: $A_m$est la surface de transfert de masse en (m^2); ω_c est le taux d'humidité dans les murs saturés de chaleur en (kg $_{\text{vapeur d´eau}}$/kg $_{\text{air sec}}$) et ω_a est le taux d'humidité de l'environnement tout au long de la journée et de la nuit en (kg $_{\text{vapeur d´eau}}$/kg $_{\text{air sec}}$).

Pendant que l'air coule dans le conduit, l'eau est évaporée adiabatiquement, augmentant de façon permanente l'humidité. Le taux d'humidité dans chaque sous-conduit a été considéré constant, il est calculé par l'équation 2.6 suivante:

$$\omega_{a(i+1)} = \omega_{a(i)} + \frac{m_v^0}{m_a^0} \quad \text{(équation 2.6)}$$

Où: i indique le numéro de conduit et $m^0{}_a$ le débit massique de l'air sec soufflant dans le conduit en (kg/s).

L'altitude du lieu (32m), ses caractéristiques climatiques et la période de l'essai (le 6 juillet à 16h) ont été supposées. Les spécifications physiques de la structure (la masse volumique ρ, la

chaleur spécifique C_p, l'épaisseur x et la conductivité thermique k) ont été déterminées comme suit:

$$\rho_c = 1700\left(\frac{kg}{m^3}\right),\ C_{pc} = 840\left(\frac{J}{kg.K}\right), x_c = 10(mm)$$

- Pour les sous-conduits en argile, on a:

$$k_w = 0.671\left(\frac{w}{mK}\right), \rho_w = 1700\left(\frac{kg}{m^3}\right), C_{pw} = 840\left(\frac{J}{kg.K}\right), x_w = 10(cm)$$

- Pour le mur extérieur du Badgir, on a:

$$\rho_{wt} = 1000\left(\frac{kg}{m^3}\right), C_{pw} = 4180\left(\frac{J}{kg.K}\right), x_{wt} = 1(mm)$$

- Pour l'eau absorbée par les conduits, la longueur est prise comme 1 mètre par partie et le temps t est de 150 secondes.

Résultats et interprétations

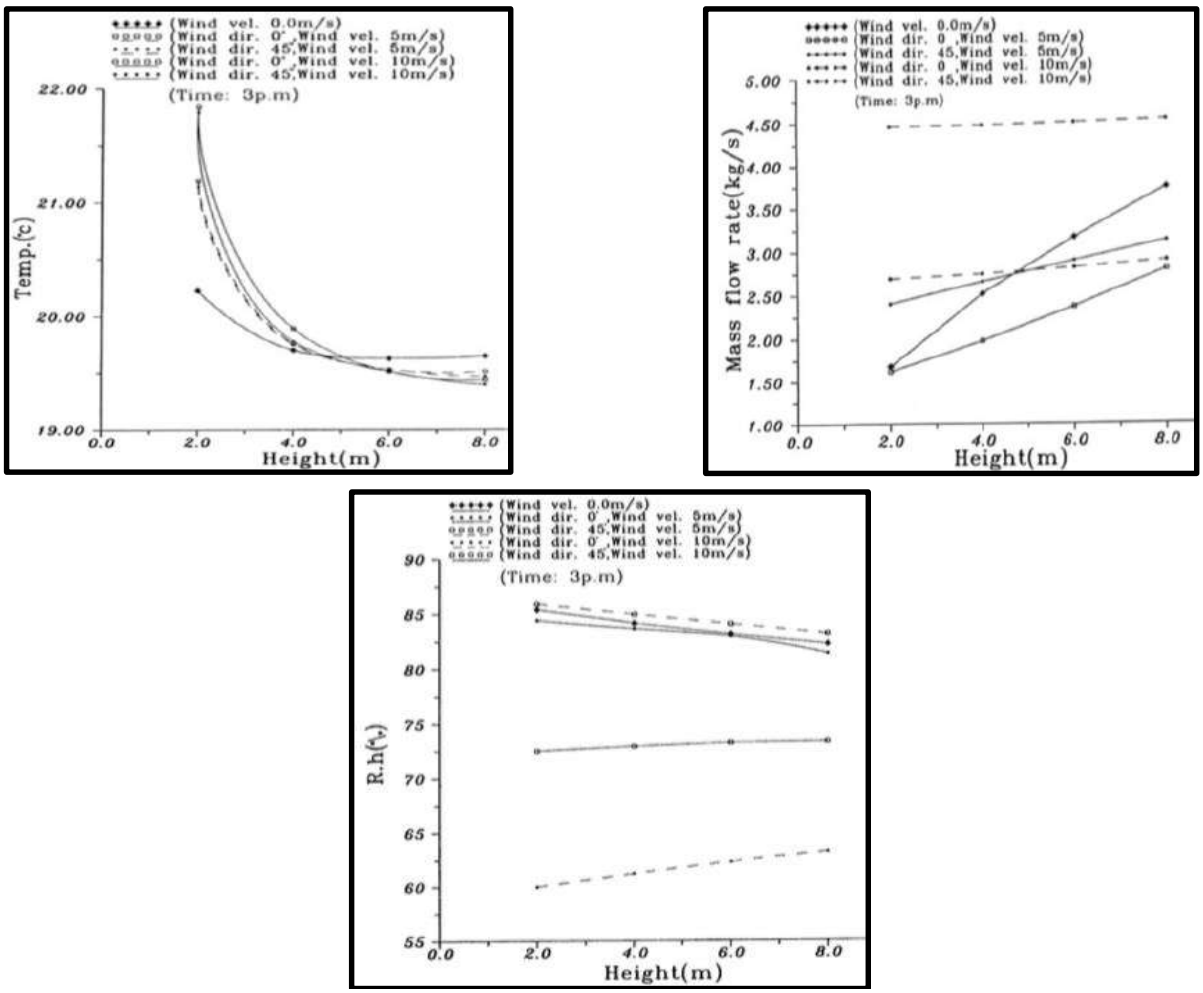


Figure 2.10: *Variation de la (T°C), (HR%) et le Débit d'air au soufflage modèle T à V avec colonnes mouillées*
Source: *Bahadori et Dehghani-Sanij (2014)*

Pour différentes vitesses et directions du vent de 0° et 45°, il a été constaté que la température de l'air au soufflage d'une colonne humide de 6m de hauteur est très proche de la température de l'air humide extérieur (figure 2.10). L'augmentation de la longueur de la colonne provoque la diminution de la température du flux entrant dans le bâtiment. Dans des

structures de moins de 4 m de longueur, avec une augmentation de la vitesse d'écoulement, la température de l'air entrant dans le bâtiment augmente. Dans la tour à vent de plus de 5 m de hauteur, l'augmentation de la vitesse de l'air entraîne une diminution de la température. Pour les colonnes de plus de 7m de longueur, l'air entrant dans le bâtiment jouit d'une température constante, car l'humidité relative augmente de façon à ce qu'elle soit saturée en bas (figure 2.10). Ensuite, il reste inchangé, car il ne peut pas refroidir en raison de l'évaporation et sa température reste la même que l'air humide ambiant. Le débit massique de l'air entrant dans la tour à vent a un rapport direct avec la vitesse de l'air (figure 2.10). En raison des écrans unilatéraux (dampers), la direction du flux d'air n'a pas d'impact considérable sur le débit massique de l'air pénétrant. L'augmentation de la hauteur du conduit humide réduit le flux massique en raison de la baisse de pression le long des canaux. Le débit massique est renforcé exceptionnellement, lorsque la vitesse du vent est nulle. Dans ce cas, l'augmentation de hauteur provoque la flottabilité et accentue l'effet de tirage thermique.

2e Modèle: Tour à vent avec surfaces mouillées

Pour les zones où la vitesse du vent est faible, le modèle de tour à vent avec surfaces mouillées peut être utilisé. Le modèle proposé se compose d'une série de plaques en toile de jute de 5cm d´épaisseur (figure 2.11) appelées «Pads», placées au niveau des orifices d'entrée d'air et mouillées par pulvérisation d'eau. L'air passant à travers la série de toile est refroidi par évaporation et par conséquent sa densité augmente. Étant donné que l'air refroidi est plus lourd que l'air ambiant, un écoulement d'air vers le bas sera produit.

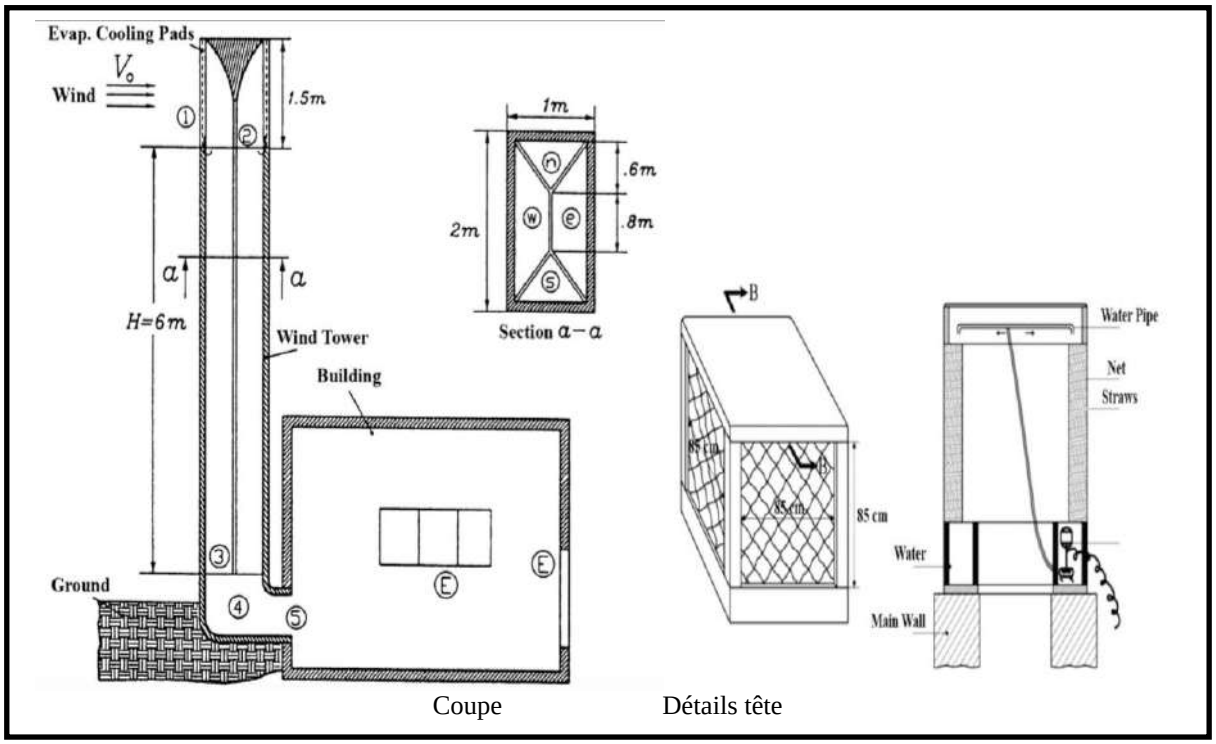


Figure 2.11*: Modèle tour à vent avec surfaces mouillées*
Source*: Bahadori et Dehghani-Sanij (2014)*

Par la résolution des équations de continuité, de la conservation d'énergie et la continuité de mouvement simultanément, la vitesse de l'air et l'humidité relative tout au long de la tour à vent ont été calculées comme suit:

La chute de pression des pads en toile de jute mouillée peut être obtenue grâce aux procédures expérimentales et expérimentales suivantes (équation 2.7) et (équation 2.8):

Lorsque $v<1, \Delta Pp = 1.029Vdp0.755$ (équation 2.7)

Et pour :

$1\leq V \leq 2, \Delta Pp = 4.9\ (0.1885V4- V3+ 2.091V2-1.42V+ 0.4056)\ dp0.755$ (équation 2.8)

Tels que: ΔPp est la chute de pression d'air dans les pads en (Pa), dp est l'épaisseur de la toile en jute en (cm) et V est la vitesse de l'air dans les pads en (m/s) .

Pour calculer la vitesse de l'air V(m/s) dans les pads, l'équation 2.9 ci-dessous a été utilisée:

$$gh_t(\Delta\rho) + \Delta C_p(\tfrac{1}{2}\rho_0 V_0^2) = \sum \Delta P + \Delta P_p \quad \text{(équation 2.9)}$$

Tels que: ΔC_p est le coefficient de différence de pression entre l'entrée supérieure, les portes et les fenêtres du bâtiment, V_0 et ρ_0 sont la masse et la densité du flux, h_t est l'élévation de la colonne (cm), g est l'accélération de la gravité et ΔP est la chute de pression dynamique et de friction dans le Badgir.

Lorsqu'il n'y a pas de mouvement de l'air, le processus est traité par l'équation 2.10 suivante:

$$gh_t(\Delta\rho) = \sum \Delta P + \Delta P_P \quad \text{(équation 2.10)}$$

Pour évaluer la chute de température sèche de l'air traversant la toile de jute mouillée, les équations expérimentales suivantes ont été proposées:

$$\eta = \frac{T_a - T_t}{T_a - T_{wb}} = \frac{\Delta T}{\Delta T_{wb}} \quad \text{(équation 2.11)}$$

Tels que: Ta = température de l'air à l'extérieur (°C), Tt = température de l'air après avoir traversé la toile de jute (°C) et Twb = Température humide (wet-bulb temperature).

L'équation 2.12 suivante a été proposée pour η:

$\eta = f(V) + L(d)$ (équation 2.12)

Lorsque V <1, l'équation 2.13 suivante a été appliquée:

$f(V) = -0.02325V + 0.899$ (équation 2.13)

Quand 1 <V <2, l'équation 2.14 suivante a été appliquée:

$$f(V) = -0.0452V4 + 0.26V3 - 0.635V2 + 0.57774V + 0.714 \quad \text{(équation 2.14)}$$

Lorsque l'épaisseur de la toile de jute est d ≤ 10mm, l'équation 2.15 suivante a été proposée:

$$L(d) = [0.04631 - 1.444 \times 10^{-3}d]\mathrm{Ln}\frac{d}{2.5} \quad \text{(équation 2.15)}$$

L'humidité relative de l'air dans la tour à vent est obtenue par l'équation 2.16 suivante:

$$h = C_p + \omega h_g \quad \text{(équation 2.16)}$$

Tels que:

C_p = chaleur spécifique en (kJ/kg.K),

T= température de l'air sec en °C,

ω teneur en eau de l'air en kg de vapeur d'eau par kg d'air sec, et h_g = enthalpie de la vapeur saturée en (kJ/kg).

En raison de la constance de l'enthalpie d'humidité passant par la toile de jute, nous pouvons avoir l'équation 2.17 suivante :

$$C_p T_t + (\omega h_g)_t = C_p T_a + (\omega h_g)_a \quad \text{(équation 2.17)}$$

Tels que:

Les indices t et a concernent respectivement les flux d'air intérieur et extérieur.

Donc, si les caractéristiques de l'air à l'extérieure ainsi que la température de l'air sec à l'intérieur de la colonne (à côté de la toile de jute) sont connues, le rapport humidité/humidité relative du flux d'air à côté des pailles de la toile de jute peut être évalué. Le rapport d'humidité ne change pas lorsque l'air se déplace vers le bas à l'intérieur de la colonne, mais l'humidité relative diminue en raison de l'augmentation de la chaleur de l'air sec. Cela se produit en raison du rayonnement thermique des surfaces intérieures et de la circulation de l'air.

Résultats et interprétations

L'évaporation provoque une diminution considérable de la chaleur de l'air. Par conséquent, la température de l'air la plus basse est constatée dans la zone proche de la toile de jute. Plus le flux se déplace, plus sa température augmente. Cette augmentation de température a une corrélation directe avec la hauteur de la tour à vent. Plus cette dernière est élevée, plus la température de l'air augmente. D'autre part, la hauteur de la colonne accroit également la flottabilité (Δρgh). Donc, lorsque la vitesse de l'air est faible, la hauteur de la colonne influe grandement sur la vitesse du flux massique de l'air pénétrant dans le bâtiment (figure 2.11).

Le débit d'air dépend de certains paramètres tels que le type et l'épaisseur de la toile, la

décharge de la pompe électrique, l'élévation de la structure et les dimensions de la section transversale, la résistance au mouvement de l'air (y compris la chute de pression dans les coudes, les trappes d'entrée et de sortie et les pailles), la température ambiante et l'humidité relative.

Construction et essais des modèles proposés (Badgirs)

Les tests ont été effectués du 5 septembre au 4 octobre 2001. Trois tours à vent adjacentes ont été réalisées. La tour à vent traditionnelle a été implantée au milieu des deux nouveaux prototypes avec colonnes et surfaces mouillées. Les surfaces étaient censées être lisses pour éviter la chute de pression du débit de croisement et isolées par du ciment blanc d'une texture rugueuse. L'écoulement excessif de l'eau a été utilisé pour l'irrigation de la verdure depuis le bassin. Dans l'utilisation réelle de Badgir, l'eau excessive est réutilisée pour le mouillage des pads via une pompe à eau. En pulvérisant de l'eau et en gardant les sous conduits et les pads humides dans le Badgir avec colonnes et surfaces mouillées respectivement, les parois de la structure étaient également humidifiées. La pénétration de l'eau à travers les parois adjacentes voisines a rendu les parois de la tour à vent traditionnelle aussi humides. Au cours du test, aucune tentative n'a été faite pour empêcher l'humidification de ces murs. Pour cette raison, les résultats obtenus à partir du test du Badgir traditionnel situé au milieu ont reflété un refroidissement par évaporation dans la structure.

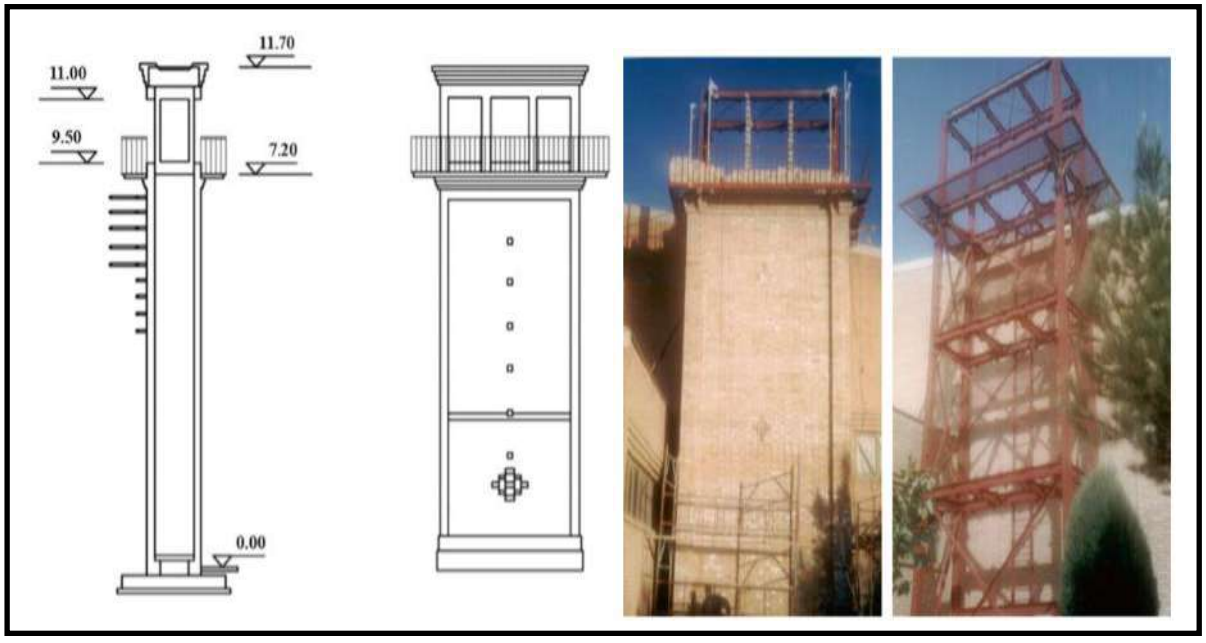


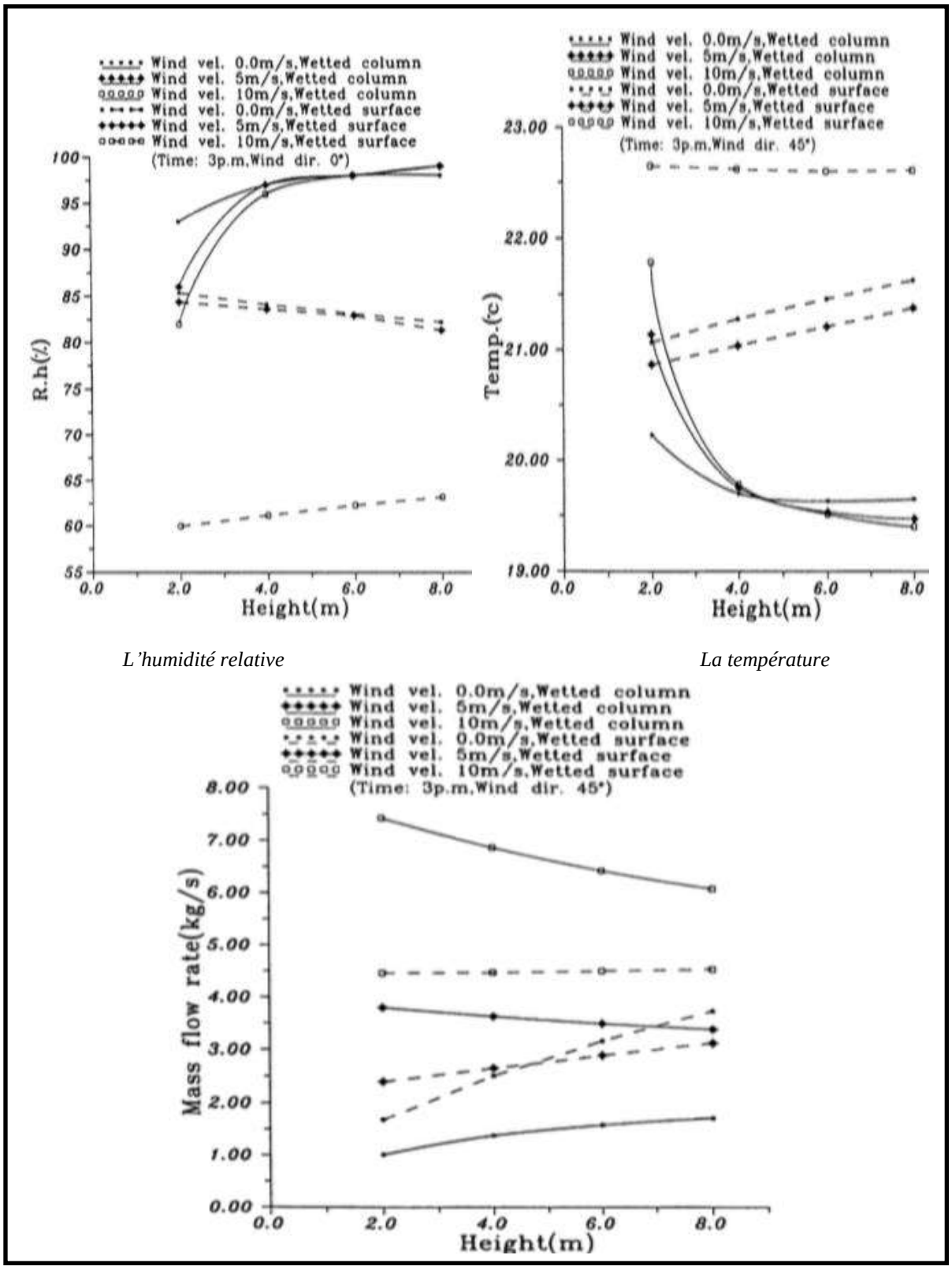
***Figure 2.12**: Réalisation des prototypes proposés des tours à vent*
***Source**: Bahadori et Dehghani-Sanij (2014)*

Les résultats de la prise des mesures effectuée le 17 septembre 2001 à 3 heures du matin sont mentionnés ci-dessous (tableau 2.1):

Tour Traditionnelle		Tour avec Colonnes		Tour avec Pads		Tour avec Toile de jute		L´air Extérieur		
RH(%)	T(°C)	RH(%)	T(°C)	RH(%)	T(°C)	RH(%)	T(°C)	RH(%)	T(°C)	V_0 (m/s)
54	21,4	62	20	69	19,5	64	20	14.5	36	0,1

Tableau 2.1*: Comparaison des performances des différents systèmes de refroidissement évaporatif*
Source*: Bahadori et Dehghani-Sanij (2014)*

Plusieurs études comparatives ont été faites dans le but de valider le système le plus performant en refroidissement évaporatif à savoir: entre modèle tour à vent avec colonnes mouillées et surfaces mouillées (figure 2.13) et entre tour à vent traditionnelle et modèle avec colonnes et pads mouillés. Les résultats sont mentionnés ci-dessous:



L'humidité relative *La température*

***Figure 2.13**: Comparaison de la performance thermique entre tour à vent avec colonnes et Pads humides*
***Source**: Bahadori et Dehghani-Sanij (2014)*

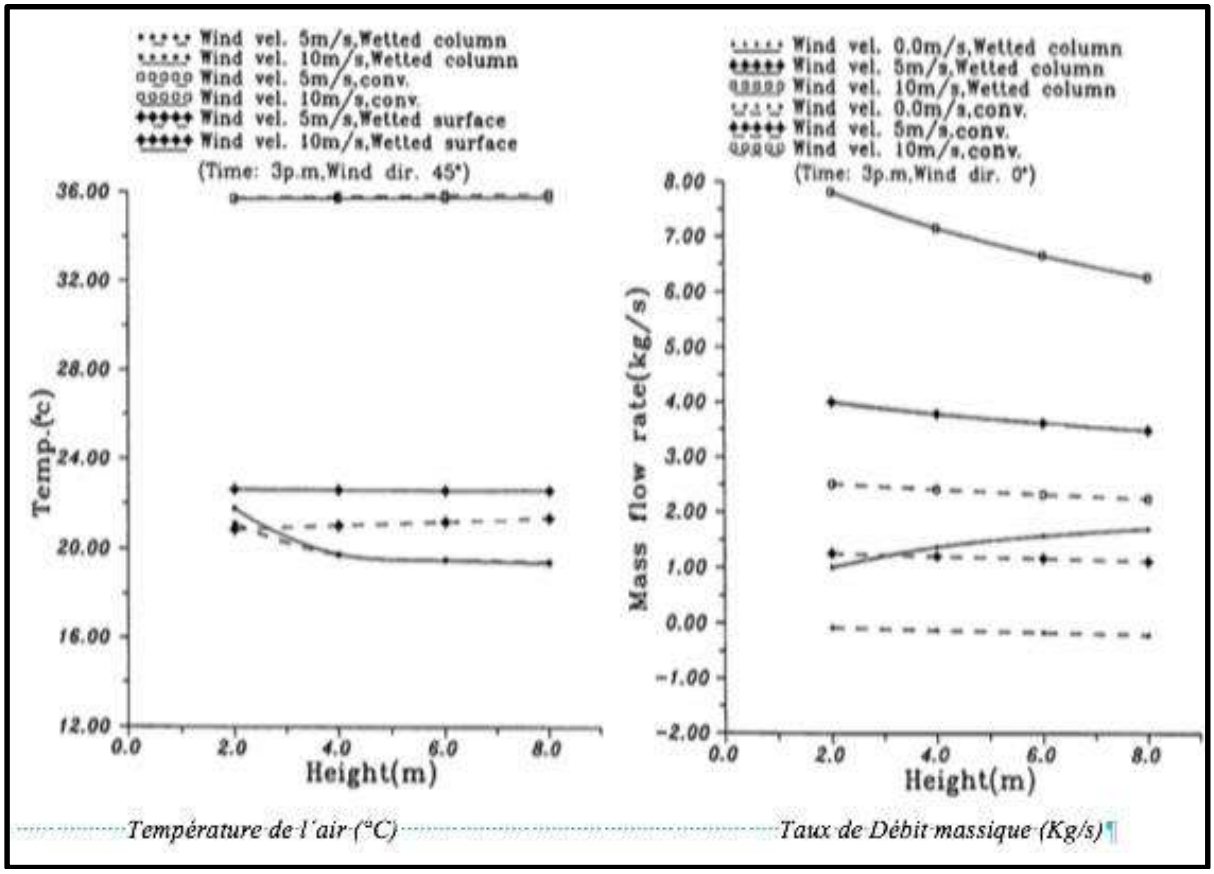


Figure 2.14: *Comparaison entre tour à vent traditionnelle, avec colonnes et Pads humides*
Source: *Bahadori et Dehghani-Sanij (2014)*

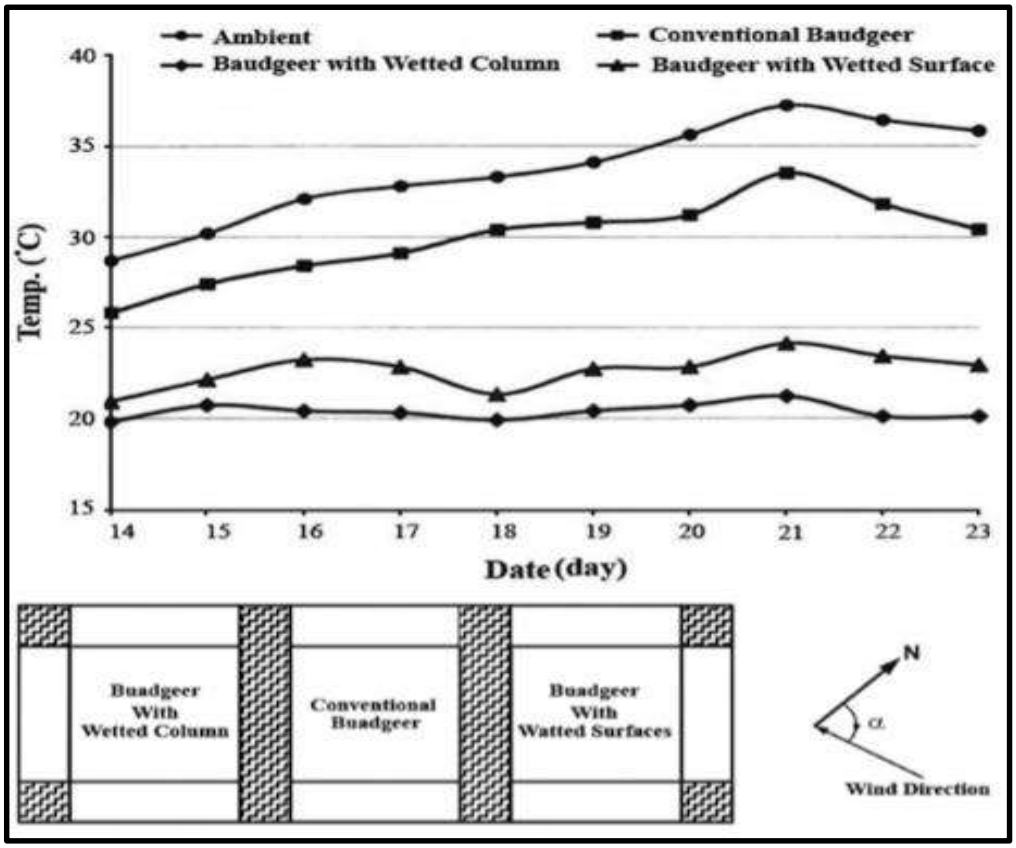


Figure 2.15: *Comparaison de la T(°C) entre tour à vent traditionnelle, avec colonnes et Pads humides le 10/9/2003*
Source: *Bahadori et Dehghani-Sanij (2014)*

Les résultats obtenus par comparaison entre les deux nouveaux modèles ont montré que la tour à vent avec colonnes humides est relativement plus performante en refroidissement évaporatif par rapport à la tour à vent avec pads. L'emploi d'une pompe électrique pour la réutilisation de l'eau est obligatoire dans les deux cas de figure avec pads et colonnes mouillées.

- La comparaison de la performance de la tour à vent établie entre les différents systèmes de refroidissement évaporatif adoptés (figure 2.14) et (figure 2.15), a montré que l'air sortant des Badgirs avec surfaces mouillées et colonnes mouillées présentait une température plus basse et une humidité relative plus élevée que celles de la tour traditionnelle, tandis que cette dernière a connu le taux de débit d'air le plus élevé en raison d'une plus baisse pression.

-La structure équipée de pads de type toile de jute a fonctionné un peu mieux que celles avec colonnes. La performance du Badgir avec colonnes humides était la plus mauvaise parce que les sous conduits n'étaient pas complètement mouillés pendant le test. L'eau de pulvérisation pourrait mouiller soigneusement la toile de jute sans mouiller les sous conduits. La toile de jute est plus avantageuse en refroidissement évaporatif par rapport aux autres systèmes (pads ou colonnes) vu son coût faible. Donc les nouveaux modèles dépassent les tours à vent classiques en termes de débit d'air et en refroidissement évaporatif. Selon Bahadori et Dehghani-Sanij (2014), la vulgarisation de ces deux modèles colonnes humides ou pads de toile de jute dans les régions chaudes et arides peut apporter d'importantes économies dans l'énergie électrique pendant les mois chauds.

2.4.2 Selon la ventilation naturelle

2.4.1.2.1 Modèle GOUDARZI *et al*. (2015)

Navid Goudarzi *et al*. ont étudié théoriquement et expérimentalement une nouvelle conception de tour à vent productrice de l'énergie. Le modèle proposé exploite la différence de pression créée par l'écoulement du vent autour de la tour pour produire de l'électricité. La (figure 2.16) montre le schéma de la tour à vent avec ses principaux composants: un toit, une structure, deux tuyères (nuzzles) et deux turbines à tambour.

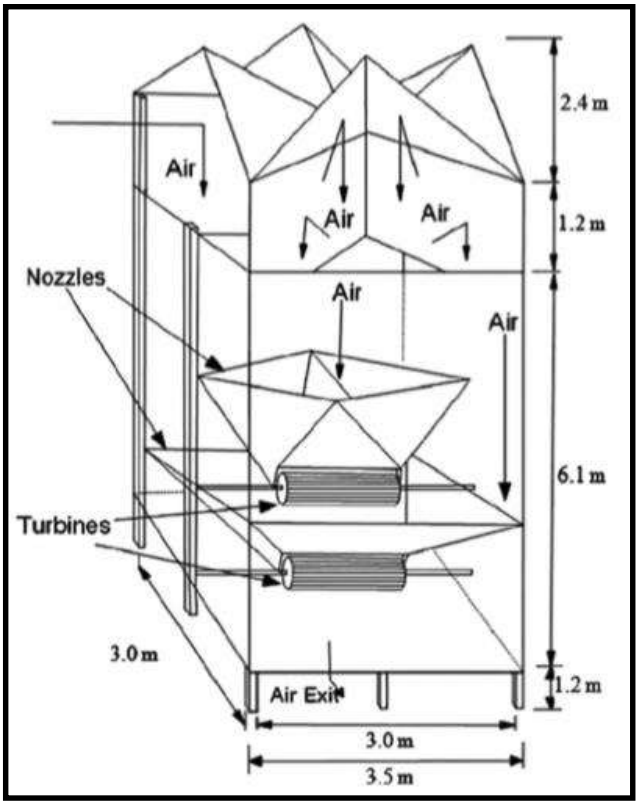
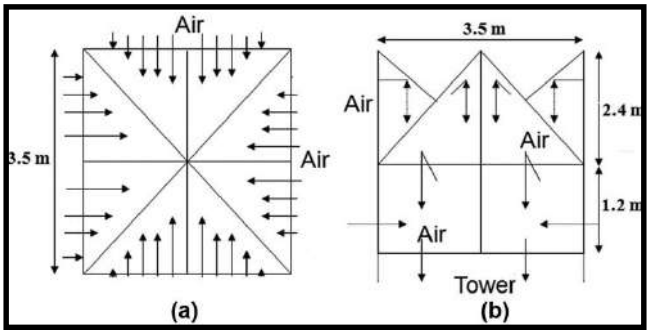


***Figure 2.16**: Schéma modèle Tour à vent avec turbines à tambours et tuyères*
***Source**: Goudarzi et al. (2015)*

Comme l'angle optimal de l'orientation de la tour à vent dépend de la structure du site et de la direction du vent, et comme les types de tours à vent existants varient entre unidirectionnels, bidirectionnels ou multidirectionnels, la tête du modèle proposé a été divisée en quatre quadrants de 45° ayant un toit incliné à deux versants (figure 2.17). Cette forme pointue a pour but de diriger et canaliser le vent pénétrant vers le sens des tuyères. Ces dernières font accélérer l'écoulement de l'air pénétrant en diminuant sa pression par l'effet de venturi (réduction de la section).

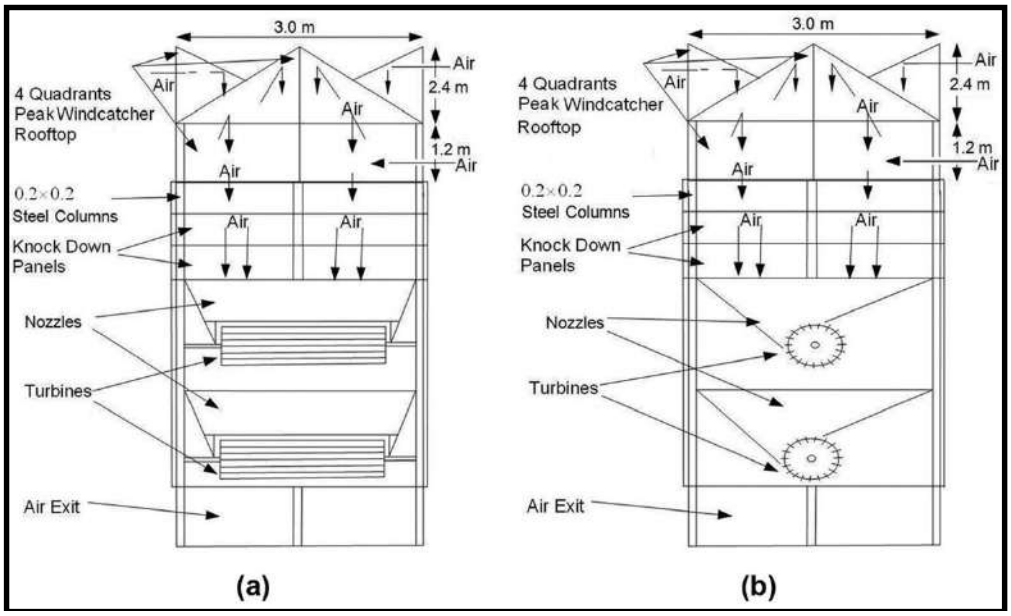


Vue de dessus *Vue de face*

***Figure 2.17**: Découpage de la tour à vent en 4 quadrants de 45°d'angle*
***Source**: Goudarzi et al. (2015)*

L'air sortant de la tuyère, avec une vitesse supérieure par rapport à celle initiale d'entrée, fait tourner la turbine à tambour et par conséquent convertir l'énergie mécanique (rotative) en énergie électrique via des générateurs dont la valeur est inférieure ou égale à 5Kw

(GOUDARZI et ZHU 2013; ZHU *et al*. 2012). Différents scénarios ont été mis en exergues en variant le nombre et la géométrie d'entrée et sortie tuyère pour obtenir un arrangement adéquat ayant une performance optimale. La conception de la géométrie sortie tuyère a maximisé la puissance du vent capturé par les turbines en concentrant le flux sur ses ailettes (FOOTE & AGARWAL, 2011); (MASHUD & ALI, 2011); (WANG *et al*., 2012) (figure 2.18).

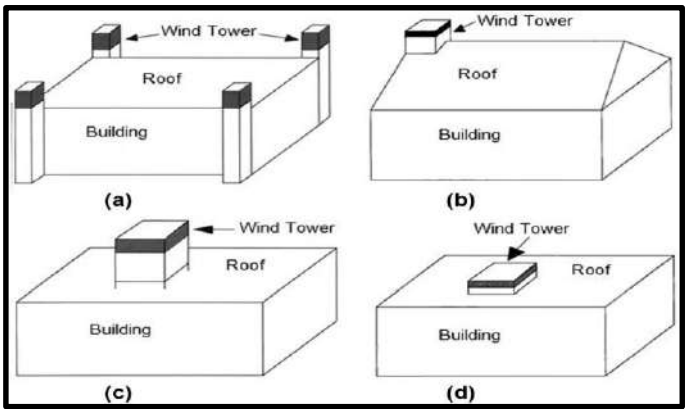


(a) Vue de face *(b) Vue en coupe transversale*

***Figure 2.18**: Aménagements des diffuseurs et des turbines à tambour dans la tour à vent*
***Source**: Goudarzi et al. (2015)*

Pour les zones urbaines où le vent souffle à faible ou moyenne vitesse, les turbines à tambour ont une meilleure efficacité (OHYA & KARASUDANI, 2010).

En outre de l'utilisation des techniques théoriques et numériques, une évaluation météorologique in situ a été effectuée afin d'optimiser le modèle proposé et voir l'impact visuel de l'installation de plusieurs tours à vent dans des endroits différents sur l'organisation de l'environnement avoisinant (figure 2.19).

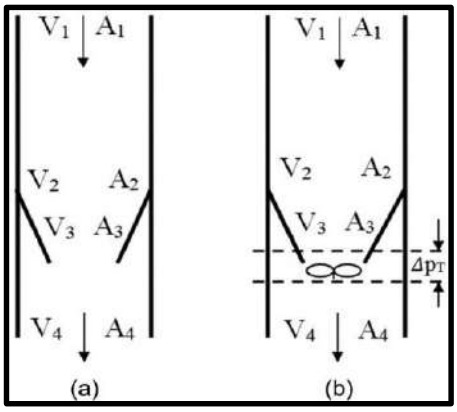


(a) dans les côtés (b) sur un toit en pente (c) sur un toit plat et (d) à l'intérieur du bâtiment

***Figure 2.19**: Les différentes possibilités d'implantation de la tour à vent dans un bâtiment*
***Source**: Goudarzi et al. (2015)*

Le modèle mathématique

Un modèle mathématique est développé sur la base des équations de Navier Stokes pour: prédire le comportement de l'écoulement d'air à l'intérieur du conduit, définir le coefficient de la vitesse réelle/vitesse théorique ainsi que déterminer une conception avec un rendement optimal (vitesse de sortie air V4 max). L'efficacité d'une tour à vent dépend du débit massique au sein de la tour et de la différence de pression à travers ses extrémités (figure 2.20).



Un conduit vertical dégagé avec tuyère un conduit vertical avec une turbine

Figure 2.20*: Coupe schématique dans le conduit*
Source*: Goudarzi et al. (2015).*

La motion générale d'écoulement du fluide est décrite par l'équation de Navier-Stokes (MUNSON *et al*., 2009) équation (2.18):

$$\rho\left(\frac{\partial V}{\partial t} + V(\nabla.V)\right) = -\nabla p + \nabla.T + B \qquad \text{(équation 2.18)}$$

$$V = u\hat{i} + v\hat{j} + w\hat{k}$$

Où:

$\boldsymbol{\rho}$ est la densité de l'air (kg/m^3); $\boldsymbol{V}$(m/s) est le vecteur de la vitesse d'écoulement avec ses composantes u, v et w dans les directions x, y et z, respectivement; $\boldsymbol{p}$ est la pression (Pa); $\boldsymbol{T}$ est le tenseur de contrainte totale (Pa ou N/m^2); $\boldsymbol{B}$ représente les forces du corps agissant sur le fluide (N); et ∇ est l'opérateur Del.

Le flux d'air est supposé i rotationnel dont la densité est constante; le débit à basse vitesse est incompressible; les effets de viscosité sont considérés négligeables pour une tour à vent courte. Par conséquent, l'équation de Navier-Stokes du mouvement d'écoulement est simplifiée à l'équation de Bernoulli donnée dans l'équation 2.19 (GOUDARZI *et al*., 2015):

$$\frac{V^2}{2} + gz + \frac{P}{\rho} = constant \qquad \text{(équation 2.19)}$$

Où:

$\boldsymbol{g}$ est l'accélération de la pesanteur (m/s^2) et $\boldsymbol{z}$ est la hauteur en (m).

À partir de l'équation de Bernoulli et la conservation de la masse, la vitesse de l'air induit à la sortie de la tuyère (nozzle) est calculée comme suit (équation 2.20):

$$V_4 = C_{v,A}\sqrt{\frac{2(p_{01}-p_4)}{\rho} + 2g(Z_1 - Z_4)} \qquad \text{(équation 2.20)}$$

Où:

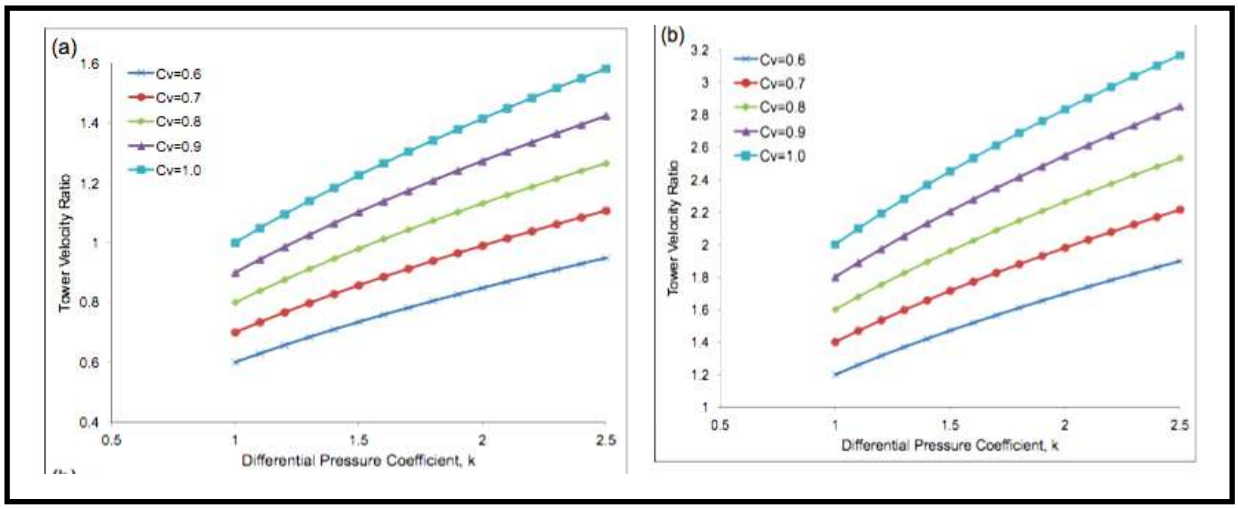
P01 et ***P4*** en (Pa), représentent respectivement la stagnation et la pression statique à l'entrée et sortie air de la tuyère; ***Z1*** et ***Z*** en (m) sont respectivement la hauteur du conduit tour (entrée air) et la hauteur de la tuyère (sortie air); et ***Cv*,A** est le coefficient de la tour en conditions d'exploitation, qui inclut l'effet des variations de la zone entre l'entrée de la tuyère et la vitesse à la sortie. Le coefficient *Cv,A* est déterminé expérimentalement.

La variation de la vitesse en fonction des différences de hauteur entre la tour et la tuyère d'entrée est négligeable par rapport à celle due à la différence de pression. La vitesse d'écoulement sortie tuyère est donnée par l'équation 2.21 (GOUDARZI *et al*., 2015):

$$V_4 = V_3 = C_{v,A}\sqrt{kV_1} \text{ où } k = 2(p_{01} - p_4)/(\rho V_1^2) \qquad \text{(équation 2.21)}$$

Les valeurs du rapport vitesse (*V4/V1*) dans un conduit tour sans tuyère (cas a) et avec tuyère (cas b) où le ratio (*A2/A3*) varie entre1,0 et 2,0 sont représentés respectivement dans la (figure 2.21**)**.

Pour un coefficient de vitesse constante, les rapports de pression élevés et les rapports de surface plus élevée se traduisent par des rapports de vitesse plus élevés. En outre, pour un rapport de pression constant à un coefficient de vitesse fixe, des rapports de surface plus élevée se traduisent par des rapports de vitesse plus élevés (figure 2.21).



a: *sans obstacle où (A2/A3)=1****, b:*** *avec obstacle où (A2/A3)=2*

Figure 2.21*: Les valeurs du ratio vitesse (V4/V1) dans une tour sans et avec obstacle (tuyère)*
Source*: Goudarzi et al. (2015)*

L'ajout d'une turbine (ventilateur) à l'extrémité d'une tuyère au sein du conduit tour engendre

une chute de pression ΔP_T dont sa valeur est obtenue en simplifiant l'équation 2.22 à l'équation 2.22 de Bernoulli (GRANT *et al*., 2008) et (GOUDARZI *et al*., 2015):

$$V_4 = C_{V,A}\sqrt{KV_1^2 - \frac{2\Delta P_T}{\rho}} \qquad \text{(équation 2.22)}$$

Par l'équation (2.23), la puissance captée par la turbine est de:

$$\left(\frac{\Delta p_T}{\rho}\right)\rho A_4 V_4 = \frac{\rho A_4 V_4}{2}\left[kV_1^2 - \left(\frac{V_4^2}{C_{v,A}^2}\right)\right] \qquad \text{(équation 2.23)}$$

Pour trouver le maximum capturé l'énergie éolienne maximale capturée par la turbine, l'équation (2.24) est appliquée comme suit:

$$\frac{\rho A_3 \delta V_1^2}{2} - \frac{3\rho A_3 V_4^2}{2C_{v,A}^2} = 0 \qquad \text{(équation 2.24)}$$

Où :

δ est le coefficient de site

La vitesse d'écoulement maximale à la sortie de la buse (équation 2.25) est de:

$$V_{4\max} = C_{v,A}\sqrt{\frac{k}{3}V_1} \qquad \text{(équation 2.25)}$$

L'équation (2.25) montre que la vitesse maximale d'écoulement induite dans une tour avec une turbine par rapport à une surface définie est réduite de √3⁄3 par rapport à une tour sans turbine.

Par conséquent, la chute de pression différentielle *k* et la puissance maximale *P en* (Watt) capturée sont déterminées comme suit (équation 2.26) et (équation 2.27):

$$\Delta p_T = \frac{\rho}{2}\left[kV_1^2 - \left(\frac{kV_1^2}{3}\right)\right] = \frac{1}{3}\rho k V_1^2 \qquad \text{(équation 2.26)}$$

$$P = \frac{1}{3}\rho[kV_1^2]A_3 C_{v,A}\sqrt{\frac{k}{3}V_1} = \frac{\rho A_3 C_{v,A}}{3\sqrt{3}}k^{3/2}V_1^3 \qquad \text{(équation 2.27)}$$

Le coefficient de puissance est obtenu à partir de l'équation 2.28 suivante:

$$C_p = \frac{2}{3\sqrt{3}}C_{v,A}k^{3/2} \qquad \text{(équation 2.28)}$$

La relation entre Cp Cv, A et k est représenté dans la (figure 2.22) ci-dessous:

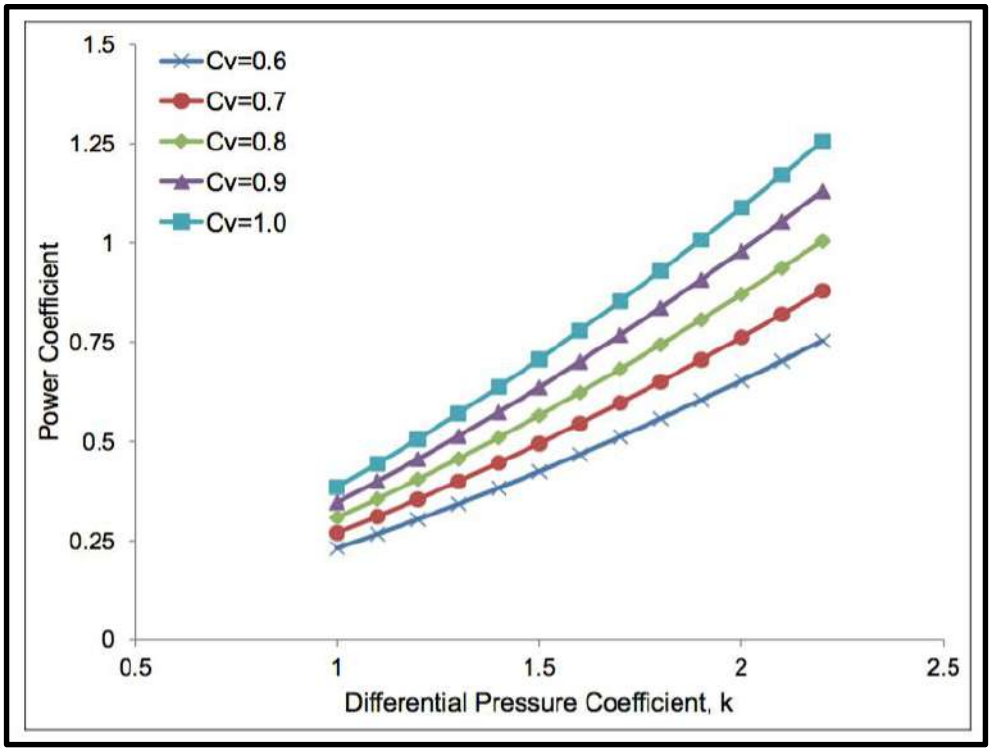


Figure 2.22: *Les valeurs du ratio vitesse (V4/V1) dans une tour sans et avec obstacle (tuyère)*
Source: *Goudarzi et al. (2015)*

La Réalisation du prototype

Un prototype du modèle a été réalisé à échelle 1/8. Il est doté d´un toit pointu composé de: quatre quadrants récepteurs du vent, de 2 tuyères (nozzles) et de 2 turbines (figure 2.23).

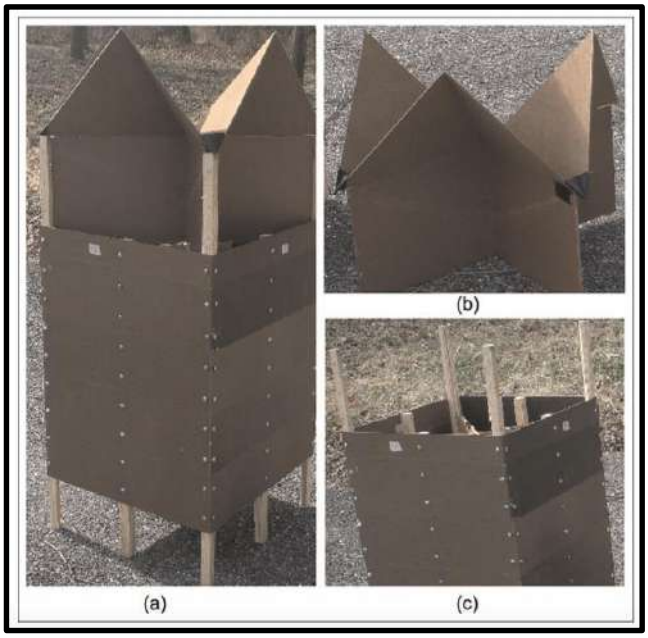


Figure 2.23: *Prototype tour à vent Goudarzi et al à échelle 1/8*
Source: *Goudarzi et al. (2015)*

Dans ce modèle, le potentiel d'une tour à vent pour la production d'électricité dans la construction est étudié via des turbines à tambours comme une alternative aux méthodes conventionnelles telles que les petites éoliennes et les panneaux photovoltaïques. Comme les

turbines à tambour ne sont pas intégrées dans la conception architecturale, elles sont implantées en tant que dispositifs dans le conduit, la question d'esthétique et la défiguration du paysage urbain ne se poseront pas. En outre, la présence des écrans filtres au niveau de la bouche d'entrée d'air a minimisé la pénétration de toutes sortes d'impuretés, d'oiseaux et a augmenté la vitesse de l'air pénétrant grâce aux turbulences engendrées au niveau des grilles bouches.

Des essais expérimentaux ont été menés sur ce prototype placé sur un toit d'immeuble surélevé d'environ 5 m au-dessus du niveau de la mer. La température de l'air était de 25°C à la pression atmosphérique le jour de la prise de mesure. Les vitesses induites dans la tour et au niveau des tuyères ont été mesurées par un capteur de vitesse type Kestrel 4000 Météo mètres.

Afin d'améliorer le modèle mathématique numérique, différentes configurations de tour à vent ont été testées en changeant le type de toit (plat, incliné et pointu à quatre quadrants) ainsi que le nombre et la section de tuyère. Les essais ont été effectués comme suit:

* Le 1er essai configuration (A): tour à quatre quadrants ayant un toit plat et une seule tuyère d'une section carrée à l'entrée et circulaire à la sortie pour l'accélération du flux d'air pénétrant.

* Le 2^{e} essai configuration (B): tour à vent à quatre quadrants ayant un toit plat rotatif et une seule tuyère d'une section carrée à l'entrée et circulaire à la sortie d'air. Cette configuration est constatée meilleure dans les régions où la vitesse du vent est faible, car elle capte l'air de toutes directions. Ce modèle est couteux nécessitant de concevoir un algorithme de contrôle pour assurer le mouvement d'air.

* Le 3^{e} essai configuration (C): tour à vent à quatre quadrants dont chacun ayant un toit incliné pointu à 2 versants. Ce modèle a été testé sous plusieurs formes et scénarios à savoir:

C.1.Une mono tuyère avec une section carrée à l'entrée qui change progressivement à une section transversale circulaire à la sortie ;

C.2.Une mono tuyère avec une section carrée à l'entrée qui change progressivement à une section transversale circulaire à la sortie et deux quadrants fermés ;

C.3. De multiples tuyères dont chacun ayant une section transversale carrée à l'entrée qui se transforme progressivement en une section circulaire à la sortie air ;

C.4.De multiples tuyères avec des sections transversales circulaires à l'entrée et sortie air.

Les résultats de la vitesse moyenne induite dans tous les essais à l'entrée et sortie air dans la

tuyère sont indiqués dans le tableau 2.2 ci-dessous:

Configuration	Flow velocity at location 1, (m/s)	Flow velocity at location 2, (m/s)	Wind power ratio
a	3.51	4.28	1.82
b	3.46	4.68	2.47
c-1	2.11	2.87	2.51
c-2	2.20	3.25	3.23
c-3	1.94	2.36	1.80
c-4	1.94	2.60	2.39

Tableau 2.2*: La vitesse de l'air dans les différents essais*
Source*: Goudarzi et al. (2015).*

Les résultats des essais montrent que:

- La configuration de tour à quatre quadrants ayant un toit plat et équipée d'une mono tuyère d'une section carrée à l'entrée et circulaire à la sortie présente une conception simple mais d'une efficacité très limitée particulièrement dans les régions où la vitesse du vent est faible.

- La tour ayant un toit plat rotatif montre une augmentation significative vis-à-vis la vitesse de l'air par rapport au toit plat. Les coûts d'installation et de maintenance des pièces électromécaniques pour contrôler le mouvement des courroies sont son inconvénient unique.

- La configuration de tour à quatre quadrants ayant un toit incliné pointu à deux versants et équipée d'une mono tuyère d'une section carrée à l'entrée qui change progressivement à une section transversale circulaire à la sortie, présente une grande efficacité et un meilleur rendement en ventilation naturelle par rapport aux autres configurations multi- tuyères.

Les résultats numériques et expérimentaux ont montré que la puissance du vent dans cette tour à vent est en fonction de plusieurs paramètres dont les plus importants sont la vitesse et la direction de l'air ambiant autour du bâtiment.

Estimation de la technologie adoptée (coût)

Le devis estimatif effectué pour la conception et la fabrication d'une tour à vent avec une configuration mono ou double turbine à tambour alternateur, un onduleur, une structure de base de la tour et les frais de l'installation a donné une fourchette approximative de prix entre 38.000$ et 49.000$. Ce coût dépend de plusieurs critères tels que: le site d'implantation, les conditions de fonctionnement, le nombre de tuyères et de turbines et les matériaux de construction de la tour à vent. Donc, d'autres évaluations estimatives sont indispensables avant toute réalisation de ce prototype.

Par conséquent, ce modèle de tour à vent d'une conception simple, fiable, fonctionnelle avec un coût d'entretien faible, doté de peu d'installations présente une solution environnementale durable prometteuse et un choix approprié pour la production de l'énergie

électrique et la faisabilité de l'appliquer aussi bien dans le secteur résidentiel que commercial.

2.4.3 Selon le système combiné (ventilation, renouvellement et rafraîchissement)

2.4.3.1 Modèle BACHELOR, J., BACHELOR, G. (2011)

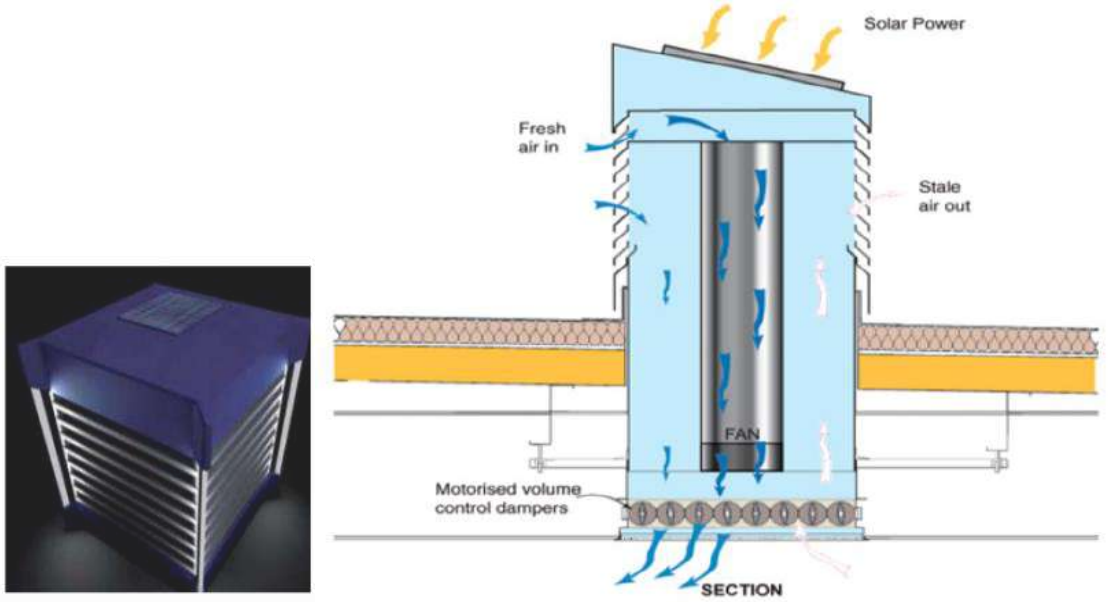
Quelques moyens et solutions ont été apportés par Bachelor Jazayeri et Bachelor. Gorginpour en 2011 à la tour à vent traditionnelle pour améliorer son fonctionnement et par conséquent sa performance thermique. Les inconvénients dus à la grande hauteur, le taux d'humidité élevée et le dysfonctionnement du système en pleine canicule ou à faible vitesse du vent ont été pris en charge dans cette étude. Le prototype proposé est une tour à vent solaire dont les moyens d'amélioration apportés sont:

- Une toile protectrice en cellulose qu'elle soit de lin, de chanvre ou de jute mouillée via des pulvérisateurs d'eau est placée au niveau de l'orifice d'entrée d'air. Cet écran en textile sert comme un premier humidificateur d'air par la diminution de sa température;

- Un ventilateur est intégré au-dessous du conduit juste avant les dampers et qui se nourrit de l'énergie produite par le panneau solaire placé au toit de la tour. Le panneau solaire assure l'écoulement de l'air pendant les journées les plus ensoleillées ou peu venteuses (figure 2.24).

- Des dampers, ou clapets mitigeurs, ont été installés entre le ventilateur et la bouche de soufflage. Ils servent à contrôler automatiquement le débit d'air ventilé et le taux de son humidité afin de baisser sa température une deuxième fois avant de le souffler à l'intérieur.

Ce modèle fonctionne comme capteur en présence du vent. Mais lorsque le vent souffle à faible vitesse ou en pleine canicule où la température de l'air à l'extérieur atteigne des valeurs très élevées, le ventilateur et les dampers déclenchent automatiquement. Les clapets mitigeurs détectent le taux d'humidité de l'air pénétrant et le régule avant de le souffler vers l'intérieur via la bouche de soufflage (figure 2.24).



Vue du protoype *Principe de fonctionnement dans une journée ensoleillée*

***Figure 2.24**: Prototype tour à vent solaire de Bachelor Jazeyeri et Bachelor Gorinpour dans une journée ensoleillée*

***Source**: Bachelor, J., Bachelor, G. (2011)*

J. BACHELOR et G. BACHELOR (2011) ont fait appel aux résultats de certaines recherches antérieures très répandues dans ce domaine et ayant des caractéristiques physiques similaires au modèle proposé afin de fonder, compléter et valider leur modèle. Les paramètres validés sont le taux de débit d'air généré, la température et le taux de CO2 émis à l'intérieur de l'espace ventilé. La validation du prototype a été faite en se référant aux résultats des études suivantes:

Pour le taux de débit d'air généré: Les résultats de l'étude expérimentale en soufflerie et de la modélisation numérique faite par El MUALIM (2006) sur un modèle de capteur à vent identique à celui du prototype proposé, de forme carrée de 500 mm de côté ayant une longueur de 1,5m de hauteur installé au-dessus d'une chambre d'essai de forme cubique d'arrête 2.78m, pour étudier l'effet de dampers déflecteurs contrôleurs de débit d'air ont été exploités. Les résultats obtenus ont été adoptés par analogie dans cette étude à savoir:

- Le taux de ventilation est meilleur lorsque le vent souffle perpendiculairement par rapport à la bouche d'entrée d'air. Ce débit augmente avec l'augmentation de la vitesse du vent. Un taux de ventilation de 74 L/s est enregistré quand la vitesse du vent est égale à 2m/s soufflant perpendiculairement à la face d'aspiration. Ce débit est de 101 L/s quand la vitesse atteint 3m/s et il est de 137 L/s pour une vitesse égale à 5m/s.

- Quand le vent souffle obliquement par rapport à l'orifice d'admission d'air de la tour à vent, avec une vitesse de 2 m/s, le débit d'air correspondant est réduit à 49% par rapport au sens

perpendiculaire, l'équivalent de 36 L/s. Il est de 53 L/s pour une vitesse égale à 3 m/s (réduction de 52%) et de 82 L/s pour une vitesse de 5m/s (réduction de 60 %). Une perte de débit d'air négligeable est enregistrée à la bouche de soufflage (El MUALIM, 2006).

- Le taux de débit d'air généré au moyen de la tour à vent atteint sa valeur minimale lorsque le vent souffle à un angle de 45° (JONES & KIRBY, 2008).

Pour le taux de renouvellement d'air: les travaux de recherche de KIRK et KOLOKOTRON (2004) ont été exploités pour voir l'effet de l'augmentation de la section tour à vent sur le taux de renouvellement d'air généré à l'intérieur de l'espace. Ces deux chercheurs ont effectué des essais d'échange d'air en utilisant la désintégration des gaz traceurs durant les étés 2001 et 2002 sur 3 bâtiments identiques occupés au Royaume-Uni dont chacun est équipé d'une tour à vent moderne du même type du modèle proposé mais sans panneau solaire et sans conduit intermédiaire. Trois modèles de tours à vent de sections différentes ont été mis en exergue en présence et en l'absence du vent (effet attrape vent et effet de cheminée) à savoir: forme carrée de 1200mm de côté, forme circulaire de 1000mm et 550mm de diamètre respectivement.

Les résultats ont montré que lorsque la section de la tour augmente, le taux de débit d'air pénétrant s'accroit. Ils notent aussi que l'ouverture des fenêtres particulièrement en été accroisse le taux de ventilation jusqu'à 87% par rapport aux taux prévus par une tour à vent autonome. Ce constat a été également testé et validé par SU et ses collaborateurs en (2008) via un modèle semi-empirique et une simulation par CFD. Su et al ont prouvé l'augmentation significative des taux de ventilation lors de combiner l'ouverture d'une seule fenêtre avec une tour à vent circulaire solaire.

La température intérieure et le taux du CO2: Kirk a effectué des tests en été 2002, sur les bureaux du conseil à Kings Hill au Royaume-Uni, dotés du même modèle de tour à vent moderne. Il a indiqué que cette dernière assura un refroidissement nocturne en réduisant la température de l'air jusqu'à 4°C par rapport à celle extérieure. Pendant la journée, le modèle a fourni un écart de température de 6°C au RDC et de 3°C à l'étage où la température extérieure était de 31°C. Tandis que, lorsque la température extérieure n'était pas élevée (inférieure à 23°C), l'écart de température était seulement de 3 °C à 5 °C. Par l'utilisation de la tour à vent, le niveau de CO2 mesuré a été réduit de 1000 ppm à 508 ppm.

La qualité d'air à l'intérieur est fonction de la ventilation que la tour à vent fournit et du bruit qu'elle émet. Donc, son contrôle est important. JONES *et al*. (2008) ont examiné la qualité de l'air dans deux salles de classe au Royaume-Uni, l'une équipée du modèle proposé, mais d'une section carrée de 800 mm de côté, tandis que l'autre est ventilée par des fenêtres. Les

mesures effectuées en mai et juin 2006 montrent que la classe dotée de prototype était plus fraiche que la salle sans dispositif avec un écart de température de 1,5°C diurne et de 3°C nocturnes. Le niveau de CO2 a été également plus faible dans la classe avec tour (840 ppm en mai et 1324 en juin) par rapport à celle ventilée uniquement par fenêtres (575ppm en mai et 588ppm en juin).

Donc, le modèle proposé de tour à vent solaire améliore le taux de renouvellement d'air, réduit la température et le taux de CO2 tout en offrant une qualité d'air à l'intérieur.

2.4.3.2 Modèle DEHGHANI-SANIJ *et al*. (2015)

Un nouveau design de tour à vent a été proposé par DEHGHANI-SANIJ et ses collaborateurs en (2015), pour être installé face aux vents dominants sur le toit des bâtiments. Si la vitesse des vents désirés est variable, changeant de direction, des tours supplémentaires seront installées dans des positions diverses selon le besoin. Le modèle proposé pivote et se met en direction de la vitesse maximale du vent. Dans les régions où la vitesse du vent est faible, le rendement thermique du système a été amélioré par l'intégration d'une cheminée solaire ou une tour à vent unilatérale placée au côté aval du vent et par l'utilisation des matériaux transparents dans la fabrication des modèles favorisant la pénétration de la lumière naturelle à l'intérieur.

Le modèle proposé dont sa section transversale peut être carrée, rectangulaire ou circulaire, se compose de (figure 2.25):

1. Une tête: pivotante selon la direction indiquée par la girouette installée à son niveau. Elle comprend une colonne mobile de section circulaire et un écran perforé. La colonne mobile peut-être ouverte et fermée manuellement ou guidée par une télécommande. L'écran empêche les petits oiseaux et les particules solides en suspension dans l'air de pénétrer dans le conduit. Le toit de la tête peut-être conçu plat ou incliné selon le climat chaud ou froid.

2. Une colonne ou conduit: quel que soit le type de toit plat ou incliné, cette partie est fixe. Sa surface intérieure est équipée d'un rail pour permettre le glissement aisé de la tête.

3. Des fenêtres ou bouches de soufflage: Deux fenêtres sont installées à l'extrémité inférieure de la colonne pour contrôler le flux d'air soufflé vers l'intérieur. Elles peuvent être mobiles, ouvertes ou fermées manuellement ou par voie électronique.

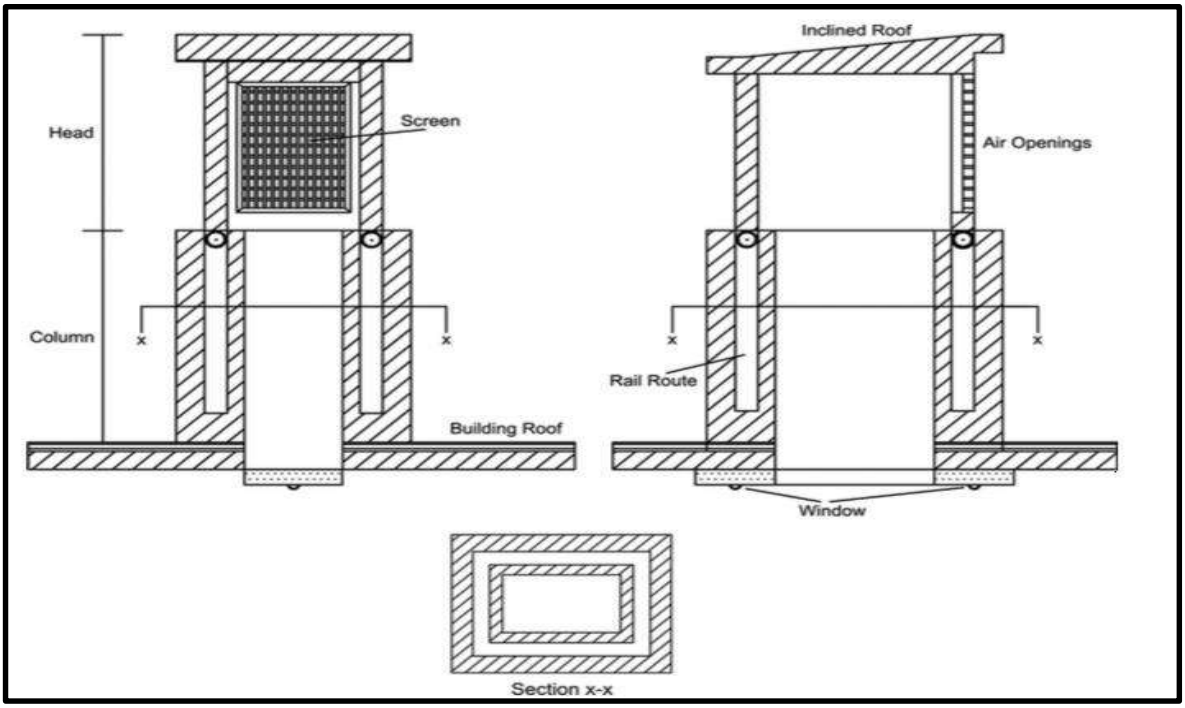


Figure 2.25*: Prototype tour à vent Dehghani-Sanij et al.(2015)*
Source*: Dehghani-Sanij et al. (2015)*

Les paramètres déterminant le design du prototype ont été classés comme suit: (1) le débit massique requis pour le rafraîchissement d'air et le confort thermique (2) les dimensions et le matériau de la construction, (3) le taux des vents dans la région et (4) la sécurité.

Les applications du modèle proposé

Le principe des modèles proposés est basé sur le mécanisme physique de la ventilation: les flux d'air qui traversent un bâtiment sont provoqués par la présence d'un gradient de pression. Les différences de pression peuvent avoir leurs origines d'action des vents (force du vent) et du gradient de température entre l'air intérieur et l'air extérieur (force thermique). Le modèle proposé sert à ventiler passivement des bâtiments à usage divers: résidentiel, commercial et administratif dont le nombre de tours installées dépend de la vitesse du vent et du confort thermique souhaité à l'intérieur. Pour cela, une série de combinaisons ont été réalisées, à savoir:

1re Combinaison tour à vent doté d´une seule ou de multiples bouches de soufflage: cette combinaison est la plus adéquate et la mieux adaptée pour les petits espaces tels que chambre ou couloir. L'air frais pénètre dans la tour à vent pour expulser l'air vicié vers l'extérieur via une ou plusieurs fenêtres (figure 2.26.a).

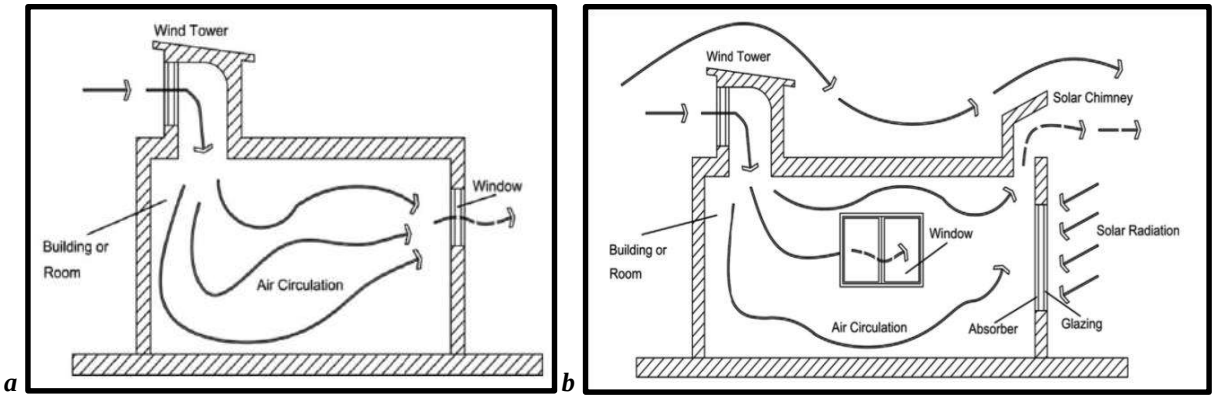


***Figure 2.26**: Schéma du 1er et 2ème Scénario **a** (Tour à vent- Fenêtre); **b** (Tour à vent-Cheminée solaire)*
***Source**: Dehghani-Sanij et al. (2015)*

2e Combinaison tour à vent couplée avec une cheminée solaire: Ce réchauffeur d'air installé au niveau de la toiture du côté opposé au vent, est servi pour créer une dépression dans la pièce. L'air contenu dans la cavité de la cheminée est chauffé par rayonnement solaire permettant la création d'une force motrice entraînant l'air vers le haut et hors de la cheminée. Suite au principe d'équilibre de la masse, l'air puisé de la cheminée induit l'air extérieur frais vers l'intérieur à travers l'ouverture de la tour à vent, fournissant de ce fait une ventilation naturelle au bâtiment par l'effet du tirage thermique (figure 2.26.b). Cette combinaison est efficace en été en cas d'absence ou de faible vitesse du vent. Tandis qu'en hiver, lorsque la tour ne fonctionne pas, la cheminée solaire peut réchauffer la pièce naturellement.

3e combinaison jumelage de deux tours à vent d'orientations différentes: deux tours à vent sont installées dont la 1ère faisant face aux vents dominants et la 2e sous vent (figure 2.27.c). Sur la base des principes de la mécanique des fluides notamment la différence de pression (le coefficient de pression positif côté tour faisant face auvent et négatif coté tour sous vent) un écoulement d'air se produit entre les deux tours à vent en aspirant l'air frais de l'extérieur à travers 1ère la tour face au vent et évacuer l'air chaud vicié via le 2e tour côté en aval.

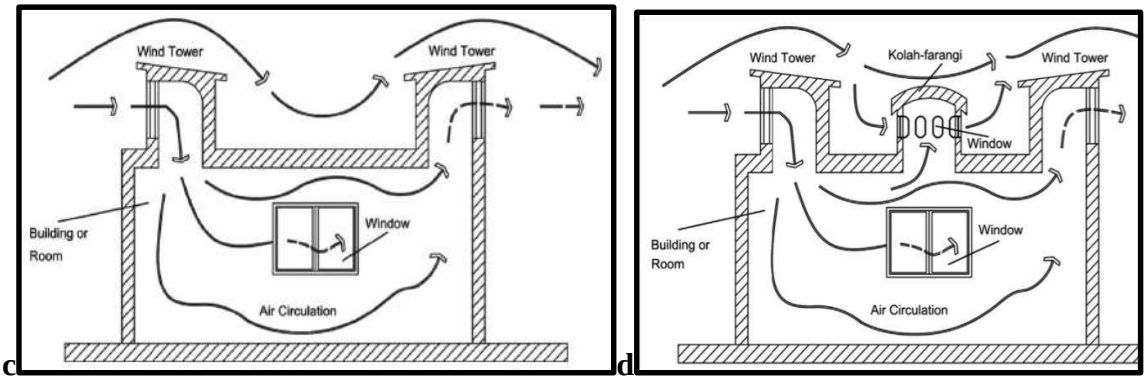


***Figure 2.27**: Schéma du 3e Scénario c (Tour à vent-tour à vent) et d (Tour à vent-dôme avec fenêtres)*
***Source**: Dehghani-Sanij et al. (2015)*

Les tours à vents proposées dans la 3e combinaison peuvent être contrôlées manuellement ou à distance. L'intégration d'un dôme (Kolah-Farangi) doté d'ouvertures qui se refroidit plus

rapidement qu'un toit plat et dégage moins de chaleur dans la pièce permet l'augmentation de débit d'air pénétrant et de la lumière naturelle à l'intérieur du bâtiment.

Cette étude propose une nouvelle conception de tours à vent qui améliore les performances des tours à vent traditionnelles en ventilation naturelle. Les modèles proposés ont plusieurs caractéristiques importantes, notamment: installation facile; faible coût de maintenance; fonctionnement selon une technologie simple, possibilité de faire pivoter et fixer dans la direction de la vitesse maximale du vent. Ce sont des systèmes de refroidissement passif sans aucune utilisation de l'énergie électrique, peuvent être combinés avec une cheminée solaire, d'un dôme ou d'une autre tour dans le côté en aval du vent. L'utilisation des matériaux transparents dans la fabrication des tours permet plus de lumière naturelle à l'intérieur du bâtiment.

2.4.4 Selon la géométrie

2.4.4.1 Modèle YAVARINASAB ET MIRKHALILI (2013)

Pour obtenir un modèle optimal de tour à vent destiné au secteur résidentiel dans les régions à climat chaud et sec, une enquête a été réalisée par YAVARINASAB et MIRKHALILI (2013) sur 50 cas de tours à vent dans la province de Yazd. Ces derniers ont analysé et examiné la relation entre l'espace (hall) doté de tour à vent et les dimensions de cette dernière (longueur, largeur et hauteur). La relation entre les paramètres associés a été déterminée.

Relation entre surfaces espace (hall) et surface tour à vent

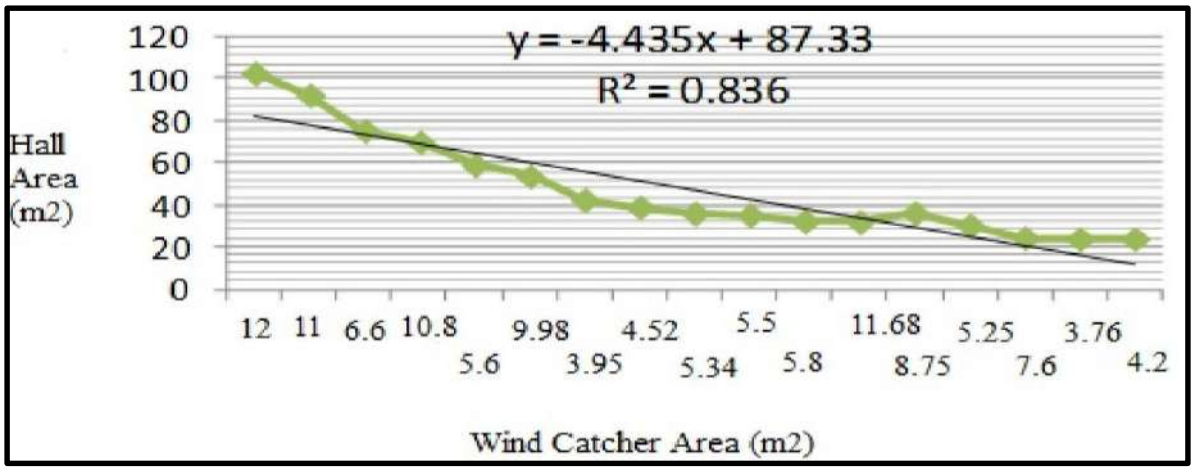


Figure 2.28*: Charte de la relation entre surface hall et surface tour à vent (m)*
Source*: Yavarinasab et Mirkhalili (2013)*

Relation entre longueur et largeur tour à vent

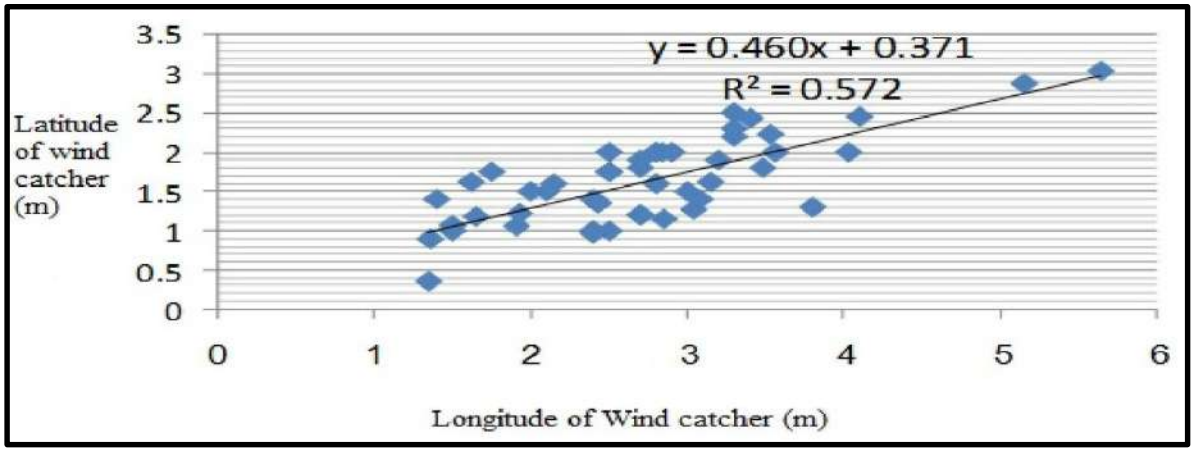


***Figure 2.29**: Charte de la relation entre longueur et largeur tour à vent (m)*
***Source**: Yavarinasab et Mirkhalili (2013)*

Relation entre longueur et largeur tour à vent

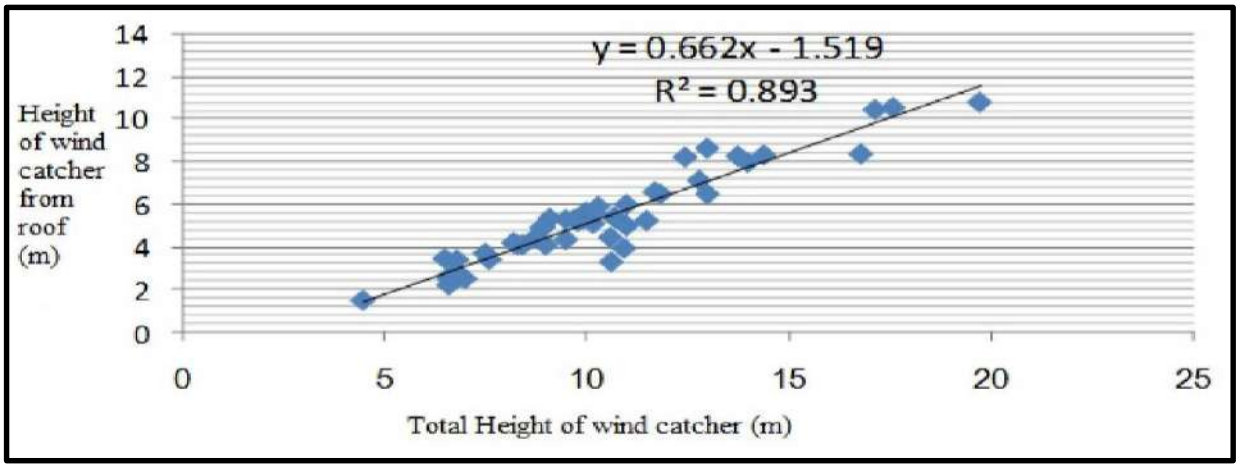


***Figure 2.30**: Charte de la relation entre hauteur tête et hauteur totale Tour à vent (m)*
***Source**: Yavarinasab et Mirkhalili, (2013)*

Les graphes obtenus ont prouvé la présence d'une relation linéaire significative entre les variables indépendantes hauteur totale, longueur et largeur tour à vent et la variable dépendante présentée par la droite de régression. Les résultats de l'enquête ont été traités par les tables des ANOVA où le coefficient de corrélation a été évalué de (867/0) et considéré comme valeur forte. L'équation 2.29 de la droite de régression a été déterminée et présentée comme suit :

$$A = 1.635 + (0.833 \times B) + (1.355 \times C) + (0.867 \times D) \quad \text{(équation 2.29)}$$

Tels que:

A: hauteur totale (m), B: Longueur de la T à vent (m); C: Largeur de la T à V (m); D: hauteur de la tour à vent au-dessus du plancher (m).

Les résultats de cette étude aident les chercheurs à mieux concevoir la tour à vent avec toutes ses dimensions.

2.4.5 Selon le mode d'assemblage (espacement et disposition)

2.4.5.1 Modèle JOHN KAISER *et al*. (2014)

L'effet de la disposition de plusieurs tours à vent commerciales sur les taux d'approvisionnement d'air (performance de ventilation) a été étudié en 2014 par JOHN KAISER et ses collaborateurs en analysant deux situations courantes d'installation de ce système sur un bâtiment. Ces situations sont en termes d'espacement (distance entre tours) et de mode d'arrangement (en parallèle ou en quinconce) (figure 2.31). L'espacement et la disposition optimaux pour maintenir les performances souhaitées des tours à vent commerciales ont été déterminés dans cette étude.



a **b**

Figure 2.31*: Tour à vent montée sur le toit (a) disposition en parallèle (b) disposition en quinconce*
Source*: John Kaiser et al. (2014)*

Les tours à vent commerciales, sont une technologie de ventilation passive qui, repose sur les mêmes principes de la conception traditionnelle de Badgir mais, elles sont plus adaptées à un usage contemporain. Leur utilisation est maintenant très répandue, en particulier dans les bâtiments très fréquentés tels que les écoles et les immeubles administratifs (JONES & KIRBY, 2010). En remplaçant l'air intérieur par de l'air extérieur frais, la tour commerciale permet de contrôler l'accumulation de polluants et de prévenir le syndrome des bâtiments malsains (DIMITROULOPOULOU, 2012).

Dans cette étude, une analyse numérique a été réalisée pour déterminer l'effet de l'espacement et la disposition de plusieurs tours à vent multidirectionnelles commerciales aussi bien sur les taux de ventilation que sur la distribution de débit d'air intérieur dans les espaces occupés. Les simulations CFD (Computer Fluid Dynamic) ont été réalisées avec le logiciel commercial ANSYS Fluent 14. Les équations de Navier Stokes qui les régissent ont été discrétisées par la méthode du volume fini et les champs d'écoulement. Elles sont estimées au moyen du modèle RANS (Reynolds Averaged Navier Stokes) avec le modèle de

turbulence k-ε standard. Le schéma de second ordre a été adopté pour le transfert de chaleur par convection. La technique de discrétisation «semi-implicite» liée à l'équation de l'algorithme pression simple (SIMPLER: Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equation), a été utilisée pour l'analyse numérique en régime permanent. Toutes les simulations ont été effectuées dans des conditions iso-thermiques où uniquement la ventilation induite par le vent est prise en compte. La convergence a été vérifiée et les itérations ont été arrêtées lorsque tous les résidus ne montrent plus aucune réduction avec le nombre croissant d'itérations. Les équations (2.30, 2.31, 2.32, 2.33 et 2.34) qui régissent l'écoulement de l'air sont détaillées ci-dessous (JOHN KAISER *et al.*, 2014):

Conservation de la masse:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \times (\rho u) = 0 \qquad \text{(équation 2.30)}$$

Où ρ est la densité (Kg/m^3), t le temps (s) et u le vecteur de la vitesse du fluide (m/s).

Conservation du mouvement:

$$\frac{\partial (\rho u)}{\partial t} + \nabla \times (\rho u u) = -\nabla \mathrm{p} + \rho \mathrm{g} + \nabla \times (\mu \nabla \mu) - \nabla \times \tau_t \qquad \text{(équation 2.31)}$$

Où **p** est la pression (en Pascal), **g** est le vecteur de l'accélération gravitationnelle (en m/s^2), **μ** est la viscosité dynamique moléculaire en Pascal seconde (Pa.s) et $\boldsymbol{\tau_t}$ est la divergence des contraintes de turbulence qui explique les contraintes auxiliaires en fonction des fluctuations de la vitesse.

Turbulence de l'énergie cinétique (k):

$$\frac{\partial (\rho k)}{\partial \mathrm{t}} + \nabla \times (\rho k u) = \nabla \times \left[\alpha_k \mu_{eff} \nabla k\right] + G_k + G_b - \rho_\varepsilon \qquad \text{(équation 2.32)}$$

Taux de dissipation d'énergie (ε):

$$\frac{\partial (\rho \varepsilon)}{\partial t} + \nabla (\rho \varepsilon u) = \nabla \times \left[\alpha_\varepsilon \mu_{eff} \nabla \varepsilon\right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \qquad \text{(équation 2.33)}$$

Où

G*k* (m^2/s^2) représente la source d'énergie cinétique turbulente due au gradient de la vitesse moyenne,

Gb (m^2/s^2) est la source d'énergie cinétique turbulente due à la force de flottabilité (solide fluide).

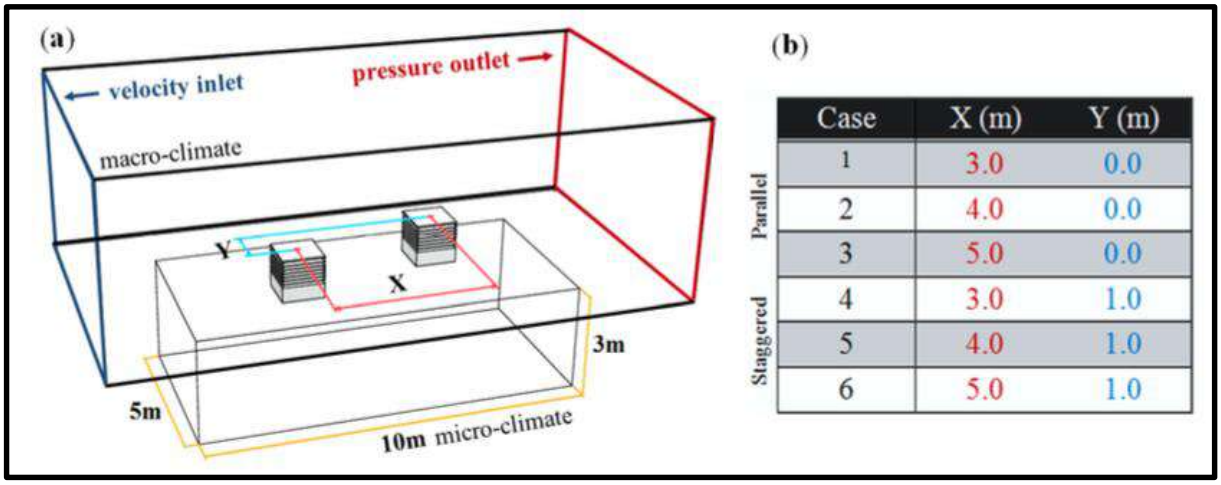
αk, ***αε*** sont des nombres turbulents de Prandtl et **C1*ε***, **C2*ε*** et **C3*ε*** sont des constantes de modèles empiriques.

Équation de transport des espèces

$$\frac{\partial}{\partial_t} (\rho Y_i) + \nabla \times (\rho u Y_i) = -\nabla \times \vec{J_i} + R_i + S_i \qquad \text{(équation 2.34)}$$

Où ***Ji*** est le flux de diffusion des espèces *i* (mol/m^2.s), ***Ri*** est le taux net de production des espèces i par des réactions chimiques (kg/m^3.s), et ***Si*** est le taux de création par addition à partir de la phase dispersée plus les sources définies par l'utilisateur.

Le modèle de CAO (conception assistée par ordinateur) est importé dans le modélisateur de conception ANSYS pour générer un modèle de calcul. Une représentation du domaine des flux de la géométrie de la tour à vent prototype d'étude, de l'enceinte macroclimat (pour simuler la vitesse du vent externe) et les 6 configurations de mode d'assemblage tours à vent (3 agencées en parallèle et 3 en quinconce), sont illustrées dans la figure 2.32.



	Case	X (m)	Y (m)
Parallel	1	3.0	0.0
	2	4.0	0.0
	3	5.0	0.0
Staggered	4	3.0	1.0
	5	4.0	1.0
	6	5.0	1.0

(a) Domaine de calcul (b) Disposition des tours à vent et dimensions de l'espacement.

Figure 2.32*: Domaine de calcul et configurations mode d'assemblage tours à vent*
Source*: John Kaiser et al. (2014)*

Dans la première partie de l'étude, deux tours à vent de dimensions de 1,20m x 120m x 1,20m chacune et d'une section transversale interne de 1m^2, sont intégrées à une salle d'essai (microclimat) dont la hauteur, la largeur et la longueur sont de 3m, 3,5m et 10m respectivement, ce qui représente une petite salle de classe de 30 personnes. Le volume interne de la tour à vent est divisé en quatre quadrants croisés égaux qui permettent l'alimentation en air, quel que soit l'angle du vent. Chaque tour est modélisée avec sept louvers (lamelles) inclinés à 45° (figure 2.33). La tour à vent est supposée être alimentée à 100% (complètement ouverte), aucun amortisseur de contrôle de volume d'air n'est ajouté au modèle.

La deuxième partie de l'étude est consacrée à examiner l'effet des six configurations de mode d'assemblage sur le taux de concentration de CO2 à l'intérieur de la salle et la possibilité de réintroduire les polluants de l'air intérieur par seconde dans la salle ventilée via la 2^e tour orientée sous le vent. Dans cette partie d'étude, la salle d'essai (salle de classe) est divisée en deux pièces de section égale de 3,5 x 5,0m^2 chacune, l'une occupée par 15 personnes réparties

de manière uniforme dans la salle et l'autre laissée inoccupée. Sur la base des travaux de (Bulińska *et al.*, 2014), les données d'entrée (tableau 3.2) sont déterminées et appliquées par la suite pour analyser le taux de concentration en CO2 à l'intérieur. Les conditions aux limites résumées dans les tableaux 2.3 et 2.4, sont maintenues tout au long du processus de simulation.

Dimensions du corps humain	1,80 x 0,30 x 0,17 m3
Nombre d'occupants	15
Dimension bouche	0,13 x 0,1 m2
Air expiré	6 L/min (0,77 m/s)
Concentration de CO2 d'entrée	382 ppm
Concentration de CO2 dans l'air expiré	36 000 ppm

Tableau 2.3*: Données d'entrées appliquées pour l'analyse de la concentration en CO2*
Source*: John Kaiser et al. (2014)*

Temps	Régime permanent
Entrée de vitesse (m / s)	0 - 5 (débit uniforme)
Angle de vent (°)	0 - 90
Sortie de pression	Atmosphérique
Gravité (m/s2)	-9,81
Murs	Pas de glissement
Hauteur de rugosité KS (10-3 m)	Macro-micro climat, Murs: 0.001
Constante de rugosité CKS	Tous les murs: 0.5

Tableau 2.4*: Conditions aux limites du modèle CFD*
Source*: John Kaiser et al. (2014)*

La validation de la méthode:

La validation expérimentale du prototype de référence (tour à vent isolée) réalisée à une échelle de 1/10 est effectuée via des essais expérimentaux en soufflerie subsonique. La soufflerie à écoulement uniforme est de hauteur, largeur et longueur de 0,5m, 0,5m et 1m respectivement. Le prototype de tour à vent est monté au sommet d'une salle d'essai de 0,5 x 0,5 x 0,3 m^3 représentant l'espace intérieur (salle de classe).

Afin de mesurer la vitesse intérieure aux mêmes points que dans le modèle CFD, plusieurs trous ont été percés dans les murs de la salle de test. Les parois du modèle salle sont constituées de feuilles de perspex (un polymère thermoplastique transparent) pour permettre le test de visualisation au moyen de la fumée et pouvoir positionner avec précision les capteurs anémométriques à fil chaud le long des points de mesures. La figure 2.33 résume la méthodologie numérique et expérimentale utilisée dans cette étude.

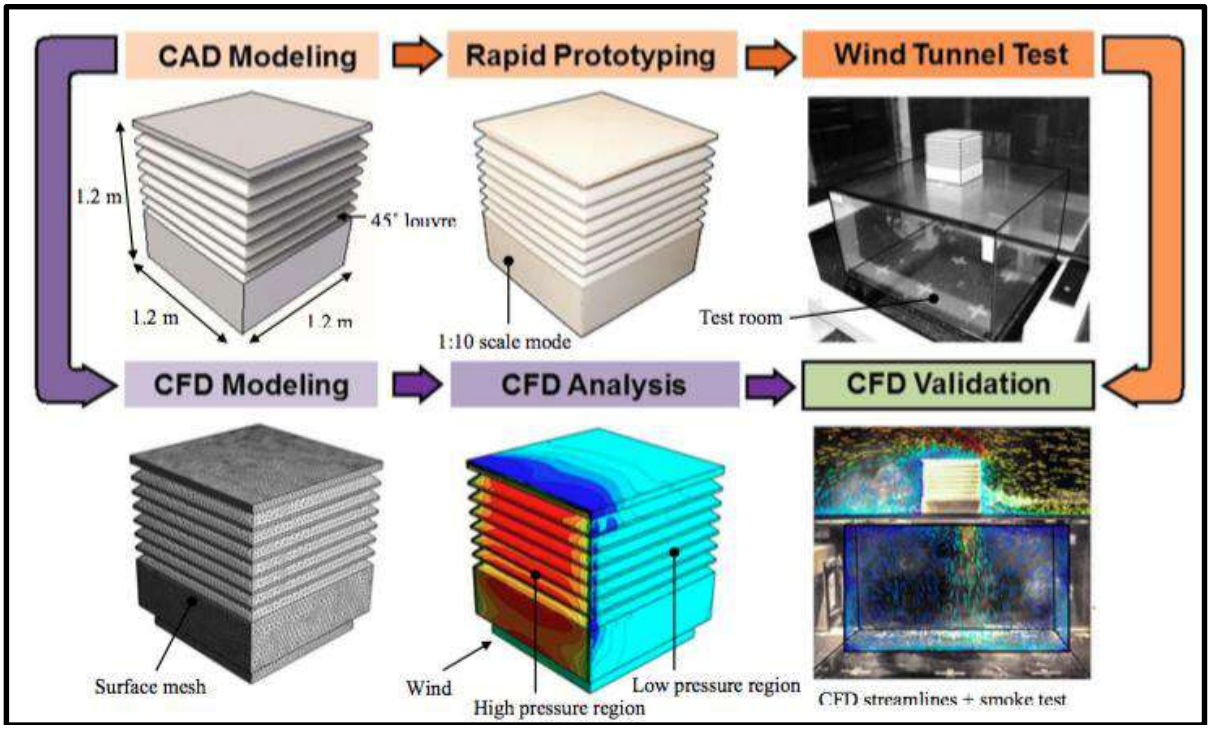
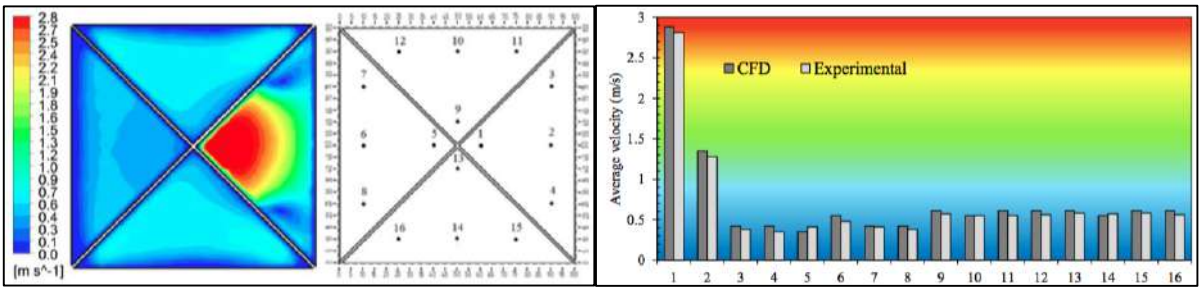


***Figure 2.33**: Résume de la méthodologie numérique et expérimentale adoptée dans cette étude*
***Source**: John Kaiser et al. (2014)*

Le test de visualisation du débit d'air est effectué à l'aide d'un générateur de fumée AFA-10 afin d'analyser la configuration du flux d'air à l'intérieur de la salle de test et d'identifier les quadrants d'alimentation et d'extraction avant la prise des mesures. Le modèle de tour est exposé à une vitesse de l'air libre de 3m/s pour obtenir une fumée suffisamment concentrée. Une caméra à haute vitesse est utilisée pour capturer le parcours d'écoulement visualisé par la fumée.

Validation du prototype de référence

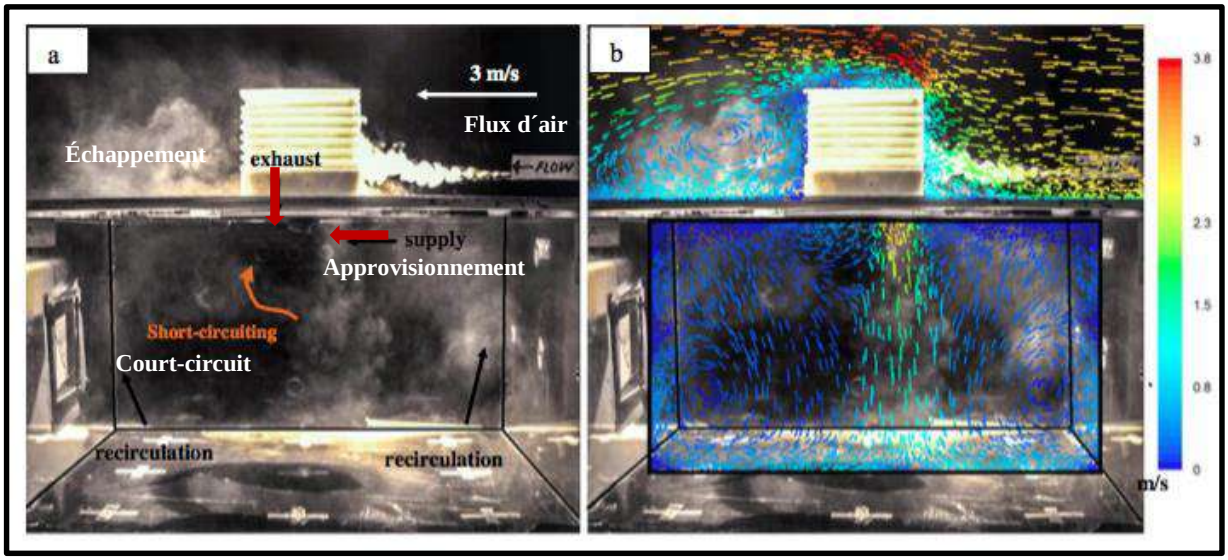
Pour une vitesse de vent de 3m/s, la figure (2.34a) montre que la vitesse maximale est atteinte dans le quadrant face au vent avec une valeur maximale de 2,8m/s. La figure (2.34b) indique une bonne concordance entre les résultats expérimentaux et les résultats numériques de CFD avec une erreur inférieure à 10% pour tous les points à l'exception du point 6 situé au niveau du quadrant d'échappement air. L'erreur moyenne entre les points est de 8,6%, ce qui confirme la validation de l'étude de modélisation CFD.



***a**/ Contours de la vitesse de l'air dans le conduit TàV* ***b**/ Comparaison des résultats de CFD et expérimentaux*
***Figure 2.34**: Validation du prototype de référence vis-à-vis la vitesse de l'air au niveau du conduit pour une vitesse de vent de 3m/s*
***Source**: John Kaiser et al. (2014)*

La visualisation expérimentale de l'écoulement d'air à l'intérieur de la salle au moyen de la tour à vent ainsi que la combinaison des courbes de flux prédites par CFD et la fumée réelle, confirment la concordance entre les deux techniques de recherche exploitées (figure 2.35).

Le flux d'air passe autour de la tour à vent où une quantité de celle-ci pénètre dans le canal par les louvers. La quantité de fumée la plus visible se déplace au point d'entrée (en dessous de la tour à vent), indiquant une vitesse plus élevée de l'air dans cette partie de la salle. Ceci est conforme aux résultats de la figure 2.35b. Le flux d'air est dirigé vers la surface inférieure de la pièce et se propage dans toutes les directions. Lorsque le flux d'air atteint la surface inférieure, l'air ralentit et traverse les parois latérales.



*(**a**) Visualisation expérimentale de l'écoulement à l'intérieur de la salle d'essai via la tour de vent*
*(**b**) Combinaison des courbes de flux prédites par CFD et de la fumée réelle*

***Figure 2.35**: Validation du prototype de référence vis-à-vis l'écoulement d´air à l'intérieur de la salle pour une vitesse de vent de 3m/s*
***Source**: John Kaiser et al. (2014)*

Résultats et discussion:

L'analyse aérodynamique des tours à vent multiples a montré que l'agencement en parallèle des tours n'est pas efficace pour ventiler une pièce, quels que soient leurs espacements (3, 4 ou 5m).

L'étude de la distribution d'air à l'intérieur a montré que:

- La disposition en parallèle (figure 2.36a) crée une zone de recirculation entre les deux tours à vent, ce qui provoque la réduction du flux d'air à travers l'ouverture orientée face au vent de la 2^{e} tour sous le vent. Il a été également observé que l'air est aspiré par le quadrant opposé sous vent et fonctionne efficacement en sens inverse (l'air entrant à partir de l'ouverture sous le vent).

- La disposition en quinconce (figure 2.36b), ne provoque pas un effet de recirculation et d'aspiration entre les deux tours, ce qui signifie que ces dernières ne sont pas obstruées. Les deux tours à vent présentent des profils très similaires, une colonne d'air rapide descendant du quadrant d'entrée créant une circulation autour de l'espace modélisé et s'épuisant du quadrant opposé. L'air qui s'échappe de la tour sous le vent dans la disposition en quinconce se déplace à une vitesse supérieure à celle de l'air sortant de la tour à vent. Ceci est dû à la recirculation plus importante du côté de l'échappement de la tour.

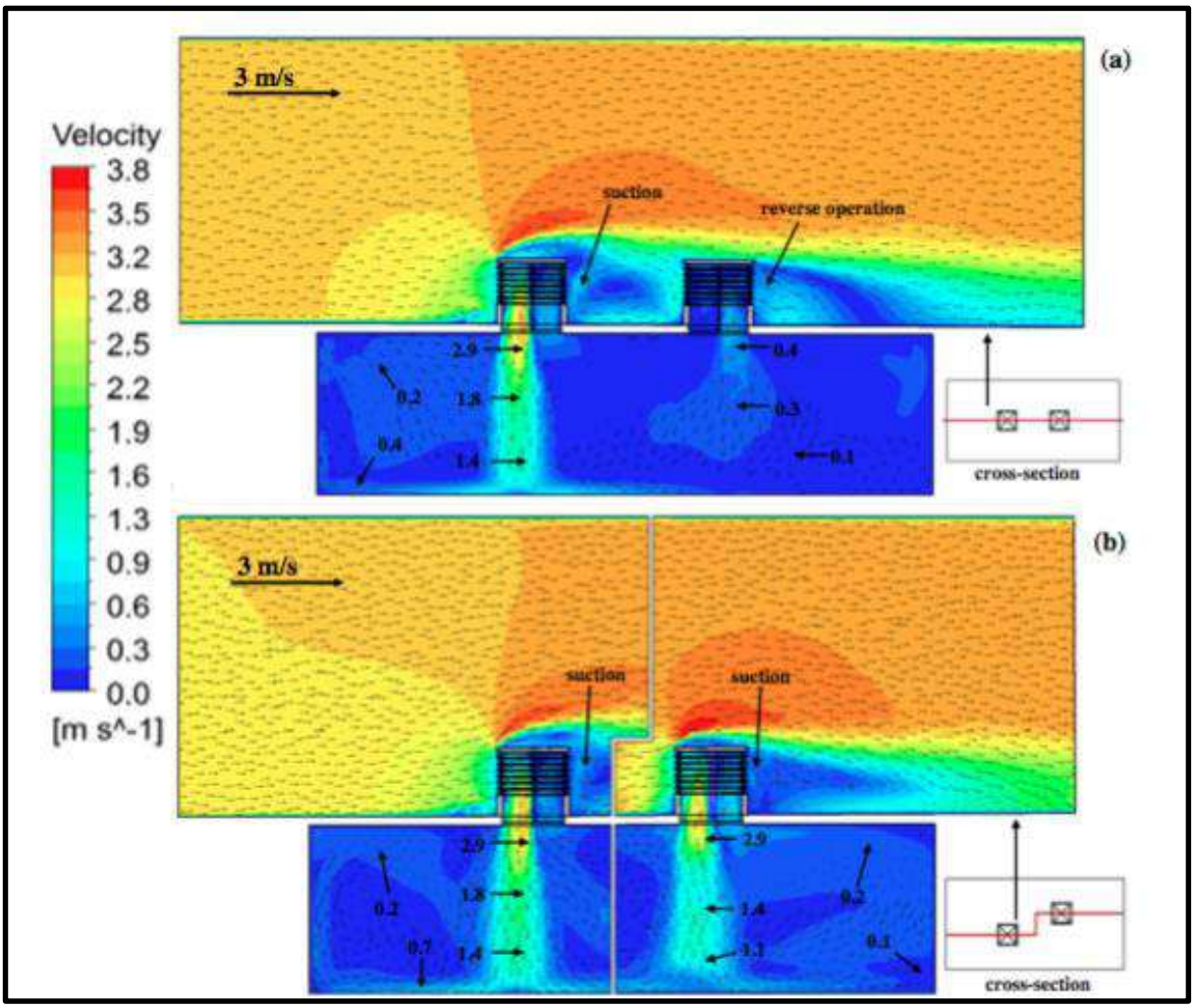


Figure 2.36: *Effet de la disposition des tours à vent (en parallèle ou décalée) sur la distribution de l'air à l'intérieur*
Source: *John Kaiser et al. (2014)*

Taux de ventilation

La simulation des différentes directions du vent a montré que lorsque l'angle augmente de 90°, le modèle d'écoulement pour la disposition en parallèle devient plus homogène, ce qui augmente l'écoulement à travers la tour sous le vent (figure 2.37). La direction du vent est un élément essentiel de la conception de plusieurs systèmes de tours à vent quels que soient leurs espacements et leurs dispositions.

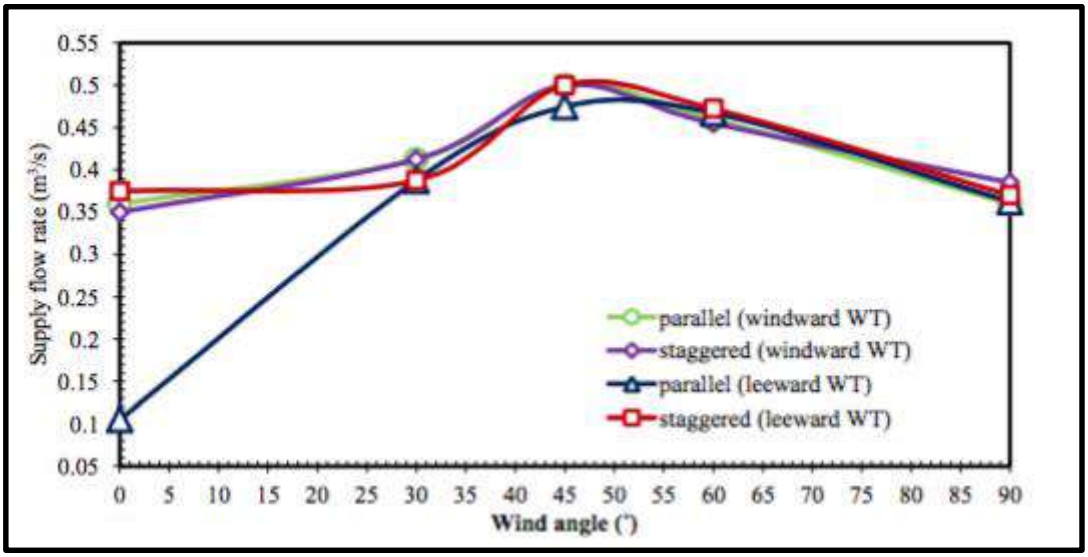


Figure 2.37: *Effet de la variation de l'angle du vent sur les débits d'approvisionnement dans les dispositions étudiées.*
Source: *John Kaiser et al. (2014)*

Les taux d'alimentation en ventilation des tours pour tous les cas de configurations ont été comparés aux règlementations de la construction. Les forces de pression motrices pour les cas 1 à 3 (disposition en parallèle) n'étaient pas suffisantes pour fournir des débits régulés d'approvisionnement de 10 L/s par occupant pour une vitesse de vent externe de 3 m/s. Alors que les taux de ventilation d'alimentation pour les cas 4 à 6 (disposition en quinconce) étaient tous supérieurs aux niveaux requis de la règlementation du bâtiment.

La concentration en CO2

La disposition en quinconce minimise efficacement la réintroduction des polluants par rapport à celle en parallèle (figure 2.38) et (figure 2.39).

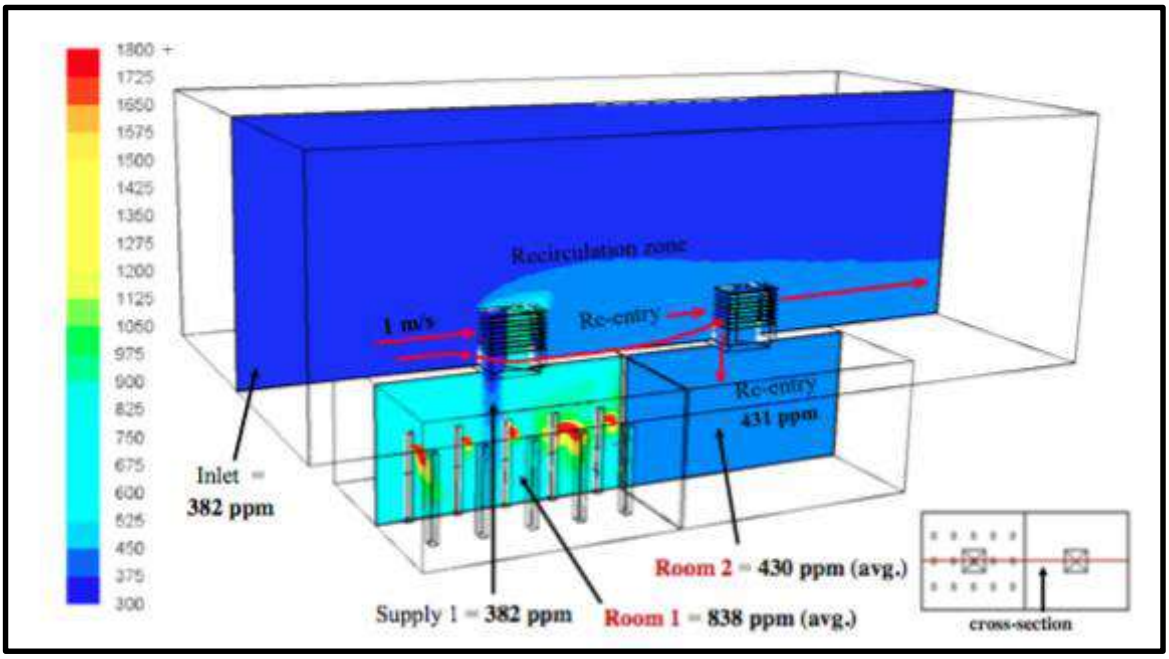


Figure 2.38: *Effet de la disposition en parallèle sur le taux de concentration en CO2 à l'intérieur*
Source: *John Kaiser et al. (2014)*

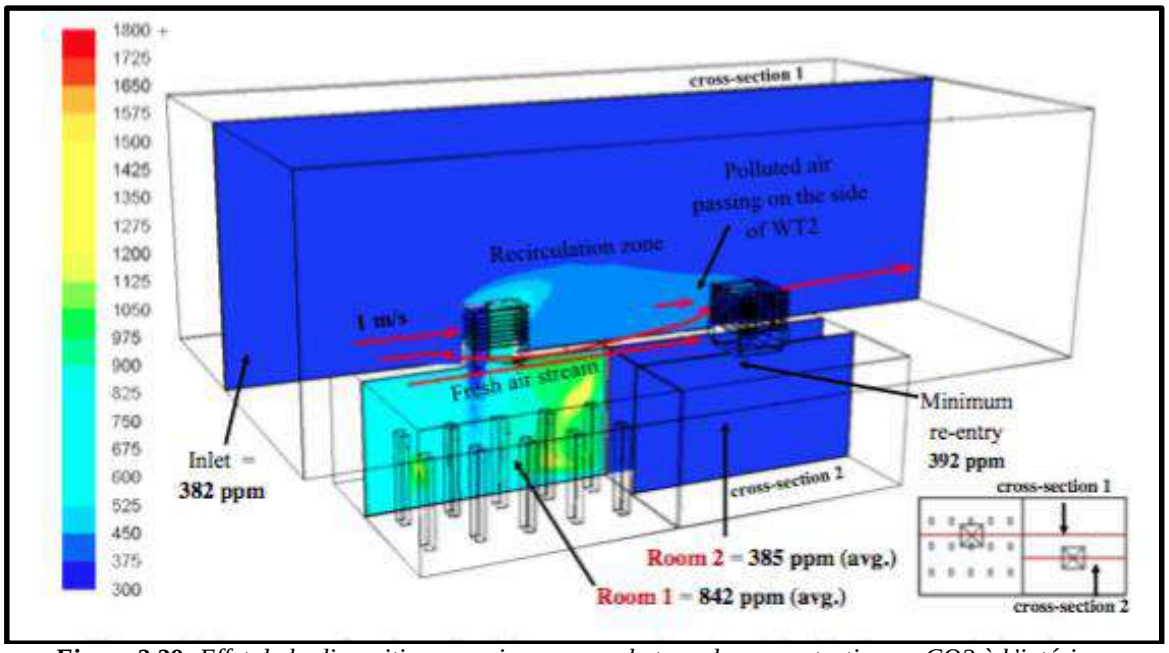
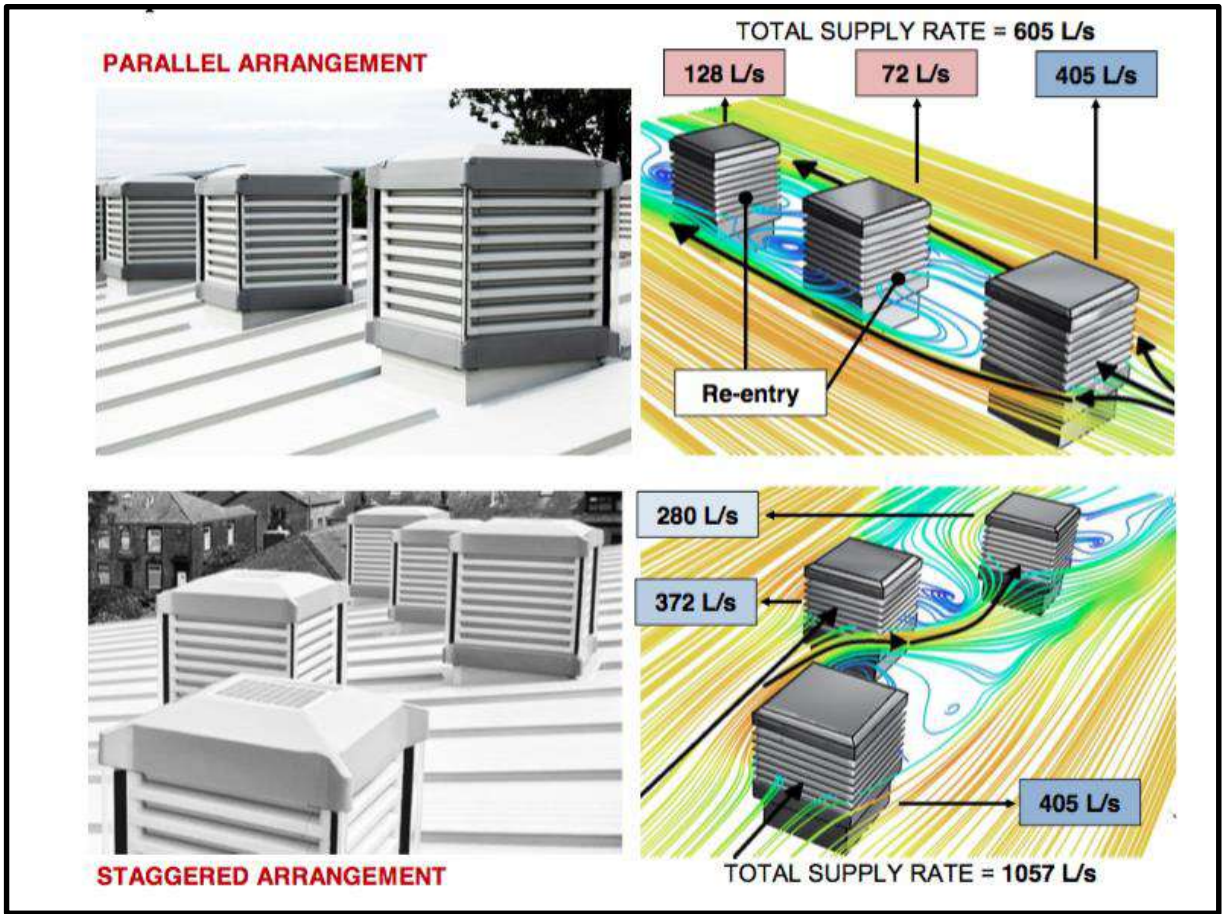


Figure 2.39*: Effet de la disposition en quinconce sur le taux de concentration en CO2 à l'intérieur*
Source*: John Kaiser et al. (2014)*

Synthèse

Le résumé des résultats obtenus est schématisé dans la figure 2.40 ci-dessous.

- Les tours à vent parallèles orientées dans le sens du vent ne sont pas efficaces pour ventiler une pièce, quels que soient leurs espacements (3, 4 ou 5m).
- Les forces motrices des tours à vent parallèles dans la direction du vent ne sont pas suffisantes pour fournir des taux d'approvisionnement en air réglementaires.
- Par extrapolation, un espacement de 13m serait nécessaire dans le cas d'un agencement en parallèle afin d'assurer les débits règlementaires requis en taux de ventilation intérieure et des concentrations en dioxyde de carbone par occupant qui est inférieur ou égale à 10 L/s par personne (BUILDING REGULATIONS, 2010). Cet espacement permet d'éviter l'interférence entre la tour en amont et celle en aval (JOHN KAISER *et al*., 2013) et (SEPPÄNEN *et al.*, 1999).
- Une plus grande propagation et circulation d'air à l'intérieur de la salle est obtenue dans le cas de tours à vent décalées.



Disposition en parallèle *disposition décalée (en quinconce)*

***Figure 2.40**: Résumé graphique des résultats de la recherche*
***Source:** John Kaiser et al, (2014)*

2.5 État de l'art des tours à vent en Algérie

En Algérie, plusieurs chercheurs se sont intéressés au potentiel important que puissent apporter les tours à vent à l'effet du refroidissement par humidification et par ventilation naturelle. Parmi le peu de travaux de recherches effectués dans ce domaine, nous citerons ceux de:

2.5.1 L'étude de BENAMARA (1987)

L'objectif de cette étude était de trouver une solution passive pour rafraîchir un hôtel à Constantine à climat chaud et semi-aride pendant la période estivale. Les résultats ont montré une réduction de température de l'ordre de 15°C et une augmentation du taux d'humidité relative de 70% (BENAMARA, 1987).

2.5.2 L'étude de BOUCHAHM (2003)

Bouchahm a essayé d´explorer et valider les potentialités des capteurs à vent dans les maisons individuelles à Ouargla (ville située au sud-est du pays) réalisés par les frères El Menyaoui. Les mesures entreprises in situ dans deux maisons identiques avec et sans capteur

à vent, ont révélé une réduction importante de la température de l'air dans la maison dotée de capteur, en revanche l´humidité relative n'a subi qu'un léger changement. La comparaison des températures intérieures effectuée entre les deux cas de figure par rapport à la plage de confort déterminée préalablement au moyen de l'analyse bioclimatique de la ville, a indiqué que : Pour atteindre la zone de confort qui varie entre 28°C et 32°C, la température intérieure de la maison sans capteur doit être réduite de 19°C, alors dès que le capteur à vent est déployé, cet écart devient 15°C donc un gain de 4°C. Avec l'introduction de l'humidification des parois intérieures du capteur à vent, la différence est amenée à 10°C et la réduction devient de plus en plus intéressante 9°C. Un modèle par la suite a été proposé pour améliorer le rendement thermique de ce capteur à partir des simulations analytiques exploitant le programme Capcool*.

2.5.3 L'étude de DJOUIMA (2008)

Le rendement thermique du prototype proposé par BOUCHAHM en 2003, a été validé par DJOUIMA en 2008. Ce dernier a réalisé le modèle dans un bureau à Hassi Messaoud à climat similaire chaud et sec (voir les détails de mise en œuvre à l'annexe I). Une série de campagnes de mesure a été effectuée sans et avec introduction de l'humidification durant les mois d'été (juin, juillet et août 2007). Les résultats ont montré un écart de température maximal de 14,5°C entre l'intérieur et l'extérieur sans humidification et de 22,1°C avec humidification atteint entre 11h jusqu'à 16h pendant le mois de juillet, le plus chaud de l'année.

2.5.4 L'étude de DERRADJI (2008)

Cette recherche est fondée sur la conception d'un prototype combiné: cheminée solaire couplée à un échangeur de chaleur sol-air comme une alternative plus performante en ventilation et rafraîchissement passif. Le dispositif conçu permet la ventilation et le rafraîchissement passif des milieux ambiants au moyen de l'énergie solaire qui est renouvelable et très disponible en Algérie particulièrement dans les régions à climat chaud et aussi via l´utilisation du potentiel de refroidissement de la masse thermique du sol. Deux configurations ont été mises en exergue et validées par un modèle mathématique élaboré et une simulation numérique à savoir:

- La 1re configuration est un dispositif simple composé d'une cheminée solaire couplée à un conduit de refroidissement enterré (sous forme de puits canadien). Les résultats simulés sont

* Hassi Messaoud est une commune de la wilaya de Ouargla, située à 86 km au sud-est d'Ouargla et à 800 km au sud-est de la capitale Alger.

permis de montrer son inefficacité malgré que le système fût très rentable pour le refroidissement de l'air à l'admission via les conduits souterrains. La température de l'air à la sortie du conduit de refroidissement a été diminuée d'environ 7 à 8°C par rapport à la température externe qui a été supposée à 35°C dans la modélisation.

Cependant, les débits d'air induits étaient très faibles et insuffisants pour assurer le renouvellement d'air et le refroidissement passif par convection d'une pièce occupée par 2 personnes assises sans activités.

- La 2^{e} configuration est une amélioration du modèle simple par la proposition d'un modèle mathématique d'un système composé basé sur la multiplication des cheminées solaires et des conduits de refroidissement enterrés. Le modèle analytique amélioré a pu déterminer la température ambiante de l'espace en fonction des données liées au contexte physique de l'intervention (la température ambiante et la température du sol), le nombre d'occupants, le type d´activité et le nombre constituant les éléments du système étudié (nombre de cheminées solaires et de conduits enterrés).

Les résultats obtenus par le modèle de simulation développé «NatCool 2008», ont été validés par les recherches antérieures théoriques de DHALIWAL *et al*. (1984) et AL-AJMI *et al*. (2006) et les résultats expérimentaux de SODHA et ses collaborateurs (1986). Les résultats de l'étude paramétrique ont montré que la température ambiante d'une salle peut atteindre l'intervalle acceptable des températures internes de 22 °C jusqu'au 28 °C à un moment où la température de l'air à l'extérieur était 35 °C. L'augmentation supplémentaire du nombre de conduits ne peut améliorer d'avantage la performance du système. Il y a une configuration à laquelle le potentiel optimal de refroidissement du système est atteint via les diagrammes élaborés. La chute de température d'air à la sortie du conduit souterrain d'une section constante de 0.06mm² est insignifiante au-delà de la longueur de 10 m. L'augmentation des sections des conduits souterrains engendre une légère augmentation dans la température moyenne de la pièce mais elle est insignifiante.

2.5.5 L'étude de TORKIA (2009)

L'étude établie consistait en l'évaluation quantitative des performances des tours à vent ajustées aux logements à caractères bioclimatiques, conçues et réalisées en mars 1980 par le bureau d'études égyptien des frères El Manyaoui. L'étude est sise à Ouled Djellal wilaya de Biskra à climat semi-aride. Ces tours à vent étaient fermées ou totalement supprimées par les occupants pour des raisons diverses. Cette étude a mis le rendement thermique en exergue comme une des causes du rejet de la tour à vent par ses usagers en

exploitant deux techniques d'investigation: l'expérimentation et la simulation numérique via le code *Fluent version 6.2*.

De la campagne de mesure de la température, l'humidité relative et la vitesse de l'air effectuée sur la construction en R+1 dotée de tour à vent desservant deux niveaux: RDC et 1er étage, le 21 juin 2008 de 8h00 à 16h00 période où le besoin de climatisation est le plus convoité, il est en ressort ce qui suit:

- Pour la campagne de mesure: l'effet de rafraîchissement a augmenté avec l'accroissement de la température de l'air à l'extérieur ou l'écart (ΔT) était maximal à 16h. sa valeur était de:

- 12,4 °C au RDC et 11,5 °C au 1er étage au niveau de la bouche de soufflage,
- 13 °C au RDC et 11,5 °C au 1er étage au milieu du Wastdar,

Malgré la réduction importante de la température intérieure par rapport à celle de l'extérieur induite par la tour à vent, les températures moyennes de l'air ayant une valeur de:

- 31,7 °C au niveau de la bouche de soufflage et 31,5 °C à Wastdar au RDC,
- 31,6 °C au niveau de la bouche de soufflage et 31,4 °C à Wastdar au 1eretage.

Restent élevées et en dehors de la plage de la température du confort recommandée pour l'été (de 23°C à 26°C, ASHRAE 55 - 1992).

Les humidités relatives moyennes de l'air mesurées pour la journée du 21 juin 2008 entre 8h et 16h ayant une valeur de:

- 31 % au niveau de la bouche de soufflage ainsi qu'au niveau du Wastdar au RDC,
- 29 % au soufflage et 30 % à Wastdar au 1er étage,

Étaient à la limite du confort (40 à 70% pour un confort optimal et 30 à 60% pour un bon confort, (Article 64 du RGPT et ASHRAE 55 - 1992).

Dans les régions chaudes et semi arides, la notion de confort est très attachée à l'hygrométrie, cette dernière est relativement faible vu la température de l'air moyenne intérieure élevée, ce qui donne une sensation d'air relativement sec (ASHRAE 55 – 1992). Par conséquent, il a été constaté que l'introduction de l'humidification est indispensable.

Les vitesses moyennes de l'air mesurées au niveau de la bouche de soufflage ainsi qu'au milieu du Wastdar des deux étages pour la période d'étude (8h à 16h) étaient de:

- 0,56 m/s au niveau de la bouche de soufflage et nulle à Wastdar au RDC,
- 0,32 m/s au soufflage et nulle à Wastdar au 1er étage.

Ces résultats ont confirmé que la ventilation naturelle est assurée uniquement au niveau des sources de soufflage de la tour à vent sachant que tous types d'ouvertures (porte ou fenêtre) étaient fermés durant toute la période d'expérimentation. Une sensation d'inconfort

(étouffement) est ressentie au milieu du Wastdar car aucune propagation de l'air provenant de la bouche de soufflage n'est produite.

- Pour la simulation numérique: Le calcul numérique de la vitesse de l'air produite au moyen de la tour à vent, cas d'étude à l'intérieur de la construction, a montré que cette dernière a fourni un rafraîchissement passif par ventilation naturelle dont l'intensité est plus élevée à l'étage qu'au RDC. L'augmentation de la performance thermique de la tour à vent est liée à la longueur de son conduit vertical qui favorise l'accroissement de la surface de transfert de chaleur. L'écart maximal numérique de température était obtenu à 16h où le besoin de rafraîchissement est le plus convoité. Il était de:

- 13,9 °C au niveau de la bouche de soufflage et 15,3 °C au milieu de Wastdar au RDC,
- 8,6 °C au niveau de la bouche de soufflage et 9,7 °C au milieu de Wastdar à l'étage.

Les températures de l'air intérieures moyennes calculées d'une valeur de:

- 30,1 °C au niveau de soufflage et 29,4 °C au milieu du Wastdar au RDC
- 32,9 °C au niveau de soufflage et 32,8 °C au milieu du Wastdar à l'étage

Étaient élevées et en dehors de la limite de la température du confort d'été (de 23°C à 26°C, ASHRAE 55 – 1992).

Les vitesses de l'air intérieur moyennes calculées dépendaient de la présence ou de l'absence du vent à l'extérieur.

- En l'absence du vent ou pour une vitesse minimale inférieure ou égale à 0.5 m/s, la tour à vent a fourni un rafraîchissement passif de l'air par l'effet de cheminée, comme l'a mentionné El MUALIM dans ses travaux en 2006. La ventilation naturelle était limitée au niveau du soufflage et aucun mouvement d'air n'était ressenti à l'intérieur de Wastdar.

- Pour une vitesse tolérable à l'extérieur de 2 m/s (GIVONI, 1969), la tour à vent a assuré un rafraîchissement passif de l'air par la force du vent. Elle a favorisé la ventilation naturelle et le balayage d'air à l'intérieur de Wastdar au moyen de soufflage. La vitesse de l'air au soufflage était importante, elle était de:

- 3.4 m/s au *RDC* et de 3.8 m/s à l'étage au-delà de la limite du confort à l'intérieur pour la période estivale ($0,2 \leq V \leq 0,5$ m/s, ASHRAE 55-1992). L'emplacement de la bouche de soufflage au niveau du plancher réduisait cette sensation d'inconfort due à des vitesses de soufflage élevées. Plusieurs solutions sont utilisées dans le refroidissement actif (climatisation) où l'air frais est soufflé à des vitesses élevées.
- La vitesse de l'air est nulle au centre de Wastdar pour les deux niveaux. Ce qui a provoqué une sensation d'étouffement pour les occupants.

Le conduit vertical court, cas de la tour à vent d'étage était meilleur en ventilation naturelle que le conduit long, cas de la tour à vent du RDC. La longueur du conduit est un facteur déterminant dans la performance en ventilation naturelle de la tour à vent (DRACH & KARAM, 2008). Trouver un bon rapport de longueur/largeur du conduit vertical de la tour à vent donnera un meilleur résultat pour la réduction de la température et une bonne ventilation à l'intérieur de l'espace.

Malgré le mouvement d'air produit à l'intérieur, la sensation d'inconfort était dominante au RDC et au 1er étage.

La campagne de mesure et la simulation numérique ont confirmé le pouvoir rafraichissant de la tour à vent d'Ouled Djellal. Malgré l'écart moyen important de la température entre l'extérieur et l'intérieur au niveau du soufflage, la sensation d'inconfort était dominante durant toute la période de l'investigation à l'intérieur de la construction. Wastdar reste toujours en dehors de la limite de confort de la température, l'humidité relative et la vitesse de l'air recommandée par la réglementation internationale (ASHRAE 55 – 1992; DIN 1946 et NBN EN 13779-2004).

Conclusion

La tour à vent contemporaine est un remède aux défaillances de la tour à vent traditionnelle classique. Bien que tous les travaux effectués dans ce domaine soient fondés sur la base de la différence de pression créée par l'écoulement du vent autour des bâtiments, chaque recherche présente des avantages et des inconvénients par rapport à la technologie adaptée au modèle proposé. Les nouveaux modèles de tours à vent et les recherches actuelles présentent une amélioration significative des performances de ventilation et offrent également la possibilité d'améliorer les taux obtenus par d'autres stratégies de ventilation naturelle et de refroidissement passif.

Actuellement, la tour à vent moderne équivalente de la tour conventionnelle dispose de louvers contre les intempéries, d'un écran anti-impureté (maillage) et d'une série de dampers régulateurs de débit d'air soufflé via une ou plusieurs bouches de soufflage et protégées par une grille intérieure. Son conduit est devenu plus court et esthétique, mais en contrepartie l'effet de transfert de chaleur a été réduit, chose qui est indispensable en climat chaud aride et semi-aride.

Les récentes recherches ont introduit un nouveau contexte à la tour à vent classique, elle est devenue, vis-à-vis de sa performance, plus qu'un système de ventilation naturelle et de

rafraîchissement passif, un dispositif d'éclairage naturel, de chauffage et de renouvellement d'air de qualité. La tour moderne est devenue opérationnelle hiver comme été.

La combinaison de ce système de ventilation avec d'autres systèmes passifs tels que tour à vent avec une autre tour, tour à vent-cheminée solaire, tour à vent-dôme, ou systèmes actifs tels que tour à vent avec panneau solaire, turbine ou ventilateur intégré dedans (pour produire de l'électricité), est indispensable pour un rendement thermique efficace durant toute l'année.

Les nouvelles conceptions et design des tours à vent modernes hybrides contribuent à l'amélioration de ce système vernaculaire pour survivre, être intégré de nouveau dans la conception et d'une façon appropriée aux besoins actuels de la société. Elles peuvent aider à réduire le recours à des systèmes de refroidissement mécaniques, et par conséquent, diminuer les émissions de CO2.

Peu d'études effectuées sur ce sujet en Algérie dont la majorité sont focalisées au Sud à climat aride et semi-aride. Les résultats obtenus prouvent l'efficacité énergétique de ce système.

La tour à vent contemporaine reste un champ ouvert d'expérimentation qui mérite d'être exploré et adapté particulièrement dans notre pays, en Algérie, où la grande consommation électrique en système de refroidissement actif est devenue un problème sérieux vis-à-vis de son impact sur l'environnement et surtout sur l'économie (objet du 3^{e} Chapitre).

Chapitre 3

Chapitre 03

Modèle d'analyse systémique

Introduction

Les gens envisagent l'environnement dans lequel ils souhaitent vivre. L'une de leurs attentes envers le logement contemporain en Algérie ou dans tout autre pays en développement est qu'il doit être lié à l'image actuelle de la vie dite « moderne ». En nos jours, c'est l'une des principales raisons pour lesquelles les gens abandonnent le style traditionnel des maisons pour des maisons qui communiquent l'aspect et le statut contemporains « modernes ». D'autre part, de nombreuses maisons contemporaines existantes présentent un type d'architecture éclectique, qui ne satisfait même pas le goût et les espérances de leurs utilisateurs. Or, la réponse appropriée à la construction de logement doit respecter à la fois les besoins contemporains et les demandes culturelles dans un souci environnemental. En combinant les caractéristiques essentielles des maisons traditionnelles avec les nouveaux éléments des maisons contemporaines, il serait possible de proposer des solutions dans la conception.

Selon LAWRENCE (2005), les bâtiments résidentiels sont construits afin de répondre à un large éventail d'exigences. Ainsi, le suivi des caractéristiques des objectifs et des préférences en matière de logement dans le temps est l'un des aspects les plus importants dans la production du logement. En essayant d'établir le terrain commun requis pour marier les valeurs traditionnelles avec les besoins contemporains, il est nécessaire de rechercher, d'identifier et de décrire ces productions architecturales, qui démontrent les besoins et valeurs combinés régionaux, traditionnels et contemporains. Le statut contemporain est un besoin très recherché par les gens, il exprime le lien fort existant entre le bâtiment et le lieu où il sera construit et par conséquent influence les approches utilisées dans la conception des logements.

Aujourd'hui, concevoir des constructions éco énergétiques durables intégrant un des systèmes de rafraîchissement passif tel que la tour à vent est une solution à préconiser pour la préservation de l'environnement et la rationalisation de la consommation d'énergies fossiles. En revalorisant les tours à vent, il est possible d'économiser les coûts de la climatisation. La pertinence et la logique environnementale peuvent être associées à l'architecture, de sorte que les leçons enseignées par le vernaculaire soient de plus en plus considérées nécessaires au développement d'une architecture éco énergétique. Cela est possible en élaborant un modèle d'analyse. La compréhension, l'expansion des potentiels de la tour à vent comme système ingénieux durable

pour subvenir aux besoins contemporains, permettront au développement d'être plus approprié et acceptable par l'utilisateur actuel de cette technique et participeront à conserver le patrimoine unique de l'architecture historique traditionnelle (LARI, 1989).

Malheureusement, dans de nombreuses parties du monde telles que l'Iran et l'Égypte, il y a eu un manque de connaissance holistique de ce système qui est en train d'être perdue pour toujours (BONINE, 1980) et (FORUZANMEHR, 2012). C'est le même cas constaté en Algérie: la condamnation et souvent la suppression totale de cet élément par les occupants au bout d'un certain temps (TORKIA, 2009). Cet état de fait, soulève plusieurs questionnements sur l'adoption de ce système dans la conception architecturale notamment celle du logement et ouvre l'horizon vers des pistes de recherche qui prend en considération plusieurs aspects nécessaires à mettre en valeur les raisons qui ont conduit à la réussite ou faillite des systèmes de rafraîchissement passifs. Un autre aspect que nous avons voulu souligner est la possibilité d'appliquer la tour à vent à la conception architecturale dans l'habitat semi-collectif contemporain au Sud algérien en examinant son impact sur la conception du projet.

Ce chapitre vise à développer un modèle d'analyse comme un moyen de répondre à la question que pouvons-nous apprendre de l'architecture des maisons dotées de tours à vent, et surtout comment les connaissances acquises dans ce domaine de rafraîchissement passif peuvent-elles être utiles pour les appliquer aujourd'hui en habitat semi-collectif au Sud algérien. En architecture comme dans d'autres disciplines, la culture partagée et l'environnement agissent sur la manière dont on aborde les différents aspects d'un modèle, la façon de poser la question de recherche et la définition du terrain (COSTE, 2014).

Dans ce chapitre, il s'agit d'abord d'expliquer les approches les plus pertinentes (leurs origines, leurs utilités et leurs adeptes) auxquelles nous faisons appel et dans lesquelles se situent nos contributions: les méthodes de conception coopérative et la modélisation conceptuelle formelle. Il s'agit essentiellement de l'approche dynamique, de l'approche par matrice, de l'approche par bases de connaissances, de l'approche typologique, de l'approche socioéconomique et environnementale et de l'approche systémique. Ensuite dans les sections suivantes, nous effectuons un positionnement méthodologique de nos travaux par rapport aux approches, il s'agit d'apporter réponse à la question suivante selon quelle approche allons-nous produire des solutions. À la fin du chapitre, le fondement épistémologique du modèle analytico-systémique adopté a été discuté à travers plusieurs niveaux de lecture et d'analyse à savoir: la méthode socioéconomique et environnementale, syntaxique spatiale et typologique conceptuelle.

3.1 Approches scientifiques adoptées dans les tours à vent

Pour expérimenter les formes et les usages des tours à vent, deux modes principaux de recherche ont eu cours dans ce domaine: investigation de terrains in situ et modélisation numérique. Les expérimentations de ces dispositifs construits orientés par la problématique peuvent aider à tester les hypothèses posées initialement. Il ne s'agit pas seulement de soumettre un dispositif à l'expérience, il s'agit aussi de mettre à l'épreuve des principes de confection de ces dispositifs. Ces expérimentations bien qu'elles aient aussi leurs limites, renouent avec une pratique fabricante souvent estompée par les modélisations numériques (CHELKOFF *et al.*, 2003). Les artefacts (modélisations des différents aspects de l'architecture) construits en maquette à l'échelle du corps en mouvement sont guidés à la fois par des questions d'architecture (relation au contexte bâti, dimensionnement, opérateur formel, dimensions environnementales) et des hypothèses sur les effets sensibles et les opportunités d'usage. L'interpellation de certaines connaissances sur la perception et l'action a incité les chercheurs à envisager des expérimentations orientées par des questions sur les liens entre le dispositif (la tour à vent), les facteurs d'ambiance (thermique) et les potentiels d'action (ventilation naturelle, rafraîchissement passif, renouvellement d'air ou système combiné). Cela a conduit les chercheurs à développer le concept de formant architectonique distinct du dispositif matériel car il relève de l'«intensité» de l'architecture en ceci qu'il intègre certains aspects temporels et dynamiques lors de l'analyse de l'expérience active des formes construites (CHELKOFF, 2004). Dans ce contexte, plusieurs approches ont été utilisées dans le monde à savoir:

3.1.1 L'approche dynamique

Les approches dynamiques (THIERS, 2008) permettent d'anticiper le futur comportement du bâtiment par le biais d'une simulation dynamique (orientée vers un axe spécifique comme la thermique). Le calcul s'appuie d'une part, sur les informations de surface et d'ouvrage qui ont été renseignées sur le projet (matériaux, équipements, etc.) et éventuellement d'une modélisation, d'autre part, sur une base de données relative aux domaines spécifiques simulés. Le calcul dynamique reproduit l'interaction entre les éléments du bâtiment et les éléments extérieurs. Cette simulation permet d'anticiper le futur comportement de l'édifice et ainsi estimer une qualité environnementale spécifique. La simulation dynamique modélise, pour un pas donné, le comportement du bâtiment en fonction des hypothèses et des contraintes renseignées. Ces approches s'effectuent notamment en trois étapes. Premièrement, la définition des caractéristiques du bâtiment (volumétrie, matériaux, techniques, etc.) et de son site (géographie, climat, etc.). La deuxième étape consiste en la simulation. Le modèle

renseigné est ensuite transféré vers un moteur de simulation dynamique. Troisièmement, l'analyse des résultats ou comparaisons de différents scénarios, pouvant conduire à d'éventuelles modifications (WEISSENSTEIN, 2012). Les algorithmes utilisés par les moteurs de simulation sont notamment confrontés à ceux d'autres logiciels, mais également comparés, lors d'expérimentations, aux données recueillies sur site (JOSEPH *et al.*, 2011). Ces vérifications permettent de s'assurer de l'adéquation des modèles de simulation avec les réalités physiques. Nous retrouvons notamment dans cette catégorie d'approche, les logiciels suivants: Ecotect10, Trnsys11, Fluent, Tas, etc.

En conclusion, l'approche dynamique est une méthode estimative qui sert à évaluer la qualité environnementale, c'est dire si le bâtiment possède une certaine propriété écologique, à quel niveau ou encore sur quels aspects ou enjeux. Cette appréciation permet de faire un bilan environnemental à un instant particulier de la conception, le concepteur détient alors la possibilité de modifier les éléments qui ne seraient pas satisfaisants afin de les améliorer. Ce type d'approche intervient donc dans l'assistance à l'évaluation d'une proposition.

Cette approche est largement répandue dans le domaine de la tour à vent, elle est utilisée pour la validation de la performance énergétique du système par simulation lors de la phase préliminaire de conception ainsi que pour le développement de leur design et technique de fonctionnements (voir chapitre 2).

3.1.2 L'approche par matrice

Les approches par matrices sont des tableaux à doubles entrées (ou plus) mettant en avant des liens de causes à effets. C'est notamment Léopold (LÉOPOLD *et al.*, 1971) qui propose en 1971 l'utilisation de ce système pour l'évaluation de l'impact des projets de construction. Les approches par matrices se sont développées, répondant à des besoins spécifiques. Nous trouvons notamment quatre types: simple, descriptive, numérique et à symboles (GALVEZ-CLOUTIER & GUESDON, 2011). Elles servent essentiellement à l'identification des impacts et des enjeux environnementaux liés à un contexte donné.

Le développement de ce type d'approche dans notre domaine d'étude, s'étant estompé ces dernières années, les exemples contemporains sont peu nombreux. Cependant, quelques méthodes, bien que datant, nous semblent pertinentes et toujours d'actualités. Il nous parait important donc de citer: le diagramme bioclimatique de Givoni, le diagramme psychométrique de Steeve Sckolay et les tables de Mahoney. Cette approche peut être utilisée pour la comparaison des résultats obtenus via la tour à vent par rapport aux plages de confort.

3.1.3 L'approche par base de connaissances

Les approches par bases de connaissances consistent en un ensemble d'informations plus ou moins ordonnées, apportant des connaissances spécialisées. Des indications de l'ordre de bonnes pratiques, de caractéristiques ou d'enjeux écologiques peuvent être renseignées. Ces bases de connaissances sont susceptibles d'apporter des informations utiles pour le concepteur. Elles peuvent se trouver sous forme de guides, de livres, ou encore de forums. Nous citons comme exemples: wind towers: Architecture, climat and sustainability, les tours des vents de Yazd (Iran), Passive and low energy cooling of buildings, L'homme, l'architecture et le climat, Le traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique, Energy and Environment in Architecture, Environemental design. Cette approche est indispensable pour la compréhension, l'analyse et le développement de ce système de rafraîchissement.

En conclusion, les approches par bases de connaissances et à matrices, sont des approches par suggestion. La clarification des enjeux écologique et l'incitation vers des solutions adaptées permettent d'orienter le concepteur vers des choix architecturaux spécifiques. De meilleures intégrations et compréhensions des enjeux environnementaux peuvent aboutir à un projet ayant une qualité environnementale supérieure. Ces types de méthodes peuvent donc assister lors de la conception, la formulation des problèmes et l'émergence d'une solution primaire.

3.1.4 L'approche typologique (iconique)

Est une démarche empirique analytique consistant à définir ou étudier un ensemble de types, afin de faciliter l'analyse, la classification et l'étude de réalités complexes. Elle repose sur l'observation des échantillons sélectionnés pour étudier la question de la continuité (la permanence) et du changement dans les conceptions architecturales. Il s'agit de l'ensemble des types d'espaces, d'éléments architectoniques spécifiques et des principes de leurs organisations et configurations significatives. En d'autres termes, il s'agit des formes persistantes et de leurs représentations prégnantes dans une société spécifique (LAROUSSE, 2010). Selon Caniggia, parler du processus typologique c'est reconnaître aux structures de l'habitat les deux dimensions: diachronique (évolution dans le temps) et synchronique (évolution par rapport à la position). C'est un classement des variations typologiques des structures de l'habitat, selon ces deux dimensions. Le processus typologique rend possible l'analyse des différentes structures de l'habitat et leur évolution dans le temps suivant une certaine logique dans une continuité des relations.

Les types sont une expression d'une pratique sociale, culturelle, économique et constructive (ALDO ROSSI *et al*., 1979). Dans une vision synchronique que Caniggia s'efforce d'articuler à l'analyse historique, le type est un élément dont il s'agit de montrer le rapport à la morphologie. Les types sont décrits selon les caractéristiques suivantes: principes d'organisation spatiale en plan et en élévation, ouvertures, galeries/loggias, entrée, distribution fonctionnelle, système constructif, insertion dans le milieu physique bâti et naturel et formes de groupement. Un type se construit par abstraction rationnelle en deux temps :

- Dans une famille donnée, les propriétés des objets qui la composent sont exploitées en fonction des trois critères: topologique, géométrique et dimensionnel;
- Les propriétés communes des objets d'une même famille sont réunies pour définir le type.

Selon MALFROY et CANIGGIA (1986), le type a priori est une somme d'informations organisées. C'est un concept qui a le caractère d'un code émanant d'un savoir-faire collectif dans une tradition constructive, il est l'idée qui précède l'acte. Alors que, le type a posteriori est une construction scientifique issue d'une analyse et qui s'efforce de décrire systématiquement le contenu du type a priori. Étant une interprétation, le type a posteriori est forcément provisoire et dépend de l'avancement des connaissances et de l'évolution des systèmes socioculturels. Le standard est une règlementation ponctuelle (fixant le gabarit des constructions par exemple) établie sans faire intervenir l'ensemble des composantes du type. Le standard est le résultat de normes souvent arbitraires. Par contre, le type représente une très longue tradition constructive, qui varie d'un lieu à un autre et d'un temps à un autre. D'après Caniggia, il manque au standard l'organicité du type. Le résultat de l'analyse typologique désigne les caractéristiques architecturales des éléments, qui ont persisté à travers l'histoire et les lieux ou ont changé à travers le temps (LAYACHI, 2018).

La contribution de l'application de l'approche typologique en habitat est importante notamment dans l'analyse typologique des constructions rafraichies passivement. L'analyse typologique comparative des différents types de logements traditionnels appliquée pour l'analyse des conceptions actuelles des maisons contemporaines a servi pour l'étude de la continuité et du changement dans les conceptions des maisons. La sélection d'exemples contemporains identifiés démontre les diverses approches et formes qui caractérisent les styles actuels des maisons, cependant, ces échantillons ne sont pas des exemples définitifs. Bien que ces exemples n'aient pas entièrement réussi dans l'effort (de combiner le passé et le présent), il convient néanmoins de les explorer. La dualité entre un climat à contrôler et les ressources

constructives nécessaires pour ce contrôle est une des raisons qui ont poussé l'imaginaire collectif à véhiculer certains archétypes formels ayant prouvé leur efficacité. Toutefois, d'autres raisons d'ordre culturel encouragent un certain conservatisme formel et technique (BROADBENT, 1988).

L'approche typologique a été exploitée pour analyser la prégnance des systèmes de rafraîchissement sur les bâtiments rafraîchis passivement. L'analyse typologique des bâtiments rafraichis passivement permet de comprendre comment les erreurs faites d'une part par le concepteur et d'autre part par le maitre d'ouvrage ont causé le dysfonctionnement du système bâtiment/tour à vent et par conséquent découvrir les points faibles du système. Afin d'avoir des informations sur la posture de l'architecte par rapport à l'intégration du système de rafraîchissement passif dans l'architecture, la combinaison entre l'analyse typologique, le digramme psychométrique de Givoni et l'enquête au moyen d'un formulaire de question permet de ressortir les contraintes architecturales importantes liées au système de rafraîchissement.
Dans son ouvrage «*The Architectural Expression of Environmental Control Systems*», BRAID (2001) classe les bâtiments réalisés selon la volonté du concepteur de manifester la présence des systèmes de refroidissement passif en cinq niveaux à savoir:
Le niveau un, sera attribué aux bâtiments, dont le concepteur fait des efforts supplémentaires pour cacher les systèmes de rafraîchissement passifs. Le niveau deux sera attribué aux bâtiments, dont le concepteur permet de percevoir les systèmes, mais il n'a fait ni des efforts supplémentaires pour les dissimuler ni pour les mettre en évidence. Le niveau trois sera attribué aux bâtiments, dont le concepteur met en évidence les systèmes de rafraîchissement avec de simples modifications de la peau extérieure. Le niveau quatre sera attribué aux bâtiments, dont le concepteur met en évidence les systèmes de rafraîchissement, les systèmes deviennent langage architectural. Le niveau cinq sera attribué aux bâtiments, dont le concepteur met en évidence les systèmes de rafraîchissement, le fonctionnement des systèmes n'est plus la priorité, mais la priorité est de les utiliser en tant qu'objets architecturaux. Par exemple « *l'emplacement de la tour à vent évaporative comme dispositif de rafraîchissement passif à une certaine distance du bâtiment au milieu du patio n'est pas seulement pour des raisons techniques, mais aussi pour des fins esthétiques. Si la tour avait été positionnée sur la toiture, elle aurait pu être légèrement plus efficace. La différence de hauteur majeure aurait permis aux gouttelettes d'eau de mieux s'évaporer »* (GIANLUCA, 2012).

La typologie des bâtiments rafraîchis passivement a permis de comprendre l'impact des systèmes de rafraîchissement passifs sur l'architecture. Dans le travail de recherche de

(MANSOURI, 2003), «*Conception des enveloppes de bâtiments pour le renouvellement d'air par ventilation naturelle en climats tempérés Proposition d'une méthodologie de conception»,* elle analyse la typo/topologie des systèmes de ventilation par rapport à la typologie des bâtiments rafraîchis en utilisant comme support une grille d'analyse morphologique des systèmes de rafraîchissement. Ce qui ressort ce sont les contraintes architecturales importantes associées à ces systèmes. La mise en forme des fiches d'analyses réalisées sur les différents dispositifs architecturaux a pour but de comprendre comment fonctionne le bâtiment, la posture de l'architecte et la prégnance des systèmes de rafraîchissement sur l'architecture. Cette démarche a permis la compréhension que certains systèmes de rafraîchissement imposent des choix architecturaux et typologiques précis.

3.1.4.1 Limites de l'approche typologique

L'utilisation de l'analyse typologique est soutenue par plusieurs chercheurs, mais elle reste critiquée sur plusieurs points. Parmi les points essentiels nous citerons:

- La séparation entre le type et l'individu (GREGOTTI & REICHLIN, 1985) qui va réduire la capacité de la conception architecturale à trouver le rapprochement nécessaire des idées dans la réalité.
- La transformation de la conception architecturale libre en une recette à respecter à la lettre, ce qui nous rapproche plus de la standardisation.
- Le projet architectural devient un processus machinal.

3.1.5 L'approche socioéconomique et environnementale

Au fil des trente dernières années, les acteurs de l'éducation relative à l'environnement ont compris que l'environnement n'est pas qu'un objet d'études ou qu'un thème à traiter parmi d'autres; il n'est pas non plus que la contrainte obligée d'un développement que l'on souhaite durable. La trame de l'environnement est celle du réseau de la vie elle-même, à la jonction entre nature et culture; l'environnement est le creuset où se forgent notre identité, nos relations d'altérité, notre « être au monde » (SAUVÉ, 2002).

La nécessité de dépasser les approches analytiques et thématiques et de mettre au point des concepts et des outils capables de mieux appréhender la complexité de la réalité, de nature multidimensionnelle, a gagné de nos jours le consentement d'un large public tant scientifique que politique. Ce constat a été consolidé suite aux difficultés survenues lors de l'élaboration des indicateurs de développement durable et de suivi évaluation de la désertification durant les années 90. Les spécialistes ont soulevé sérieusement l'incapacité des indicateurs

unidimensionnels sectoriels et thématiques, lorsqu'ils sont pris individuellement, à refléter la durabilité qui devrait être exprimée par la combinaison ou la synthèse de plusieurs indicateurs.

La prise en compte de la dimension socioéconomique (centre des enjeux du développement durable) par rapport à la réalité environnementale a évolué progressivement sous l'impulsion de plusieurs facteurs de différents ordres.

L'approche socioéconomique et environnementale privilégie quatre niveaux d'intégration des dimensions socioéconomiques et environnementales à savoir: le niveau conceptuel, le niveau de la démarche et des outils, le niveau de la mise en œuvre des dispositifs de surveillance dans les observatoires et le niveau de l'accompagnement de la décision. Elle a également abouti à l'élaboration des méthodologies harmonisées de collecte, de traitement et d'analyse des données environnementales et socioéconomiques.

Le développement durable a intégré la dimension socioéconomique dans les principaux enjeux environnementaux dès le départ. En effet, depuis le sommet de FOUNEX en 1971, la hiérarchisation de ces enjeux a connu des évolutions importantes avec une priorisation de plus en plus poussée à la dimension sociale. Lors de la conférence de FOUNEX, le développement économique était au centre des préoccupations, l'environnement est considéré en tant que coût et contrainte. De Stockholm à Rio, l'environnement était prioritaire conjointement avec l'économie. À Johannesburg, le développement social a pris le pas sur l'économie et l'environnement tant que les humains sont responsables des progrès économiques et environnementaux.

Aujourd'hui, il existe de nombreuses tentatives pour conceptualiser et opérationnaliser l'intégration de la dimension socioéconomique avec la dimension environnementale au niveau conceptuel. Des concepts tels que "population-environnement", "nature-sociétés", "ressources-usages" ont été développés au sein de plusieurs programmes dont les plus importants ROSELT/OSS et DYPEN.

L'approche socioéconomique et environnementale a été exploitée dans l'évaluation quantitative et qualitative des systèmes de refroidissement passif tels que la tour à vent.

Dans un contexte historique, la tour à vent est efficace pour modérer passivement les températures intérieures à travers l'effet de tirage thermique, l'effet attrape vent, la masse thermique, la ventilation croisée et les techniques d'évaporation (EL MUALIM, 2009). Malgré les améliorations adoptées à ce système passif, il est rarement utilisé au cours des dernières décennies en raison de nouveaux inconvénients tels que les difficultés d'entretien, le manque

de techniques de filtration d'air, la réduction de la performance de refroidissement en milieu urbain, la polyvalence de l'utilisation de l'espace habitable et les dépendances qui en résultent sur les systèmes de refroidissement mécaniques (COSTE, 2014) et (HUGHES & GHANI, 2012). À cet égard, le principal défi du XXIe siècle consiste à tirer des enseignements fondamentaux et des principes de l'architecture de nos ancêtres ainsi qu'à trouver des moyens d'intégrer ces principes dans les programmes de développement pour moderniser les établissements existants et en planifier de nouveaux. Le défi consiste à découvrir comment les connaissances, les compétences et l'expérience acquises par nos ancêtres peuvent être fructueusement appliquées dans un contexte contemporain (ASQUITH & VELLINGA, 2006).

L'approche socioéconomique et environnementale appliquée dans ce domaine vise à adapter les concepts traditionnels de refroidissement passif tels que la tour à vent dans de nouveaux contextes: le contexte urbain dense et le contexte contemporain écologique. Elle met l'accent sur l'adaptabilité de l'habitant envers ces systèmes vernaculaires de rafraîchissement passif et ces derniers envers le progrès technologique contemporain (matériaux et techniques d'usage avancées) dans un souci environnemental. L'objectif global est d'évaluer dans quelle mesure ces systèmes passifs peuvent être intégrés avec succès dans nos villes en particulier au niveau des bâtiments contemporains (existants ou nouveaux). L'amélioration de la performance énergétique des constructions contemporaines, la réduction de carbone, l'acceptation culturelle des systèmes de rafraîchissement passif et le confort thermique des occupants sont les principales cibles de cette démarche.

À l'échelle urbaine: De nos jours, sans aucun doute, l'utilisation de la ventilation naturelle au lieu des systèmes de climatisation dans les villes à haute densité (en raison de la croissance démographique et de l'immigration), contribue à réduire la consommation excessive d'énergie. Mais, les facteurs climatiques tels que la variabilité de la vitesse du vent et les températures élevées dues aux effets de l'îlot de chaleur urbain, le bruit et la pollution de l'environnement urbain dense, rendent difficile l'application de ce principe. Dans un cadre socio-environnemental et en raison de savoir comment fonctionne une tour à vent dans un contexte urbain contemporain, l'analyse comparative des contextes urbains des villes dotées de tours à vent (comme Yazd, Isfahan ou Bandar en Iran) et sans tours à vent devient essentielle. Parmi les facteurs recommandés pour l'analyse, on distingue: l'orientation des bâtiments et de la cour, le climat, la topographie, le plein et le vide, la rose des vents saisonniers, l'emplacement des tours à vent dans le bâtiment et son interaction avec les bâtiments avoisinants. Le but de cette analyse est d'ajuster les propriétés des villes traditionnelles avec leurs homologues

contemporaines et de transmettre les caractéristiques du contexte urbain traditionnel nécessaires à l'application de la tour à vent à l'environnement urbain contemporain. Il convient de noter qu'un examen du nombre estimé d'habitants de ces villes doit être pris en compte lors de l'analyse et de la mise en œuvre de ce système (HOMEIRAALSADAT, 2016).

À l'échelle de la construction: Dans l'approche socio-environnementale, trois facteurs sont pris en considération lors de l'étude des constructions avec et sans tours à vent à savoir: l'acceptation culturelle, le confort thermique des occupants et la performance énergétique des systèmes de rafraîchissement. Les dimensions de la construction et de la tour, les conditions microclimatiques et la morphologie urbaine sont aussi identifiées lors de cette analyse. Cette démarche situe les transformations croisées entre le tissu urbain en évolution et l'accommode socioculturelle avec la performance environnementale et l'industrie locale des matériaux. Elle s'effectue en deux étapes à savoir:

La 1re étape est une combinaison d'activités théoriques (revue de la littérature) et pratiques (travaux sur terrain) dans lesquelles les objectifs suivants doivent être atteints:

- Évaluer les stratégies existantes de refroidissement passif utilisées dans les bâtiments vernaculaires dans le climat chaud et sec en termes de performance énergétique, de confort thermique des occupants et d'acceptation culturelle.
- Classer les types de bâtiments contemporains dans les climats chauds et secs par leur construction et leur forme, et évaluer leur performance énergétique.

Ce travail est effectué via des observations directes in situ et des campagnes de mesures. Les bâtiments étudiés seront choisis parmi une gamme de bâtiments traditionnels à refroidissement passif et actif (climatisés) selon des critères tels que la taille, la conception de l'aménagement, le type de ventilation, la vocation actuelle et l'état de la construction. Trois aspects principaux des bâtiments vernaculaires seront traités de façons théorique et pratique à savoir: l'aspect physique et culturel, l'aspect confort thermique et les aspects de performance énergétique du bâtiment vernaculaire par rapport au bâtiment contemporain.

L'aspect physique et culturel reflète le mode de vie et les significations sociales, économiques, culturelles et environnementales habitant/construction. Selon AHMADREZA & FERGUS (2008) et FORUZANMEHR (2012), pour comprendre les bâtiments traditionnels dotés de tours à vent et identifier les aspects physiques et culturels des types traditionnels par rapport à leurs homologues contemporains, ils doivent être examinés de manière critique dans le contexte de la vie contemporaine en suivant les tâches suivantes:

- Passer en revue de la littérature existante pour déterminer les principes et les interprétations de l'architecture vernaculaire; examiner comment les bâtiments vernaculaires ont fonctionné en symbiose avec l'environnement social et culturel dans les climats chauds et secs; découvrir comment ils ont pu évoluer au fil du temps en examinant différents aspects tels que la chronologie, l'histoire (comparaisons historiques), l'ordre social: les formes et les causes (ordre social, communauté, famille, matériel, technologie, etc.), la forme, l'espace, le style, le type, la fonction, la technologie architecturale (comment les ressources naturelles sont traitées et le travail est organisé - continuité des compétences), le matériau (local ou importé), la composition (intérieur-extérieur) et la décoration (masse contre ornements).

- Identifier les modèles architecturaux dans les régions chaudes et sèches, en examinant les problèmes et les solutions notamment les modèles de la zone familiale privée (maison), les modèles de voisinage; et les modèles d'espaces publics. En étudiant les points susmentionnés, il est possible de définir des critères de choix de l'échantillonnage des bâtiments en tenant compte de leur taille, de leur conception, de leur type de ventilation, de leur fonctionnalité actuelle et de l'état physique de leur enveloppe.

Des entrevues semi-structurées avec des experts locaux (professionnels du design, autorités locales, architectes, constructeurs et fournisseurs de matériaux), des observations personnelles in situ ainsi qu'un formulaire de questions destiné aux habitants de l'échantillonnage (sélectionnés selon l'âge, le sexe et la profession), sont nécessaires pour accomplir cette étape d'analyse. L'enquête comprendra des questions sur le comportement des occupants et leurs opinions sur l'importance historique et identitaire des bâtiments traditionnels ainsi que sur d'autres facteurs qui affectent l'usage de la construction traditionnelle dotée tours à vent tels que la sécurité, l'assainissement, les surcoûts de fonctionnement, les dépenses et les difficultés d'entretien.

Les données qualitatives dégagées des entretiens, du formulaire de question et de la revue de littérature seront analysées dans un deuxième temps pour déterminer les modèles architecturaux valables aujourd'hui et les suggestions qui peuvent être proposées pour leur application dans les bâtiments contemporains.

L'aspect confort thermique que les bâtiments traditionnels le procurent à leurs occupants, est un autre axe à étudier dans cette approche. Pour étudier le confort thermique des bâtiments anciens dotés de tours à vent selon les avis des occupants, un certain nombre d'activités théoriques et pratiques seront entreprises. Le travail théorique comprend l'étude de la littérature pertinente actuelle sur:

1. le confort thermique lié à la conception du bâtiment;
2. les modèles et la température prévisible de confort;
3. les modèles de confort acceptables pour les bâtiments rafraichis passivement dans le climat chaud et sec;
4. l'approche adaptative du confort thermique et sa relation avec la température extérieure;
5. l'adaptation et l'acclimatation dans les climats chauds et secs;
6. les impacts probables du réchauffement climatique sur le confort thermique.

Le travail pratique comprend les actions suivantes:

1. La récolte des données climatiques (météorologiques)
2. L'établissement des enquêtes sur les conditions thermiques intérieures dans les bâtiments dotés de tours à vent via des questionnaires sous forme de vote de confort (échelle Bedford à 7 points) et de vote préférentiel (échelle de 5 points). Des questionnements sur l'hydratation de la peau (4 points); l'activité; l'habillement; l'utilisation des commandes (fenêtre, ventilateur, store, rideau, porte, climatisation, etc.) sont aussi nécessaires pour une meilleure évaluation du confort thermique à l'intérieur. Les données de l'enquête sur le confort thermique seront analysées dans la deuxième étape pour déterminer la température la plus confortable (ou confortable pour le plus grand nombre de personnes) en été dans les bâtiments de l'échantillon à refroidissement passif.

L'aspect performance énergétique est analysé par un audit énergétique afin d'évaluer le niveau de consommation et les **potentialités d'économie** d'énergie des bâtiments contemporains de l'échantillon. Cela comprendra l'identification des facteurs qui affectent la consommation d'énergie du bâtiment tels que: le type, l'occupation, l'orientation et l'emplacement. Les résultats de l'audit énergétique montreront le gain/la perte de chaleur à travers le plan de masse du bâtiment et les infiltrations entre l'intérieur et l'extérieur (fenêtres, portes, parois vitrées, murs, ...etc.) avant l'intégration du système tour à vent.

La **2e étape** consistera à développer et simuler les modèles architecturaux maintenus de l'échantillon via des logiciels de modélisation thermique (tels que Rad Therm, Natural Environment, Ecotect, TAS ou IES). Cette étape vise à:

1- Évaluer l'effet de l'intégration des tours fraiches acceptées culturellement et testées en termes de performance énergétique et de confort thermique dans les types de bâtiments contemporains. Cette évaluation se fait en simulant plusieurs scénarios.

2- Élaborer des recommandations pour réduire les émissions de carbone dans les types actuels de bâtiments contemporains en intégrant de systèmes de refroidissement passif avancés.

D'abord, l'efficacité des stratégies vernaculaires intégrées sera évaluée par rapport à la réduction de la consommation d'énergie, des émissions de CO2 et au confort thermique dans les régions chaudes et sèches. Les données quantitatives dégagées de l'enquête de confort thermique et de l'audit énergétique doivent être analysées à l'aide de SPSS ou d'autres logiciels de statistique. Les données qualitatives à savoir le contenu des questions ouvertes dans le formulaire de questions et les réponses des personnes interrogées seront d'abord croisées puis divisées sous les rubriques principales. Elles seront ensuite révisées, modifiées et mises dans des listes exploitables pour une analyse descriptive et interprétative. Cette dernière établira certains critères sur la base desquels l'efficacité des stratégies de refroidissement passif peut être évaluée. Le résultat de cette évaluation clarifiera quelles stratégies sont culturellement acceptables, toujours valables et efficaces dans le contexte contemporain.
À ce stade, l'intégration par simulation de la stratégie de refroidissement validée dans les modèles architecturaux définis dans la 1ère étape permettra un examen plus détaillé. Les modèles seront par la suite développés sur la base des informations recueillies à partir de la revue de la littérature, de l'enquête sur le terrain et de la campagne de mesures menées dans la première phase. Ces informations sont liées à la géométrie du bâtiment, les spécifications des composants, les modèles d'occupation et les données météorologiques.

Un programme de modélisation thermique sera choisi tel que Rad Therm, Natural Environment, Ecotect, TAS ou autres. Les modèles architecturaux maintenus seront calibrés avec les données de l'enquête. Les systèmes de refroidissement passif vernaculaires validés dans les étapes précédentes seront intégrés dans ces modèles. Ces derniers seront modélisés numériquement et de nouvelles performances thermiques et énergétiques seront calculées en fonction de différents scénarios liés au réchauffement climatique. Les résultats numériques obtenus des différents scénarios seront analysés pour évaluer l'efficacité des stratégies passives intégrées. Des recommandations comme dernière étape seront élaborées pour l'application de ces stratégies aux bâtiments contemporains existants, répondant à l'applicabilité, à la compatibilité et aux exigences réelles des habitants.

En conclusion, cette approche sert à produire des conceptions économes en énergie via l'application des systèmes de refroidissement passif dans les constructions contemporaines tout en offrant des avantages socioculturels. Cette approche devrait déboucher sur des résultats qui

permettront de mieux comprendre la relation entre les variables qui influencent l'acceptation et l'intégration des technologies architecturales ancestrales de refroidissement passif aussi bien dans le contexte urbain dense que contemporain écologique.

3.1.5.1 Limites de l'approche socioéconomique et environnementale

L'approche socioéconomique et environnementale n'est pas qu'un outil de résolution de problèmes ou de gestion environnementale, mais plutôt une dimension fondamentale de l'éducation qui se rapporte à un champ d'interactions basé sur le développement personnel et social (SAUVÉ, 2002). L'ajout de données environnementales dès le départ à la conception complique le processus et rend le démarrage difficile, car cela amplifie les interactions et les contradictions et rend l'équilibre et le consensus plus difficiles. Cette approche présente beaucoup de contraintes sur plusieurs points à savoir:

* La multiplicité des facettes de la relation environnement-société qui correspond à diverses façons complémentaires d'appréhender l'environnement (SAUVÉ, 2002):

- L'environnement – nature: à apprécier, à respecter, à préserver
  L'environnement - ressource (matière et énergie): à gérer, à partager d'une façon rationnelle et équitable
- L'environnement - problème: à prévenir, à résoudre les problèmes environnementaux
  L'environnement - milieu de vie: à connaître, à aménager avec un regard neuf, appréciatif et critique à la fois.
- L'environnement - biosphère (où vivre ensemble et à long terme)
- L'environnement - projet communautaire (où s'engager)
- L'environnement - paysage
- L'environnement - territoire

* La prise en compte insuffisante de la réalité environnementale (SEGHAIR, 2012).

* C'est un cadre réducteur, l'approche s'y voit limitée à n'être plus qu'un instrument parmi une multitude d'autres « formes d'éducation thématiques », au service du développement durable pour être ramenée plus étroitement au domaine des sciences biophysiques et de la technologie, domaine privilégié de la nouvelle « économie du savoir » (SAUVÉ, 2002)

* La généralisation (im)possible des niveaux de vie occidentaux à la planète (à moyen ou à long terme) compte tenu des limites de l'environnement (ZACCAI, 2002).

* Cette approche est généralement identifiée par l'expression « *standards and prices* » (normes et prix). Par hypothèse, une norme est édictée par les pouvoirs publics sur la base de considérations diverses: écologiques, sociales, politiques, économiques,.. (BOIDIN & ZUINDEAU, 2006).

***** La complexité de la réalité environnementale et le recours à l'approche systémique pour l'appréhender (SEGHAIR, 2012).

3.1.6 L'approche systémique « Systems thinking »

Née aux États-Unis au début des années 1950, connue et pratiquée en France depuis les années 1970, l'approche systémique s'oppose à l'approche analytique - qui atomise en éléments simples et recherche des séries causales indépendantes -, en essayant de rendre compte des différents ensembles organisés présents dans le monde sans les dissocier (WIPPLER & LUZEAUX, 2017). L'approche systémique est constituée d'un ensemble de théories et de méthodes qui ont pour objectif d'expliquer le fonctionnement des systèmes. Elle est transdisciplinaire et peut être employée dans presque tous les domaines de la connaissance (écologie, urbanisme, thérapie familiale, etc). Elle repose sur l'appréhension concrète d'un certain nombre de concepts tels que: système, interaction, rétroaction, régulation, organisation, finalité, globalité, évolution, etc (DONNADIEU *et al.*, 2003). Combinant en permanence connaissance et action, la systémique se présente comme l'alliance indissoluble d'un savoir et d'une pratique. Soit un ensemble et ses composants. Alors, l'ensemble possède des propriétés qui proviennent de l'assemblage lui-même; il s'ensuit trois conséquences. S'il se défait, les propriétés disparaîtront. Si l'organisation change, les propriétés changeront. L'ensemble ne doit pas être décomposé, car il perd ses propriétés. Certaines des propriétés des composants sont attribuables aux relations qu'ils entretiennent avec les autres au sein de l'ensemble. Elles ne peuvent donc être connues si nous les séparons de l'entité. L'ensemble peut et doit être considéré pour lui-même, indépendamment de ses constituants. Ainsi, suivant la formule d'Aristote, « *le tout est plus que la somme des parties* ». Ceci est d'autant plus important dans l'architecture d'un système et notamment quand nous nous intéressons au sacrosaint principe de décomposition et de recomposition permettant a priori de simplifier une problématique d'ingénierie: en effet, lors de la recomposition du processus d'intégration, vont apparaître des propriétés qui n'auraient pas nécessairement été vues sur les niveaux en train d'être intégrés (WIPPLER & LUZEAUX, 2017).

De nombreux travaux de recherche ont démontré les limites des approches mono-disciplinaires pour interpréter la réalité environnementale. BROSSIER (1987) souligne

"*l'insuffisance de la démarche analytique et la nécessité de mieux prendre en compte certains éléments que l'on peut lier au concept de système*". Les approches interdisciplinaires, systémiques se présentent comme une réponse pertinente au problème des risques imputés à la juxtaposition et à la compilation des sciences biophysiques, écologiques et sociales ainsi que des risques imputés aux modèles déterministes (SGHAIER & SANDRON, 2000). Le défi majeur est d'assurer l'interaction entre les données et les analyses socio- économiques et écologiques au sein des approches systémiques, intégrées et multidimensionnelles mises en œuvre durant le processus d'observation socioéconomique et environnementale (SGHAIER, 2012).

L'approche systémique a été largement appliquée en écologie notamment dans le domaine de l'analyse des bâtiments à rafraîchissement passif. C'est une méthodologie apte à évaluer le bâtiment et ses dispositifs architecturaux et de les interpréter comme s'ils étaient une machine ou un ensemble. L'évaluation des bâtiments rafraîchis passivement dans cette approche ne s'est pas limitée à une simple analyse cartésienne, mais a pris en considération les composantes d'usage et de fonctionnement des systèmes de rafraîchissement. L'évaluation dans cette approche s'appuie sur les caractéristiques du bâtiment afin d'assurer le confort thermique des usagers notamment en été. Pour analyser le fonctionnement d'un bâtiment, il faut toujours se référer au système bâtiment, avec ses différentes composantes d'usage, d'ingénierie, sociales, etc. Pour créer des normes appropriées à donner des informations sur la réalisation de ces systèmes de rafraîchissement passif, une analyse des bâtiments vernaculaires et/ou contemporains rafraîchis passivement est nécessaire. Cette analyse a mis en avant les erreurs plus communes causant un mauvais fonctionnement des systèmes de rafraîchissement et les idées innovatrices qui en assurent le succès. Selon GIANLUCA (2012), les critères de choix des bâtiments à analyser doivent répondre aux conditions suivantes:

- Le but de l'architecte-concepteur doit être de réaliser une construction peu énergivore assurant le confort thermique des usagers,
- Construire un bâtiment-système qui par son fonctionnement actif puisse réduire les surchauffes en été sans recourir à la climatisation mécanique.
- La possibilité d'accéder à des données scientifiques au sujet du bâtiment étudié. De plus, ces données doivent venir de diverses sources, non impliquées dans le processus de réalisation du bâtiment.

Les bâtiments ont été analysés en tant que systèmes ayant comme objectif de garantir le confort thermique des usagers. Pour pouvoir mieux comprendre les systèmes bâtiments, ils ont

été démembrés en dispositifs architecturaux sans oublier leur fonction dans le système général. La division en dispositifs dérive de la recherche de HANROT (1989) qui travaille sur la modélisation de l'architecture, pour analyser le bâtiment de façon exhaustive, il crée une méthodologie, basée sur les niveaux de définition. Comme la lecture d'un plan à différentes échelles nous donne différents détails, de la plus grande échelle à la plus petite, du dessin général, au détail constructif. Selon HANROT (2009), l'évaluation relative de la qualité architecturale des bâtiments est effectuée via une approche par le point de vue des acteurs.

Une échelle de valeurs numérique de 1 à 6 est fixée. Les notes composées permettent d'apprécier qualitativement le bâtiment: 1=critique, 2=pénalisant, 3=neutre, 4=actif, 5=performant, 6=optimisé. Ces notes apprécient le comportement bioclimatique du bâtiment. Une note inférieure à 3 montre que le dispositif n'est pas en harmonie avec le bâtiment. Cela peut comporter des problèmes de fonctionnement du système bâtiment jusqu'à arriver à un point critique. Une note supérieure à 3 signifie que le dispositif en question contribue efficacement au fonctionnement du système bâtiment et améliore le confort thermique des usagers (GIANLUCA, 2012).

La décomposition verticale des bâtiments donne lieu à une matrice de données quantitatives et qualitatives, la base de données critique. C'est à l'intérieur de cette base de données que se trouve l'analyse détaillée de chaque dispositif architectural. Les dispositifs sont classés selon leur appartenance à cinq familles: la morphologie, la conception bioclimatique, l'usage, le système de rafraîchissement et l'éclairage naturel. Chaque dispositif est étudié et évalué par rapport à sa capacité d'interagir avec l'ensemble et améliorer la capacité du bâtiment à atteindre son objectif. L'analyse des dispositifs critiques permet d'approfondir la connaissance du bâtiment. Les dispositifs critiques ce sont ceux qui, mal conçus ou mal réalisés, peuvent compromettre le fonctionnement bioclimatique du bâtiment. Les dispositifs critiques sont reportés sur un graphe radar. Pour conclure, nous avons remarqué que dans l'approche systémique, la variable comportementale est fondamentale pour le succès d'un bâtiment rafraichi passivement.

3.2 Modèle d'analyse des problèmes

L'assimilation du processus de conception à un processus de résolution de problème, a été l'élément fédérateur des premières approches de modélisation qui ont évolué par la prise en compte d'étapes intégrant des activités telles que l'intuition ou la conception d'une image. L'une de ces approches est le modèle d'analyse de problèmes. Le modèle d'analyse de

problèmes proposé par l'architecte-mathématicien C. ALEXANDER en (1971), est une méthode de conception architecturale cartésienne, largement influencée par les méthodes scientifiques et basée sur la résolution de problèmes. Cette méthode revoit les méthodes de conception architecturale jugées obsolètes en regard notamment de la transformation et de la détérioration de l'environnement (ALEXANDER, 1964). Alexander propose de diviser le programme auquel le concepteur doit répondre en autant de propositions élémentaires qui constituent des ensembles, composant la structure du problème (LE COGUIEC, 2012). Il s'agit de construire un ensemble d'énonces du problème qui permet, par induction, de découvrir les formes qui satisferont au mieux les conditions d'adéquation au contexte de l'objet à concevoir. La structure de l'ensemble des énonces et leurs interactions sont représentées sous forme d'un réseau de probabilités qu'il faut transformer en hiérarchie pour proposer une décomposition du problème en sous problèmes. L'examen de chaque sous-problème permet au concepteur de définir des propriétés de la forme à concevoir. Ce modèle présuppose que l'objet final n'est que l'expression d'une logique fonctionnelle hiérarchique (GILLES, 2004).

3.3 Choix du modèle d'analyse systémique

Contrairement à l'approche analytique, l'approche systémique considère la réalité comme étant un ensemble d'éléments inter liés et interdépendants agencés suivant un système organisé. Lequel système intègre toutes les dimensions de la réalité, aussi bien la dimension sociale qu'économique ou bien environnementale.

Concevoir un bâtiment économe en énergie est avant tout une démarche globale, qui prend en compte plusieurs facteurs: l'environnement, l'architecture, les changements sociaux, économiques et techniques, et bien évidemment l'homme. Le coût énergétique d'un bâtiment est réparti en production d'eau chaude sanitaire; en électricité; en coût de la construction et de la déconstruction; en chauffage, isolation acoustique, ventilation, climatisation et le coût de la réalisation. Pour répondre à ces préoccupations, il est nécessaire d'adapter le bâtiment au contexte économique et social, aux besoins, aux activités et aux conditions climatiques, et cela dans un souci d'insertion harmonieuse du projet dans son environnement (ELDIEN, 2010). Penser l'homme avant la productivité est un concept initiateur qu'il est impératif d'adopter. L'homme n'est plus un consommateur passif; il vit avec son habitat et participe à l'adaptation de celui-ci. La question centrale pour notre recherche est la maîtrise des facteurs liés à la conception de l'habitat semi-collectif doté de tours à vent au Sud algérien à climat chaud et sec. Cela concerne les aspects liés à la société, à la conception architecturale, à la performance énergétique, à l'économie et à l'environnement. Pour répondre à tous ces aspects d'interaction,

proposer un modèle d'analyse graphique d'inspiration systémique est nécessaire. Ce modèle pourrait être utilisé par les architectes lors de tout acte de conception visant l'habitat semi-collectif doté de tours à vent comme système architectural cohérent.

Afin que ce modèle soit pertinent, il doive tenir compte les points suivants:

- La complexité des activités de conception bâtiment/ tour à vent et donc le besoin d'analyse multipoints de vue nécessitant une expertise du domaine.
- La nature complexe des connaissances à construire dans le modèle
- La dépendance des connaissances des acteurs, du contexte de leurs développement et du contexte de leur utilisation.

3.4 Objectif du modèle d'analyse systémique développé

Le modèle d'analyse d'inspiration systémique devrait aider à la sensibilisation à l'efficacité énergétique dans l'architecture dotée de tour à vent en Algérie. Il est à espérer que les résultats contribueront positivement aux programmes de logement dans les climats chauds et secs en fournissant des recommandations pratiques pour l'application de la tour à vent comme l'une des technologies durables de rafraîchissement passif.

3.5 Positionnement méthodologique

Notre démarche consiste en une application d'un processus d'amélioration de la production architecturale des bâtiments résidentiels à usage semi-collectif au Sud algérien vers une conception dotée d'un système de rafraîchissement passif (la tour à vent) rendant les rapports entre l'homme et son environnement plus harmonieux. Ainsi, elle a pour but de maîtriser les impacts de la construction sur l'environnement et de créer des espaces de vie sains et confortables. Ces principes guident nécessairement le projet architectural en termes de localisation des volumes construits, d'orientations des accès et des espaces de vie.

Partant du constat que l'énergie la plus économique est celle qui n'est pas consommée, le modèle d'analyse proposé vise également à une réduction de la demande énergétique tout en privilégiant l'utilisation de la tour à vent. Réfléchir en «coût global» sur le long terme permet des économies pour la maîtrise d'ouvrage et accroît le confort des utilisateurs.

Notre démarche s'appuie sur des échelles successives et complémentaires de lecture, de l'urbain (plan d´assemblage unités) au bâtiment (plan logement) en passant par les aménagements des espaces extérieurs privatifs. La prise de conscience de la complexité du sujet traité est la principale raison de l'adoption de l'approche analytico-systèmique. Cette méthode se construit sur une complémentarité assumée entre analytique et systémique. En appliquant la systémique, on fait appel à quatre concepts de base:

- **La complexité**
- **Le système**: L'habitat semi-collectif doté de tour à vent dans le climat chaud aride et semi-aride est un système cohérent ouvert et fermé sur leur environnement. Ce système est composé d'un ensemble d'éléments en interaction dynamique (sociologique, culturel, économique, conceptuel et environnemental), organisés selon un objectif bien précis qui est de concevoir un type d'habitat adapté aux besoins contemporains de la société.
- **La globalité**: d'aborder tous les aspects liés à ce sujet progressivement, partir d'une vue générale (globale) pour approfondir les détails, avec de nombreuses itérations et retours en arrière (la revue de la littérature) pour compléter ou corriger la vision antérieure.
- **L'intéraction**: Ce concept complète celui de globalité car il s'intéresse à la complexité au niveau élémentaire de chaque relation entre les éléments/aspects du système pris deux à deux tels que: sociologique/culturel, conceptuel/environnemental et socioculturel/environnemental. La relation entre ces constituants se traduit dans ce système complexe, par un rapport d'influence ou d'échange portant aussi bien sur des flux de matière, d'énergie et surtout d'information.

À partir de cette vision, nous proposons un modèle systémique graphique composé de plusieurs aspects, et approches décrivant le processus de conception adopté.

3.6 Fondements épistémologiques du modèle

"S*i nous ne changeons pas notre façon de penser, nous ne serons pas capables de résoudre les problèmes que nous créons avec nos manières actuelles de pensée*" disait ALBERT EINSTEIN. La démarche de la pensée du modèle d'analyse systémique dans notre recherche est à la fois analytique et synthétique, détaillante et englobante. La mise en œuvre d'une double approche analytique et systémique apparaît comme une nécessité, car au-delà de l'irréductibilité de ces deux approches l'une à l'autre existe une profonde complémentarité de points de vue qu'il s'agit moins d'opposer que de rapprocher dans la même démarche de compréhension.

L'approche analytique permet la décomposition d'un système en ses éléments simples et l'étude des interactions entre ses éléments. L'approche systémique considère le système dans sa totalité, dans toute sa complexité et sa dynamique propre, elle s'appuie sur « *une approche globale des problèmes* que l'on étudie et se concentre sur le jeu des interactions entre leurs éléments » (DE ROSNAY, 1975). Elle met l'action sur les interrelations qui permettent au système d'évoluer.

La description des principales caractéristiques et propriétés de ces deux approches est récapitulée dans la (figure 3.1) ci-dessous:

Approche analytique	Approche systémique
Isole : se concentre sur les éléments.	Relie : se concentre sur les interactions entre les éléments.
Considère la nature des interactions.	Considère les effets des interactions.
S'appuie sur la précision des détails.	S'appuie sur la perception globale.
Modifie une variable à la fois.	Modifie des groupes de variables simultanément.
Indépendante de la durée : les phénomènes considérés sont réversibles.	Intègre la durée et l'irréversibilité.
La validation des faits se réalise par la preuve expérimentale dans le cadre d'une théorie.	La validation des faits se réalise par comparaison du fonctionnement du modèle avec la réalité.
Modèles précis et détaillés, mais difficilement utilisables dans l'action (exemple : modèles économétriques).	Modèles insuffisamment rigoureux pour servir de base aux connaissances, mais utilisables dans la décision et l'action (exemple : modèles du Club de Rome).
Approche efficace lorsque les interactions sont linéaires et faibles.	Approche efficace lorsque les interactions sont non linéaires et fortes.
Conduit à un enseignement par discipline (juxta-disciplinaire).	Conduit à un enseignement pluri-disciplinaire.
Conduit à une action programmée dans son détail.	Conduit à une action par objectifs.
Connaissance des détails, buts mal définis.	Connaissance des buts, détails flous.

Figure 3.1*: Approche analytique et systémique*
Source: *De Rosnay (1975)*

À partir de ce point de vue, nous proposant un modèle analytico-systémique dont son fondement épistémologique est composé de trois approches interactives à savoir:

3.6.1 1re Approche utilisée socioéconomique et environnementale

Le premier aspect analysé est socioéconomique et environnemental, il cherche d'abord à mettre en valeur les raisons qui ont conduit à la réussite ou faillite de la tour à vent dans le monde et en Algérie dans un contexte environnemental. Au cours de cette phase d'analyse, il est pris en compte la perception des usagers envers ce système de rafraîchissement passif (vu le mode de vie en constante évolution), le confort thermique de l'habitant, la performance énergétique et le potentiel économique du système de rafraîchissement. L'approche socioéconomique et environnementale répond mieux aux objectifs visés à ce stade.

3.6.1 La perception et l'acceptation socioculturelle

Pour effectuer l'analyse de la perception et l'acceptation socioculturelle du système de rafraîchissement, l'enquête sociologique a été exploitée comme technique d'investigation.

3.6.2 Le confort thermique

Comme le confort thermique est une notion complexe interdisciplinaire impliquant divers phénomènes, le choix des instruments à utiliser dans l'évaluation thermique locale de la zone refroidie par la tour à vent est lié aux conditions d'ambiances. THELLIER et MONCHOUX (2004), classent ces conditions en trois catégories principales:

Ambiances homogènes et stationnaires: les indicateurs d'évaluation sont simples, faciles à calculer et nécessitent peu de données sur les conditions climatiques telles que les indices PMV et PPD. Ces indices sont désormais intégrés dans plusieurs programmes de simulation numérique. L'indice PMV (Predicted Mean Vote) prédit la valeur moyenne des votes d'un grand groupe de personnes sur l'échelle de sensation thermique à 7 points, tandis que l'indice PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) prédit quantitativement le pourcentage de personnes insatisfaites sur l'échelle de sensation thermique à 4 points, car trouvant l'ambiance thermique trop chaude ou trop froide.

Ambiances homogènes instationnaires: les données climatiques sont les mêmes que ci-dessus, mais les réactions physiologiques de l'être humain sont prises en compte comme exemple: le modèle de Gagge.

Ambiances complexes (hétérogènes et instationnaires): Dans ces cas, il peut y avoir plusieurs niveaux de complexité et des efforts restent à faire pour la cohérence de l'ensemble. Dans le cas où l'être humain est représenté par un modèle multi-segments, le modèle de bâtiment doit être capable de calculer toutes les hétérogénéités de l'ambiance. Pour chaque mode de transfert de chaleur, des problèmes spécifiques apparaissent. Pour les échanges convectifs, par exemple, les températures et les vitesses d'air locales ne sont pas toujours accessibles, donc le recours aux codes CFD lourds est demandé.

Comme l'ambiance de l'espace équipé de la tour à vent est complexe où plusieurs facteurs interagissent entre eux comme:

- l'habitant et ses données (métabolisme, activité, habillement, sexe, âge, ...)
- la tour à vent et ses principes de fonctionnement (capture du vent, tirage thermique, rafraîchissement par évaporation et inertie thermique)
- les données climatiques (la température, l'humidité relative et la vitesse de l'air)
- les caractéristiques de l'espace à rafraîchir (dimensions, matériaux, type d'éclairage, ...)

- le nombre d'occupant,

le recours à des simulations numériques et des campagnes de mesures devient impératif pour une évaluation objective. Notre objectif n'est pas d'évaluer quantitativement le confort et la performance thermique liés à la tour à vent, mais d'exploiter les résultats des recherches antérieures effectuées en Algérie sur ces dispositifs. Ces recherches sont fondées sur l'approche dynamique (expérimentations et simulations) et l'approche par matrice (comparaison aux plages de confort recommandées et/ou calculées).

3.6.3 La performance énergétique et les potentialités économiques

Pour effectuer l'analyse de la performance énergétique et le potentiel économique de la tour à vent, l'approche par base de connaissances a également été empruntée en s'appuyant sur les résultats des recherches antérieures dans ce domaine. Cela comprendra la détermination du taux de consommation d'énergie électrique sans et avec utilisation de la tour à vent comme système de refroidissement en plus du coût et du temps requis pour réaliser ce dispositif.

3.6.2 2^{e} Approche utilisée syntaxique

Le deuxième aspect, syntaxique spatial, tente de comprendre quels attributs sont indispensables à l'adaptation d'un tel système de rafraîchissement au caractère « confus et complexe » des phases préliminaires de la conception, permettant ainsi son intégration dans le processus de conception de l'habitat semi-collectif. Déterminer les types d'espaces que la tour à vent peut occuper avec succès dans l'organisation spatiale, que ce soit dans le passé ou le présent, est une question de grande importance, sachant que la plupart des études ont été menées sur la tour en termes de forme et de localisation sur le toit.

L'approche syntaxique permet d'évaluer qualitativement et quantitativement l'espace de la tour à vent ou bien l'espace doté de ce système afin d'essayer de l'intégrer avec succès dans le logement. Elle peut être utilisée pour prédire, qualifier et quantifier les aspects du comportement humain et son impact dans différentes propositions de conception (DURSUN, 2007). Elle représente un ensemble de techniques de représentation et de quantification des modèles spatiaux (BELLAL, 2003). L'utilisation de l'approche par base de connaissances (la revue de la littérature) comme outil auxiliaire permet d'effectuer ce travail.

3.6.2.1 La syntaxe spatiale

«Je sais que les techniques de la syntaxe spatiale fonctionnent à partir de l'environnement difficile de la pratique. J'aime le monde de l'analyse, de l'observation, de la

recherche, mais aussi de la passion, de l'imprécision, de l'intuition. La syntaxe spatiale est le test de l'interaction de ces mondes opposés. » Norman Foster (CLARAMUNT, 2005)

La syntaxe spatiale englobe un ensemble de théories et de techniques pour l'analyse des configurations spatiales, conçue par Bill Hillier, Julienne Hanson et d'autres chercheurs du Bartlett collège de l'université de Londres, vers la fin des années 1970 et le début des années 80 (CLARAMUNT, 2005). La syntaxe spatiale fournissait un outil d'aide pour les architectes à simuler les impacts sociaux de l'organisation spatiale de leurs bâtiments. En analysant l'accessibilité des lieux, leurs configurations ou leurs accès, la syntaxe spatiale permet de mettre en lumière la traduction spatiale des relations sociales. Son but est d'envisager à la fois le facteur social (culture et mode de vie) et le cadre bâti (architecture et urbanisme), visant à expliquer et interpréter les rapports fondamentaux entre une société donnée et son espace urbain et architectural (HAMOUDA, 2013). Cette théorie spatiale soutient que la structure distributionnelle de l'espace architectural, par la logique de sa configuration, interagit avec le mode de vie de la société où il est érigé (CUNHA, 2012). En effet, elle fournit un outil puissant pour l'analyse de l'expression socioculturelle qui est incarné dans les modèles spatiaux des formes bâties où la disposition spatiale est décrite structurellement et comprise objectivement dans une structure sémiologique de signes. La conception architecturale sera régie par des accords qui peuvent être d'ordre social, culturel, économique, etc., inversement, un bâtiment peut influencer les activités humaines qui s'y déroulent (HAMOUDA, 2013).

a. Son Fondement

La syntaxe spatiale se fonde sur deux postulats:

* L'espace n'est pas un arrière-plan de l'activité humaine ou un fond aux objets, mais il est un aspect intrinsèque à elle; un de ses composants. Il dote d'une dimension particulière qui est la dimension de vie (HILLIER & VAUGHAN, 2007). Toute activité humaine est inscrite dans l'espace: nous nous mouvons dans des lignes, nous discutons dans des espaces convexes et nous regardons dans des champs visuels appelés isovistes (figure 3.2) (HILLIER & TZORTZI, 2006).
* L'espace est conçu selon la fonction allouée; « *l'espace est ce que nous utilisons* » (HILLIER et al, 1987). Sa définition dépasse la forme physique qui le crée et l'ordonne. Cette situation emmène à considérer l'espace comme un système de relations qui soutient le mouvement et l'activité humaine et non comme un ensemble d'unités spatiales ou séquences individuelles (pièces, circulations, rues, places, etc.) déconnectées et décrites séparément de leur environnement spatial (HILLIER et al, 1987).

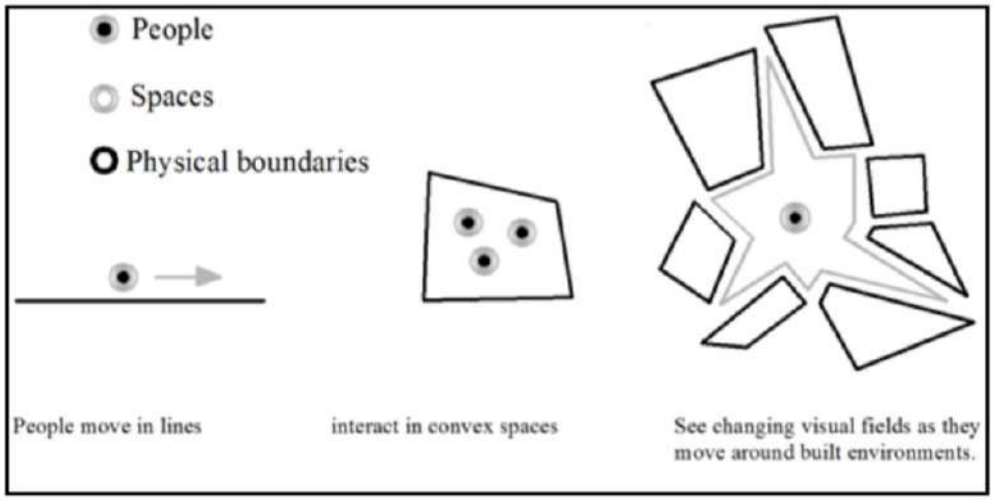


Figure 3.2: *Les différents types de comportement dans l'espace*
Source: *Hillier (2005).*

Cette considération dessine la notion fondamentale en syntaxe spatiale de la « configuration spatiale ». Cette dernière supporte toute une vision de l'espace architectural, de sa description et de sa représentation en prenant en compte à la fois, sa dimension physique et géométrique d'une part et l'activité humaine d'autre part (AZIMZADEH, 2003).

b. Son Rôle dans la conception

- La syntaxe de l'espace sert comme un langage de la pensée et de la parole. C'est un dialogue entre l'architecte et l'espace conçu.
- Elle fusionne les connaissances scientifiques dans le processus de conception, ce qui constitue le cœur de "la conception fondée sur des preuves" (HANSON *et al*., 2001).
- Elle fournit des outils de travail pour les architectes d'explorer leurs idées, de comprendre les possibilités de conception et de les laisser évaluer avant la réalisation.
- Elle offre une chance aux architectes pour évaluer leurs conceptions à partir du vécu connu par les habitants (DURSUN, 2007).

c. Ses composantes

La syntaxe spatiale comprend quatre composantes fondamentales utilisées dans toutes ces applications. La structure de sa plateforme suit la logique de ces quatre constituantes à savoir :

Les représentations de l'espace: Chaque point dans l'espace a un ou deux aspects dimensionnels: l'unidimensionnel est appelé axialité et l'autre bidimensionnel est appelé convexité.

- L'axialité: la ligne axiale représente les vues, mouvements et parcours qui croisent et polarisent de nombreux espaces dans une seule direction (DUAN WU, 2013). L'axialité

consiste à dessiner les lignes les plus longues et les plus courtes qui couvrent le système, le produit est appelé une carte axiale offrant ainsi une perspective globale. Plus le prolongement de la ligne axiale est long, plus le point est moins visible et directement accessible (HILLIER *et al*., 1983). Les lignes axiales (figure 3.3) sont utilisées pour l'étude du mouvement. La représentation axiale génère une carte axiale**.**

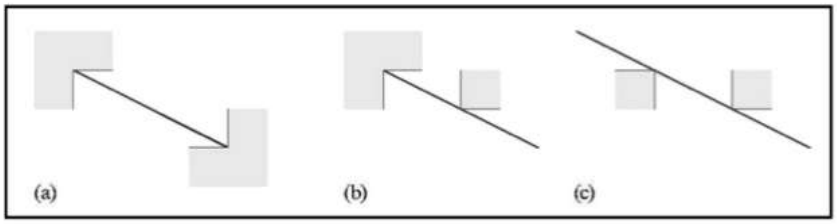


Figure 3.3*: Les types de lignes axiales selon Penn et al (1997*
Source: *BENZIOUCHE (2014).*

- L'espace convexe: est une entité spatiale dans laquelle tout point peut être vu par les autres (DUAN WE, 2013). Il est défini comme un espace qui ne contient pas des parties concaves et délimité par des lignes droites qui ne sortent pas en dehors de l'espace (HILLIER *et al*., 1983). La représentation convexe ou la carte gamma est l'ensemble minimum des espaces convexes couvrant la totalité de l'espace (figure 3.4). La convexité est utilisée pour étudier l'interaction. La typologie spatiale de chaque espace convexe est susceptible de différer selon sa relation avec les anneaux de mouvement.

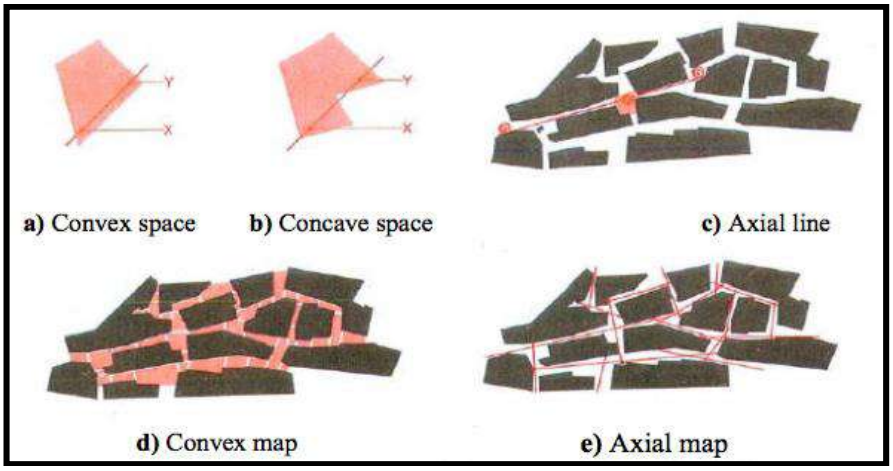


Figure 3.4*: La carte axiale et convexe*
Source*: Hillier et al. (1984)*

- L'isovist: est le champ de vision dans lequel les limites entières de l'espace peuvent être définies par le mouvement de l'œil d'un observateur se déplaçant par 360° sans présence d'un obstacle géométrique. Les limites du champ dépendent de la position de l'œil et de la forme de l'espace concave ou convexe (figure 3.5) et (figure 3.6). L'isovist est utilisé lors de l'examen des modèles complexes du comportement.

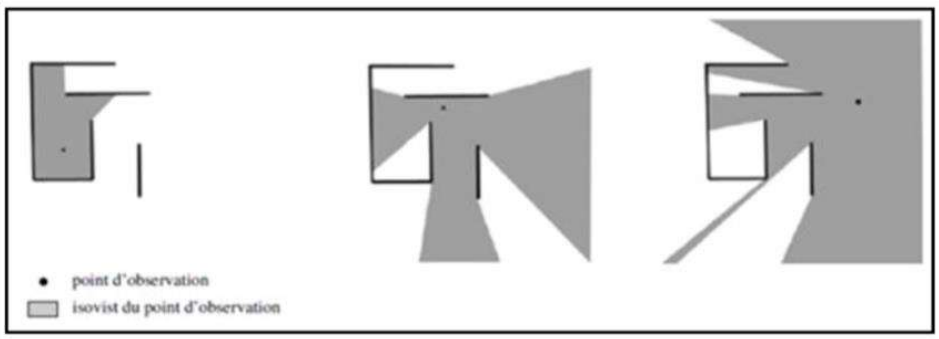
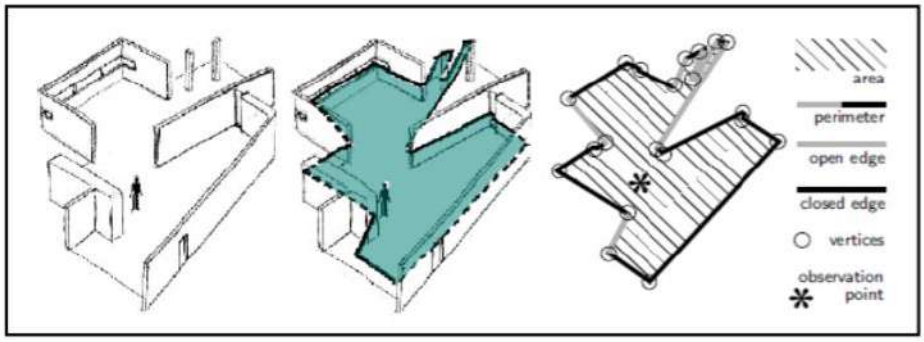


Figure 3.5*: Des isovists produits de différents points d'observation dans un environnement*
Source*: Benedikt (1979).*



Environnement hypothétique; Environnement visible par l'observateur; L'isovist produit
Figure 3.6*: La génération de l'isovist*
Source*: Wiener (2008)*

d. L'analyse des relations spatiales

Les relations entre les éléments spatiaux résultent de leurs configurations. Ces relations sont analysées objectivement par diverses mesures associées parmi lesquels les plus répandues: l'intégration, le choix et la profondeur. Ces trois mesures reflètent les éléments fondamentaux du mouvement humain. D'une part, le choix d'une destination mesure la facilité d'accessibilité, d'intégration et en d'autre part, le choix d'un itinéraire mesure le flux de passage et l'orientation.

e. Ses notions de base

Quelques notions de base en syntaxe spatiale semblent nécessaires à définir afin de nous faciliter l'analyse et l'interprétation des différents graphes établis à savoir:

- Le graphe est une figure qui représente les relations de perméabilité entre tous les espaces convexes ou espaces axiaux d'une disposition ou d'un système. Les espaces sont représentés par des cercles ou des points appelés nœuds et des liens sous forme de lignes. Il est également possible d'utiliser des liens pour représenter des relations de visibilité entre espaces.

- L'étape syntaxique (*step depth*) est définie comme la relation directe ou perméable entre un espace et ses voisins immédiats ou entre des isovistes qui se chevauchent. Un pas de profondeur signifie une relation d'accessibilité directe entre deux espaces. Dans une carte axiale, une étape syntaxique peut être comprise comme le changement de direction d'une ligne à l'autre.

- La profondeur entre deux espaces est définie comme le nombre minimal d'étapes syntaxiques dans un graphique nécessaire pour atteindre un espace par rapport à l'autre (JACOB, 2006). La profondeur est la distance topologique dans un graphe. Elle traduit l'aspect relationnel entre les espaces. Un espace est considéré profond s'il faut passer par d'autres espaces pour y accéder.

f. La topologie des espaces

Hillier, (1996) a distingué quatre types d'espaces convexes, matérialisés dans le graphe justifié (figure 3.7) à savoir:

• Espaces de «type-a»

Sont des espaces sans issues et ne se connectent pas à plus d'un espace dans un graphe (AL SAYED *et al*., 2014). Ils sont des espaces cul-de-sac (*dead-end spaces*) par lesquels aucun mouvement n'est possible à d'autres espaces et ne possèdent donc aucun autre mouvement que celui qui y mène. Les espaces du type- a ne se traversent pas du tout. Le lien qui unit ce type d'espace au reste du graphe est nommé un « lien coupé », car son élimination couperait l'espace en question du reste de la structure spatiale (HAMOUDA, 2013). Le type-a ne permet pas le mouvement transitoire.

• Espaces de «type-b»

Se connectent à deux espaces ou plus dans un graphe sans faire partie d'un anneau de mouvement. Les espaces du type-b lèvent la possibilité du mouvement transitaire mais aussi le contrôlent fortement, parce que chaque itinéraire à travers l'espace du type-b est unique et aussi parce que le mouvement de retour doit passer par le même espace. Le type-b permet le choix du mouvement, mais en même temps le contraint par les séquences spécifiques d'espaces.

• Espaces de «type-c»

Sont généralement positionnés sur un anneau de mouvement.

• Espaces de «type-d»

Doivent être dans un emplacement commun reliant deux anneaux ou plus (AL SAYED *et al*., 2014). Le «type-d» offre le choix du mouvement.

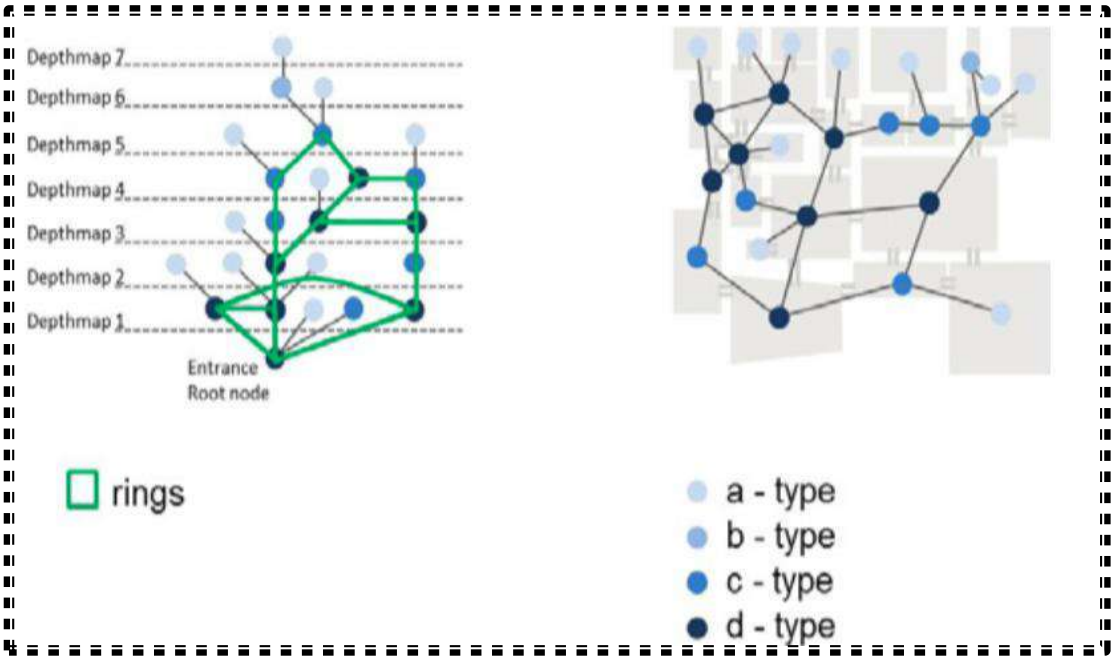


***Figure 3.7**: La topologie des espaces convexes*
***Source**: El Sayed et al.(2013)*

Le positionnement des types d'espaces a, b, c et d dans les paramètres locaux et globaux de l'ensemble du système spatial peut déterminer la profondeur spatiale globale d'une disposition. Une augmentation locale du nombre d'espaces de type « a » et une augmentation globale des espaces de type « d » réduiraient par conséquent la profondeur spatiale, créant un système intégré, tandis qu'une augmentation globale des espaces de type b et une augmentation locale de type c les espaces sont susceptibles de conduire à une profondeur maximisée, résultant en un système ségrégué (EL SAYED *et al*., 2014).

g. Ses outils d'analyse

La syntaxe spatiale propose une manière de déchiffrer l'espace architectural à travers une analyse qualitative et quantitative. L'objectif de l'analyse est de découler des variables qui peuvent avoir une signification sociale ou expérientielle.

g.1 L'analyse qualitative

Les trois types de cartes: axiale, convexe et isoviste peuvent être converties en graphes à des fins d'analyse.

Le graphe justifié (justified graph): Les relations spatiales complexes peuvent être visuellement simplifiées via un graphe justifié. Ce dernier est un mode de représentation topologique qui consiste à convertir un plan architectural en un graphe justifié. Il montre la disposition des espaces convexes et leurs accès (arêtes ou lignes de jonction), la mobilité dans ces espaces et le contrôle des accès. Chaque espace du plan, qu'il soit une pièce, un couloir ou

même un sas est considéré comme une cellule spatiale ou un nœud, il est représenté par un cercle et chaque communication entre deux espaces par une ligne.

Le graphe justifié offre une image visuelle de la profondeur globale d'une disposition vue d'un de ses points. Il permet de connaître le degré de profondeur des espaces du système par rapport à un espace de référence appelé transporteur du système, espace racine ou carrier; ce dernier est disposé au bas du graphe et les autres cercles sont ainsi, mis verticalement au-dessus, du plus proche au plus lointain (figure 3.8) et (figure 3.9). Les espaces ayant la même profondeur par rapport à l'espace de référence sont disposés à la même hauteur du carrier. Le graphe justifié une fois accompli, il sera prêt à analyser les phénomènes spatiaux: catégorie de l'espace, la manière d'agencement et d'intégration des espaces dans la construction, la forme et la façon de contrôler les accès par les habitants et le mouvement dans l'espace (HILLIER, 1984), (HAMOUDA, 2013).

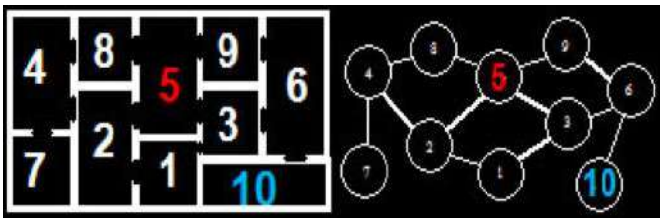


Figure 3.8: *Une disposition d'une construction et sa représentation graphique (A)*
Source: *http://otp.spacesyntax.net/*

Les dispositions spatiales sont souvent une combinaison de structures hiérarchiques et d'anneaux de circulation. La structure arborescente de l'espace reflète une structure spatiale profonde et contrôlée et peut-être une hiérarchie dans l'organisation sociale qui occupe un bâtiment. Inversement, la disposition d'anneaux de mouvement interconnectés offre des choix pour les itinéraires de déplacement réduisant la profondeur de l'espace (figure 3.9).

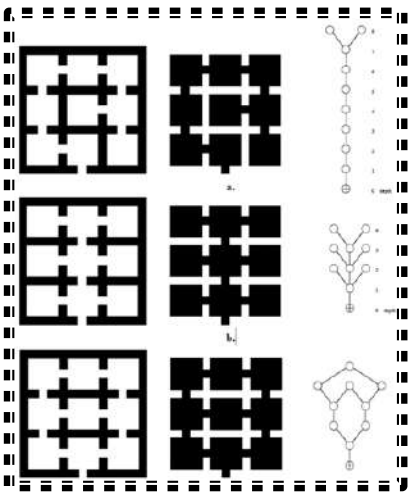
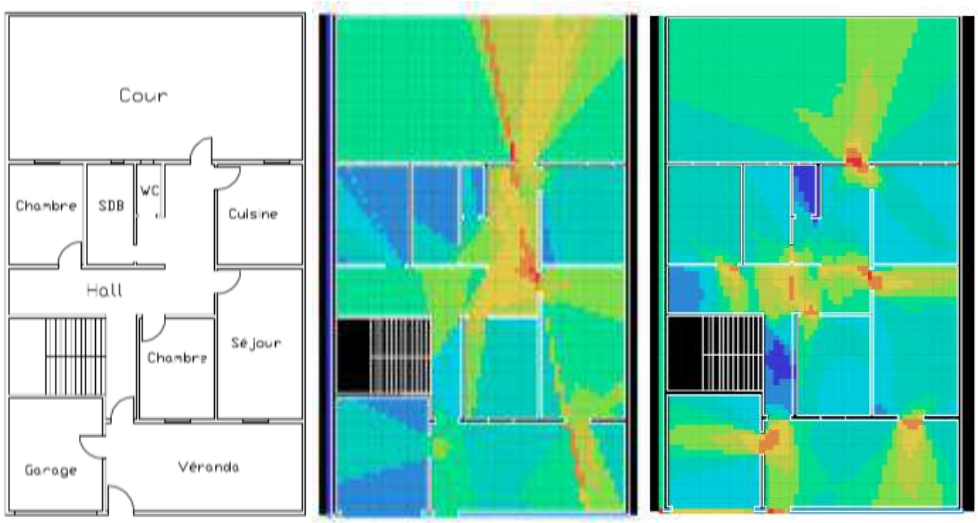


Figure 3.9: *Plan RDC de la même zone ayant des graphes justifiés radicalement différents*
Source: *Hillier (2007)*

La VGA (*Visibility Graph AnalysisVGA*): est l'analyse de l'ensemble des isovists d'un système spatial qui nous permet de calculer de nombreuses propriétés configurationnelles à partir des différents isovists qui composent ce corpus spatial (BENZIOUCHE, 2014). Au moyen d'un logiciel *Depthmap*, cette analyse présente les différentes constituantes de l'espace sur une vue en plan, où chaque zone de celle-ci est affectée de couleurs, qui révèlent les valeurs configurationnelles qui lui sont associées (figure 3.10). *Depthmap* affecte un jeu de couleurs allant du bleu (valeurs basses) au rouge (valeurs élevées), permettant ainsi de distinguer les lignes axiales les plus intégrées des plus ségréguées. L'analyse visuelle établie par *Depthmap* permet d'obtenir des mesures globales et locales (TURNER, 2005).



Vue en plan RDC Intégration visuelle Contrôle visuel
***Figure 3.10**: Application d'une analyse (VGA) sur une maison à Kantara au Sud algérien*
***Source**: Hamouda (2013)*

L'analyse multi agents: a été développée par Penn et Turner en 2002 et abordée du point de vue de l'architecte. Elle permet d'étudier le flux de déplacement des usagers dans les espaces à grande échelle (figure 3.11).

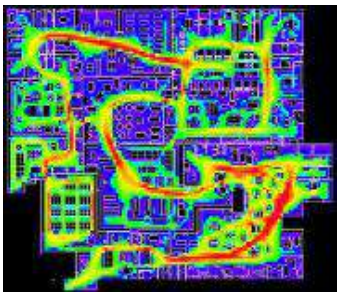


***Figure 3.11**: Fréquence des parcours de nombreux agents à travers un environnement (magasin Ikea).*
***Source**: Glenn Elliott (2008)*

g.2 L'analyse Quantitative (Les mesures syntaxiques spatiales)

Une fois le bâtiment est approché qualitativement, l'analyse syntaxique offre un certain

nombre de propriétés syntaxiques mesurables via des formules mathématiques qui permettent d'affirmer les observations constatées en approche qualitative par des données numériques. Les mesures syntaxiques spatiales sont utilisées pour étudier la façon dont la structure spatiale du bâtiment retient les modes d'utilisation spatiale (TURNER *et al*., 2005; PEPONIS *et al*., 1998; HILLIER et HANSON, 1984). Il existe deux types principaux de mesures dans la syntaxe spatiale: les mesures locales telles que la connectivité, la valeur de contrôle et l'intégration locale et les mesures globales telle que l'intégration globale (figure 3.12). Toutes les mesures globales sont basées sur la recherche des itinéraires les plus courts à partir de chaque nœud vers tous les autres, à travers le graphe de visibilité. Les mesures sont globales quand la relation est entre un espace et tous les autres espaces. En revanche, les mesures locales sont basées sur les relations entre chaque nœud (espace) et les autres nœuds qui y sont directement connectés (HDOUD, 2014). Ces deux mesures sont utilisées dans les représentations quantitatives, elles apportent une perspective importante au bâtiment ainsi qu'au système urbain.

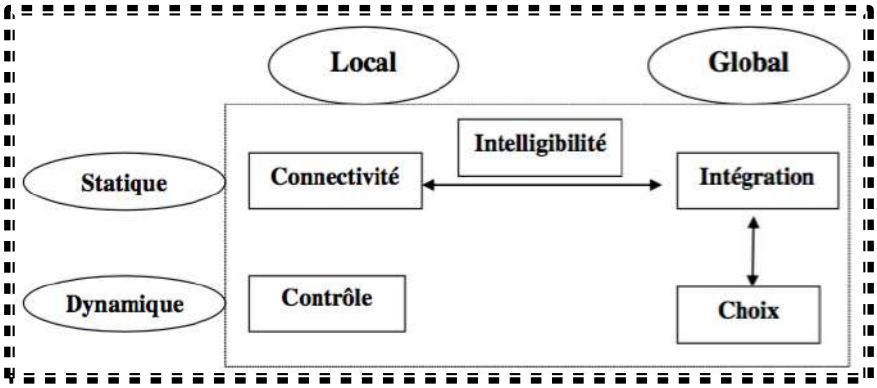


Figure 3.12*: Les mesures fondamentales de la syntaxe spatiale.*
Source*: Mazouz (2009)*

Les valeurs obtenues peuvent servir à établir des corrélations avec des phénomènes sociaux mesurables. Le caractère local et global de l'espace architectural et/ou urbain permet de générer deux ordres de mesures qui sont les suivants (BENZIOUCHE, 2014):

Les mesures du premier ordre

La connectivité: est une mesure locale statique. Elle indique le nombre de connexions d'un nœud particulier (espace précis) *i* vis-à-vis des autres espaces qui l'entourent (DETTLAFF, 2014) (figure 3.13). Elle est exprimée par l'équation 4.1:

$C_i = k$ (Jiang *et al*., 2000) (équation 4.1)

D'où: **k** est le nombre de connexions de *i*.

Dans une carte axiale, la connectivité mesure le nombre de lignes immédiatement connectées à la ligne en cours d'analyse (à un pas de profondeur). Les axes avec un *Ci* élevé facilitent le

passage et la transition dans les zones (DI BELLA *et al*., 2011).

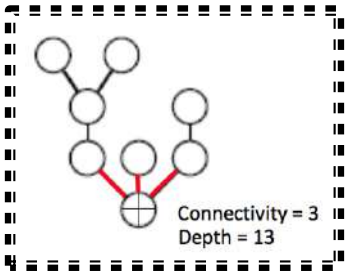


Figure 3.13*: Mesure de la connectivité dans un graphe justifié*
Source*: Al Sayed et al, (2014)*

Le contrôle: est une mesure locale dynamique du fait qu'elle prend en considération les relations d'un espace à tout autre espace dans le système (HILLIER, 1984). Elle mesure le degré auquel un espace contrôle l'accès à ses voisins immédiats en tenant compte du nombre de connexions alternatives que chacun de ces voisins possède (BJÖRN, 1993). Il atteint sa valeur maximale quand l'espace est uniquement connecté avec des espaces type cul-de-sac. Cette mesure est plus indicative du fait qu'une cellule constitue un véritable pivot local des circulations au sein d'une construction (LETESSON, 2009). Un espace dont la valeur de contrôle dépasse 1 dispose d'un potentiel relativement élevé, à l'inverse un espace dont la valeur est inférieure à 1, tend à avoir un potentiel faible (HAMOUDA, 2013).

L'intégration: est une mesure statique locale ou globale. L'intégration d'une ligne est définie comme le chemin le plus court topologiquement. Un espace jugé intégré tend à « *amener vers lui les autres espaces du système* » (HILLIER, 1998). L'intégration est une sorte de mesure d'accessibilité utilisant une métrique topologique fondée sur les changements directionnels.
L'intégration d'un nœud est exprimée par une valeur qui indique la mesure dans laquelle un nœud est intégré dans tout le système (intégration globale), ou intégré partiellement à quelques pas de nœuds (intégration locale). Les espaces du système peuvent être classés du plus intégré au plus ségrégué (BJÖRN, 1993).
L'intégration locale: désigne la cadence de la fréquentation du cheminement (mouvement) par les piétons. Sa valeur prend en compte la distance de 3 à 5 pas de profondeur syntaxique. La distance peut également être prise comme un rayon de 1250 m où son centre représente le point particulier de départ (JIANG *et al*., 2000).
L'intégration globale: est calculée dans tout le système, elle prend en compte la distance topologique entre le point (nœud) de départ et tous les points du système. Une corrélation a été prouvée entre les valeurs de l'intégration et l'apparition humaine dans l'espace. Plus l'espace est intégré, plus il est fréquenté par les gens. La relation entre l'intégration globale et locale

représente la clarté et la lisibilité de l'espace qui est connu par la propriété syntaxique «intelligibilité» (DETTLAF, 2014). La plupart des études ont démontré une forte corrélation entre l'intégration et les qualités de: fréquentation, implantation d'activités socio- économiques, animation et d'urbanité (HILLIER *et al*., 1993).

La profondeur est une propriété locale pour le calcul de l'intégration d'un nœud. Plus la profondeur est élevée, plus le niveau d'intégration est petit et vice versa (DETTLAF, 2014).

L'Asymétrie Relative (RA) décrit l'intégration d'un nœud par une valeur entre (ou égale à) 0 et 1, où une valeur faible décrit une intégration élevée. RA est calculée par l'équation 4.2 suivante:

RA = 2(MD - 1) / (K – 2) (Jiang *et al*., 2000) (équation 4.2)

D'où:

MD: la profondeur moyenne à partir d'un nœud (espace).

K: le nombre de nœuds dans le système.

La profondeur est calculée comme suit (équation 4.3):

Profondeur = $\sum_{j=1}^{n} d_{ij}$ (Jiang *et al*., 2000) (équation 4.3)

Dont: d_{ij} est la distance la plus courte entre deux points *i* et *j* dans un graphe justifié, la somme des distances représente la profondeur du nœud ***i***

Et par conséquent la profondeur moyenne MD_i est définie comme suit (équation 4.4):

$$D = \frac{\sum d.n}{k-1}$$ (Abhijit, 2011) (équation 4.4)

D: la profondeur moyenne,

d: la profondeur (1, 2, 3, ... etc.),

n : le nombre de nœuds à une profondeur spécifique,

k: le nombre total de nœuds dans le système analysé.

La valeur d'intégration relative réelle (Real Relative Asymmetry ou RRA) est calculée selon l'équation 4.5 suivante:

$RRA = RA/D_K$ (équation 4.5)

Telle que: **RA** est l'asymétrie relative d'une cellule ou nœud et $\mathbf{D_k}$ correspondant au nombre de cellules k dans le système analysé et qui est donné dans le tableau en annexe.

Les valeurs d'intégration RRA (mesure globale) ne varieront plus simplement entre 0 et 1 mais

au-dessus et en dessous de 1. Les valeurs largement en dessous de 1 (0,4<RRA<0,6) sont à considérer comme fortement intégrées alors que les valeurs tendant vers 1 et plus tendent vers plus de ségrégation, Ibid, p113 (HILLIER, 2007).

Le choix global: est une mesure globale dynamique du « flux » à travers un espace. Les espaces qui enregistrent un choix global élevé sont situés sur les chemins les plus courts de toutes les origines à toutes les destinations (BJÖRN, 1993). Le choix est une mesure puissante pour prévoir les potentiels de déplacement des piétons et des véhicules. Il est généralement appliqué à l'analyse axiale plutôt que l'analyse convexe, car il est descriptif du mouvement plutôt que de l'occupation.

L'entropie: L'entropie dans *DepthMap* est une mesure de la distribution des emplacements des espaces en termes de leur profondeur visuelle plutôt que de la profondeur elle-même. Si de nombreux emplacements sont visuellement proches d'un espace, la profondeur visuelle de cet espace est asymétrique et l'entropie est faible. Si la profondeur est plus uniformément répartie, l'entropie sera plus élevée (http://otp.spacesyntax.net/term/entropy/). Cette valeur d'entropie nous donne un aperçu de la façon dont le système est ordonné à partir d'un endroit. Les valeurs basses signifient un désordre bas, c'est-à-dire un espace facilement accessible en termes de perméabilité aussi bien que pour les champs de visibilité (BENZIOUCHE, 2014).

Cette mesure permet d'exprimer des différences topologiques culturellement significatives entre les configurations spatiales (http://otp.spacesyntax.net/term/entropy/).

Les mesures du second ordre

Les mesures du second ordre ont été développées par la corrélation des quatre mesures du premier ordre cité auparavant dans le but est de ressortir d'autres caractéristiques de l'espace étudié. Les mesures les plus répandues sont l'intelligibilité, l'interface et la synergie

3.6.2.2 Limites de l'approche syntaxique

Malgré les contributions importantes de la syntaxe spatiale dans la mise de l'accent sur la reproduction sociale, la coprésence et l'incarnation de la pratique, son épistémologie hybride; son concept relationnel de l'espace et la réaffirmation de l'espace comme dimension vivante, elle était critiquée en quelques points relatifs aux relations entre société et espace.

Parmi les points critiqués, nous mentionnons:

-la réduction de la pratique sociale en mouvement, l'interaction humaine en interfaces sociales et vice versa, et l'acteur en présence corporelle;

- la primauté de la syntaxe sur la sémantique;

- le problème du temps dans la structuration de l'espace;

- les difficultés de la contribution théorique.

Et enfin la position de la théorie par rapport à la distinction entre les théories urbaines et socio spatiales, et les dilemmes à affronter dans son développement futur (NETTO, 2015).

3.6.3 3e Approche utilisée typologique conceptuelle

Le troisième aspect s'occupe de l'étude typologique de l'habitat semi-collectif au Sud algérien cas d'Oued-Souf et Biskra à climat chaud aride et chaud semi-aride respectivement. Cette classification vise à développer une nouvelle typologie avec tours à vent. L'approche typologique conceptuelle est empruntée pour accomplir cette dernière étape.

« La typologie en habitat est largement comprise comme une répétition régulière des caractéristiques de certains éléments et/ou espaces plus que d'autres aussi bien dans la programmation que dans la conception du logement. Ces fréquences sont basées sur les satisfactions des utilisateurs, les désirs psychologiques et les théories scientifiques qui contrôlent le compromis entre eux » (MUSHTAHA *et al.*, 2010). *« Toute personne en possession de types ainsi élaborés est exactement comme une personne qui maîtrise une langue donnée, libre de faire toutes les combinaisons potentiellement valables et significatives permises par la classe d'objets en question»* (ARROUF, 2012).

3.6.3.1 Définition de la typologie

La typologie est l'étude comparative des caractéristiques physiques ou d'autres de l'environnement bâti en types distincts. C'est une analyse des caractères spécifiques des composants d'un ensemble ou d'un phénomène, afin de les décrire et d'établir une classification (http://www.espaces-publics-places.fr).

3.6.3.2 Différence entre modèle et type

Le « modèle » est défini comme une reproduction mécanique d'un objet et le «type» comme une entité métaphorique. Le modèle peut être copié ou imité. En revanche, le type peut servir comme base pour la conception des ouvrages "*dans le type, tout est plus ou moins vague et indéfini*" (QUATREMÉRE DE QUINCY, 1976). La typologie représente une image statique ou une partie d'un phénomène, alors qu'un modèle représente une image dynamique illustrant les relations entre les principaux éléments du phénomène dans une forme simplifiée.

3.6.3.3 Objectif de l'analyse typologique

L'analyse typologique visée dans cette recherche a pour but de:

- Retrouver les types générateurs abstraits de séries de formes d'habitat intermédiaire dans les régions arides et semi-arides qui, elles-mêmes se présentent comme des modèles concrets visitables.
- Codifier et définir des normes d'actions sur ce type d'habitat.
- Traduire à travers la permanence de certains modèles existants une antériorité primaire qui les domine.
- Offrir aux concepteurs un répertoire de différents types primaires de logements semi-collectifs intégrés dans leurs sites au Sud algérien.
- Les types obtenus à caractère local, temporel et qui se transforment sans changer d'identité, vont nous servir plus tard, comme un support de travail et une base de données pour l'élaboration d'une typologie dotée de tour à vent en habitat intermédiaire au sud cas d'El Oued et Biskra.

3.6.3.4 Critères de choix et paramètres d'analyse

La typologie présente des classements, elle définit plutôt des ordres que des hiérarchies, elle repère les caractères: programmateurs, distributifs, dimensionnels, constructifs, historiques et stylistiques, qui autorisent et précisent l'analogie, la comparaison, la référence ou la citation (LAMUNIÈRE, 1988). Donc, il est important avant d'entamer toute analyse typologique, de définir les caractères des objets architecturaux pour les sélectionner, les classer en leur attribuant ainsi la fonction des modèles. Dans cette analyse, on accentue sur les aspects relatifs aussi bien à la tour à vent et de son emplacement qu'à l'habitat intermédiaire au sud. Ces critères sont de contexte environnemental physique, conceptuel et socioculturel.

Conclusion

Diverses sont les approches d'analyse utilisées par les chercheurs dans le domaine de la tour à vent. Il s'agit surtout de l'approche dynamique, l'approche par base de connaissances, l'approche par matrice, l'approche typologique et l'approche socio-environnementale. Certaines tendent à évaluer ou à estimer une pertinence à partir des choix effectués dans le projet, d'autres aspirent à orienter la proposition. Ces approches servent de guide pour répondre aux questionnements préalablement posés.

Notre vision sur le bâtiment à usage résidentiel semi-collectif doté de tours à vent au Sud algérien à climat chaud aride et chaud semi-aride, est portée selon une approche systémique qui

ne considère plus la tour à vent comme élément distinct dans le bâtiment, mais appartenant à un ensemble d'éléments interagissant entre eux. Le produit bâtiment (ensemble de logements) doté de tours à vent devient alors un composant d'un système complexe comportant des éléments matériels (site, bâtiment, tour à vent, climat et paysage) et immatériels (valeurs, savoir-faire et mémoires). Plutôt de séparer l'immatériel du matériel et de les mettre en opposition, nous avons utilisé différentes méthodes suggérées dans lesquelles les deux s'unissent en interaction étroite.

Dans l'approche socioéconomique et environnementale, on a essayé de définir les paramètres nécessaires à l'amélioration du système de refroidissement tour à vent et de l'adaptabilité socioculturelle des habitants via l'exploration de trois aspects: l'aspect socioculturel, le confort thermique et la performance énergétique et économique. L'aspect socioculturel a été exploré sur un travail de terrain par l'observation en situation, l'entrevue et le formulaire de questions. Le confort thermique des usagers et la performance énergétique et économique de la tour à vent analysée (chapitre 4) et de la tour à adopter (chapitre 8) ont été théoriquement validés en utilisant l'approche par base de connaissances.

Les différentes techniques offertes par la syntaxe spatiale peuvent informer qualitativement et quantitativement sur les propriétés syntaxiques de l'espace d'implantation de la tour à vent dont on aura besoin.

L'approche typologique appliquée aux bâtiments semi-collectifs sises à Oued-Souf et Biskra à climat chaud aride et semi-aride respectivement sert à analyser la typo/topologie de ce type d'habitat afin d'élaborer une typologie propre à ces régions. Comme certains systèmes de rafraîchissement passif comme la tour à vent imposent des choix architecturaux et typologiques précis résultant de l'analyse environnementale et syntaxique, l'élaboration de l'analyse typologique est primordiale afin d'atteindre nos objectifs cibles.

L'approche systémique adoptée pour développer un modèle d'analyse global et détaillé en combinant les approches d'analyses citées ci-dessus, peut-être une perspective importante sur les tours à vent en habitat et un outil de prévision des niveaux d'intégration de ce dispositif dans la conception architecturale notamment en plan d'organisation spatiale. Cet outil permettra également de représenter (en 2D) ces niveaux d'insertion dans: l'espace privatif, l'espace intermédiaire semi-privé et l'espace privé sous forme de schémas. Les résultats et l'interprétation de chaque type d'analyse font l'objet des chapitres 4, 5, 6 et 7.

Chapitre 4

Analyse socioéconomique et environnementale

Chapitre 04

Introduction

Beaucoup de technologies vernaculaires notamment celles des tours à vent, sont le produit final de siècles d'expérimentations et d'adaptations aux conditions environnementales locales (BONINE, 1980), qui peuvent nous enseigner de nombreuses leçons (RAPOPORT, 1969). Les systèmes vernaculaires représentent l'expertise sur la façon d'utiliser ce qui est localement disponible, pour répondre économiquement aux besoins locaux en termes de coût, d'énergie et de ressource (AFSHAR *et al*., 1975).

Dans ce chapitre, on tentera de rassembler les connaissances et les informations sur les différents aspects liés à l'axe socioéconomique et environnemental de la tour à vent comme système de rafraîchissement passif réalisé dans quelques projets d'habitat au Sud algérien à climat chaud et sec. La perception et l'acceptation socioculturelle des tours réalisées, le confort thermique de l'usager et la performance énergétique et économique du système de rafraîchissement sont les différents aspects analysés et interprétés dans cet axe.

Le présent chapitre vise à associer le point de vue académique avec celui de l'utilisateur réel de ce dispositif via l'emploi de trois techniques d'investigation à savoir: l'observation ouverte, les entrevues semi-structurées et le formulaire de questions. Le choix a été porté sur la cité des 80 logements semi-collectifs à Ouled Djellal par le fait que sa tour à vent a fait objet d'une recherche thermique par l'auteur en 2009 et MAZOUZ & TORKIA en 2014. Donc, la présente enquête permet de mieux comprendre et cerner les vraies raisons du refus de cet élément architectural en écoutant l'avis des habitants et l'opinion des autorités locales.

L'aspect du confort thermique intérieur (température, humidité relative et vitesse de l'air) et la performance énergétique et économique fournie par la tour ont été traités au moyen de l'approche par base de connaissances.

Ce travail de recherche n'est qu'une 1re initiative d'exploration de l'aspect socioéconomique et environnemental dans ce domaine en Algérie, sachant que presque la totalité des tours à vent réalisées par le bureau d'études égyptien El Menyaoui au sud, ont été fermées ou supprimées complètement, constat méritant exploration.

4.1 Paramètres d'analyse

Afin de traiter l'aspect socioéconomique et environnemental associé à la tour à vent au Sud-algérien, trois axes importants ont été analysés en utilisant différents outils et approches. Ces axes sont:

- La perception et l'acceptation socioculturelle traitées au moyen de l'enquête sociologique et l'observation directe non participative.
- Le confort thermique, la performance énergétique et économique traités via l'emploi de l'approche par base de connaissances.

4.2 La perception de la tour à vent au Sud algérien

Dans l'évaluation de la performance, la majorité des recherches effectuées sur la tour à vent en Algérie ont été basées sur des études à court terme impliquant l'observation physique, la mesure et la modélisation uniquement comme technique d'investigation. Peu de chercheurs traitent la question de la perception de leur performance en termes de commodité, convenance, d'appréciation, d'acceptation, d'économie, de préoccupations sociales ou d'esthétique. Cette étude a été entreprise pour interroger ces perceptions par rapport au confort général et à la commodité dont l'enquête est la méthode d'investigation adoptée via trois techniques de collectes de données à savoir: l'observation ouverte, l'entrevue non participative et le questionnaire de recherche.

4.3 Choix cas d'étude

Dans la recherche en habitat d'une cité bioclimatique dotée de tour à vent au niveau de territoire national précisément au Sahara où les conditions climatiques sont extrêmes, torrides et complexes, il s'est avéré que le bureau d'étude des frères El Menyaoui, a réalisé dans les années 80 deux grands projets dans le cadre de la coopération Algéro-Égyptienne à savoir:

- 60 Logements individuels bioclimatiques améliorés dans leurs conceptions (villas) à Ouargla.
- 80 Logements semi-collectifs bioclimatiques sociaux.

Comme leur premier souci se résume en une adaptation au climat chaud aride et semi-aride, ils ont importé leur stratégie de ventilation naturelle et de rafraîchissement passif présentée par la tour à vent, qui a déjà acquis une certaine satisfaction et de preuves positives dans leur pays d'origine et un rejet quasiment total dans notre pays.

La vue générale de la cité militaire des 60 villas Sidi Amrane à Ouargla, est dominée principalement par des capteurs à vent surmontant les terrasses totalement condamnés ou supprimés. Le capteur à vent dessert un seul espace qui est le séjour et un seul niveau qui est le rez-de-chaussée.

Le choix de la cité 80 logements sociaux semi-collectifs à Ouled Djellal où se sont déroulées les trois techniques de l'investigation, était dicté pour les raisons suivantes:

- La cité cas d'étude dispose d'un exemple intéressant de tour à vent caractérisée par son implantation très stratégique qui est Wastdar le cœur de la maison, et aussi par le nombre de logement et d'étage qu'elle desserve: la même tour dessert deux appartements simultanément le 1er au RDC et le 2^{e} à l' étage.

- Le nombre de population disposant de ce système à Ouled Djellal est plus important par rapport à celui de Ouargla: avoir l'avis des 80 usagers enquêtés est plus représentatif et fiable que d'avoir 60 opinions.

- La présence de peu de tours à vent qui sont encore fonctionnelles à Ouled Djellal par rapport à la cité Sidi Amrane qui sont totalement fermées, supprimées ou transformées.

- L'accessibilité facile à la cité des 80 logements sociaux par rapport à la cité militaire des 60 villas. Cette dernière présente beaucoup de difficultés d'accéder ou de s'enquêter sur terrain.

-La compréhension et la collaboration des habitants du fait que l'auteur a réalisé une étude préalable sur le même cas d'étude en 2009.

- L'enquête sur ce site permet de mieux comprendre et cerner les raisons réelles du refus de cet élément architectural par les habitants autres que l'insuffisance du rendement thermique.

Le seul problème relève au cours de ce choix est le fait que de nombreux logements étaient trouvés fermés pour location, immigration du propriétaire ou transformation en locaux commerciaux (pharmacie, alimentation générale et autres) (figure 4.1).

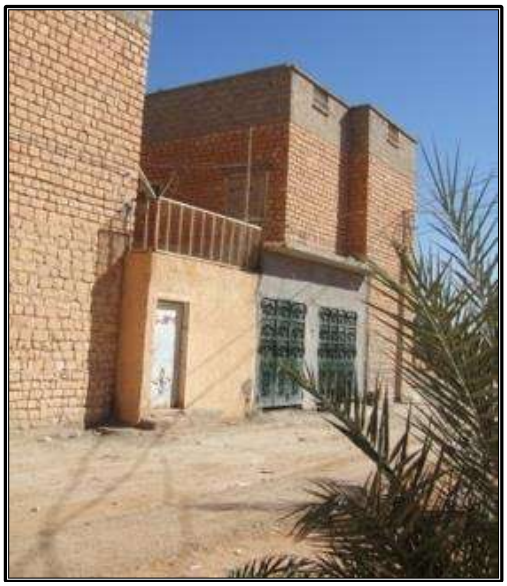


Figure 4.1: *Transformation du logement en locaux commerciaux*

4.4 Présentation des 80 logements cas d'enquête

Ouled Djellal est une ville située dans le massif des Aurès en Algérie, à environ 100Km du chef-lieu Biskra (figure 4.2), son économie est basée exclusivement sur l'agriculture, en particulier les dattes (Deglet Nour), les figues, grenades et raisins. La région est également productrice d'ovins (http://fr.wikipedia.org/wiki/Ouled_Djellal). D'après la classification donnée par le ministère de l'Habitat (DIB, 1993), le climat de la région est semi-aride appartenant à la zone E3 en été (pré Sahara - Tassili, caractérisée par des étés très chauds et secs) et H3b en hiver (caractérisée par des hivers froids la nuit par rapport au jour. Les écarts de température entre le jour et la nuit sont importants.

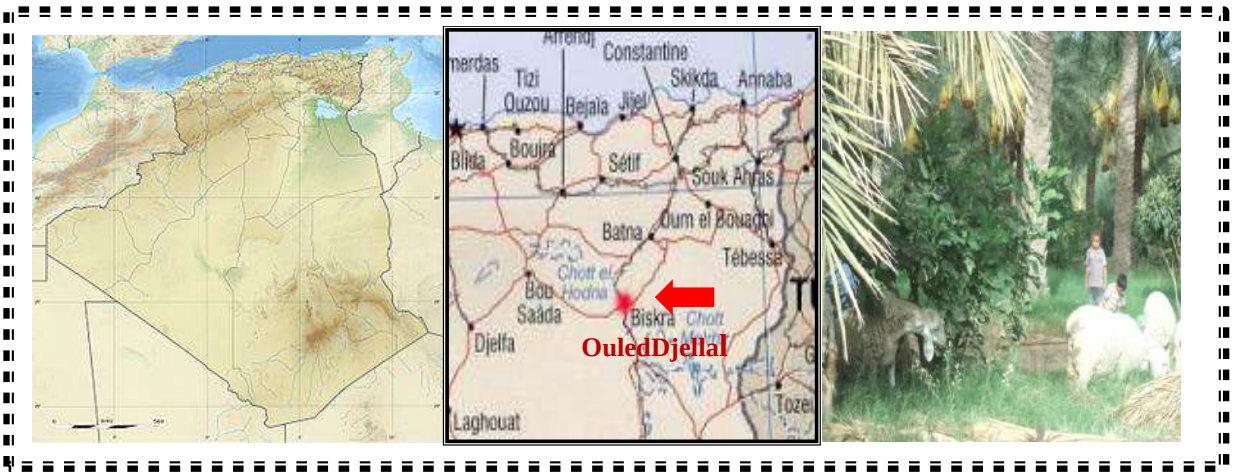


Figure 4.2: *Situation de la ville d'Ouled Djellal*
Source: *Ouled Djellal (www.eden-algerie.com)*

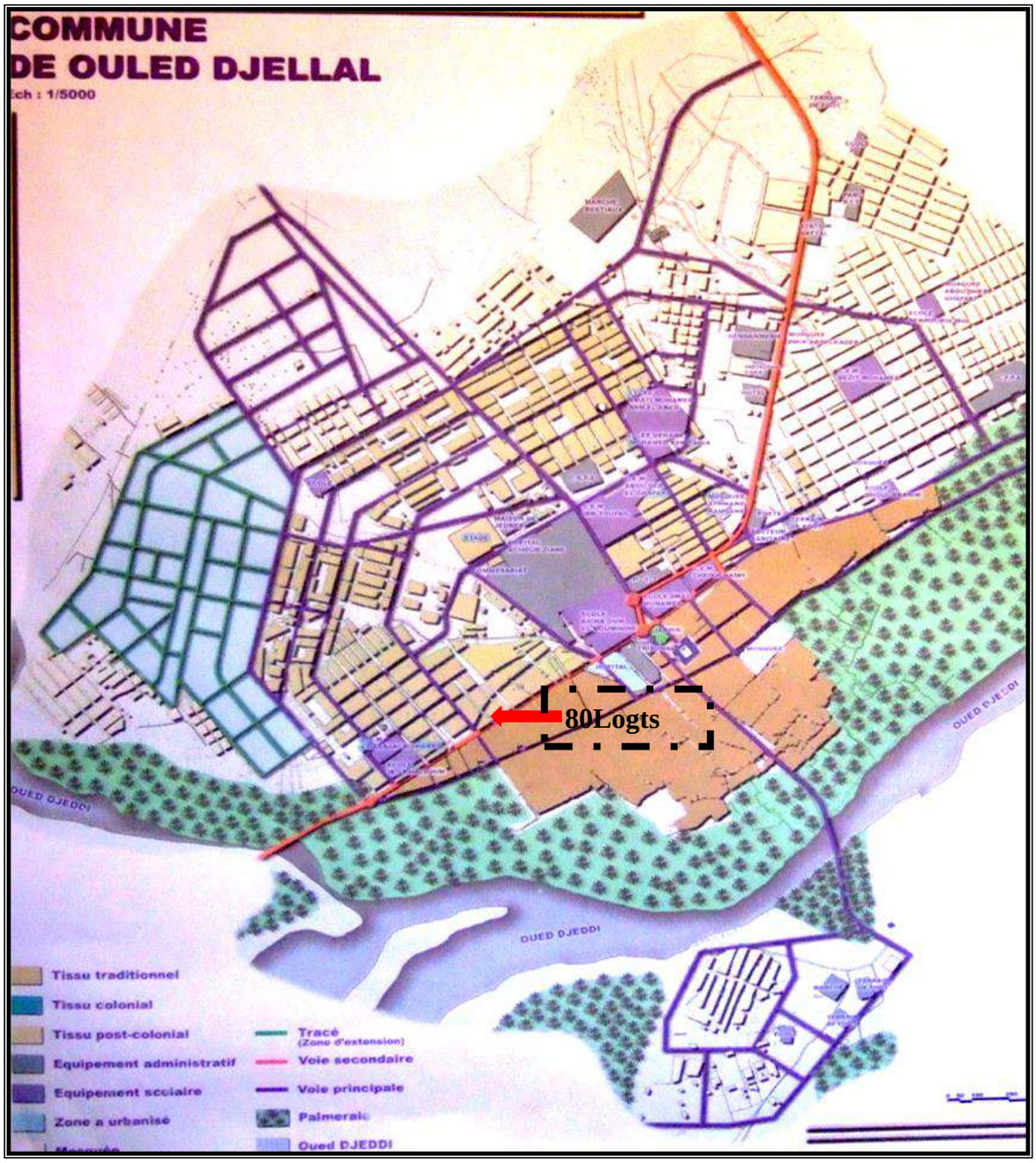


Figure 4.3: *Situation de cas d'étude*
Source: *SUCH Ouled Djellal*

Le site des 80 logements semi-collectifs doté de tours à vent, fait partie du POS N°2 d'Ouled Djellal (figure 4.3) où il a fait l'objet d'une recherche préalable en 2009 par l'auteur. Le paramètre du comportement de ce système et de son rendement thermique en ventilation naturelle et rafraîchissement passif a été discuté et validé comme une des causes de son rejet par les habitants, tout en marginalisant l'évaluation qualitative des autres facteurs tels que l'appréciation et l'acceptation socioculturelle.

EVANS (1980) et TALIB (1983) déclarent que l'intégration et l'adaptation de l'habitat traditionnel au climat se réalise sur deux niveaux:

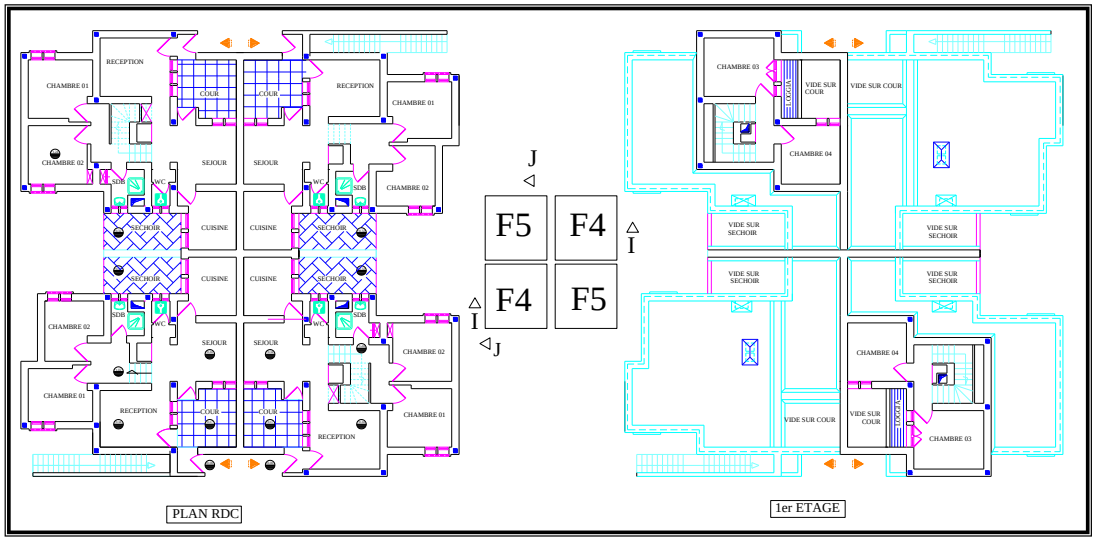
Au niveau de la cité: le tissu bâti des 80 logements est conçu selon la région à caractère bioclimatique compact, garni de végétation (vignes et palmiers) afin de réduire l'exposition au soleil et créer de l'ombre (figure 4.4). Il est desservi par une voirie hiérarchisée du public au privé et des passages couverts menant vers l'accès aux logements (TORKIA, 2009).



***Figure 4.4**: La cité des 80 logements à Ouled Djellal -vues d'ensemble-*
***Source**: Torkia (2009)*

Le tissu est caractérisé par un parcellaire très régulier distribué rationnellement, de forme carrée ou rectangulaire. Le type d'habitat réalisé a une forme urbaine intermédiaire entre la maison individuelle et l'immeuble collectif (appartements).
Chaque parcelle se caractérise principalement par un groupement de logements accolés et superposés, composée de 04 appartements au RDC et 04 à l'étage avec des caractéristiques proches de l'habitat individuel: accès individualisé aux logements et espaces extérieurs privatifs pour chaque logement (cour et jardin), offrant ainsi un degré d'intimité et une alternative intéressante aux modes d'habitat traditionnel. Les types de logement varient du F2 au F5, permettant ainsi plusieurs possibilités d'assemblage (figure 4.5).

La connexion entre les unités d'assemblages est effectuée via des passages couverts intégrés dans la volumétrie des groupements afin de se protéger contre les aléas du climat notamment le rayonnement intense de l'été et le vent de sable (TORKIA, 2009) (figure 4.6).



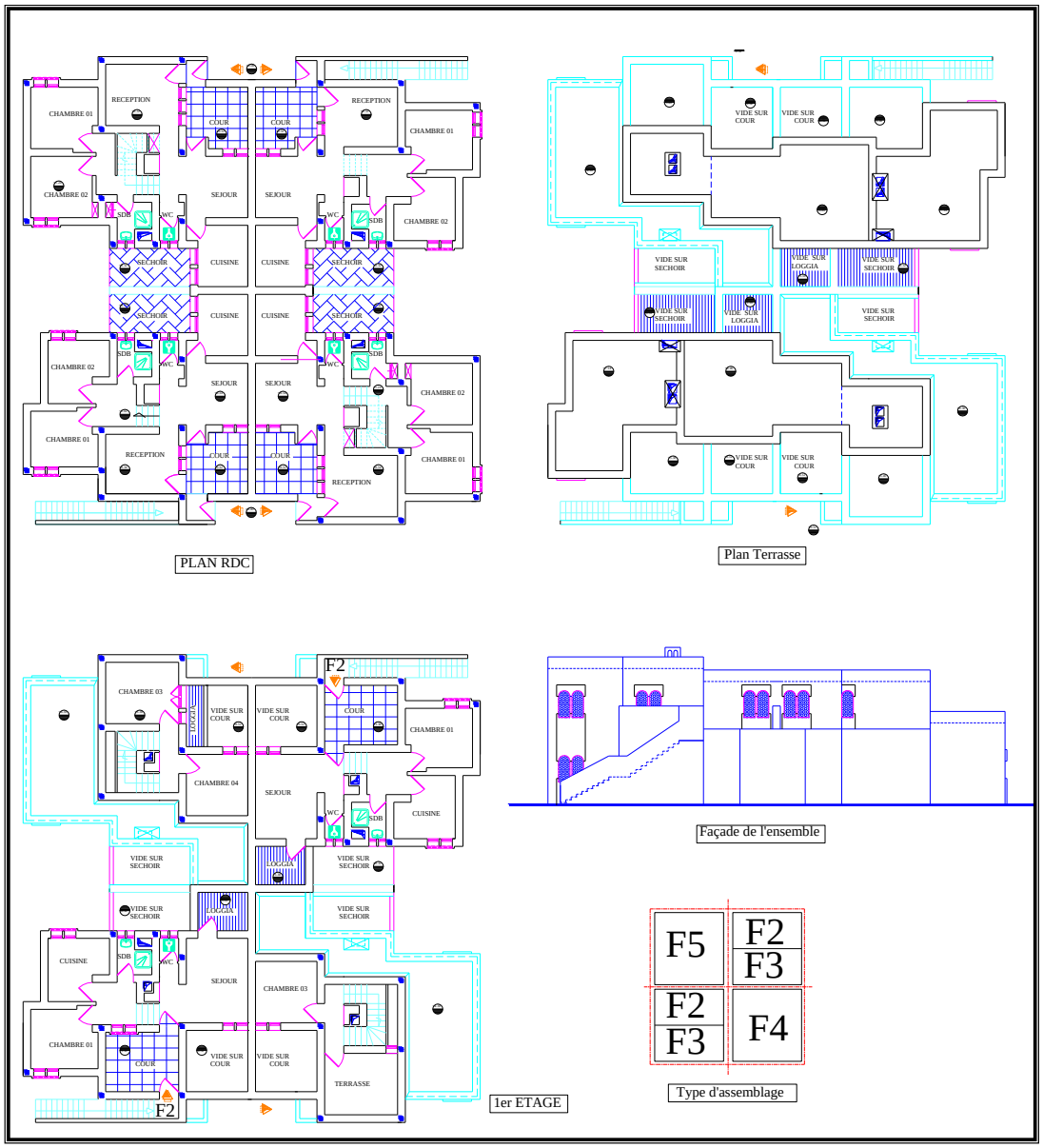


***Figure 4.5**: Plans d'assemblage*
***Source**: SUCH Ouled Djellal*

Des escaliers extérieurs dont leur traitement s'intègre dans la composition de la façade sont des accès individualisés au logement d'étage. Sous ces escaliers, des accès directs depuis le rez-de-chaussée sont positionnés. Cette disposition permet de dissimuler en partie l'entrée et ménage l'intimité des habitants lorsqu'ils sortent de chez eux (figure 4.6).



Escalier extérieur; Accès logt F2 au1er étage; Sous palier accès logt F3 au RDC Loggia

***Figure 4.6**: Le jeu d'ombre dans la cité*
***Source**: Torkia (2009)*

La richesse de la composition volumétrique du cadre bâti et la différence des niveaux, dessinée par l'enveloppe des logements dotés de tour à vent, les escaliers extérieurs et les espaces privatifs cour et loggia créent un jeu d'ombre aussi bien sur les toitures que sur les passages extérieurs non couverts piétons (figure 4.6). L'utilisation de la pierre taillée silico-calcaire d'une texture rugueuse non teintée, ayant une bonne isolation thermique et la tour à vent comme système de ventilation naturelle, a offert à la cité un cachet spécifique, esthétique et bioclimatique, unique dans son genre pour devenir une référence dans la ville.

Au niveau du logement: Quel que soit le type de logement F2, F3, F4 ou F5 (le chiffre après la lettre F indique le nombre de pièces que contient le logement -voir abréviation-), son organisation spatiale suit le même schéma de principe qui est lié au mode de vie, aux pratiques sociales exercées et aux faibles revenus des résidents.

À l'entrée, on trouve un espace tampon filtre présenté par une cour donnant directement sur Dar Dhiaf (séjour invités) et sur un accès secondaire menant vers le côté privé ménage. En accédant à ce dernier, toutes les pièces s'organisent autour de Wastdar (hall/ séjour familial) le noyau central de la maison où la tour à vent est implantée pour assurer la ventilation de cet espace. L'espace jour est distingué de l'espace nuit par une différence de niveau de 0.68m (figure 4.8) et (figure 4.9). L'espace humide cuisine, salle de bain et toilette donnent directement sur une loggia qui favorise la pénétration de la lumière du jour et l'écoulement de l'air à l'intérieur. Cette dernière peut être exploitée en tant qu'espace fonctionnel annexe de la cuisine (figure 4.7).

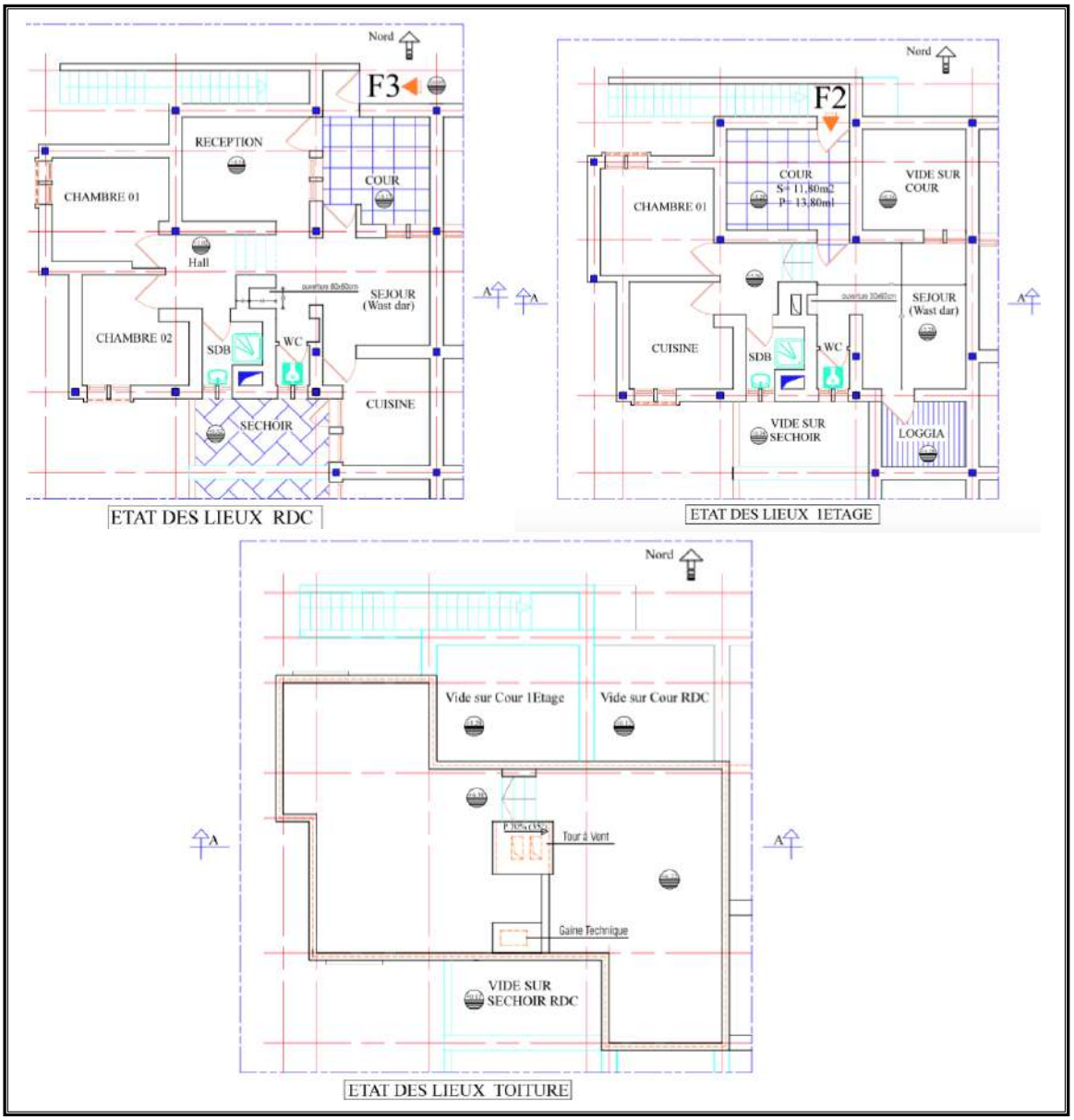


***Figure 4.7**: État des lieux cas d'étude (F3 et F2)-Vues en plan-*
***Source**: Torkia (2009)*



***Figure 4.8**: Vues de l'intérieur cas d'étude (F3 et F2)*
***Source**: Torkia (2009)*

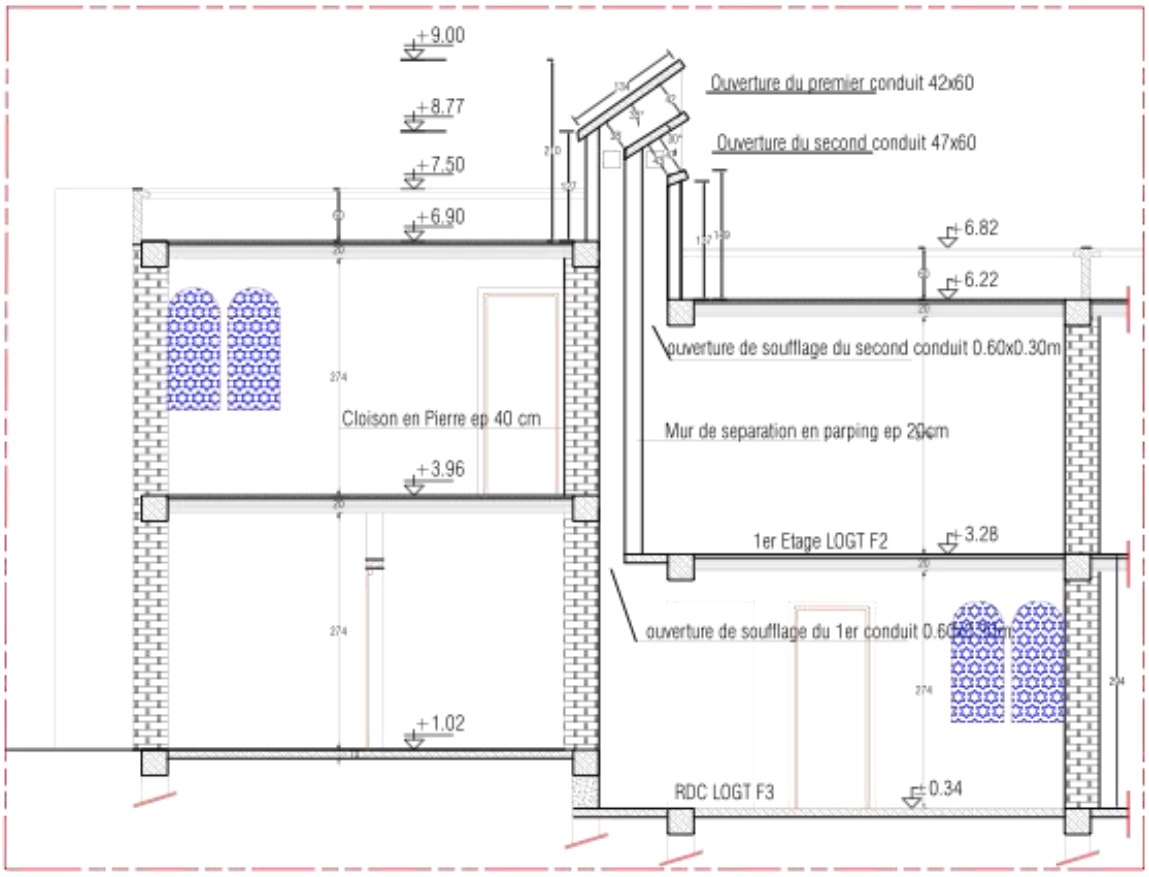


***Figure 4.9**: État des lieux cas d'étude-Coupe AA-*
***Source**: Torkia (2009)*

Répartition des surfaces par espace:

En comparant les surfaces des espaces des deux logements F2 et F3 présentées dans le tableau (4.1) ci-dessous avec les prescriptions techniques et fonctionnelles désignées par le ministère de l'habitat et de l'urbanismes (MHU, 2007) applicables aux logements sociaux et également avec les normes minimales d'habitabilité du code de la construction et de l'habitation (CCH, extrait de l'article R111-2) en France, il a été constaté que:

- Tous les espaces sans exception sont hors normes nationales ou internationales recommandées.

- Les surfaces de tous les espaces principaux (séjour, chambre, cuisine, salle de bain et toilette) sont inférieures aux normes minimales en habitat décent et aux normes nationales.

- Les surfaces des espaces annexes tels que cour et loggia sont supérieures aux normes applicables en logement social en Algérie.

- L'absence totale des surfaces réservées aux rangements dans les deux logements cas d'analyse.

DESIGNATION ESPACE	LOGEMENT F3	LOGEMENT F2	Norme Algérienne	Code de la construction et de l'habitation (normes Fr minimales d'habitabilité
	SURFACE EN (M2)	SURFACE EN (M2)	SURFACE EN (M2)	SURFACE EN (M2)
RECEPTION (INVITES)	11,80	-	19- 21	9,00
Hall SEJOUR (Wast dar)	14,20	17,70	7,00	-
CHAMBRE 01	10,65	10,55	11-13	12,00
CHAMBRE 02	9,30	-	11-13	9,00
HALL esp/NUIT	5,00	5,00	12% surf habitable	-
DEGAGEMENT	-	-	7	Largeur=1,20/pour handicape1,40
CUISINE	8,80	9,70	10	8,00
SDB	2,90	2,90	3,50	3,00
WC	1,20	1,20	1,00	1,00
COUR	11,10 (L=3,20m)	11,80 (L=3,10m)	Largeur > ou éagale à 1,40	-
LOGGIA	8,00 (L=2m)	5,20 (L=2m)	Largeur > 1,40	-
Rangement (rangement cuisine non compris)	-	-	1-2	0,4% taille du logement
Surface habitable logement	63,85 m2	47,05 m2	F3= 67m2; F2=50m2	F3= 60m2; F2=46m2

Tableau 4.1*: Répartition et comparaison des surfaces logements cas d'étude aux normes*
Source*: (auteur, 2019); (MHU, 2007);https://fr.wikipedia.org/wiki/Taille_des_logements_en_France*

Malgré les avantages qu'apporte la conception des 80 logements des frères El Menyaoui à Ouled Djellal tels que:

- L'optimisation de l'utilisation des espaces par un agencement judicieux en rentabilisant les espaces communs, en limitant les aires de circulations et en évitant les espaces résiduels;

- L'isolement de la partie susceptible de recevoir des visites de celle réservée à la vie intime du ménage;

- La présence de certains espaces à savoir: la cour, la loggia et Wastdar où les habitants peuvent exercer leurs pratiques sociales.

Le non-respect des surfaces particulièrement celles des espaces principaux (séjour, chambres, cuisine, salle de bain et toilette) prévus par la règlementation, a une influence directe sur le comportement des usagers et indirecte sur la construction en poussant les habitants à effectuer des transformations sur leurs logements afin de subvenir à leurs besoins en matière d'espace et de surface.

Donc, il a été conclu que les logements conçus par les frères El Menyaoui à Ouled Djellal sont très étroits, leurs surfaces habitables sont respectivement de: 63,85m² pour F3 et 47,05m², n'obéissant pas aux normes minimales d'habitabilité nationale recommandées par le ministère de l'Habitat et de l'Urbanisme. Sachant que la taille moyenne d'un logement de type F3, correspond à une surface habitable de l'ordre de 67m² avec une tolérance de (+) ou (-) 3% et de 50m² pour un logement type F2 respectivement (MHU, 2007). Ces surfaces sont aussi à la limite des normes prévues par le code de la Construction et de l'Habitation français où le mode de vie sociale est très différent.

4.5 Présentation de la tour à vent cas d'enquête

La tour à vent des 80 logements semi-collectifs sise à Wastdar est une colonne partagée en deux conduits desservant deux niveaux le RDC et le 1er étage et surélevée de 68 cm, elle est orientée nord-est face aux vents désirés. La gaine a une forme rectangulaire de (60x80) cm^2 de section au RDC et de (60x30) cm^2 au 1er étage (figure 4.11) et (figure 4.12).

La tête de la tour est une dalle préfabriquée en béton armé de 5cm, elle est décomposée aussi en deux bouches d'admission d'air de (42x60) cm^2 pour le RDC et de (47x60) cm^2 pour le 1er étage. Le soufflage d'air est accompli via des ouvertures au niveau des deux planchers ayant une section de (30x30) cm^2. En outre de ces deux orifices d'entrée air, la tête dispose d'une ouverture secondaire de (25x25) cm^2 afin de capter le vent de toutes directions (figure 4.11) et (figure 4.12).

Les parois de la tour à vent au-dessous du plancher-terrasse, sont réalisées en pierre tout le long du conduit de 40cm d'épaisseur, à l'exception de la cloison intermédiaire adiabatique de 20cm d'épaisseur qui est en parpaing (figure 4.10) et (figure 4.11). Les parois de la tour à vent dépassant la terrasse sont en parpaing de 15cm d'épaisseur, revêtu de mortier de ciment (figure 4.10).



***Figure 4.10**: Revêtement extérieur tour à vent des 80 logements à Ouled Djellal*
***Source**: Torkia (2009)*

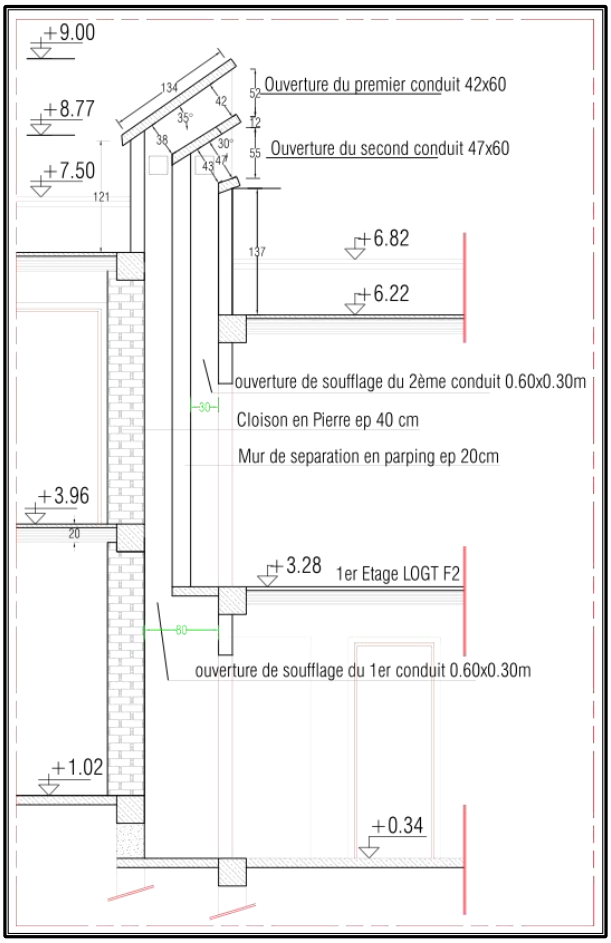


Figure 4.11: *Coupe sur conduits tour à vent des 80 logements à Ouled Djellal*
Source: *Torkia (2009)*

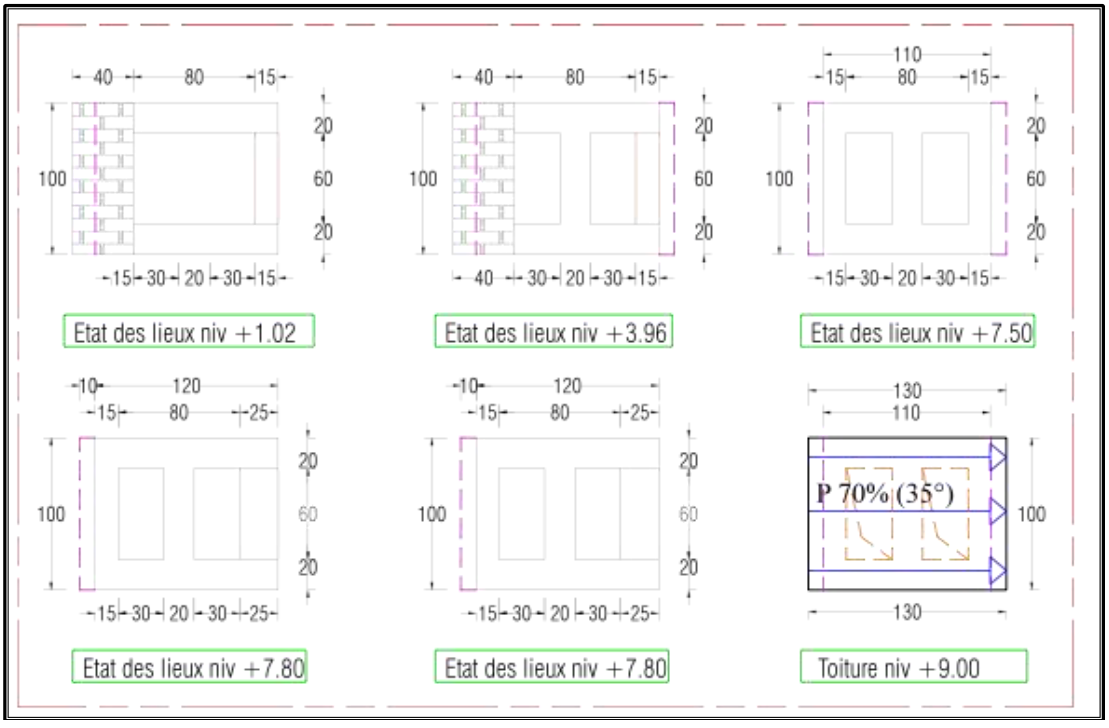


Figure 4.12: *Vues en plan tour à vent des 80 logements à Ouled Djellal*

4.6 Techniques d'investigation

L'appréciation, la perception et le comportement des habitants vis-à-vis de la tour à vent, trois critères semblent nécessaires à explorer pour comprendre et déterminer les raisons du rejet de ce système dans la région. Pour cela, trois techniques d'investigation ont été adoptées à savoir: l'observation en situation non participative, l'entrevue et le questionnaire auto administré. Il s'agit en premier lieu d'expliquer le déroulement de l'observation directe pour collecter et interpréter les phénomènes observés concernant les différentes façons d'utilisation et les différents modes de transformation réalisés sur la tour à vent cas d'enquête.

4.6.1 L'observation en situation non participative

La technique d'observation ouverte directe a été faite avec l'accord et la présence des habitants de la cité cas d'étude à l'intérieur et à l'extérieur des logements. L'objectif était de faire un prélèvement qualitatif préliminaire en vue de comprendre et cerner les axes à étudier auxquels on n'a pas pensé, précisément les formes et les causes de la condamnation (suppression ou transformation de la tour à vent), sans prise de position. Cette technique d'exploration était indispensable pour l'élaboration du questionnaire comme troisième technique d'investigation après l'entrevue.

4.6.1.1 Résultats de l'observation ouverte non participative

Les aspects de condamnation et de transformation constatés par observation directe des tours à vent de la cité des 80 logements semi-collectifs à Ouled Djellal sont illustrés et commentés dans les figures (4.13), (4.14), (4.15), (4.16), (4.17), (4.18), (4.19), (4.20) et (4.21) ci-dessous:



***Figure 4.13**: Disparition de la tour à vent dans le champ de vision due à la surélévation importante de l'acrotère*

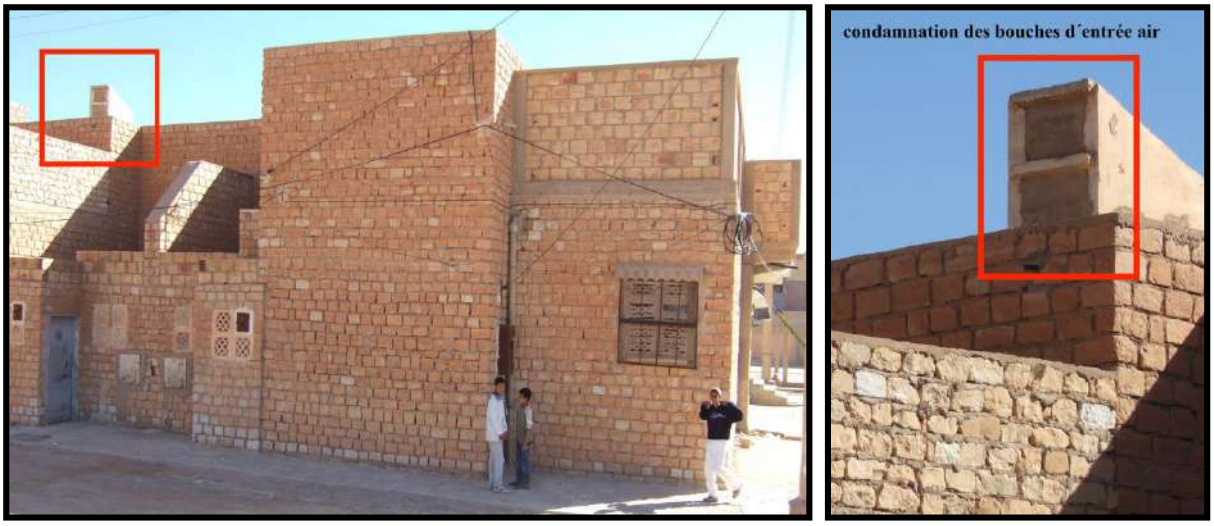


Figure 4.14: *Condamnation totale des bouches d'entrée air de la tour à vent*



Figure 4.15: *Transformation de la tour à vent en une cheminée pour l'évacuation du gaz carbonique*

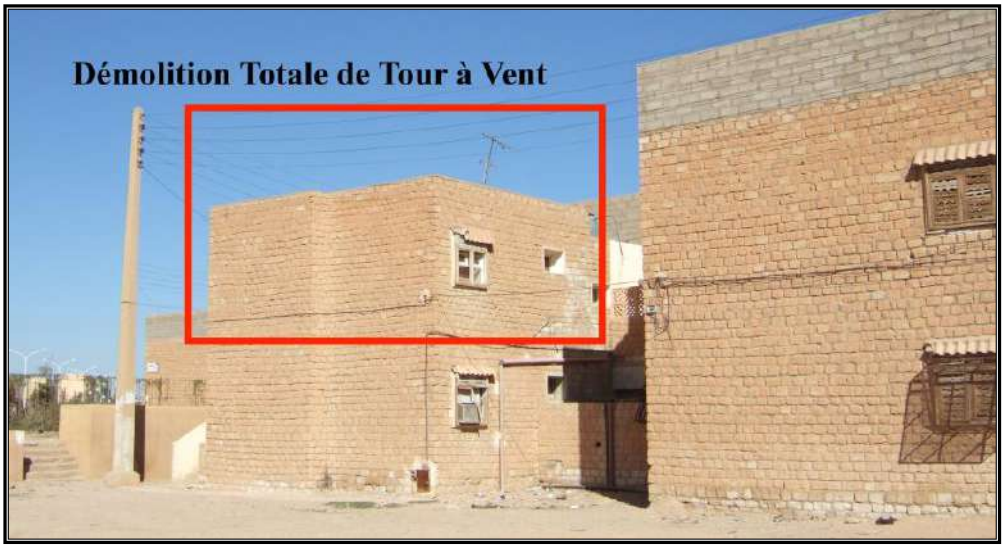


Figure 4.16: *Démolition de la tour à vent dans certains logements*

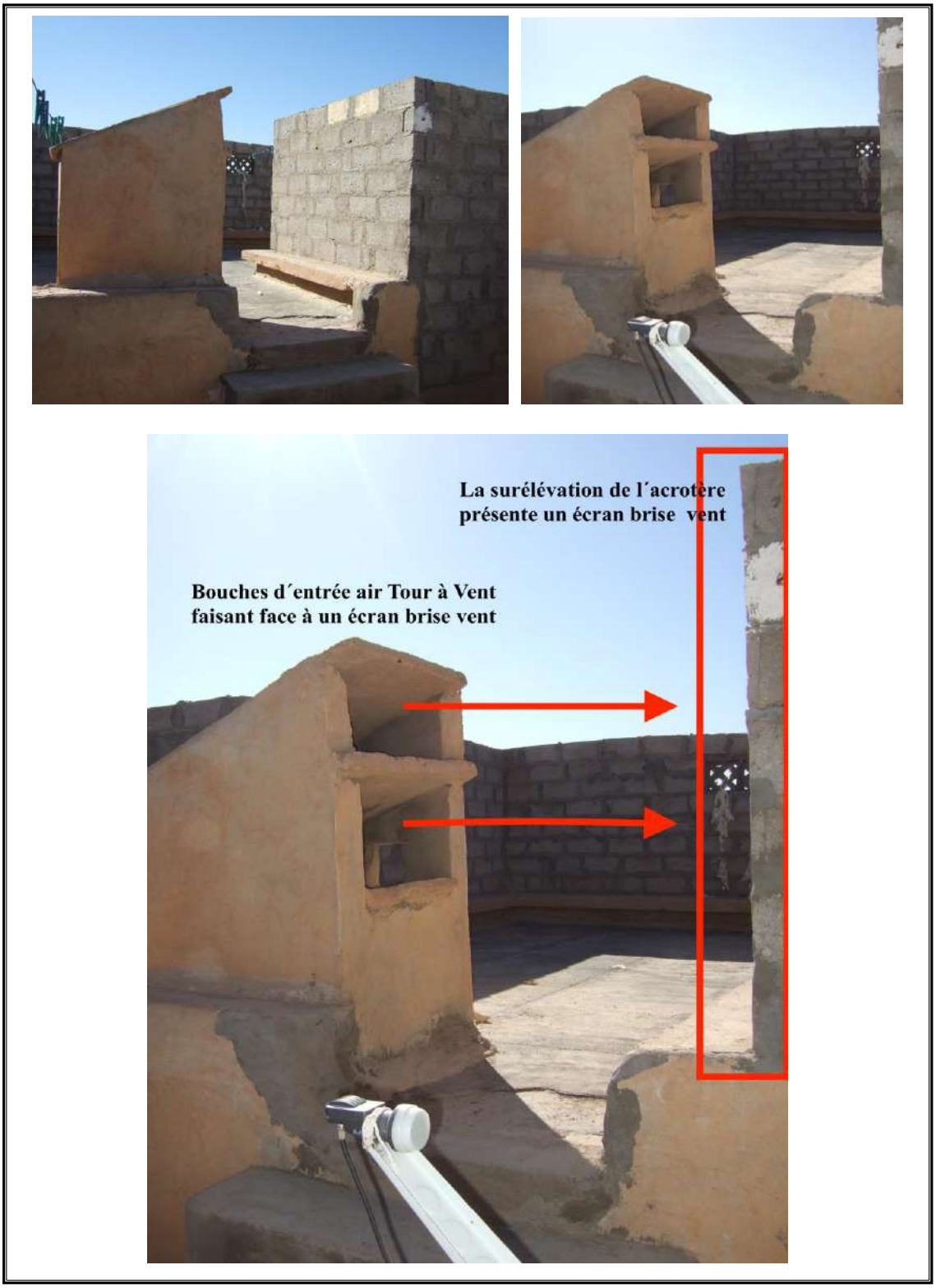


Figure 4.17*: Tour à vent ouverte à la bouche d'entrée air dans certains logements*

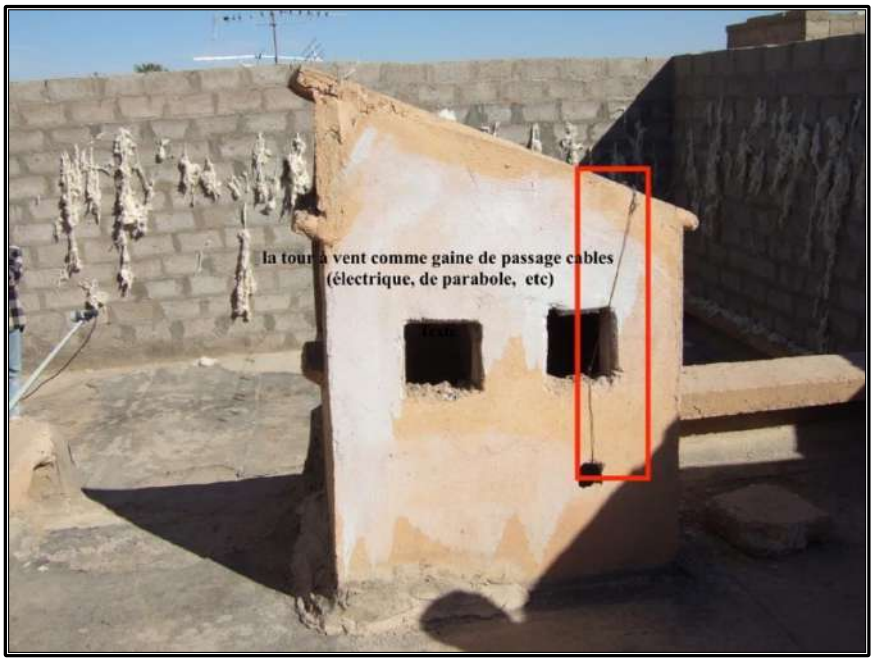


Figure 4.18: *La tour à vent comme gaine technique pour passage câbles (électrique, de la parabole, etc)*



Figure 4.19: *Obstruction de la bouche de soufflage de la tour à vent dans certains logements*



Figure 4.20: *À l'intérieur, transformation du conduit tour à vent en placard mural*
Source: *Torkia (2009)*



Figure 4.21*: À l'intérieur, transformation du conduit tour en gaine pour l'évacuation de gaz carbonique*
Source*: Torkia (2009)*

4.6.1.2 Analyse et interprétation des résultats de l'observation directe

Les visites effectuées sur site et la prise de photos in situ, ont confirmé le rejet de la tour à vent par les habitants. Ce rejet est constaté de l'extérieur par: des fois l'absence totale de cette élément architectural dans des parties composantes de la silhouette urbaine de la cité ou bien par l'observation des tours ayant des orifices d'admission d'air complètement fermés à l'exception de la bouche secondaire qui a été utilisée comme ouverture d'une gaine technique (passage câbles de parabole ou d'électricité). Deux causes justifiant la disparition de la tour à vent au niveau de la façade: soit la tour a été démolie voir (figure 4.16) pour des raisons diverses telles que l'esthétique ou système dépassé, ou bien cachée derrière la surélévation importante de l'acrotère réalisée par l'habitant voir (figures 4.17 et 4.18) pour des raisons sécuritaires ou socioculturelles (avoir plus de privacité).

Le refus de la tour à vent a été observé et confirmé aussi en visitant l'intérieur de quelques logements. La gaine de ce système a été transformée soit en placard mural voir (figure 4.20) probablement par manque de surface de rangement ou bien en une cheminée voir (figures 4.20 et 4.21) pour se chauffer pendant la période hivernale.

Comme il a été déjà cité dans ce chapitre, les surfaces habitables notamment celles des espaces principaux (séjour, chambres, cuisine, salle de bain et toilette) sont inférieures à celles recommandées par la réglementation, les habitants ont effectué des transformations sur leurs logements afin de subvenir à leurs besoins en matière d'espace et de surface. La technique de l'observation directe a confirmé la réalité de l'étroitesse de ces logements.

De cet état de fait observé et prouvé, plusieurs questionnements et hypothèses se posent, nécessitant d'approfondir la recherche par l'exploitation d'autres techniques telles que l'entrevue et le questionnaire. Ces derniers contribuent à mieux comprendre le comportement observé d'obstruction de ce dispositif de ventilation naturelle et de rafraîchissement passif, les raisons cachées derrière ce phénomène et aussi aux limites que présente cette technique d'observation directe.

4.6.1.3 Limites de l'observation directe non participative

Les résultats obtenus de l'observation directe ont permis d'avoir des informations en temps réel, sur les différents modes d'utilisation et non utilisation de la tour à vent par les usagers dans la cité considérée, en citant les modes de condamnation et de transformation les plus signifiants qui se répètent d'une manière remarquable. Toutefois, cette technique ne permet pas de collecter toutes les données nécessaires à l'analyse, à cause de deux raisons:

- La première est relative au champ de vision qui est restreint, même en changeant à chaque fois d'endroit, ne permet pas de balayer toute l'étendue du site considéré. De ce fait certaines modifications ou transformations n'ont pas pu être observées et soulevées;
- La deuxième est impérative, elle concerne la perception de l'usager et les autorités locales envers la tour à vent comme système de ventilation naturelle et de rafraîchissement passif peu ou mal connu dans la région.

4.6.2 L'entrevue

Avoir l'avis des autorités d'Ouled Djellal ainsi que celui des habitants de la cité des 80 logements semi collectifs sur la convenance et la commodité de la tour à vent, s'avère primordial pour savoir les causes réelles de son rejet. Les données manquantes ont été collectées via deux techniques d'investigation ; l'entrevue et le formulaire de questions.

La technique de l'entrevue a été établie avec la participation des chefs de service technique de l'APC (l´Assemblée Populaire Communale) et de la SUCH (Subdivision de l'Urbanisme, de la Construction et de l'Habitat) de la ville. Ces derniers ont assisté aux différentes phases du projet: de la conception jusqu'à la réalisation. L'aide apportée par Mr Amar Mansoul et Mr Mohamed Kessayssia chef de projet de la réalisation de la cité des 200 logements à cette époque, étaient d'une importance capitale pour cette phase d'investigation. Le but de l'entrevue était d'interroger les interviewés de façon semi-directive (laisser l'informateur libre de répondre comme il l'entend à condition qu'il ne sort pas du sujet) sur l'historique de cas d'étude et de faire un prélèvement qualitatif sur le rejet de système tour à vent par les autorités

durant cette époque, sachant que sur un programme de 200 logements sociaux prévu, il n'a été réalisé que 80 logements, le reste a été réalisé d'une façon conventionnelle.

Pour plus d'objectivité et afin d'aboutir à des résultats plus fiables, quelques entrevues ont été ensuite entreprises auprès du groupe d'habitants sélectionné d'une façon aléatoire et interrogée sur le mode d'utilisation de la tour à vent et les causes de sa fermeture.

4.6.2.1 Résultats de l'entrevue

D'après les interviewés, il était prévu en (1982), de réaliser 200 logements semi-collectifs dotés de tour à vent fraîche (équipée d'un système de rafraîchissement par évaporation d'air) dont le système constructif était en murs porteurs en pierre silico-calcaire. Le délai prévu de réalisation était de 36 mois. En 1984, ce nombre a été réduit à 94 logements en murs porteurs avec tour à vent et le reste 106 logements en poteau-poutre et sans tour à vent (figure 4.22). Cette décision a été prise après l'achèvement de 26/94 logements en 24mois et la réception du nombre restant au stade des gros œuvres finis. D'après les autorités concernées, il fallait compter 20 ans pour la finalisation du projet vu la cadence lente du travail: 02 maçons et 06 ouvriers pour réaliser $1m^2$ de pierre/jour. Le manque de personnels qualifiés pour la réalisation de ce type de structure et l'éloignement de la carrière du chantier de 35 km, étaient les facteurs principaux de ce retard. Par conséquent, l'étude des 106 logements restants a été confiée à un autre bureau d'étude (Diab Architecte) tout en s'inspirant du 1^{er} modèle mais sans tour à vent et en exigeant un système constructif traditionnel type poteau- poutre.



Figure 4.22*: Vues générales sur les 106/200 logements réalisés en poteau-poutre et sans tour à vent*

Les premières transformations effectuées par les habitants sur les tours à vent des 80 logements ont débuté après le désistement de l'OPGI (Office de Promotion et de Gestion Immobilière) des logements au profit des nouveaux propriétaires durant la période 1994-1997.

4.6.2.2 Analyse et interprétation de l'entrevue

À travers quelques entretiens avec les usagers et les autorités locales (APC et SUCH) d'Ouled Djellal, certaines informations sur ce sujet ont été citées qui n'étaient pas observées ou connues chez l'habitant. Il a été constaté que le rejet de la réalisation des logements bioclimatiques dotés de tour à vent est dû à plusieurs facteurs, à savoir:

- L'ignorance des autorités locales de l'utilité des tours à vent, système non connu en Algérie, malgré son ancienneté ailleurs (au Moyen-Orient),
- La réalisation en pierre de taille était très couteuse par rapport au système constructif poteaux poutres.
- La non-disponibilité de main d'œuvre qualifiée dans la région pour ce type de construction.
- L'éloignement des carrières de la matière première (la pierre) par rapport au site,
- Les délais de réalisation trop longs dus à la taille de la pierre et sa mise en œuvre.
- La conception de la tour à vent en espace ouvert ne prenant pas en considération la période hivernale où aucune disposition n'a été prise pour sa fermeture pendant cette saison.
- Le désistement de l'Office de Promotion et de Gestion Immobilière (OPGI) des logements au profit des locataires a encouragé les habitants à apporter des modifications à leurs logements et notamment à la tour à vent.
- Les premières modifications apportées à la tour à vent étaient la suppression du système d'humidification par les responsables et la fermeture de la bouche d'entrée air en hiver par les habitants.
- La tour à vent a été condamnée par les habitants sous prétexte de se protéger contre: la pénétration des eaux pluviales en hiver, le bruit amplifié des vents d'hiver ainsi que pour des raisons sécuritaires (le vol).
- La tour à vent a été employée comme une cheminée pour le chauffage en hiver ou bien comme une gaine technique pour passage toutes installations de câbles.

- La difficulté de l'entretien des tours qui est due à l'inaccessibilité des terrasses.
- La tour à vent en la comparant avec les autres moyens actuels de ventilation et refroidissement est d'une efficacité très limitée dans le temps et sur le taux de ventilation fournie.

4.6.2.3 Limites de l'entrevue

Malgré les avantages que l'entrevue de recherche offre en tant que technique semi-directive flexible: contact direct avec l'interviewé permettant plus de savoir sur la perception globale de l'interviewé sur le rejet de ce système, elle reste subjective et non comparable. Les données qualitatives récoltées ne représentent que l'avis d'un nombre très limité et pas l'ensemble de la population considérée de la cité. Le manque de comparabilité des entrevues et le besoin d'application au grand nombre afin de savoir la perception de chaque ménage sur la tour à vent vis-à-vis sa convenance, sa commodité et ses appréciations, rendent l'exploitation d'un sondage impératif.

4.6.3 Le questionnaire auto-administré

Pour effectuer une enquête socioculturelle qualitative, un formulaire de questions a été distribué en été (2016) au domicile des enquêtés et rempli par la population elle-même de la cité cas d'étude.

4.6.3.1 L'échantillonnage

Selon les stratégies d'échantillonnage adapté de Patton M.Q (1990), un échantillon restreint ciblé homogène et non aléatoire a été employé. Vu la taille limitée de la cité des 80 logements cas d'enquête, tout le nombre d'appartements a été pris comme échantillon. La sélection de 100% des habitants de la cité pour constituer l'échantillon a permis une estimation représentative précise. En outre, des considérations statistiques, la qualité du questionnaire rédigé, la qualité du traitement statistiques et de l'interprétation ont été prises en considération lors de cette enquête pour plus de validité des résultats.

4.6.3.2 Construction du formulaire de questions

Le formulaire de questions a été élaboré et traité à l'aide du logiciel Sphinx Plus 2. Il est essentiellement composé de questions fermées à choix unique et multiples (Q10, Q16, Q19), mais également une question dichotomique (Q15), une question à échelle de Likert (Q20) et une question ouverte (Q21). On note que dans certaines questions on a opté pour des renvois (questions filtres). Le nombre de questions est limité à 21 questions. Les questions ont

été rédigées dans un vocabulaire simple et facilement compréhensible, dans les deux langues: français et arabe (voir annexe II). La structure du questionnaire est basée sur la technique de l'entonnoir de la manière suivante:

- Introduction : Brève présentation du thème de l'enquête, en rassurant le répondant sur l'anonymat.
- Partie I: Questions concernant quelques informations personnelles des répondants.
- Partie II: Questions relatives à l'identification du système de ventilation par gaine (Malqaf) par les usagers.
- Partie III: Questions relatives à l'état des lieux de ce système et constatations.
- Partie IV: Questions sur le niveau de satisfaction des répondants par rapport à ce système et une dernière question concernant l'avis justifié des interviewés sur sa vulgarisation dans les régions chaudes et sèches en Algérie.

4.6.3.3 Distribution, Collecte et Dépouillement du questionnaire

80 formulaires de questions ont été imprimés dont 50 distribués et 44 formulaires remplis rendus. Le taux de réponse théorique calculé était de 55% (50 distribués /80 formulaires prévus à distribuer) considéré acceptable, mais le taux de réponse effectif était de 88% (44 rendus /50 formulaires réellement distribués) considéré important et représentatif. Le résultat de ces deux taux est dû à plusieurs facteurs tels que:

- la transformation de certains logements du rez-de-chaussée en locaux commerciaux.
- la fermeture provisoire de quelques logements pour location.
- l'abandon de quelques propriétaires de leurs appartements pour immigration.
- l'absence des occupants de certains appartements le jour de l'enquête qui était choisi un vendredi jour de week-end, que ce soit pour des visites familiales ou autres.
- et des fois le refus de certaines femmes au foyer de nous ouvrir la porte en l'absence de leurs conjoints (chef de ménage) pour des raisons sociales et sécuritaires.

Après la récupération de tous les formulaires remplis et la vérification auprès des répondants, un système de codage des réponses a été effectué, pour faciliter la saisie des données collectées.

Le code de chaque modalité de réponse est sous deux formes : un code numérique constitué du rang de cette modalité, suivi du numéro de la question et une lettre minuscule. La saisie des réponses a été faite à l'aide de l'option « saisie rapide » du logiciel *Sphinx Plus2*, où chaque page représente les réponses d'un chef de ménage. Afin d'éviter les erreurs, un contrôle continu et rigoureux a été fait au fur et à mesure du travail. Tous les formulaires ainsi

saisis ont été transférés dans une base de données sous forme d'un tableau.

4.6.3.4 Analyse et interprétation des résultats du questionnaire

La dernière étape de l'enquête consiste à analyser les bases de données saisies par des traitements statistiques afin de pouvoir interpréter les résultats obtenus. Deux types d'analyse ont été établis: le tri à plat ou l'analyse univariée et le tri croisé ou l'analyse bivariée. Le tri à plat est essentiellement constitué par le calcul de fréquences de modalités. Quant au tri croisé, il revient à construire des tableaux à double entrée (tableau de distribution de fréquences croisées ou tableaux de contingence).

4.6.3.4.1 Résultats et interprétation de l'analyse univariée

L'analyse univariée consiste à décrire les caractéristiques de chaque variable étudiée, par le calcul d'effectifs et pourcentages à un intervalle de confiance (ou marge d'erreur acceptée) précisé au départ, et qui est pris dans notre cas à 95 %.

Les variables analysées sont relatives aux caractéristiques de l'échantillon de population, l'identification du système de ventilation par gaine (Malqaf) par les habitants, les modes d'utilisation de la tour, les formes et les causes d'obturation de la tour et en dernier lieu avoir leurs opinions sur ce dispositif et la possibilité de l'intégrer après amélioration en habitat contemporain dans les régions chaudes arides et semi-arides.

Donc, il s'agit en premier lieu de construire des tableaux de fréquence avec graphiques associés de chaque variable étudiée, voir l'exemple suivant de tableau et graphique de la variable n°12 concernant l'origine de la tour à vent (figure 4.23):

Pays d'origine	Nb. cit.	Fréq.
Non réponse	26	59,09%
1.12a- Local	1	2,27%
2.12b- Régional (sud algérien)	1	2,27%
3.12c- pays du Maghreb	0	0,00%
4.12d- Moyen orient (Egypt)	14	31,82%
5.12e- Iran	1	2,27%
6.12f- Autre	1	2,27%
TOTAL OBS.	44	100%

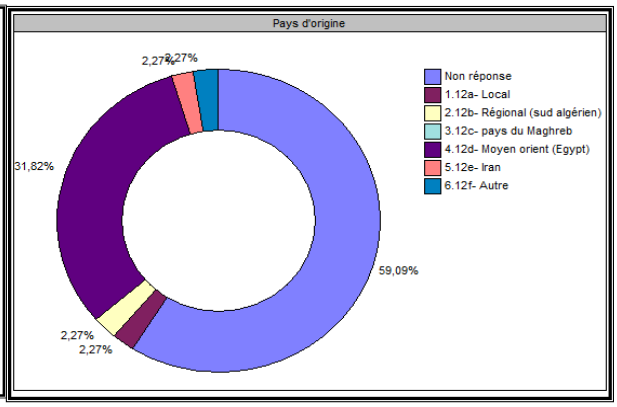


***Figure 4.23**: Tableau récapitulatif et graphique de la variable origine tour à vent selon les habitants*

A partir de ce tableaux et graphiques, on a pu construire une synthèse des résultats obtenus de chaque variable analysée. On se limite donc de représenter uniquement des tableaux synthétiques et les interprétés sauf dans le cas de nécessité de plus de détails.

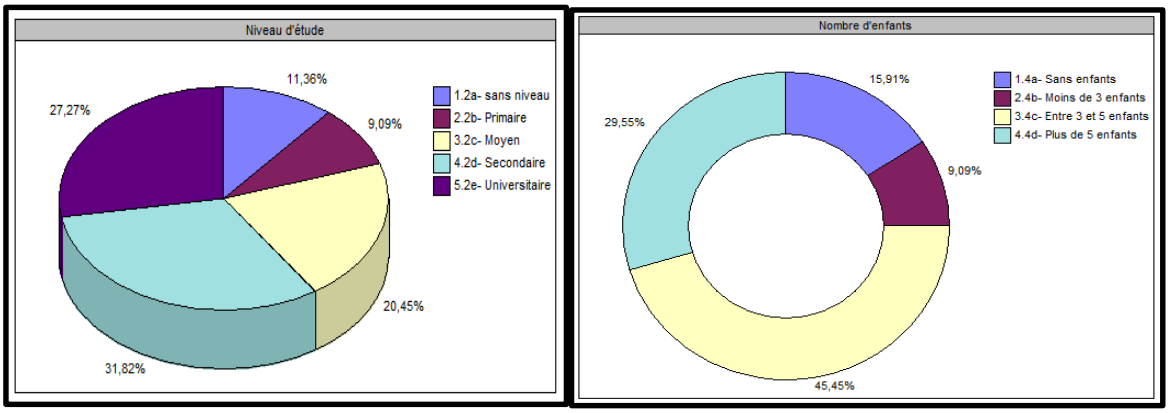
Synthèse des caractéristiques de l'échantillon de la population cible

D'après les réponses les plus citées et présentées dans le tableau récapitulatif (4.2), on a pu constater et conclure quelques caractéristiques de la population de l'échantillon cible sur le plan social, culturel, économique et juridique concernant l'acquisition du logement.

Variable	Enquête 80/200 Logements		
	Modalité citée en 1er (%)	Modalité citée en 2e (%)	Modalité moins citée (%)
Profession	Fonctionnaire 76%	Retraité 22,73%	Fonction libérale 11,36
Niveau d´étude	Secondaire 31,82%	Universitaire 27,27%	Primaire 9,09%
Situation familiale	Marié 86,36%	Célibataire 11,36%	Autres 2,27%
Nombre d´enfants	Entre 3 et 5 45,45%	Plus de 5 29,55%	Moins de 3 9,09%
Type de possession	Propriétaire 63,64%	Locataire/état 25%	Locataire/privé 11,36%
Date d´occupation	Distribution En 1984 52,27%	Autres 38,64%	Désistement En 1994 9,09%
Type de logement	F3 59,09%	F4 18,18%	F2 13,64%
Étage	RDC 56,82%	1er Étage 40,91%	Pas de réponse 2,27%

***Tableau 4.2**: Caractéristique des échantillons de populations*

La majorité des habitants sont des simples fonctionnaires habitants des logements sociaux de type F3 mariés, de trois à cinq enfants et plus, de classe sociale faible à moyenne et d'un certain niveau intellectuel. Le pourcentage des chefs de ménage représentant la catégorie sans niveau est très faible, il représente uniquement 11,36% de la population interrogée (figure 4.24).



Niveau d'études *Nombre d'enfants*

***Figure 4.24**: Graphiques des variables niveau d'étude chef de ménage et nombre d'enfants*

La plupart des logements (88,64%) sont encore occupés par leurs propriétaires originaux ou par leurs enfants et petits-enfants depuis 1984 et jusqu'à nos jours (plus de 32ans d'occupation). Cela montre que peu de logements occupés (11,36%) dans cette cité sont

utilisés pour la location multiple où la durée de l'occupation de leurs usagers est courte et provisoire. L'étroitesse des logements a été constatée et confirmée par la densité d'occupation du logement (cinq à sept personnes comme moyenne et souvent plus dans un appartement de type F3 de 63,95m^2 au lieu d'un appartement de type F4 ou F5).

Le type de logement F3 est le modèle dominant, il représente 59,09%, le type F4 représente 18,18%, le type F2 représente 13,64% et le type F5 de 9,09% est le modèle le moins adopté. Cette répartition ne convient pas au nombre d'occupants par logement. Comme se sont des logements sociaux, il était souhaitable de proposer un nombre supérieur en type F4 au lieu de type F3 et d'éliminer totalement le type F2 qui ne convient pas au mode de vie sociologique de la région.

Synthèse de l'identification du système tour à vent par les usagers.

D'après les réponses les plus citées et présentées dans le tableau récapitulatif (4.3) concernant les différents aspects confirmant ou infirmant l'identification de la tour à vent par leurs usagers (la population de la cité cas d'enquête), il a été conclu que:

Variable	Enquête 80/200 logements		
	Modalité citée en 1er (%)	Modalité citée en 2e (%)	Modalité moins citée (%)
Reconnaissance du système	Oui 63,64%	Non 36,36%	-
Identification du système	Simple gaine d'aération 54,55%	Pas de réponse 36,36%	Cheminée pour chauffage 9,09%
Connaissance son origine	Oui 40,91%	Pas de réponse 36,36%	Non 22,73%
Détermination de son Pays d'origine	Pas de réponse 50,09%	Moyen-Orient Égypte 29,55%	Local, région du sud de l'Algérie, Iran ; 9,09%
Avis sur son utilité	Oui 54,55%	Ne sais pas 34,09%	Non 6,82%
Détermination de son utilité	Ventilation naturelle 58,06%	Cheminée pour chauffage 16,13%	Ventilation et refroidissement évaporatif/ renouvellement d'air 6,45%

***Tableau 4.3**: Identification du système tour à vent par les usagers*

Presque la moitié des usagers connaissent ce système en tant que simple gaine de ventilation (figure 4.25) importée et intruse à la culture de la région et du pays, mais ils n'arrivent pas à déterminer son origine exacte. En outre, ils sont conscients de son utilité comme dispositif de ventilation naturelle mais rares sont ceux qui ont répondu que son rôle est le refroidissement évaporatif ou le renouvellement d'air (figure 4.26).

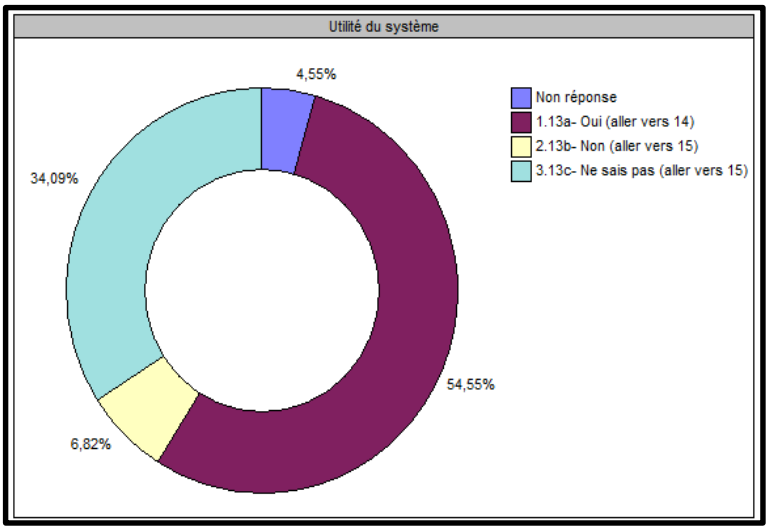


Figure 4.25: *Graphique de la variable de l'utilité du système tour à vent*

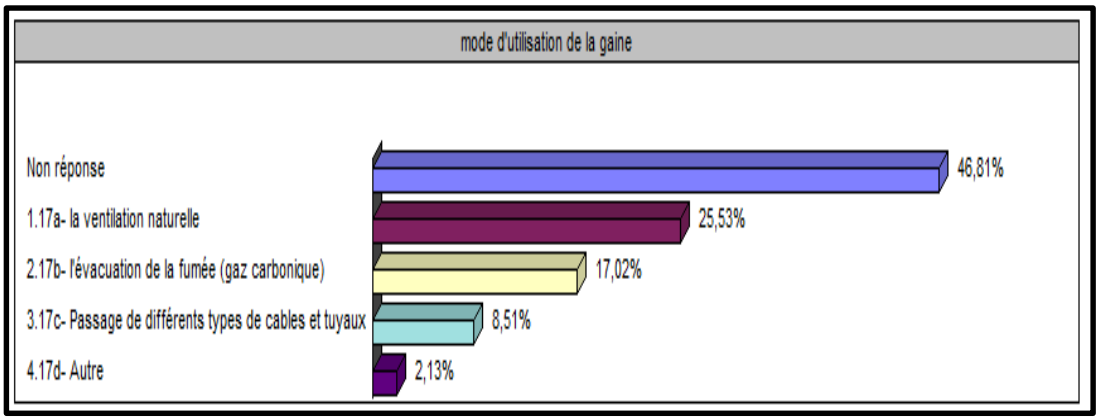


Figure 4.26: *Graphique de la variable mode d'utilisation système tour à vent*

Synthèse de l'état des lieux de ce système et causes de condamnation

Le tableau récapitulatif (4.4), ci-dessous, concernant l'état de la tour à vent et les différentes formes de modification ou de transformation effectuées sur ce système par les usagers, traduit les résultats suivants:

Variable	Enquête 80/200 logements		
	Modalité citée en 1er (%)	Modalité citée en 2e (%)	Modalité moins citée (%)
État du système	Totalement fermé 38,64 %	Ouverte au niveau d'admission air 25,00 %	Ouverte au soufflage 18,18 %
Causes ouverture bouches	Pas de réponse 45,45 %	Par conscience de son utilité 34,09 %	Pas de droit de modifier 11,36 %
Mode d'utilisation gaine	Pas de réponse 50,00 %	Ventilation naturelle 27,27 %	Évacuation de la fumée 18,18 %
Raisons de condamnation	L'air froid d´hiver 28,36 %	Pénétration de toutes Impuretés 25,37 %	Transformations à l'intérieur 20,90 %

Tableau 4.4: *État des lieux du système tour à vent et causes de condamnation*

- 81,82% de la population interrogée affirment la condamnation de leurs tours à vent soit d'une façon totale ou partielle (figure 4.27). Ce constat justifie l'inexploitation de la gaine par la moitié des habitants;

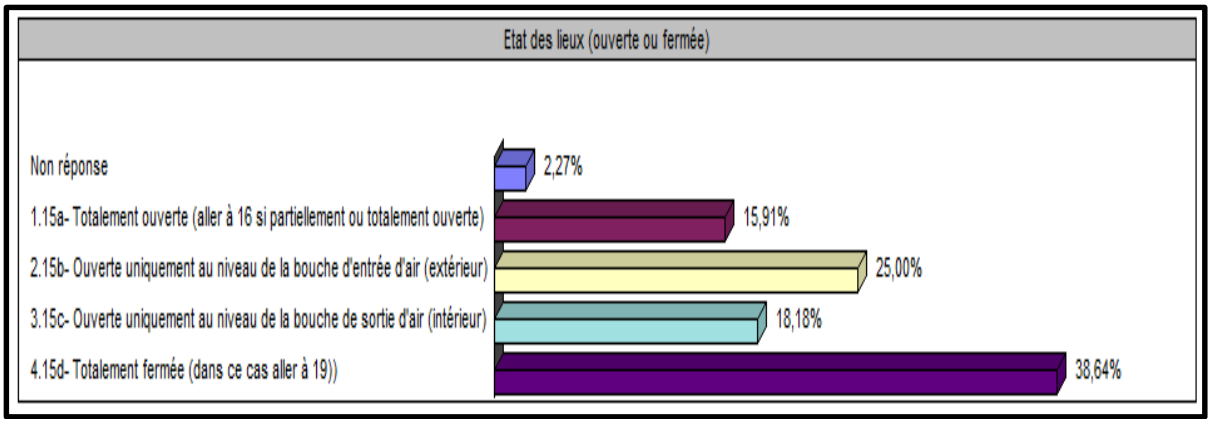


***Figure 4.27**: Histogramme de l'état des lieux des tours à vent dans la cité cas d'étude*

- Les causes de la condamnation comme l'indique le graphe ci-dessous (figure 4.28) se résument en deux points essentiels: l'inadaptation de la tête (pénétration de l'air froid et de toutes sortes d'impuretés) et la mauvaise implantation de la gaine au sein de l'espace vu l'étroitesse de la surface habitable du logement social.

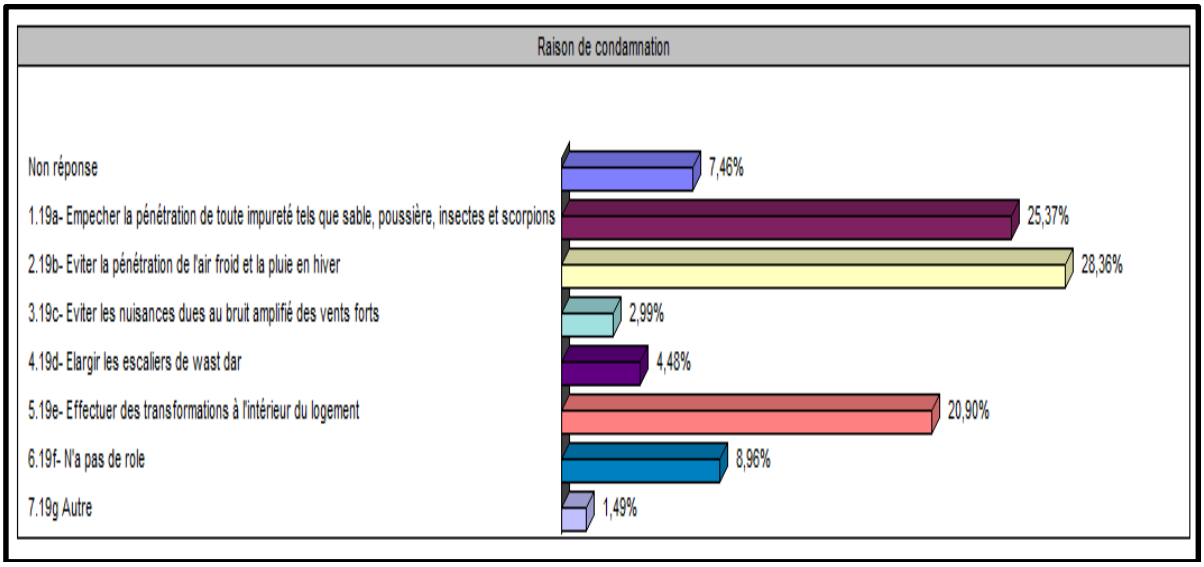


***Figure 4.28**: Histogramme des Causes de la condamnation du système tour à vent*

- Le pourcentage très faible de 15,91% des répondants où leurs tours à vent sont restées toujours ouvertes au niveau des deux bouches d'air (admission et soufflage) comme l'indique le graphe ci-dessous (figure 4.29) est justifié par: soit le logement est habité par des locataires n'ayant pas le droit d'apporter des modifications à cette gaine ou soit par conscience de son utilité vu le niveau d'étude universitaire de quelque chef de ménage qui représente 27,27% 2^{e} modalité citée de l'échantillon cible.

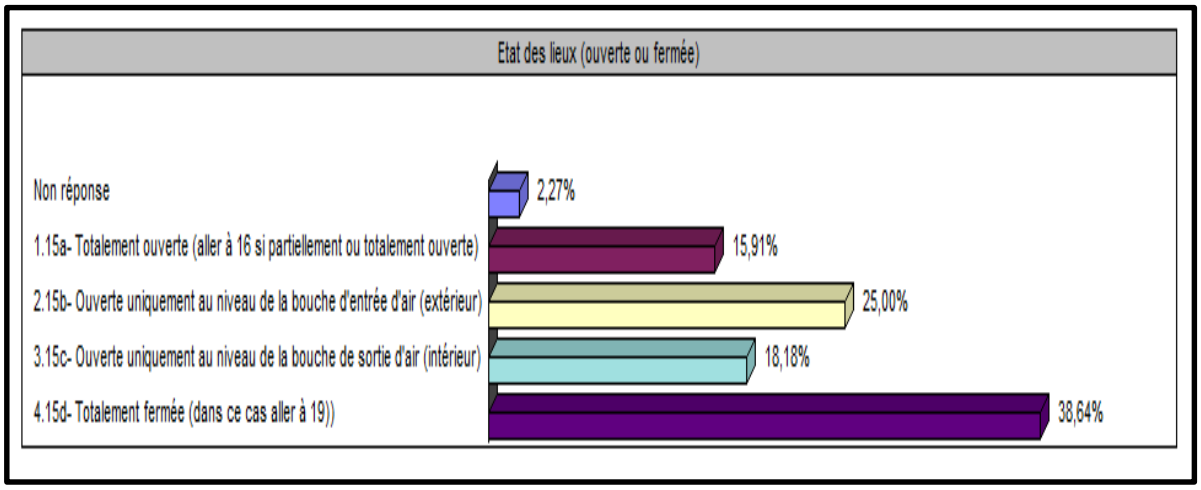


***Figure 4.29**: Histogramme de l'état des lieux du système tour à vent dans la cité cas d'enquête*

- On note également une homogénéité par rapport aux résultats obtenus de l'observation (voir figures du (4.13) au (4.21) résultats de l'observation directe non participative).

Synthèse de la perception des habitants sur ce système

Variable	Enquête 80/200 Logements		
	Modalité citée en 1er (%)	Modalité citée en 2e (%)	Modalité moins citée (%)
Niveau de convenance	Convenable sous réserves 52,27%	Non Convenable 18,18%	Convenable 15,91%
Acceptation et vulgarisation	Oui 38,64%	Non 38,64%	Oui sous réserves 18,18%
Justification du rejet radical ou rejet sous réserve	Ancien, dépassé, mal connu 40,38%	Tête non contrôlée 15,38%	Réduit la surface habitable 13,46%

***Tableau 4.5**: Perception du système tour à vent*

Les trois dernières questions du formulaire concernent le niveau de convenance de la tour à vent, l'avis des répondants sur l'acceptation de vulgarisation de ce système et les remarques éventuelles sur la conception de la tour à vent traditionnelle afin de l'améliorer (tableau 4.5). Les niveaux de convenance les plus cités sont: « convenable sous réserve » (3.20c) et « non convenable » (1.20 a). Quant au niveau le moins cité, il représente « approuvé » (4.20d), voir graphique suivant (figure 4.30):

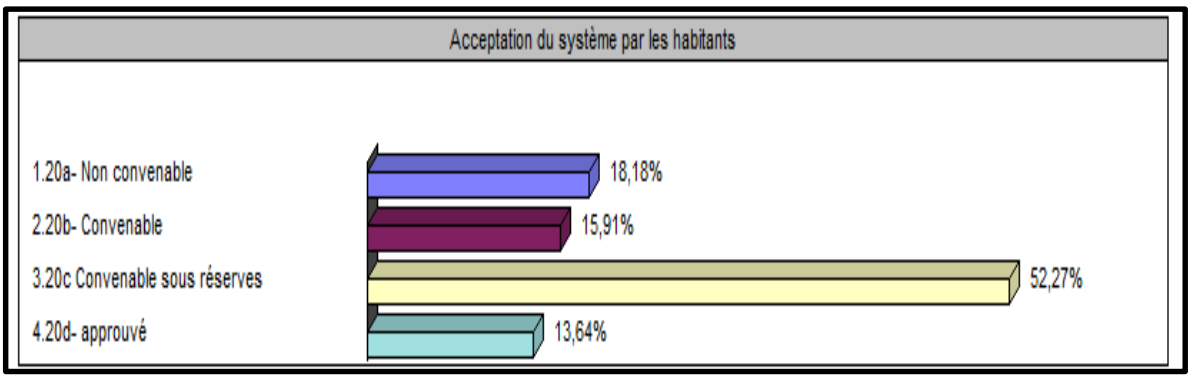


***Figure 4.30**: Histogramme des avis des usagers sur la convenance du système tour à vent*

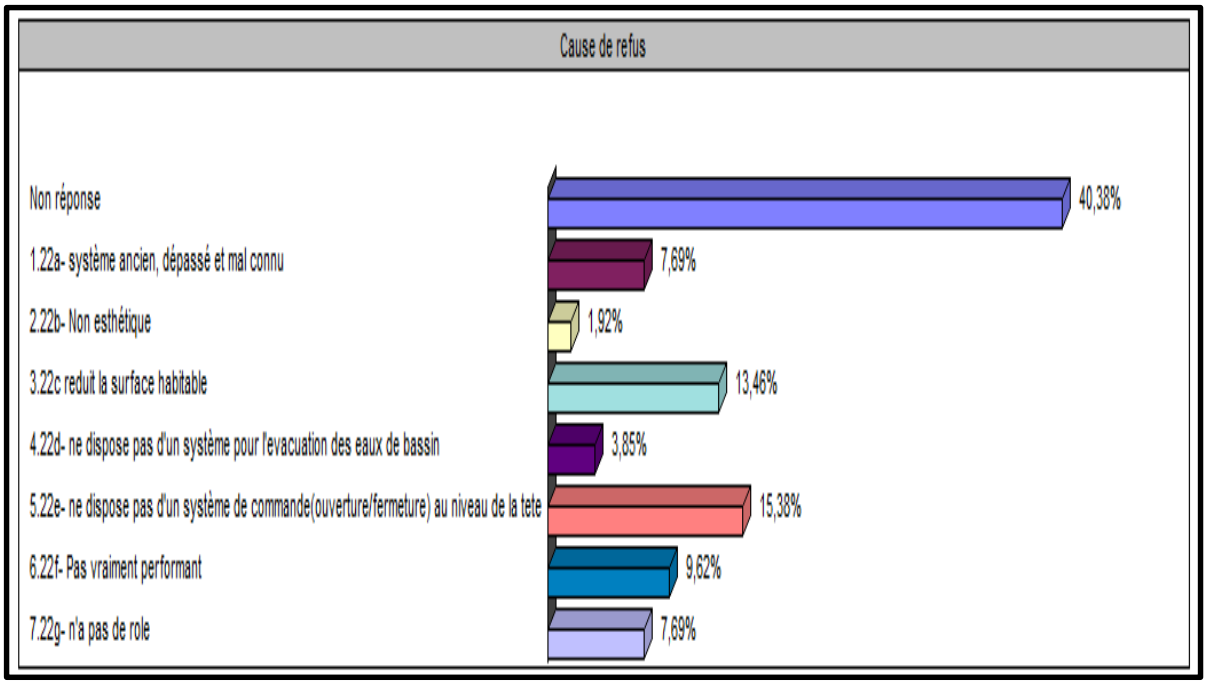


***Figure 4.31**: Histogramme des avis des usagers sur les causes de refus de vulgarisation de la tour à vent*

En ce qui concerne l'acceptation de l'idée de vulgarisation du système tour à vent en Algérie, le pourcentage de 56,82% représentant les réponses «défavorables» et «favorables sous réserves» montre que: le système est acceptable à condition qu'il soit modernisé, ayant un design diffèrent, système ouverture/fermeture de la tête contrôlable à distance, une implantation qui ne perturbe pas le bon fonctionnement à l'intérieur de l'espace et qu'il soit aussi performant, voir graphe ci-dessus (figure 4.31). Par contre le pourcentage de 40,38% des enquêtés qui n'ont «pas de réponse», a été justifié par leur ignorance de ce système de ventilation naturelle et de rafraîchissement passif et de son utilité et par conséquent un rejet quasiment total.

Les résultats des observations et des entrevues confirment les résultats de l'enquête par questionnaire.

4.6.3.4.2 Résultat et interprétation de l'analyse bivariée

L'analyse bivariée consiste à étudier la relation entre deux variables, notamment les variables hypothétiques. Du point de vue statistique, la recherche si les fréquences observées suivent une régularité statistique, et du point de vue sémantique, la recherche si cette relation a un sens dans la réalité (AICHE, 2009). Le tri croisé implique le calcul d'un nombre important d'occurrences de tous les couples possibles de modalités des deux variables étudiées, et par conséquent avoir un grand nombre de tableaux. Pour cette raison, on s'est limité à étudier les correspondances les plus importantes qui contribuent à mieux cerner,

comprendre, analyser le constat de rejet du système tour à vent par les habitants de l'échantillon d'étude. Ce rejet a une relation directe avec l'identification de la tour à vent par les habitants (constaté dans l'analyse univariée) et cette dernière à son tour est liée aux caractéristiques de la population possédant ce système.

Donc, le tri croisé a été établi en combinant les variables du 1er axe du questionnaire représentant les propriétés des habitants avec les variables du 2e et 3e axe représentant l'identification du système tour à vent et son état des lieux respectivement, et ceci afin d'explorer les causes réelles de ce constat. Deux combinaisons ont été analysées (niveau d'étude, reconnaissance tour à vent) et (type de possession logement, état de la tour à vent).

En analysant la 1re combinaison, la correspondance entre le couple de variables niveau d'étude des chefs de ménage et reconnaissance du système tour à vent dont le résultat est affiché dans le tableau et le graphique ci-dessous voir (figure 4.32), il a été conclu que:

Reconnaissance du système / Niveau d'étude	1.9a- Oui	2.9b- Non	TOTAL
1.2a- sans niveau	60,00%	40,00%	100%
2.2b- Primaire	75,00%	25,00%	100%
3.2c- Moyen	44,44%	55,56%	100%
4.2d- Secondaire	64,29%	35,71%	100%
5.2e- Universitaire	75,00%	25,00%	100%
TOTAL	63,64%	36,36%	100%

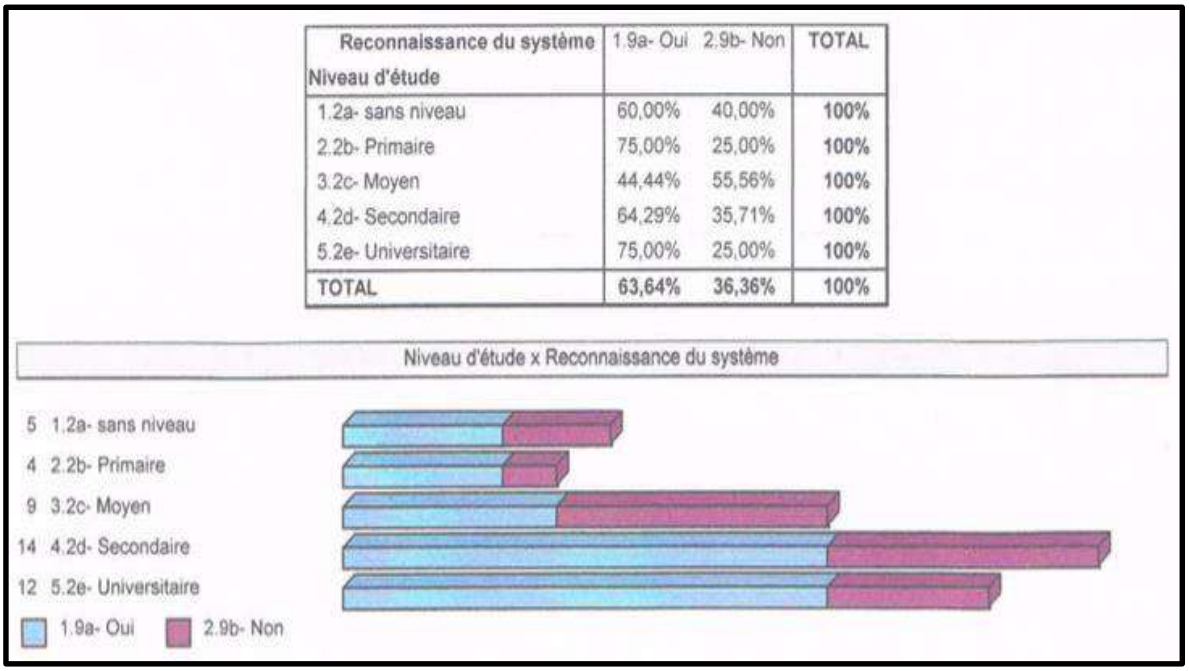


***Figure 4.32**: Tableau et Histogramme des variables croisées (niveau d'étude; reconnaissance du système)*

L'identification du système tour à vent est indépendante du niveau d'étude des habitants. Les enquétés quelques soient leurs niveaux d'étude connaissent la tour à vent. Ce savoir a été transmis via la communication entre eux, les liens sociaux qui les unissent, la mixité sociale et la cohabitation vécue de la société saharienne algérienne. Et comme la cité est de petite taille (80 logements) et homogène (couche sociale faible à moyenne), l'information se propage rapidement et sans obstacles.

- En analysant la 2e combinaison, la correspondance entre le couple de variables type de possession logement et état des lieux tour à vent dont le résultat est indiqué dans le tableau et le graphique ci-dessous voir (figure 4.33), il a été conclu que:

Etat des lieux (ouverte ou fermée) / Type de possession	Non réponse	1.15a- Totalement ouverte (aller à 16 si partiellement ou totalement ouverte)	2.15b- Ouverte uniquement au niveau de la bouche d'entrée d'air (extérieur)	3.15c- Ouverte uniquement au niveau de la bouche de sortie d'air (intérieur)	4.15d- Totalement fermée (dans ce cas aller à 19))	TOTAL
1.5-a Propriétaire	3,57%	14,29%	21,43%	28,57%	32,14%	100%
2.5b- Locataire chez l'état	0,00%	9,09%	27,27%	0,00%	63,64%	100%
3.5c- Locataire chez un particulier	0,00%	40,00%	40,00%	0,00%	20,00%	100%
TOTAL	**2,27%**	**15,91%**	**25,00%**	**18,18%**	**38,64%**	**100%**

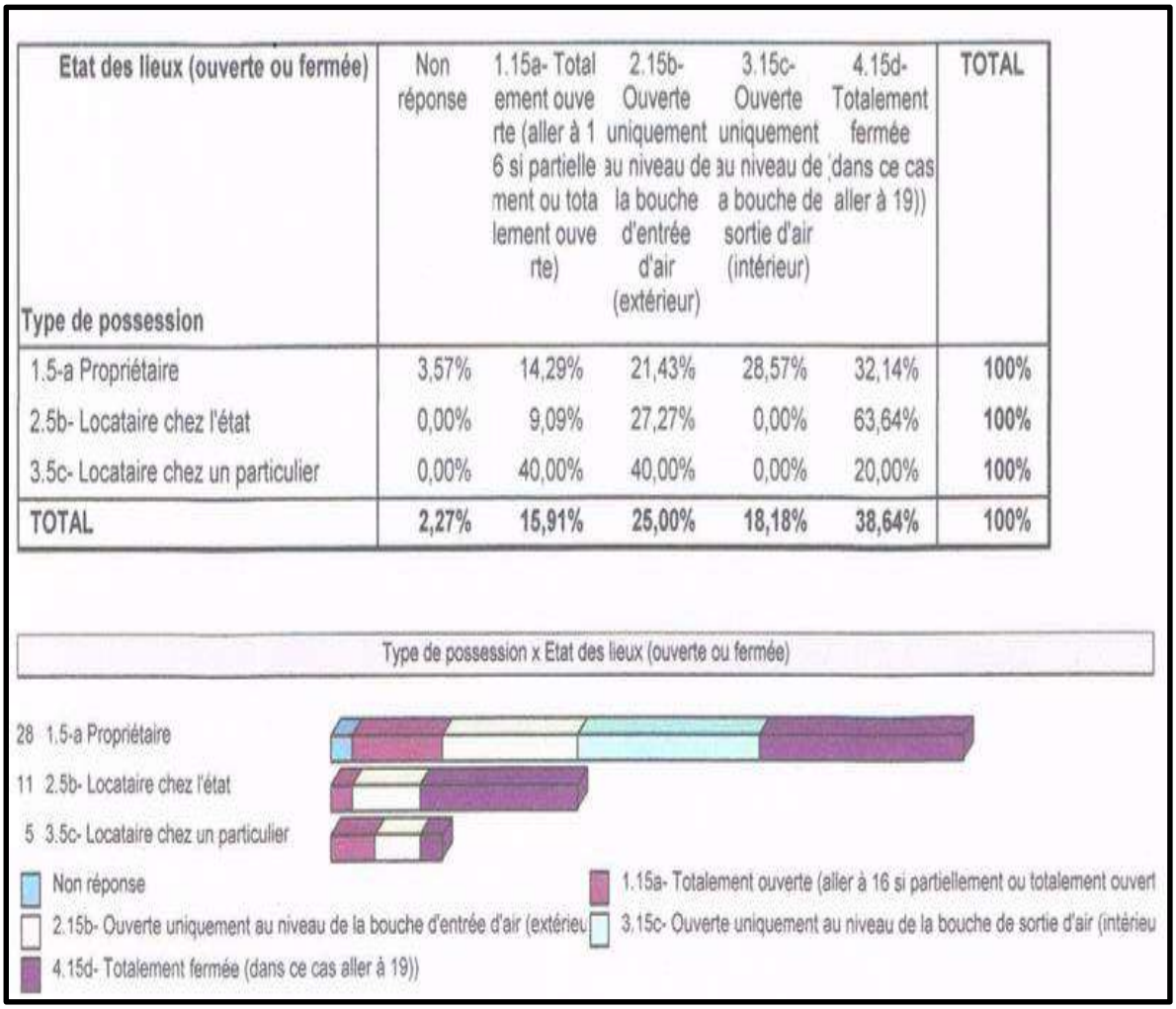


Figure 4.33*: Tableau et histogramme des variables croisées (type de possession logement; état de la tour)*

-L'état de la tour à vent dépend grandement de la variable type de possession logement. Les appartements occupés par les propriétaires d'origine ont subi un taux très important de transformations par rapport à ceux occupés par des locataires, parce que ces derniers n'investissent pas dans un logement qui ne leur appartiennent pas et aussi n'ont pas le droit d'effectuer n'importe quelle modification sans avoir l'avis favorable du propriétaire.

- Les modifications effectuées sur la tour à vent au niveau des appartements, ont pris plusieurs formes de condamnation au niveau des orifices entrée-sortie d'air selon le niveau social ou intellectuel (besoins, mode de vie et situation financière) de chaque chef de ménage.

- Le nombre de propriétaires qui n'a pas modifié ce système est insignifiant.

- La condamnation de la tour à vent dans la catégorie des locataires chez l'État est moins importante par rapport à celle des propriètaires vu leur situation financière faible. La fermeture totale des bouches d'air tour à vent évite la pénétration de l'air froid d'hiver et par conséquent réduit le recours au chauffage pendant la période hivernale (moins de dépenses).

4.6.3.5 Commentaires sur les points positifs du système tour à vent

Comme on a pu constater dans l'analyse univariée et bivariée, l'énoncé positif le plus évoqué dans l'échantillon sur ce système était:

- Convenable et applicable aux nouveaux bâtiments sous réserves «amélioration du système » (52,27% des commentaires).
- La déclaration « inapplicable » de (18,18% des commentaires) était la moins évoquée.
- Acceptation de l'utilisation et de la vulgarisation dans les régions similaires chaudes (56,82% des commentaires).

4.6.3.6 Commentaires sur les points négatifs du système tour à vent

Les chiffres du questionnaire révèlent que les principales critiques les plus évoquées sur les tours à vent étaient les suivantes:

- L'ignorance du système (40,38% des enquêtés n'ont pas répondu)
- Tête non contrôlable, dépourvue d'un système d´ouverture et de fermeture au niveau de la tête et au soufflage, ce qui favorise la pénétration de l'air froid sifflant à l'intérieur en hiver et de toutes sortes d'impuretés (15,38%).
-Mal disposé dans l'organisation spatiale (13,46% des commentaires), car la gaine du conduit a réduit la surface du Wastdar (séjour familial) sachant que le logement est social où sa surface habitable est de 63,85m^2/F3 et 47,05m^2/F2.
- Pas vraiment efficace et performant (9,62%).

En outre, d'autres déclarations négatives moins mentionnées concernant ce système étaient:

- Vieille image, démodé et dépassé (7,69%)
- Peu attrayant et non esthétique (1,92%)

4.7 Aspect du confort thermique

Le comportement thermique estival de l'espace de vie dit Wastdar rafraîchi par la tour à vent (cas de l'enquête sociologique établie) a fait l'objet de plusieurs études antérieures à savoir: les travaux de TORKIA (2009) et MAZOUZ & TORKIA (2014). En s'appuyant sur la revue de la littérature, les résultats de la campagne de mesures et de la simulation numérique

ont confirmé le pouvoir rafraîchissant de la tour d'Ouled Djellal (voir chapitre 2). Malgré l'écart moyen important de la température et l'humidité relative entre l'extérieur et l'intérieur au niveau du soufflage, la sensation d'inconfort et d'étouffement était dominante à l'intérieur de Wastdar. Ce dernier reste toujours en dehors de la limite de confort de la température, l'humidité relative et la vitesse de l'air recommandée par la réglementation internationale (ASHRAE 55 – 1992, DIN 1946 et NBN EN 13779-2004). La fermeture de ces tours à vent par les habitants était justifiée non seulement par des mesures de protection contre les insectes et l'infiltration des impuretés en été et de la pénétration du vent froid à une vitesse importante en hiver (constat confirmé par l'enquête sociologique), mais aussi par la déficience de ces dispositifs d'assurer un confort thermique adéquat. L'utilisation de la climatisation par les habitants est toujours nécessaire pour assurer un confort thermique approprié au sein de l'espace. La tour à vent d'Ouled Djellal nécessite plus d'attention et d'amélioration de sa technique de rafraîchissement afin d'atteindre une performance thermique meilleure.
Selon TORKIA (2009), l'intervention sur un ancien modèle existant de tour à vent serait plus difficile et délicate que de concevoir et réaliser un nouveau modèle performant. Les difficultés rencontrées lors de l'intervention sur un ancien modèle réalisé (démolition, transformation ou construction), la faisabilité d'exécution des systèmes offerts, le dérangement des occupants, la durée et le coût de mise en œuvre sont autant de facteurs dont il faut tenir compte lors de la réflexion et avant la réalisation de tout système d'amélioration proposé.

4.8 Aspect de la performance énergétique et économique

L'efficacité énergétique et économique due à la tour à vent d'Ouled Djellal (responsable de l'effet de rafraîchissement évaporatif passif et de l'abaissement de la température à l'intérieur de Wastdar) n'a pas été étudiée dans la revue de la littérature à ce jour.

Conclusion

Différents aspects de l'approche socioéconomique et environnementale liés à la tour à vent dans le sud chaud et sec de l'Algérie ont été traités dans ce chapitre à savoir: la perception et l'acceptation socioculturelle, le confort thermique et la performance énergétique et économique. Le système tour à vent dans le climat chaud aride et semi-aride au sud a subi plusieurs transformations notamment en habitat semi-collectif cas des 80 logements sociaux à Ouled Djellal. L'aspect qualitatif marqué par la perception de l'utilisateur vis-à-vis de l'acceptation, la convenance et la commodité du dispositif a été exploré via trois techniques de recherche: l'observation en situation, l'entrevue semi-directive et le formulaire de questions. Ces techniques d'investigation ont confirmé le rejet de la tour à vent aussi bien par

les habitants que par les autorités locales. Ce rejet a pris plusieurs formes et types dont les causes sont dues à des erreurs banales, des incompatibilités entre usage et système de contrôle, les modifications de dernières minutes, les décisions administratives et politiques sans étude approfondie préalable, la mauvaise réalisation ou à l'entretien du système. D'autre part, il a été conclu que ces problèmes sont plus évidents et ressentis quand la distance entre décideur, architecte-concepteur et utilisateurs est grande. Les rejets de la tour à vent issus de cette analyse sont liés à:

- l'efficacité thermique limitée par rapport aux autres moyens de refroidissement contemporains (climatiseur);
- le manquement de la maturation de la conception architecturale de la tour à vent;
- la connaissance mal approfondie de l'utilité d'un système ingénieux sain, rentable et durable intrus à notre mode de ventilation naturelle, a freiné son utilisation et sa vulgarisation auprès des autorités et des usagers.
- les tarifs subventionnés de l'énergie dans les zones sahariennes par l'état, a favorisé et encouragé l'utilisation de la climatisation artificielle au détriment des solutions passives.
- le programme de logement doté de tour à vent proposé par les frères El Menyaoui n'était pas conforme à la réglementation algérienne du point de vue programme surfacique malgré la bonne organisation spatiale, le type de logement proposé ne répond pas au mode de vie sociologique de la région (logement de type F2) et en dernier lieu, la mauvaise répartition du nombre des types de logements F3, F4 et F5 a amplifié le problème.

Le rendement thermique de la tour d'Ouled Djellal était limitée en dehors de la limite de confort de la température, l'humidité relative et la vitesse de l'air recommandée par la réglementation internationale (ASHRAE 55 – 1992, DIN 1946 et NBN EN 13779 – 2004) malgré l'écart moyen de température entre l'extérieur et l'intérieur. Le confort thermique assuré était insuffisant. Le recours à l'utilisation des split systèmes durant le jour est toujours nécessaire pour assurer un confort thermique adéquat à l'intérieur.

Concernant l'aspect énergétique de ce modèle, la puissance frigorifique n'a pas été traitée en revue de la littérature. Le gain de la tour en énergie équivalente à l'utilisation d'un système non conventionnel mérite une attention et exploration.

Tous ces facteurs ont fait en sorte que l'expérience des tours à vent à Ouled Djellal soit unique et abandonnée, malgré les avantages qu'elle offre. Afin de remédier à cet échec, d'autres types d'analyses s'imposent en s'inspirant des enseignements tirés des modèles et prototypes réussis dans le monde, qui feront l'objet des prochains chapitres.

Chapitre 5

Chapitre 05
Analyse Syntaxique

Introduction

«L'un des moyens les plus importants dans lesquels l'environnement bâti porte l'empreinte de la société demeure dans la façon dont l'espace est organisé pour des fins humaines» (ASPINALL,1993).

La forme d'une maison est considérée comme la résultante de la conjonction de nombreux facteurs à savoir: le climat, la topographie, les matériaux de construction, le niveau technologique, les ressources économiques et l'aspect culturel (RAPOPORT, 1972).

Ce chapitre est une introduction à l'analyse syntaxique de 28 maisons sélectionnées dotées de tour à vent à travers le monde islamique.

D'abord, le but de l'analyse de l'espace doté de tour à vent via l'approche syntaxique a été déterminé. Ensuite, les critères de choix et l'ensemble des exemples analysés ont été définis. Ce chapitre fait état, également, de l'outil informatique *Agraph* dont on fera usage en analyse ainsi que les difficultés rencontrées lors de la collecte des données.

Pour nous faciliter la lecture, la compréhension et l'analyse des dossiers graphiques des maisons objets d'études, quelques terminologies liées à l'espace doté de la tour à vent et un aperçu sur les caractéristiques de la structure spatiale des maisons traditionnelles notamment iraniennes ont été présentées à la fin de ce chapitre.

5.1 But de l'analyse de l'espace doté de tour à vent

L'espace est l'unité au sein de laquelle toutes les activités humaines se produisent. Il reflète les aspects sociaux culturels de la ville et notamment de la vie domestique. À l'intérieur, les gens exploitent l'espace avec ses différentes formes et selon divers modes d'occupation et d'utilisation, ils interagissent avec.

Donc, il est nécessaire de comprendre l'espace à partir d'un point de vue fonctionnel, en termes de ce que les gens font dedans. L'espace doit être pensé non pas comme un arrière-plan destiné

à l'activité humaine ou un fond aux objets, mais de le considérer en tant qu'aspect intrinsèque des êtres humains (VAUGHAN, 2007).

L'espace est décrit en trois idées géométriques: linéairement quand les gens se déplacent dedans, convexe lorsqu'ils interagissent avec d'autres personnes rencontrées au sein de cet espace (dans lequel chaque personne peut voir l'autre) et finalement un champ visuel hérissé variable est offert (BENEDIKT, 1979). Ces idées géométriques seront définies via l'approche analytique syntaxique et adoptées et appliquées dans cette recherche.

L'approche « *space syntax* » a été utilisée pour décrire et analyser les caractéristiques de l'espace architectural où la tour à vent a été implantée à travers quelques exemples de maisons célèbres réussis dans leurs pays.

Les tours de ces exemples sont toujours opérationnelles et n'ont pas subi des transformations effectuées auprès de leurs usagers. Donc, comprendre la logique qu'incarne l'espace doté de ce dispositif est primordiale pour qu'il soit tenant.

5.2 Choix et objectif de l'analyse syntaxique

Vu l'expérience algérienne timide en habitat équipé de tour à vent au sud à climat aride et semi-aride particulièrement à Ouargla (individuel) et Ouled Djellal (semi-collectif), et la condamnation quasi totale de leurs tours par les habitants, la nécessité d'une évaluation qualitative de quelques exemples réussis de maisons dotées de ce système de ventilation naturelle et rafraîchissement passif demeure indispensable.

Cette recherche s'ajoute aux techniques de recherche entreprises dans le chapitre précédent (chapitre 04) dont le but est de comprendre, cerner, explorer la logique inscrite dans la configuration spatiale qui est derrière la persistance de cet élément architectural à travers quelques exemples mondiaux choisis.

Le but de cette analyse est de tirer des descriptions de la configuration spatiale des maisons dotées de ce dispositif de ventilation et de rafraîchissement passif, particulièrement de l'espace où la tour à vent a été intégrée et discutée leurs approches par rapport à la possibilité de relier la dimension physique et formelle à celle du vécu et de l'usage humain.

Ces descriptions servent par la suite comme indicateurs indépendants et des directives pour l'élaboration des prototypes objet de cette recherche.

5.3 La mise en application

Selon PEPONIS et ses collaborateurs (1990): *« La navigation dans un environnement architectural complexe ne peut pas dépendre entièrement de la perception visuelle directe ... mais nécessite une compréhension plus abstraite de la manière dont les parties locales sont reliées entre elles dans un schéma complet ».*

Les différentes techniques offertes par la syntaxe spatiale peuvent nous servir, informer sur les paramètres de l'espace qui influent l'implantation de la tour à vent dans la configuration spatiale de la maison. Elles nous informent aussi sur les propriétés syntaxiques de l'espace doté de ce dispositif de ventilation naturelle et de rafraîchissement passif. Dans ce qui suit, nous allons présenter quelques projets à travers le monde islamique où la tour à vent a eu un certain succès.

L'approche développée et adoptée se veut topologique plutôt que typologique. Cela signifie qu'elle ne vise pas à décrire les exemples sous tous leurs aspects à savoir la construction, les matériaux en structure, la façade...etc. Notre travail se concentre sur les propriétés de l'espace d'implantation de la tour à vent.

5.3.1 Choix des exemples

À travers le monde islamique, un échantillon composé de 28 maisons représentatives, anciennes traditionnelles et contemporaines dotées de tour à vent, a été considéré. Notre analyse tient compte aussi bien de l'aspect qualitatif que quantitatif.

Les critères du choix quant à l'intégration de ce dispositif dans ces maisons sont les suivants:

- La réussite,
- La performance thermique,
- La disposition en organisation spatiale,
- La période de réalisation (maison ancienne ou récente),
- L'effet de la diversité culturelle (variété de pays islamiques).

Le choix de cet échantillon nous permet d'effectuer trois types de comparaisons:

1- Une comparaison au sein du même pays en vue de déterminer un caractère répétitif et représentatif de la conception de la tour à vent à travers le temps.

2- Une comparaison à travers les époques anciennes et contemporaines dont l'objectif principal est:

- D’évaluer l’actualité des qualités configurationnelles du système et de l’espace de son implantation,
- D’appréhender la persistance et l’évolution des paramètres de conception aussi bien de la tour à vent que de l’espace d’implantation.

3- Une comparaison de la conception du cas algérien et celles de l’échantillon pour faire surgir les défaillances conceptuelles spatiales algériennes.

5.3.2 Répartition des exemples analysés

La liste et la répartition des 28 maisons sélectionnées dotées de tour à vent à travers le monde sont indiquées dans le (tableau 5.1) ci-dessous:

Intitulé du projet	Date de construction	Pays	Nombre/Pays	Architecte/ Source
I- Exemples de Maisons Anciennes				
1. Maison à Baghdad	Non datée	**Iraq**	01	- Non cité *(Jamal A. Jassim, 2015)*
2. Djeddad - Maison Abderhman Nassief 3. Maison à El Dariya	1973 1975	**Arabie Saoudite**	02	Fathy Hassen (*Serageldin, 2007)* Fathy Hassen (*Serageldin, 2007)*
4. Kuweit - Résidence Nacer Sobbah	1978	**Koweït**	01	Fathy Hassan (*Serageldin,2007)*
5. El Fayoum - Maison Med Sif El Nasr 6. Abu Girg- El Menia Ismail Abdelrazik 7. El Fayoum – Maison M.Tahar El UmariBek 8. Caire- Maison I. Ktakhda El Sennary	1945 1941 1937 1794	**Égypte**	04	Fathy Hassen *(Steele James, 1989)* Fathy Hassan *(Sergeldin , 2007)* Fathy Hassan *(Steele James, 1997)* Non cité *(Safwat Med, 2013)*
9. Dubai- El Bastakiya Med Salah Fikree 10. Maison Abdullah Med El Bastaki 11. Maison Mir Abdullah Amiri 12. Maison Sherif Sultan El Olama 13.Maison Mir Abdulwahid 14. Maison Abdulrahman. F 15. Maison Abdulkader El Rashidi	18ème siècle	**Émirats Arabes Unis**	07	- Non cité *(Municipalité de Dubaï, 2016)* - Non cité *(Municipalité de Dubaï, 2016)* - Non cité *(Municipalité de Dubaï, 2016)* - Non cité *(Municipalité de Dubaï, 2016)* - Non cité *(Municipalité de Dubaï, 2016)* - Non cité *(Municipalité de Dubaï, 2016)* - Non cité *(Municipalité de Dubaï, 2016)*

16. Yazd - Maison Gerami 17. Kashan, Maison Boroujerdi, 18. Yazd - Maison Mortaz. 19.Yazd. Fahadan Maison Lariha 20. Yazd - Maison historique 1 21. Yazd. Maison Historique 2 22. Yazd - Maison Sigari 23. Yazd – Maison Attarha	Entre (1893-1903) 1875 1865 1863 Ou 1864 Non datée Non datée Date non précise Date non précise	**Iran**	08	- Non cité *(Kashani, 2013)* - Ostad Ali Maryam *(Hamidreza et al, 2016)* - Ali Shirazi *(Zhaleh et al, 2015)* G. Hossein Molazeynal *(Ahmadreza et al,2008)* - Non cité *(Abouei, 2006)* - Non cité *(Hosseini et al, 2015)* Non cité (*Nostratpour,2012)* Non cité *(Payam, 2011)*
II- Exemples de Maisons Contemporaines				
24. Caire - Maison Ahmed Abdine 25. Wardan- Maison Durable (rénovée)	Avant 2012 2012	**Égypte**	02	Ahmed Abdine *(BAPS Constantine, 2012)* Bassioni et al *(Bassioni et al, 2012)*
26. Lars Far- Maison Firouzmandan	2007-2012	**Iran**	01	Behrouz Shahbazi et Mohammad Foroutan *http://caoi.ir/index.php*
III- Exemples de Maisons en Algérie				
27.Ouargla –villas Cité militaire Amrane 28. Ouled Djellal Logements sociaux Habitat intermédiaire	Les années 80 Les années 80	**Algérie**	02	BET égyptien des frères El Menyaoui *(Bouchahm, 2003)* BET égyptien des frères El Menyaoui *(Torkia, 2009)*
Nombre total = 28 Exemples				

Tableau 5.1*: Liste des exemples analysés à travers le monde islamique*

D'après le tableau (5.1), il a été constaté que la tour à vent a tout d'abord existé dans les maisons riches et nobles (Bek, Emir, grands commerçants) comme mode de ventilation et de rafraîchissement. Elle s'est répandue après par le biais des échanges commerciaux aux deux rives du golfe persique, et par les échanges culturels aux deux rives de la mer rouge, allant jusqu'au grand Maghreb (Algérie).

5.3.3 Choix de l'outil d'analyse «*Agraph*»

L'outil informatique syntaxique utilisé dans notre analyse est « Agraph ». Ce dernier est une application PC permettant de dessiner les graphes de la Syntaxe spatiale via des calculs numériques. Sur la base des plans importés comme image, le logiciel nous aide à tracer facilement les nœuds et les liens qui forment le graphe justifié (la carte gamma) et par la suite procéder aux calculs de paramètres syntaxiques.

Pour chaque calcul, Agraph génère trois fichiers de sortie. Ce sont des tables au format HTML qui sont stockées dans le même catalogue de fichiers que le fichier AGX. Le fichier "summary.HTML" liste la valeur de contrôle (CV), la profondeur moyenne (MD), l'asymétrie relative (RA), la valeur de la connectivité et l'intégration (I) pour tous les nœuds du graphe. Les fichiers "connections.HTML" et "distances.HTML" contiennent respectivement la matrice de connectivité et la matrice des distances internes entre les nœuds.

Dans la plupart des cas, le fichier récapitulatif est la seule information nécessaire pour une analyse plus poussée de la syntaxe spatiale. Tous ces fichiers de sortie peuvent être ouverts dans un logiciel commun tel que « EXCEL » pour une édition ou une analyse ultérieure.

4.4.4 Difficultés rencontrées dans l'obtention et la lecture des plans architecturaux

Outres celles liées au côté architectural (manque dans le dossier graphique) et terminologique (dû à la diversité de culture), la collecte d'informations sur la performance thermique et l'opérationnalité du système de ventilation tour à vent était la tâche la plus difficile, la plus longue et la plus importante pour le déroulement de cette analyse. De par la complexité de sa spécificité vis-à-vis de la logique de son organisation spatiale, la maison iranienne était celle qui a causé le plus de difficulté durant ce travail.

5.4 Déroulement de l'analyse

L'analyse via la syntaxe spatiale n'exige pas tous les détails architecturaux de la maison, tels que façade, couleurs ou système constructif. Seule l'organisation spatiale est indispensable. Mais, vu que la performance thermique du système tour à vent dépend grandement de sa

hauteur, de ces matériaux de construction, de son orientation par rapport aux vents désirés et de la stratégie adoptée refroidissement par ventilation ou par rafraîchissement évaporatif, la disponibilité d'un dossier complet s'avère impérative.

Les aspects d'analyse, liés à la tour à vent et à l'espace où elle est intégrée, retenus sont:

1- L'aspect architectural spatial syntaxique de l'espace doté de tour à vent.
2- L'aspect socioculturel de l'espace doté de tour à vent.
3- L'aspect environnemental (la performance thermique de la tour et de son principe de fonctionnement rafraîchissement et/ou ventilation).

5.4.1 Définition de quelques terminologies

Avant d'entamer notre analyse, nous présentons un lexique comportant les diverses appellations des espaces liés à la tour à vent traditionnelle.

5.4.1.1 En Égypte

Afin de faciliter la lecture des plans et la définition de quelques terminologies liées à l'architecture de la maison égyptienne, l'axonométrie représentée dans la figure 5.1 ci-dessous montre l'un des modes possibles d'agencement des espaces intérieurs d'une grande maison traditionnelle (XVIE-XVIIE siècles). Cet agencement est composé comme suit: l'entrée, la cour, l'Iwan, la Ka'ah, et les pièces secondaires.

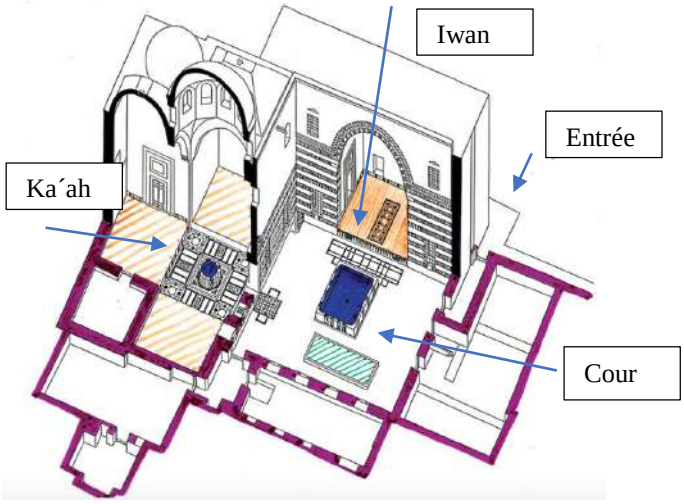


Figure 5.1*: Axonométrie mode d'agencement d'une grande maison traditionnelle*
Source*: https://books.openedition.org/ifpo/6711*

*** Malqaf ou Malkaf:** synonyme de la tour à vent

*** Ka'ah (القاعة):** est une grande pièce destinée à recevoir les invités masculins. Elle est composée de deux sous-espaces l'Iwan et la Dorka'a (figure 5.2).

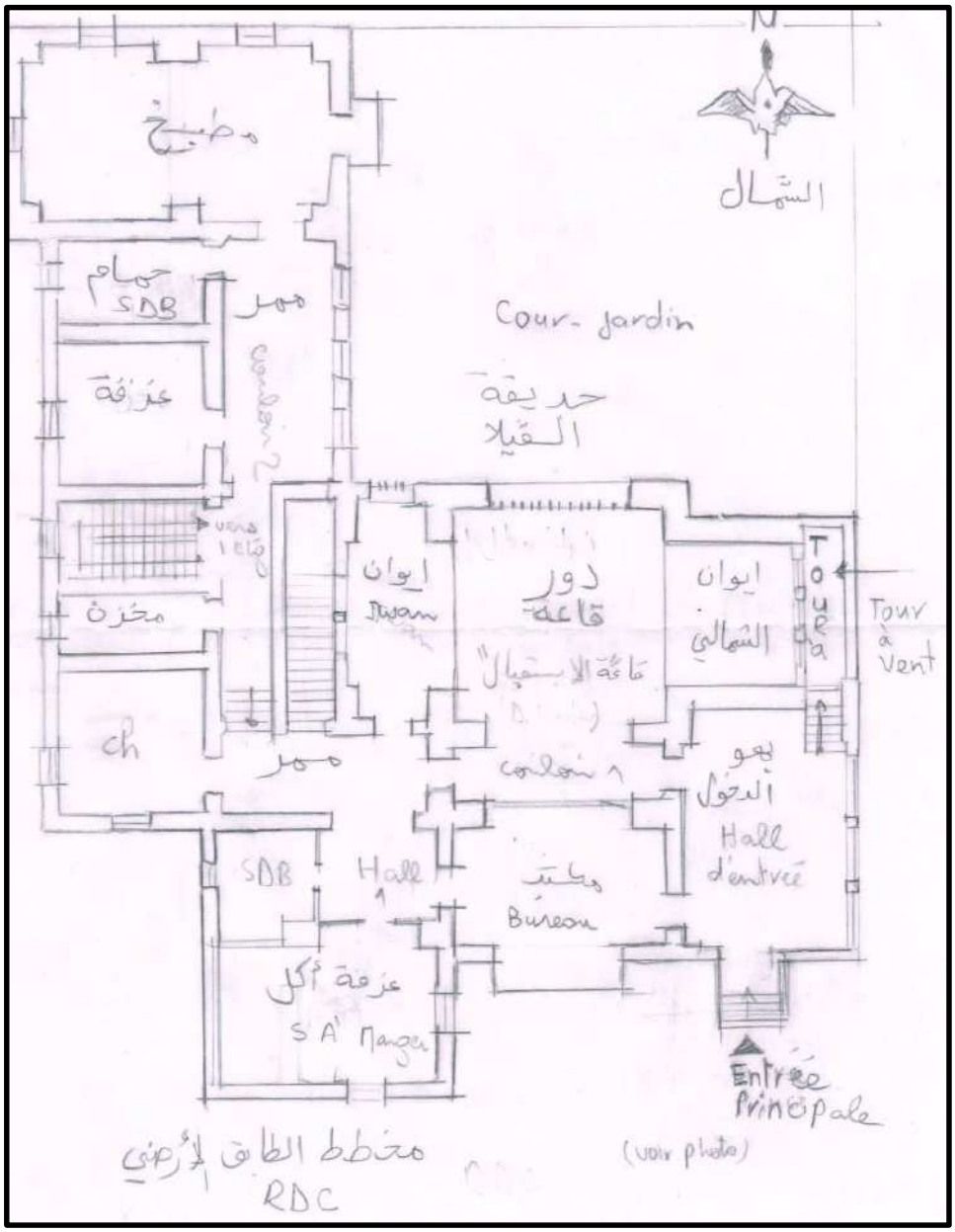


Figure 5.2*: Vue en plan de Ka'ah (cas de la villa Abdelrazik),El Menya*
Source*: Sergeldin (2007)*

Les Ka'ahs se trouvent dans les maisons des riches et peuvent être situées au rez-de-chaussée ou au premier étage. L'entrée d'El Ka'ah est généralement située en face de la cour semi-privée de la maison.

La Ka'ah se compose d'une zone centrale couverte qui est la Dorka'a. En Général, il existe deux Iwans se faisant face sur l'axe principal d'El Ka'ah avec des renfoncements sur les deux côtés restants. Le Tazar est un type d'Iwan (plateforme surélevée) où les invités masculins sont assis et où de la nourriture leur est servie (figure 5.3).

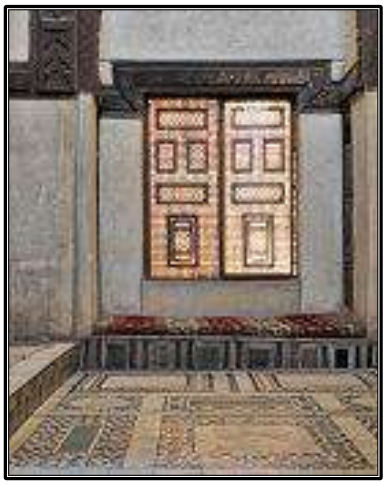
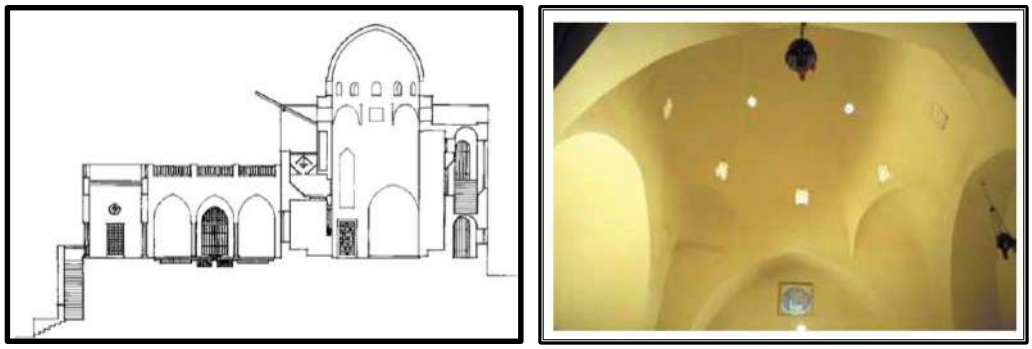


***Figure 5.3**: Vues sur la ka'ah de la maison Zeinab Khatoun au Caire*
***Source**: https://static3.bigstockphoto.com/6/7/1/large1500/176631022.jpg*

*** Dorka'a (الدور قاعة أو الصحن المسقوف)**: La Dorka'a (littéralement «entrée à la Ka'ah») est la première zone où les invités entrent dans une Ka'ah. Elle représente l'espace central du Ka'ah. C'est une cour couverte se trouvant à une marche au-dessous du niveau de l'Iwan. Son toit est équipé d'un manoir en bois afin d'assurer l'éclairage naturel de la salle. Parfois, la Dorka'a est garnie d'une fontaine au milieu (figure 5.5) ou|/et dotée d'un Malqaf (figure 5.4).



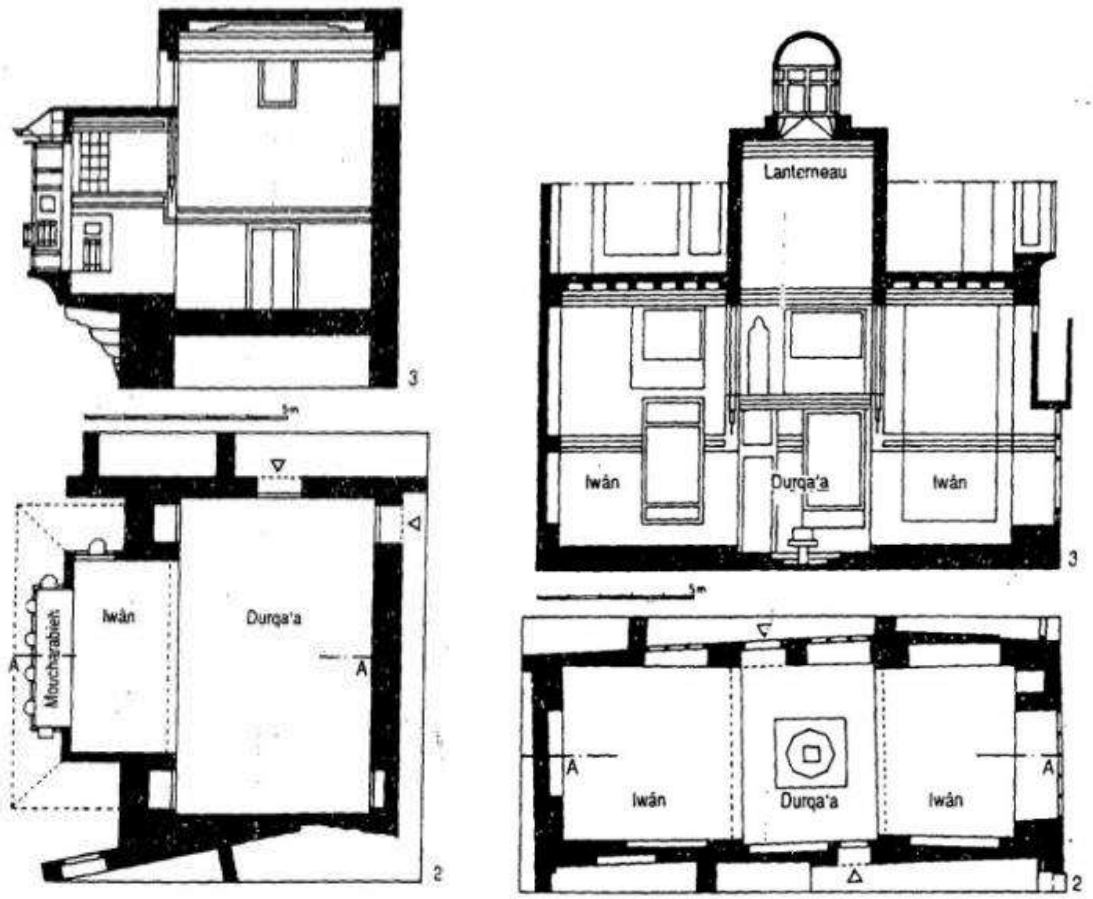
Coupe sur Dorka'a dotée de Malqaf *Vue de l'intérieur*

***Figure 5.4**: Vues sur la Dorka'a de la maison Hamdi Sif El Nasr El Fayoum*
***Source**: Sergeldin (2007)*



***Figure 5.5**: Vue sur la Dorka'a de la maison El Sennary au Caire garnie d'une fontaine au centre*
***Source**: Amin Ahmed Mahmoud (2014)*

* **L'Iwan (الإيوان):** C'est l'espace souvent voûté de la K*a'ah* qui s'ouvre sur la *Dorka'a* (figure 5.6).



Iwan Palais AI-Razzâz au Caire Iwan Maison Suhaymi au Caire

Quelques principes de disposition de l'Iwan dans la Ka'ah



Figure 5.6*: Vue de l'extérieur et vues en plan de quelques Iwans au Caire en Égypte*
Source*: https://journals.openedition.org/ema/434*

*** El Maqa'ad (إيوان للرجال)**: Salle ou porche d'été orienté nord (coté vents désirés) ouvert sur le patio ou Sahn et destiné uniquement aux invités masculins (figures 5. 7, 5.8 et 5.9).

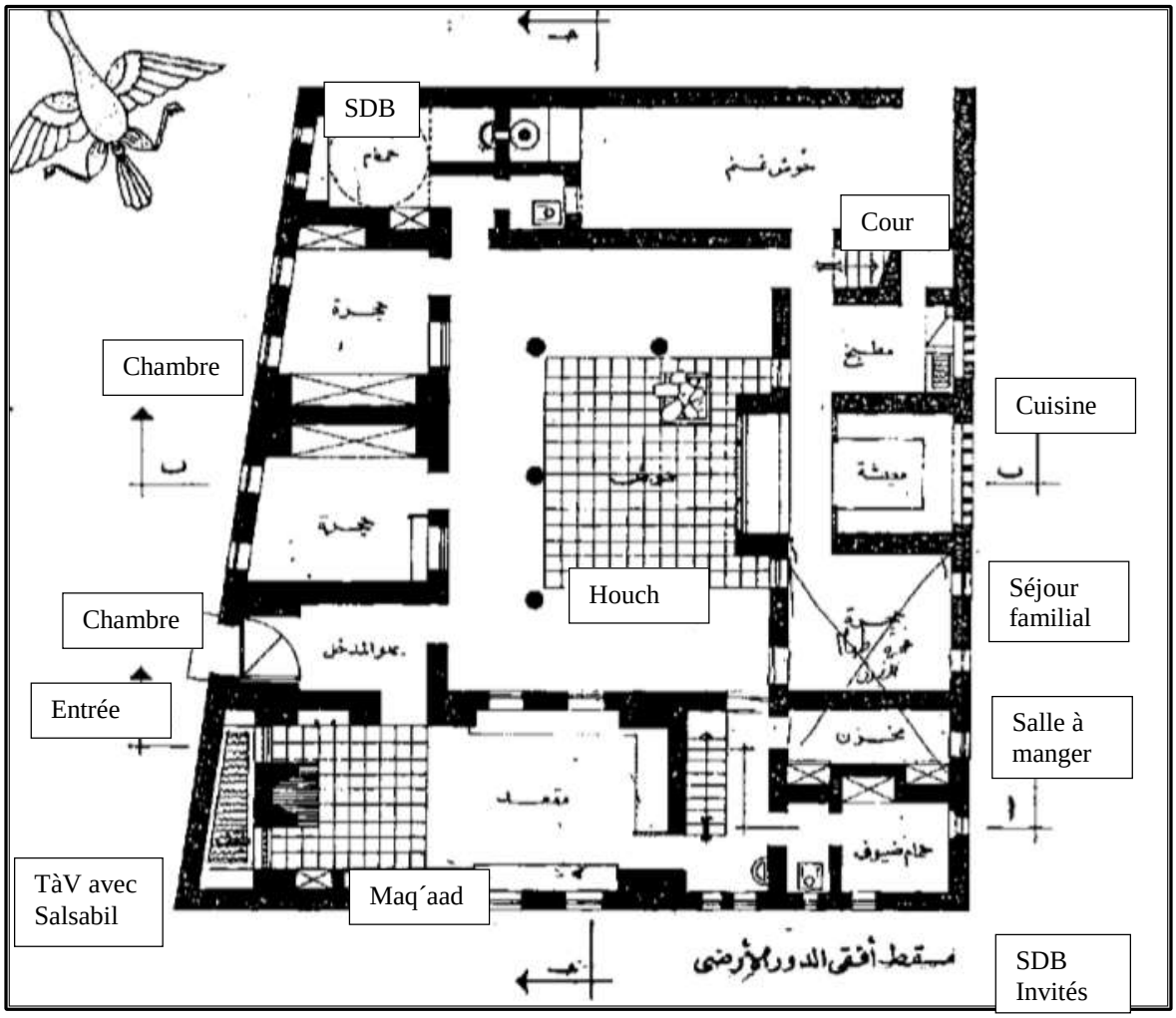


Figure 5.7*: Exemple d'une maison prototype disposant de Maqa'ad ouvert sur Sahn en Égypte*
Source*: Sergeldin (2007)*

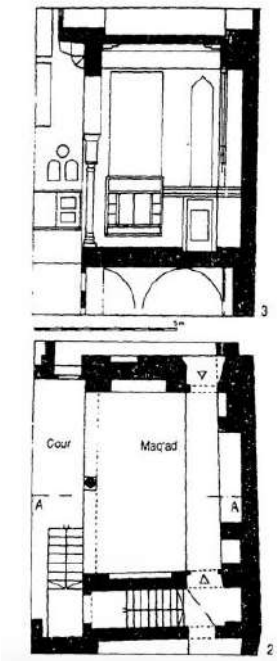


Figure 5.8*: Vue en plan Maqa'ad maison Chabchiri au Caire en Égypte*
Source*: https://journals.openedition.org/ema/434*



Figure 5.9*: Maqa'ad et Takhtabush maison El Sennary en Égypte donnant sur la cour*
Source*: Sergeldin (2007)*

*** El Takhtabouche (التختبوش)**: est un espace extérieur couvert sis entre le Sahn (El Finaa ou la cour privée) et le jardin de la maison (figure 5.10) et (figure 5.11).



Accès principal maison Principe accès Takhtabush maison Chabchirî au Caire

Figure 5.10*: Principe de disposition de Takhtabouche*
Source*: Fathy (1986); https://journals.openedition.org/ema/434*

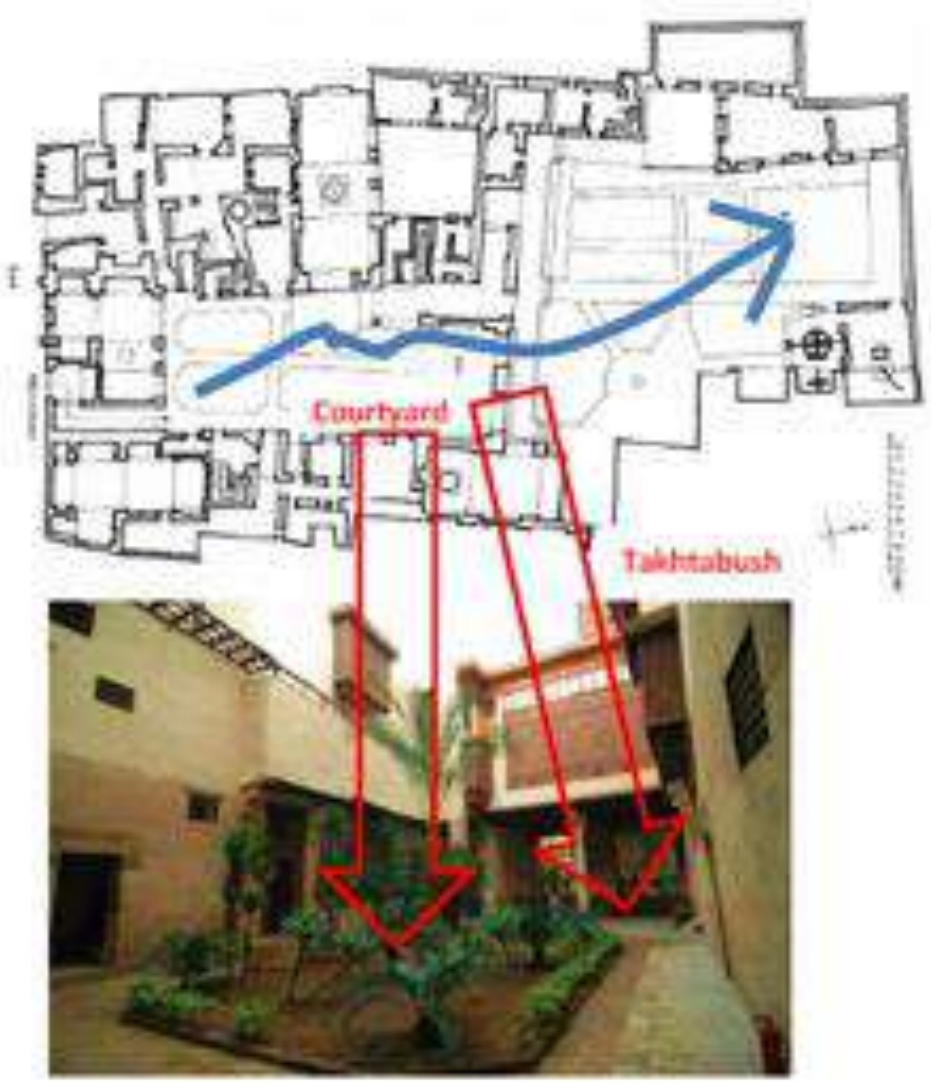
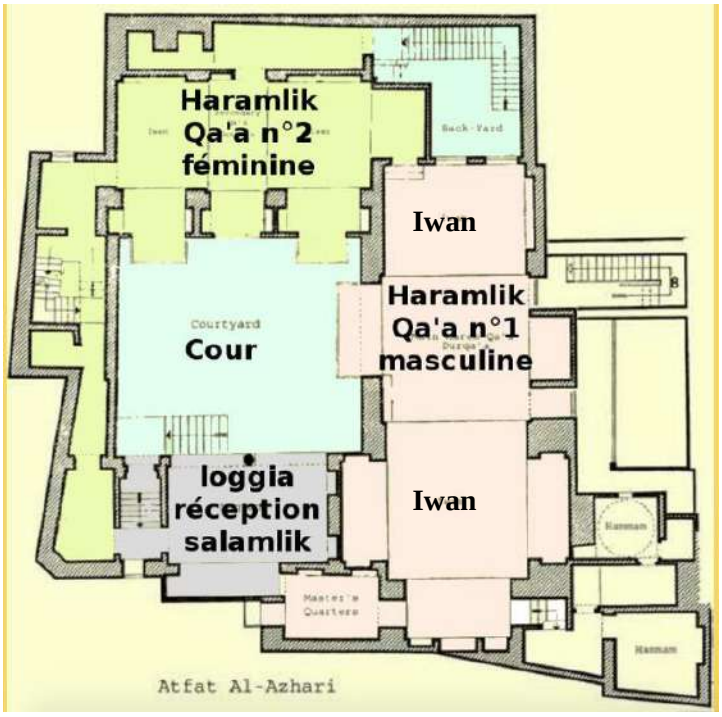


Figure 5.11*: Exemple d'une maison dotée de Takhtabouche ouvert sur la cour*
Source*: Fathy (1986)*

*** El Sahn, El Finna, la cour:** à l'origine, le mot Sahn a été utilisé pour désigner la vaste cour contournée de Riwaq (galerie). Le Sahn peut être un jardin privé, une cour de service ou un salon extérieur en saison estivale pour la famille.

Habituellement, l'entrée principale de la maison ne mène pas directement au Sahn. On y accède par un couloir en chicane appelé Majaz (arabe: مجاز). Cela permet aux résidents de recevoir les invités dans le Majlis sans avoir à voir dans le Sahn. Le Sahn est un endroit protégé et proscrit où les femmes de la maison n'ont pas besoin d'être couvertes des vêtements traditionnellement nécessaires en public.

L'Iwan (loggia) donne généralement sur le Sahn. Les chambres de l'étage supérieur peuvent également voir le Sahn à travers des Moucharabiehs (des fenêtres recouvertes de treillis en bois) ou terrasses (figure 5.12).



Vue en plan



Vues sur Sahn

***Figure 5.12**: Le Sahn du Palais Bayt al-Kritliyya au Caire*
***Source**: Morin (2020)*

*** Salamlek:** le salon ottoman Salamlek est l'endroit où les invités hommes sont reçus (figure 5.12).

*** Haramlek:** le salon ottoman Haremlek est réservé aux femmes et à la vie familiale (figure 5.12).

* **Salsabil:** (arabe: سلسبيل) est un terme arabe islamique signifier une rivière ou une fontaine au paradis. Dans les endroits où la pression n'était pas suffisante pour permettre à l'eau de jaillir de la fontaine, les architectes remplaçaient fréquemment la fontaine par la Salsabil.

La Salsabil est une plaque de marbre décorée de motifs ondulés évoquant l'eau et le vent, elle est placée contre le mur à l'intérieur d'une niche sur le côté opposé de l'Iwan ou du coin salon (figure 5.13). Elle permet à l'eau de ruisseler sur la surface facilitant ainsi l'évaporation et

augmentant l'humidité de l'air ambiant. L'eau s'écoule ensuite dans un canal de marbre jusqu'à ce qu'elle atteigne la fontaine au milieu du Dorka'a (FATHY, 1986).

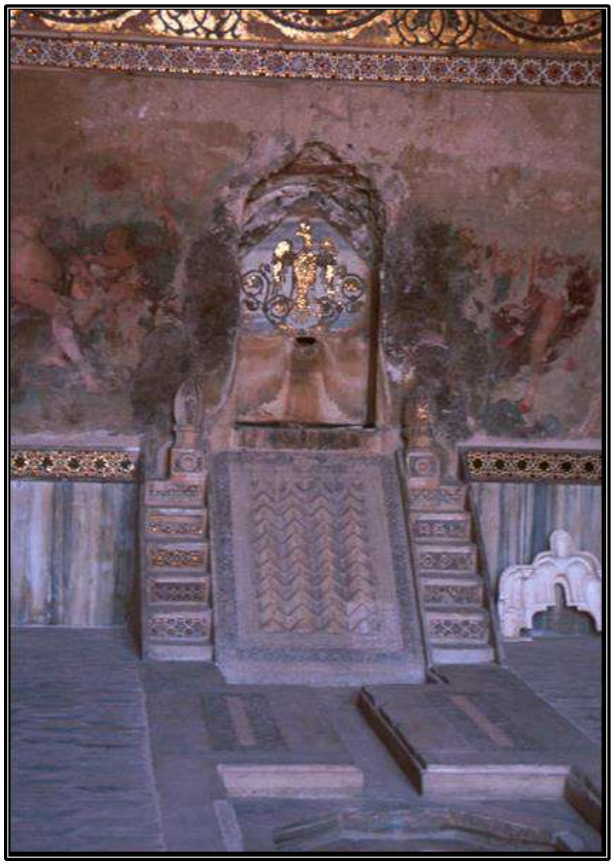


Figure 5.13*: Principe de la Salsabil*
Source*: web.mit.edu*

5.4.1.2 En Arabie saoudite/ Koweït/ Émirats arabes unis

**** Badgir****:* synonyme de la tour à vent, est un élément architectural de ventilation introduit en même temps que les salles d'eau par les Perses dans la maison traditionnelle en 1920 (Municipalité de Dubaï du Patrimoine, 2017).

*** El Majlis (**endroit où l'on s'assoit): Il représente l'espace culturel et social de la maison. Souvent il est accessible par l'iwan. Il est utilisé pour les rencontres, les assemblées et les cérémonies familiales voir (figure 5.14) et (figure 5.15).

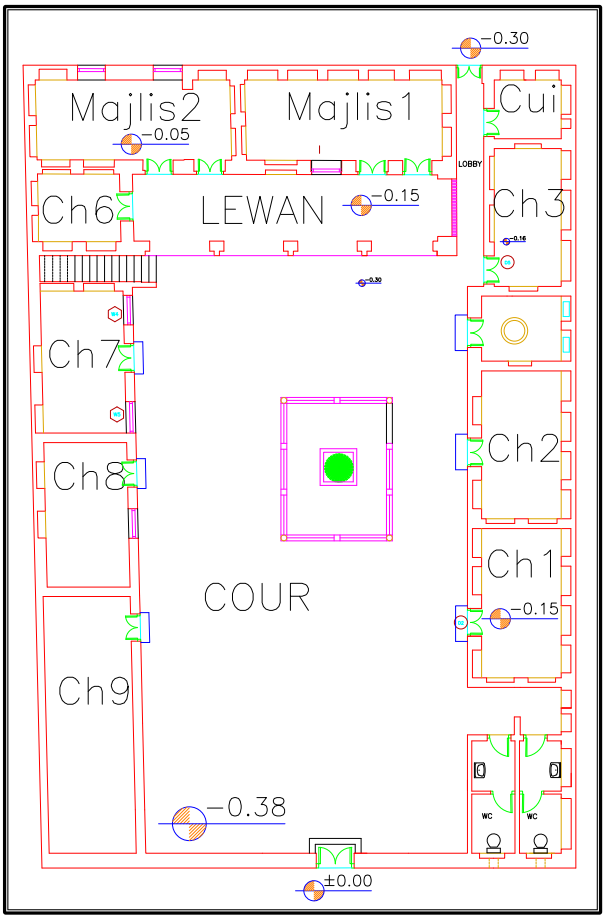


***Figure 5.14**: Exemple d'une maison disposant de 2 Majlis à Bastakia*
***Source**: La municipalité de patrimoine Dubaï (2017)*



***Figure 5.15**: Vues sur l'iwan desservant les deux Majlis*
***Source**: La municipalité de patrimoine Dubaï (2017)*

5.4.1.3 En Iran

*** Badgeer ou Badgir**: même appellation que celle des pays du golf

*** Hashti**: équivalent de vestibule d'entrée, petite salle octogonale ou tétragone servant de lobby (hall) ou de salle d'attente (figure 5.16).

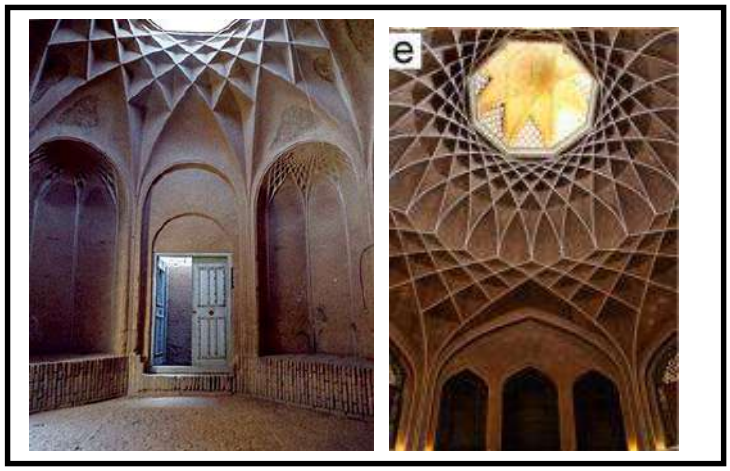


***Figure 5.16**: Vues d'intérieures sur le Hashti (vestibule d´entrée)*
***Source**: https://fr.wikipedia.org/wiki/Architecture_résidentielle_persane_traditionnelle*

*** Dalan:** Couloir étroit

*** Talar:** est un porche ou espace de réception estivale, vouté, orienté nord ou nord-est, destiné aux réunions familiales publiques. Il est généralement décoré de bandes de calligraphie, de carreaux vernissés et de motifs géométriques. Cette pièce à trois côtés est reliée directement aux cours et dotée d'un capteur à vent (Badgir). Le Talar représente avec Shahneshin les parties principales communes de la maison (figure 5.17).



***Figure 5.17**: Vue sur le Talar donnant sur la grande cour (Birouni) résidence à kashan, Iran*
***Source**: https://fr.wikipedia.org/wiki/Architecture_résidentielle_persane_traditionnelle*

*** Shahneshin**: représente le séjour magistral de la maison. Deux petites salles mitoyennes étaient construites sur ses deux côtés, où les musiciens jouaient pendant les cérémonies et les soirées. Cependant, lorsque la capacité de la grande salle ne suffisait pas à accueillir l'ensemble des invités, les portes s'ouvraient en faisant communiquer ces trois chambres ensemble.

*** Sedari:** pièce à trois portes adjacentes servant de lieu de travail ou de chambre à coucher de la maison. Les chambres ne sont pas accessibles directement de l'extérieur, il faut d'abord

traverser un couloir pour s'y rendre. Utilisée principalement au printemps et à l'automne (PARAPARI, 2015) (figure 5.18).



***Figure 5.18**: Vue sur le Sedari d'une maison traditionnelle Iranienne*
***Source**: Beni khadidjeh (2016)*

*** Panjdari:** pièce d'hôtes à 5 ou 7 portes adjacentes, principalement utilisée comme salon, lieu de réception, salle à manger, mais pouvant parfois être occupée par les propriétaires de maisons de petite taille (IBID, 1992) (figure 5.19). C'est une résidence d'hiver (PARAPARI, 2015).



Pandjdari (pièce à sept portes)



Pandjdari (pièce à cinq portes)

***Figure 5.19**: Vues sur le Panjdari dans une maison traditionnelle Iranienne*
***Source**: Beni khadidjeh (2016)*

*** Baghche:** séjour familial

*** Eivan (Iwan)**: espace semi-ouvert intermédiaire entre l'intérieur de la maison et la cour. L'Iwan est une salle rectangulaire souvent voutée, murée sur trois côtés avec une extrémité entièrement ouverte sur la cour, sur un jardin, ou sur un autre espace de dégagement qui lui donne sa forme et son sens (figure 5.20). La porte officielle de l'Iwan s'appelle Pishtaq, un terme persan désignant un portail faisant saillie à partir de la façade d'un bâtiment, habituellement décoré de bandes de calligraphie, de carreaux vernissés et de motifs

géométriques. Les formes et les caractéristiques globales de l'Iwan peuvent varier considérablement en termes d'échelle, de matériau ou de décoration (figure 5.21).

Dans les maisons urbaines, l'Iwan ouvre vers le nord: on y est à l'ombre et à l'abri pendant les grandes chaleurs de l'été. Le passage de la cour à l'iwan se fait par une sorte de seuil matérialisé par une différence de niveau: l'iwan est surélevé d'une cinquantaine de centimètres par rapport à la cour. L'iwan est d'origine persan (https://en.wikipedia.org/wiki/Iwan).



Maison Khaneh-Tabatabee à kashan



Maison traditionnelle Iranienne

***Figure 5.20**: Vues générales sur les Iwans donnants sur la grande cour*
***Source**: https://fr.wikipedia.org/wiki/Architecture_résidentielle_persane_traditionnelle*
https://www.hisour.com/fr/iwan-in-architecture-31920/



***Figure 5.21**: Vue sur le Pishtaq (portail d'accès principal de l'Iwan)*
***Source**: https://www.hisour.com/fr/iwan-in-architecture-31920/*

*** Tehrani:** est une salle des fêtes et salle à manger pour invités. Elle est utilisée en tant que résidence principale en hiver (PARAPARI, 2015).

*** Tanabi:** est une chambre à coucher, située entre Talar et la chambre des tours à vent. Elle est utilisée en tant que résidence principale en été (PARAPARI, 2015).

*** Balakhaneh (balcon)**: est un espace de travail et de repos à la fois, considéré comme une résidence d'hiver (PARAPARI, 2015)

***Hozkhaneh:** est une pièce d'été ornementée d'un bassin d'eau au centre. Elle est fréquemment présente dans de nombreuses villes du désert, notamment à Yazd. Dans certains cas, Hozkhaneh se trouve dans la zone semi-publique, à côté de la maison du puits, alors que dans d'autres cas, elle se trouve à côté de Talar (PARAPARI, 2015).

*** Soffeh:** Véranda/ Terrasse ou Sotteh

*** Sardab:** Sous-sol

*** Godal Baghcheh &Hoz**: Jardin et bassin d'eau (figures 5.20 et 5.22).

*** Andaroni**: Cour privée (pour cuisine et chambres) (Beni khadidjeh, 2016).



***Figure 5.22*:** *Petite cour intérieure, maison historique Tabatabei, Kashan, Iran*
***Source**:* https://www.alamyimages.fr/

* **Birouni**: La grande cour (Beni khadidjeh, 2016)

* **Matbakh**: La cuisine de la maison (figure 5.23)

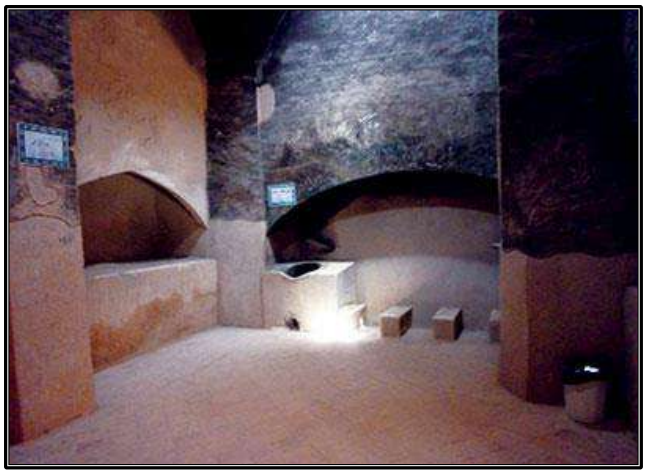


***Figure 5.23**: Matbakh maison des Tabâtabâ'i, Kâshân en Iran*
***Source**: Beni Khadidjeh (2016)*

*** Qanat**: est un ouvrage de type minier destiné à la captation d'une nappe d'eau souterraine et l'adduction d'eau vers l'extérieur. Un Qanat est constitué d'un ensemble de puits verticaux (accès, aération) reliés à une galerie de drainage légèrement en pente qui achemine l'eau vers des citernes ou une exsurgence.

Pour les populations de régions arides ou semi-arides, ce système constitue une source d'eau constante et régulière, quelle que soit la saison, il permet l'irrigation de cultures agricoles (https://fr.wikipedia.org/wiki/Qanat) (figure 5.24).



***Figure 5.24**: Vue sur un tunnel d'un Qanat près de Ispahan (Iran)*
***Source**: wikipedia.org/wiki/Qanat*

5.4.1.4 Aperçu sur la maison traditionnelle iranienne

La grande majorité des maisons persanes respecte les principes suivants:

- Une orientation spécifique, dans l'axe de la Mecque. Habituellement, orientation de la maison est nord-sud, en accord avec les conditions saisonnières. La partie hivernale est située du côté nord, face au sud pour une utilisation maximale de l'ensoleillement en hiver, et la partie estivale au sud, face au côté nord pour diminuer l'effet de soleil en été.

- Une application du principe de symétrie dans la conception vis-à-vis la disposition des espaces autour des cours et le design des façades (MOLLA ZADEH, 2007).

- Une hiérarchie dans l'espace: les privations sont élevées et les respects sont élevés et l'espace lui-même devient une partie de la vie privée contre un autre espace (RAFOONEH & PAYAM, 2013)

- Une application de la règle de l'introversion: qui était un principe prédominant où l'architecture traditionnelle iranienne se définit aux côtés du jardin persan où presque toute ancienne maison iranienne était entourée ou côtoyée par un jardin à l'iranienne. La grande cour

est souvent dotée d'un bassin au milieu aménagé et entouré de jardins agrémentés de figuiers, de vignes, etc.

- Une distinction claire des espaces notamment le Birouni (l'extérieur) et l'Andarouni (l'intérieur) (principe de privacité appliqué).

- Un manque de communication visuelle directe de l'espace interne avec les espaces extérieurs

La structure spatiale des maisons traditionnelle est organisée comme suit (NOSRATPOUR, 2012) et (YAHYAVI, 2016) (figure 5.25):

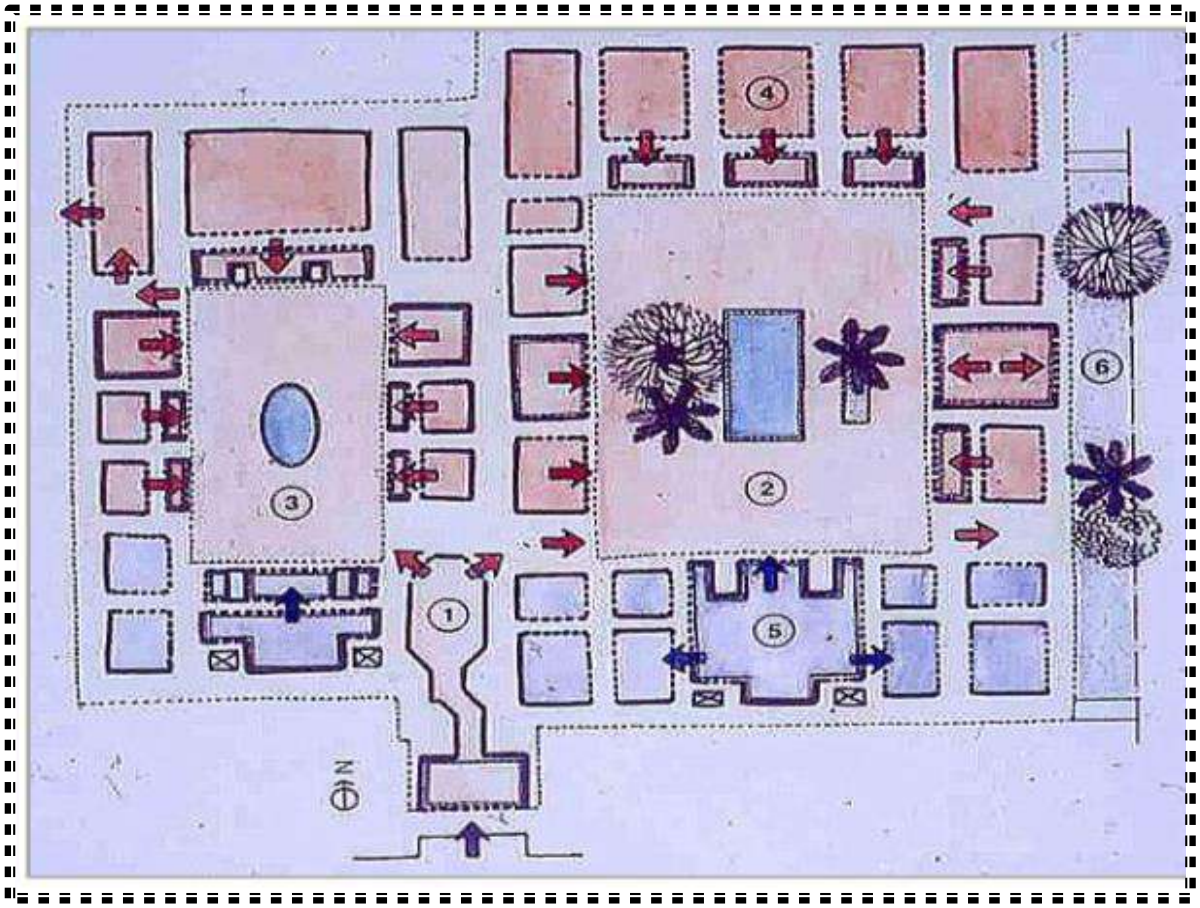


Figure 5.25*: Exemple d'un plan de maison traditionnelle iranienne*
Source*: Zabihi (2010)*

1- Une plate-forme: qui précède l´accès d'entrée.

2- Un vestibule ou hall d'entrée: immédiatement après la porte d'accès, on accède dans un petit espace temporaire clos généralement d'une forme octogonale ou tétragone, nommé (Hashti). Il sert comme un espace de transition.

4- Un Dalan -corridor-: est un espace souvent en spirale qui desservait l'entrée des deux cours.

5- Un Jardin ou une grande cour située au centre de la maison,

6- Un Iwan: un passage fermé en face des chambres permet une vie commune à l'intérieur (un salon ouvert à l'intérieur de la maison). Il est considéré comme un espace intermédiaire entre la cour et la construction. Habituellement, il est orienté vers le sud. Les Iwans orientés au sud et à l'est sont très frais offrant des endroits ombragés pendant les après-midis d'été.

7-Un Talar (séjour invités) et un Shahneshin (séjour magistral),

8- Des chambres: étaient les parties importantes et principales des maisons traditionnelles iraniennes. Deux types de pièces selon leur usage ont été construits. Le 1er nommé "Sedari" pièce à trois portes et le 2ème "Panjdari" à cinq portes (figure 4.22).

9. Des espaces de service: tels que cuisine, étable et dépôt, sont placés généralement dans le côté de la petite cour. La toilette est accessible de la cour via un passage court. La salle de bain était divisée en deux parties: une pour changer de vêtements (dressing) et une autre pour se doucher (les habitants généralement utilisent le hammam public).

Principe de cheminement

Pour accéder, d'abord il y a la porte de la maison qui est souvent en bois. Elle comportait deux objets métalliques nommés (Koloun*)*, l'un pour hommes et l'autre pour femmes (figure 5.26). Les Loctos sont différents par leurs formes aussi bien que par le son qu'ils produisaient, leurs sonneries permettaient aux habitants du foyer de reconnaître la personne frappant à la porte pour qu'une personne du même sexe la lui ouvre.



Sabat (ruelle couverte menant vers les maisons) *Plateforme d´entrée* *Loctos (Koloun)*

***Figure 5.26**: Traitement accès maison traditionnelle iranienne (Rabbat, n.d.)*
***Source**: Zabihi (2010)*

Ensuite, nous arrivons au (Hashti*)*. Ce dernier est d'une hauteur sous plafond réduite pour créer un sentiment d'intimité, la personne qui entre doit changer de direction pour accéder à la pièce d'entrée, la séparation de la vie privée entre sexes est soulignée avant d'entrer dans le Dalan (couloir).

La plupart des maisons possédaient deux cours, intérieure (patio) et extérieure (jardin). Le corridor espace privé d'une forme spirale, desservait l'entrée des deux cours, l'invité se faisant

guider par le serviteur du foyer pour choisir le bon parcours. L'espace du couloir est considéré comme privé de la famille et le rôle de la séparation des sexes n'est pas soulignée.

Arrivant au cœur de la maison, c'est la grande cour ou le jardin, dont son rôle est la tenue de différentes cérémonies religieuses et culturelles des résidents. Le jardin est entouré d'iwan espace semi-ouvert intermédiaire entre l'intérieur de la maison et la cour. Il est ouvert à un seul côté donnant sur le jardin. L'intérieur non intime (Birouni) de chaque grande maison avait un séjour et/ou une salle de rassemblement familial appelé (Talar*)*. L'intérieur intime (Andarouni), avait une ou plusieurs chambre (s), une cuisine, et souvent un séjour propre aux membres de la famille. Celui-ci avait le plus souvent une terrasse (Soffeh), servant de séjour pour la saison chaude lors du coucher du soleil. Les pièces (salles et chambres) étaient réparties autour de la cour, et on y accédait indirectement de l'extérieur via un hall ou un couloir surélevé de la cour par un escalier. Un autre escalier menait à la cave, où des réserves d'aliments étaient stockées, et le cas échéant, une réserve d'eau était installée.

Le «Birouni», destiné à recevoir les gens de toutes sortes, était souvent d'apparence simple afin de ne pas attiser convoitise et jalousie, tandis que «l'Andarouni», auquel seuls avaient accès aux proches de la famille, était souvent richement décoré et meublé.

La salle de séjour était en général située plein sud, comportait souvent des vitraux aux couleurs vives et variées. Ces dernières constituaient des éléments essentiels du bâtiment, tant du fait de leur beauté depuis la cour que par le jeu de la lumière produit vu de l'intérieur. Le nombre de ces fenêtres et de ces baies vitrées était toujours un chiffre impair. En fonction de la grandeur de la salle, elles étaient au nombre de trois, cinq ou sept. Les salles de séjour se distinguaient et étaient appelées en fonction même de ce nombre, un séjour à trois portes (baies vitrées), à cinq ou à sept portes (figures 5.18 et 5.19). Quand il s'agissait d'un séjour magistral, et lorsque la capacité de la grande salle ne suffisait pas à accueillir l'ensemble des invités, les portes des deux petites salles adjacentes du Shâhneshins ouvertes faisant communiquer ces trois espaces.

La maison et le jardin étaient intimement liés dans la mentalité des Iraniens, de sorte que le sol des pièces de la maison était couvert de tapis portant souvent des motifs de jardin. En outre, Le jardin est souvent garni de bassins d'eau au milieu.

5.4.1.5 Principe d'implantation de la tour à vent (Badjir) dans les maisons iraniennes

D'après AZAMI, (2005), l'emplacement de la tour à vent en plan dans les maisons iraniennes suit la typologie décrite dans le (tableau 5.2) suivant:

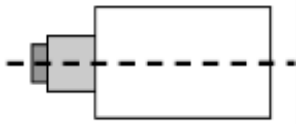
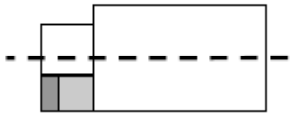
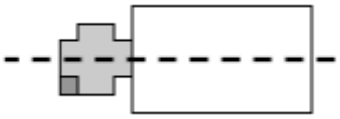
TYPE	DESCRIPTION	MODELE
1	La tour à vent est positionnée derrière un hall sur son axe de symétrie. Dans ce type : la tour à vent, le hall et la cour s'étendent ensemble sur cet axe.	
2	La tour à vent est positionnée au coin de la cour. Ce type nécessite que la tour soit connectée indirectement à un hall à travers une zone bleue telle qu´un bassin d'eau ou un aquarium.	
3	La tour à vent est positionnée au coin nord du hall.	

***Tableau 5.2**: Les différentes typologies de la tour à vent traditionnelle selon son emplacement*
***Source**: Azami (2005).*

5.4.1.6 Caractéristiques de la tour à vent (Badjir) des maisons iraniennes

Les tours à vents «Badgirs» sont de grandes cheminées d'environ 3x5m^2 de superficie et d´une quinzaine de mètres de hauteur. La partie haute surplombant les toits est constituée d'ouvertures verticales dirigées vers les vents dominants froids du nord et/ou de l'ouest (figure 5.27). Le nombre d'ouverture varie de 01 à 08 selon les plans des tours. La partie intérieure de la tour est coupée verticalement afin de canaliser le vent, séparant les flux ascendants et descendants. En partie basse de la tour, ou au niveau du plancher se trouve une ouverture qui s'ouvre dans la pièce à rafraîchir (NETTER, 2009).

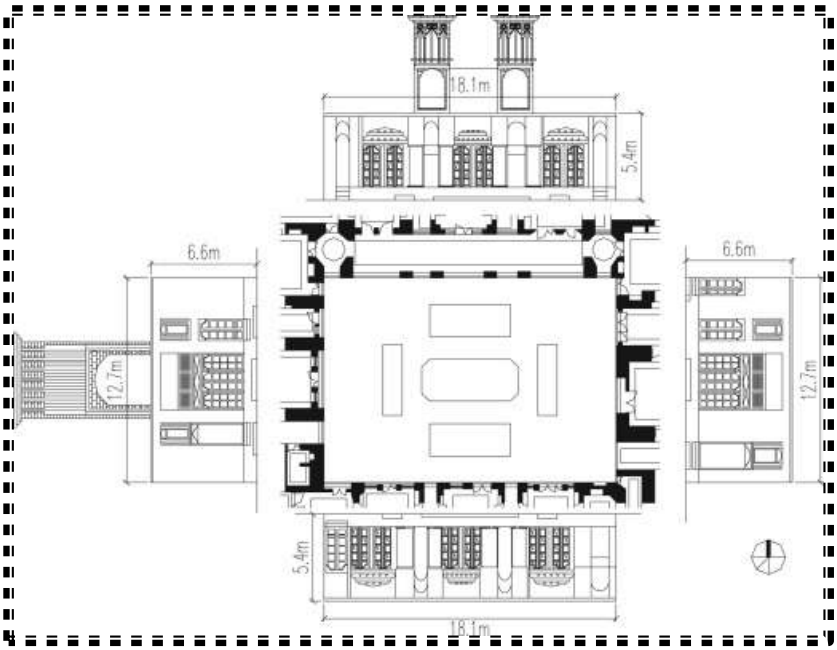


***Figure 5.27**: Emplacement de la tour à vent selon l'orientation dans la maison traditionnelle iranienne*
***Source**: Molla Zadeh (2007)*

5.4.2 Terminologie liée à la tour à vent contemporaine

5.4.2.1 Cheminée solaire

Appelée également **cheminée** provençale ou **cheminée** thermique, est un dispositif permettant d'améliorer la ventilation naturelle d'un bâtiment en utilisant le mouvement convectif de l'air chauffé passivement dans un conduit exposé au rayonnement solaire (figure). https://fr.wikipedia.org/wiki/Cheminée_solaire

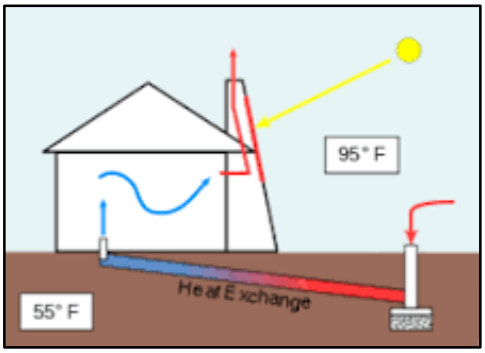


***Figure 5.28**: Principe de la cheminée solaire*
***Source**: Molla Zadeh (2007)*

5.4.2.2 Tour à vent assistée par une cheminée solaire

Les cheminées solaires sont utilisées pour améliorer la ventilation naturelle par l'effet de tirage thermique (HUGHES *et al*., 2012). La flottabilité ou la convection naturelle se produit lorsque l'air est entrainé par la présence d'un gradient de température. L'énergie solaire chauffe la paroi de la cheminée solaire et réchauffe l'air qu'elle contient. Par conséquent, l'air chaud monte et sort par la partie supérieure de la tour (courant ascendant d'air) et aspire l'air frais par les ouvertures ou les fenêtres (SAKHRI, 2015).

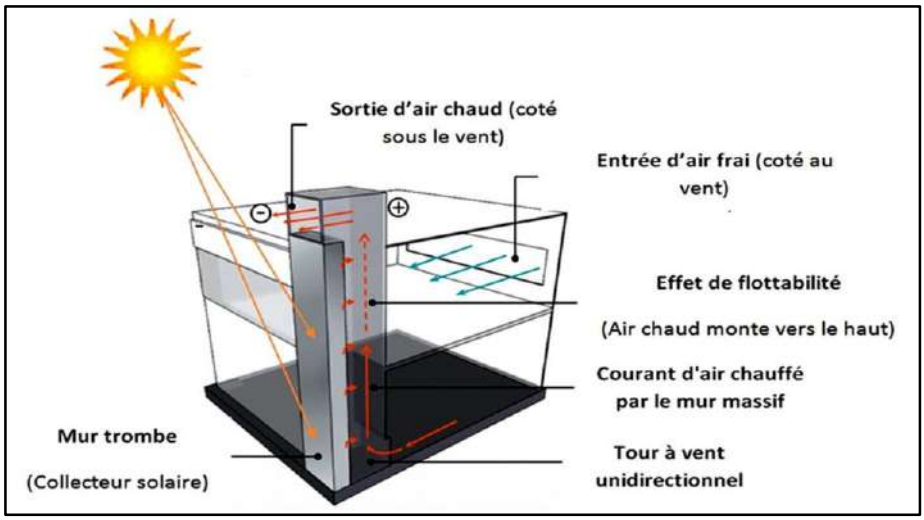


***Figure**: Système de tour à vent intégrée avec une cheminée solaire*
***Source**: Hughes et al. (2012)*

Une cheminée solaire assistée par un système de tour à vent est capable de créer un flux d'air de 1.4/à 700/^{2} de rayonnement solaire incident par rapport à 0.75/créée par une tour à vent seule (à 1/de vitesse du vent) (BANSAL *et al*., 1994). La convection forcée aura lieu lorsque le flux est induit par une force extérieure telle que la pression négative générée par le courant d'air à la sortie de la tour (effet de venturi).

5.4.2.3 Puits canadien

Un échangeur air-sol (également connu sous les noms de puits provençal, puits canadien, plus récemment, puits climatique) est un échangeur géothermique à très basse énergie utilisé pour rafraîchir ou réchauffer l'air ventilé dans un bâtiment (https://fr.wikipedia.org/wiki/Échangeur_air-sol).

5.4.2.4 Tours à vent avec refroidissement souterrain

En Iran, Les tours à vent traditionnelles ont été raccordées avec un Qanât ou un réseau d'eaux souterraines ou même avec un puits canadien (échangeur air-sol). La tour est placée au-dessus de la maison avec son ouverture faisant face loin de la direction du vent dominant.
Le flux d'air à travers le puits vertical produit une pression inférieure au côté sous le vent de la structure. En conséquence, l'air frais est tiré par succion du tunnel ou Qanât pour remplacer l'air chaud et vicié qui quitte la structure. L'air chaud qui passe dans le Qanât (plusieurs mètres sous le sol) sera en contact avec l'eau qui abandonne sa chaleur latente de vaporisation et s'évapore dans l'air qui sera relativement plus froid donc un effet de refroidissement supplémentaire (SAKHRI, 2015).

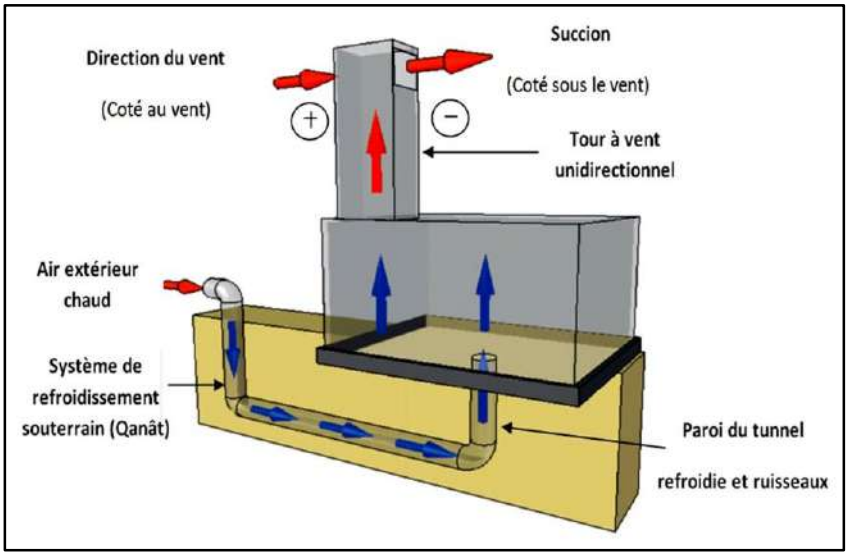


***Figure**: Système de tour à vent intégré avec refroidissement souterrain (puits canadien)*
***Source**: Hughes et al. (2012)*

5.4.2.5 Tours à vent commerciales

La tour à vent assistée d'un ventilateur solaire est une technologie qui vise à assurer la passivité du système toute en améliorant les débits d'air obtenus, afin d'atteindre les débits de ventilation requis même dans des conditions défavorables (telles que la vitesse et la direction du vent) (www.monodraught.com).

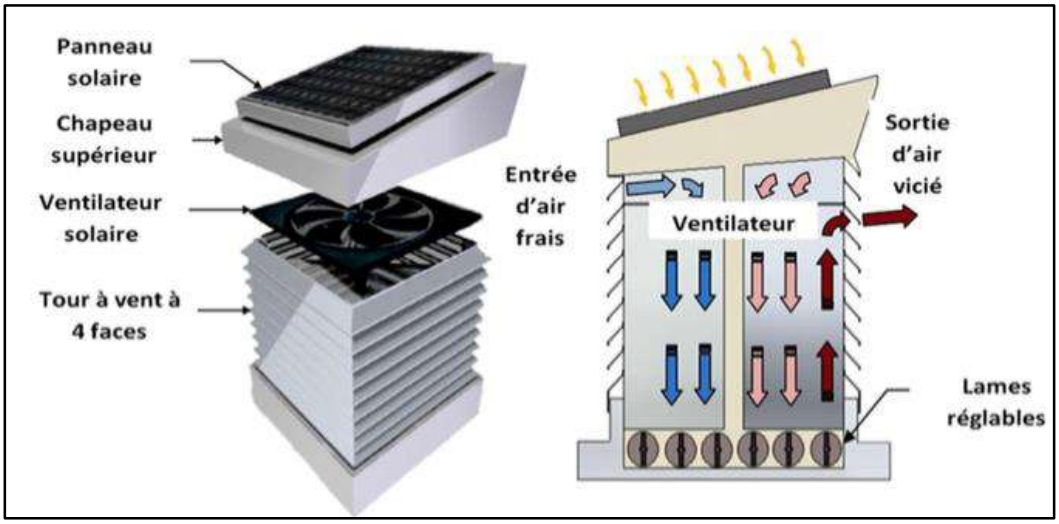


***Figure**: Tour à vent commercial avec un ventilateur solaire*
***Source**: Hughes et al. (2012)*

Après la collecte de toutes ces informations, l'analyse syntaxique a été appliquée sur l'échantillon de l'étude, et ses résultats et interprétations sont discutés dans le chapitre suivant.

Conclusion

La méthode de la syntaxe spatiale sera appliquée dans le chapitre suivant, pour analyser 28 maisons à travers le monde islamique où la tour à vent a réussi. Elle est basée sur la théorie configurationnelle de l'espace. L'approche tente de décoder les formations spatiales et leurs impacts sur l'activité humaine.

Les différentes techniques offertes par la syntaxe spatiale peuvent nous servir, informer qualitativement et quantitativement sur les propriétés syntaxiques de l'espace d´implantation de la tour à vent dont on aura besoin.

L'analyse qualitative au moyen de la carte gamma nous permet de donner une lecture topologique de l'espace en question, tant que l'analyse quantitative via le logiciel *Agraph* nous permet de déterminer leurs propriétés syntaxiques locales (profondeur, connectivité, valeur de contrôle et intégration).

L’échantillon de 28 maisons dotées de la tour à vent est sélectionné selon l’opérationnalité, la performance thermique et l’emplacement de la tour dans la maison, la période de réalisation (ancienne ou récente) de ce système et l’effet de la diversité culturelle sur son intégration en plan d’organisation spatiale.

L’échantillon d’étude montre que la tour à vent a tout d’abord existé dans les maisons riches et nobles (Bek, Emir, grands commerçants) comme mode de ventilation naturelle et de rafraîchissement passif. Elle s’est répandue après par le biais des échanges commerciaux aux deux rives du golfe persique, et par les échanges culturels aux deux rives de la mer rouge, allant jusqu’au grand Maghreb (Algérie).

Avant de mettre en œuvre cette approche, un glossaire des différents noms d’espaces associés à la tour à vent d’Égypte, d’Arabie saoudite, du Koweït, des Émirats arabes unis et d’Iran est établi. Un aperçu sur la conception de la maison iranienne traditionnelle qu’a causé le plus de difficulté dans la lecture de ces plans architecturaux est effectué. Le principe d’implantation des Badgirs iraniens en plan d’organisation spatiale et en façades est cité. Un glossaire des termes liés à la tour à vent contemporaine a été également crée.

Les résultats obtenus par l’application de l’approche syntaxique sont analysés et interprétés dans le prochain chapitre «chapitre 06».

Chapitre 6

Chapitre 06

Résultats et interprétations de l'analyse syntaxique

Introduction

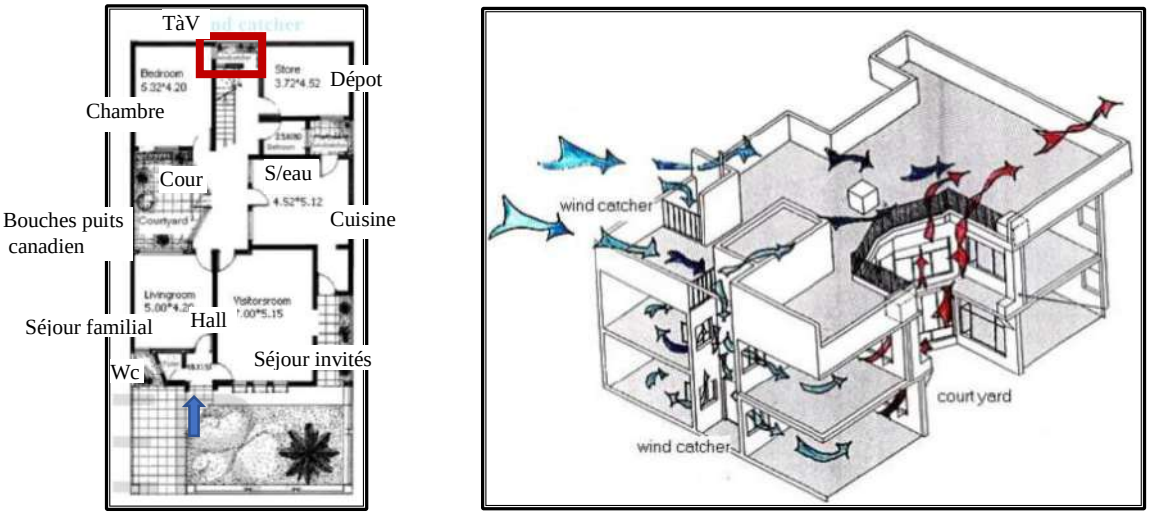
Ce chapitre est dédié à présenter les résultats et les interprétations de l'analyse de 28 maisons dotées de tour à vent réparties dans le monde islamique à travers une étude spatio-syntaxique dont les critères de choix et les aspects traités ont été abordés dans le chapitre 04. Après une présentation de la maison, de son dossier graphique et de la performance de sa tour à vent (si cette dernière a fait objet d'une étude thermique au préalable), sa carte Gamma a été générée. Le graphe justifié ou la carte Gamma a été traité via l'application « *Agraph* » afin de calculer les mesures syntaxiques de l'espace de la tour à vent ou de la salle équipée de la tour à vent (selon le cas). Les propriétés syntaxiques calculées sont les suivantes: la valeur de contrôle (CV), la profondeur totale (TD), la profondeur moyenne (MD), l'asymétrie relative (RA), la valeur d'intégration (I) et la valeur de la connectivité. Pour plus de précision, la valeur de la symétrie relative réelle (RRA) a été calculée au moyen des abaques (voir annexes). L'application de ce processus adopté est répétée systématiquement d'une maison à l'autre pour l'obtention des fiches signalétiques synthétisant les caractéristiques syntaxiques de chaque maison. Les informations recueillies ont été par la suite comparées entre elles pour déterminer les propriétés quantitatives et qualitatives de l'espace doté de ce système. Les résultats obtenus constitueront une base de données pour les prochains chapitres.

6.1 Analyse des maisons traditionnelles

6.1.1 Maison à Baghdad en Iraq (non datée)

C'est une maison de 288m^2 de superficie, mono façade, dotée d'un Badgir avec un système de rafraîchissement passif combiné (échangeur de chaleur sol-air/ cour centrale /tour à vent). Elle est d'une architecture introvertie où le séjour familial, le hall et la chambre s'ouvrent sur une cour centrale de 20m^2 de superficie (figure 6.1). Elle est construite en murs épais de 25cm d'épaisseur en béton léger «Bechtel bloc» qui favorise une bonne isolation thermique. La tour à vent de 2m^2 de surface est ancrée de 1,50m dans le sol et s'élève de 13,90m. Sa tête est orientée nord-ouest, sens des vents désirés. Ce dispositif est connecté à un conduit souterrain en argile cuite de 50 cm de diamètre et de 3m^2 de surface de contact avec le sol humide afin de bénéficier de la fraîcheur de l'eau souterraine. Il dispose de 02 orifices de soufflage d'air, une

dans la chambre et l'autre dans le séjour familial (figure 6.2).



Vue en Plan RDC Axonométrie

Figure 6.1: *Plan du RDC d'une maison avec tour à vent à Baghdad*
Source: *Jamal (2015)*

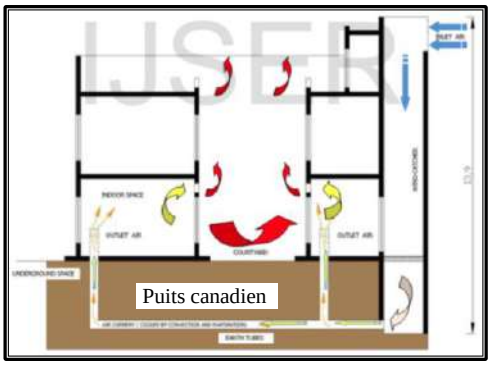


Figure 6.2: *Coupe sur le principe du système combiné tour à vent- échangeur de chaleur sol-air*
Source: *Jamal (2015)*

L'étude entreprise sur cette maison, a été menée en été 2014 durant les mois de juillet, août et septembre pendant trois jours successifs et en deux phases pour chaque mois, à savoir, une investigation et une simulation numérique (CFD) du système combiné de rafraîchissement (tour à vent- cour centrale- conduit souterrain). Les résultats ont montré une accélération de la vitesse de l'air entre 1,5 et 3,5 m/s, une réduction de la température d'environ 18°C par rapport à la température extérieure (45,3°C) et une augmentation de l'humidité relative de 23% (tableau 6.1) (JAMAL, 2015).

Month	Location	Average air temperature for the day 20		Average air temperature for the day 21		Average air temperature for the day 22	
		External temperature	Internal temperature	External temperature	Internal temperature	External temperature	Internal temperature
June	livingroom	43.7	33.2	43.4	32.3	43.1	32.1
	Bedroom	42.6	31.8	43.4	31.4	43.1	31.1
July	livingroom	45.3	32.6	44.9	32.1	44.2	32.1
	Bedroom	45.2	34.2	44.9	33.9	44.2	33.1
August	livingroom	45.7	33.5	45.9	33.8	45.2	32.3
	Bedroom	45.7	33.1	45.9	32.8	45.2	32.1

Tableau 6.1: *Résultats de la température de l'air à l'intérieur et à l'extérieur, été 2014*
Source: *Jamal (2015)*

Résultats et interprétations de l'analyse syntaxique

D'après le graphe justifié en la figure (6.3) et les résultats calculés via *Agraph* mentionnés dans le (tableau 6.2), il a été constaté que:

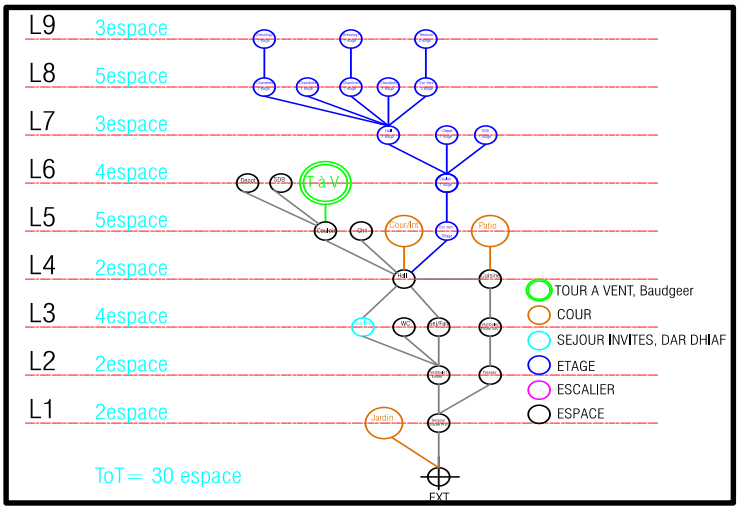


***Figure 6.3**: Carte Gamma pour une maison à Baghdad*

Iraq	Propriété Syntaxique	Min	Moy (Mean)	Max	Propriété syntaxique espace doté de tour à vent						
					MDn(T)	RA(T)	I(T)	CV(T)	NC(T)	Cve(T)	Disposition
1/Baghdad	Profondeur (D)	3.23	4.92	8	4.96						
	Asymétrie relative (RA)	0.15	0.27	0.48		0.27					Salle de TàV
	Intégration (I)	2.07	3.97	6.49			3.65				Près de la cage
	Valeur de contrôle (CV)	0.16	1	3.75				0.25	1	1	D'escalier

***Tableau 6.2**: Résultat mesures syntaxiques pour une maison à Baghdad*

Concernant l'aspect syntaxique spatial: L'espace doté de la tour à vent est sis dans la profondeur moyenne du système global où $MDn_{(T)}$=4.96 par rapport à MD moy=4.92. Il se trouve à un pas syntaxique au-dessus de l'espace extérieur (la cour). L'espace de la tour à vent est de type cul-de-sac (*dead-end spaces*), il est connecté uniquement à l'espace de transition (couloir) et ne possède aucun autre mouvement que celui qui y mène, il ne se traverse pas. Cet espace dispose d'un potentiel relativement faible ($Cv_{(T)}$= 0,25<1). Cette propriété prend en considération les relations entre cette espace et son voisinage immédiat. Le nombre de connexions avec les autres espaces est de 1. L'espace doté de la tour à vent est superficiel, fortement ségrégué et isolé du système global vu la valeur faible de RA qui tend vers zéro ($RA_{(T)}$=0.27) et la valeur de $RRA_{(T)}$ calculée qui est de 1.516>1 (Ibid, p113).

- Concernant l'aspect fonctionnel : dans cet exemple, la tour n'est pas un équipement mais un espace accessible à partir du rez-de-chaussée. Il est adjacent à la cage d'escalier et la chambre.
- Concernant l'aspect environnemental et la performance thermique du Badgir : un système de rafraîchissement évaporatif passif combiné (échangeur de chaleur sol-air/ cour centrale /tour à

vent) a été adopté et prouvé par l'étude de JAMAL (2015). Cela rend ce système un moyen de rafraîchissement autonome et une source durable d'éclairage naturel diurne.

6.1.2 Maison en Arabie Saoudite

6.1.2.1 Maison à Djeddah, (1973)

La résidence privée de Ben Abderrahmane Nassief est conçue par l'architecte égyptien Hassen Fathy à Djeddah à climat chaud et aride (figure 6.4). Elle est construite en 1973, d'une architecture introvertie où la tour à vent (Badgir) a été intégrée dans le séjour familial (Ghorfet El Mahicha) (SERAGELDIN, 2007) (figure 6.5) et (figure 6.6).

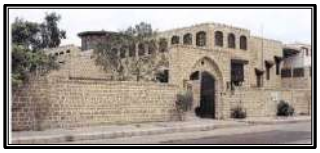


Figure 6.4: *Vue en plan RDC maison Nassief à Djeddah*
Source: *Serageldin (2007)*

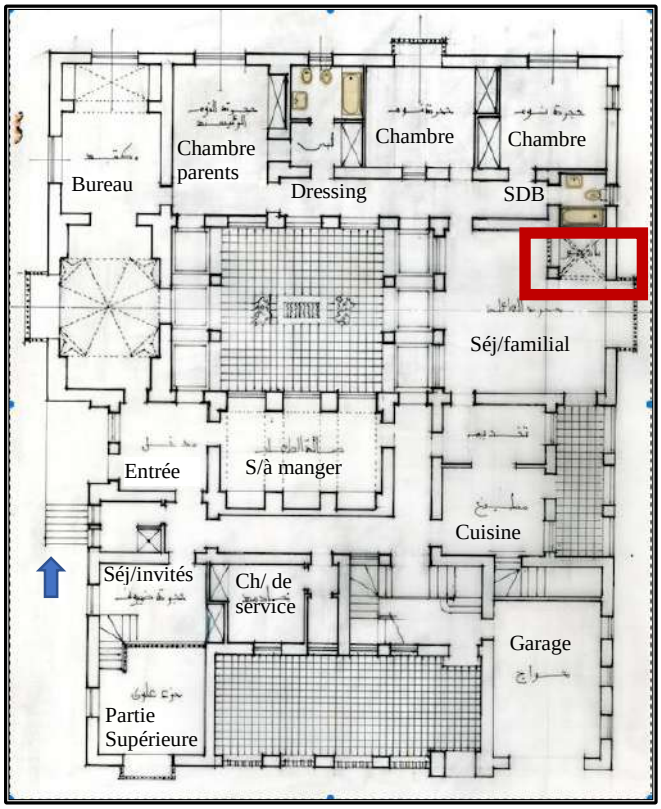


Figure 6.5: *Vue en plan RDC maison Nassief à Djeddah*
Source: *Serageldin (2007)*



Façade Ouest *Façade Sud* *Coupe*

Figure 6.6: *Façades maison Nassief à Djeddah*
Source: *Serageldin (2007)*

Résultats et interprétations de l'analyse syntaxique

D'après le graphe justifié (figure 6.7) et les résultats numériques mentionnés dans le (tableau 6.3), il a été constaté que:

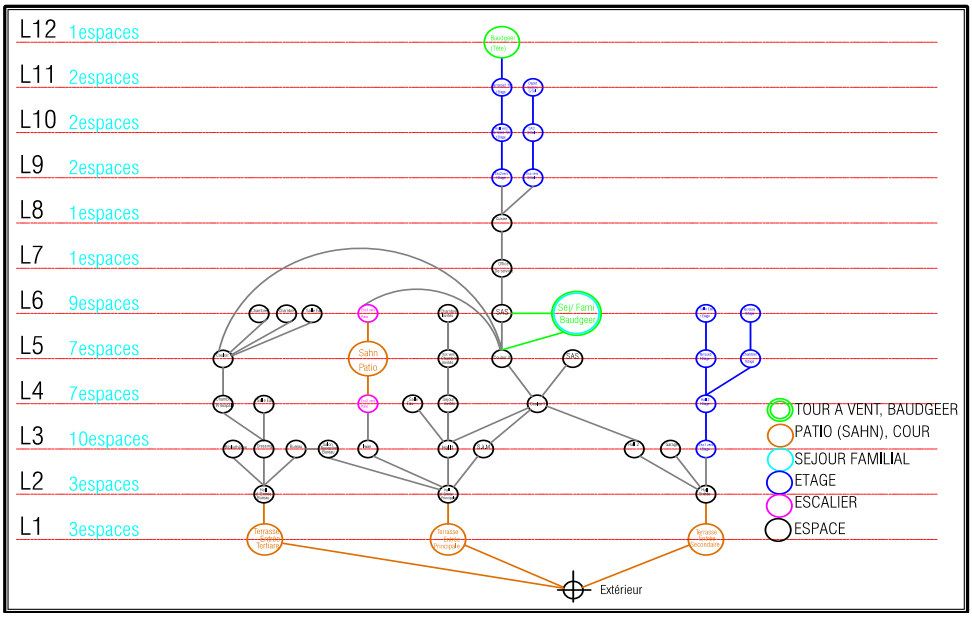


Figure 6.7: *Carte Gamma de la maison Nassief à Djeddah*

Arabie	Propriété Syntaxique	Min	Moy (Mean)	Max	Propriété syntaxique espace doté de tour à vent						
					MDn(T)	RA(T)	I(T)	CV(T)	NC(T)	Cve(T)	Disposition
Saoudite	Profondeur	3.55	5.42	8.4	4.36						
Djeddah	RA	0.11	0.19	0.32		0.14					Séjour
1/Résidence	I	3.1	5.56	9			6.84				Familial
A.Nassief	CV	0.2	1	3.7				0.53	1	0.5	

Tableau 6.3: *Résultat mesures syntaxiques de la maison Nassief à Djeddah*

Sur le plan syntaxique spatial: Il s'agit d'un système introverti imperméable par rapport à l'extérieur (présence de trois accès). L'extérieur est isolé de l'espace où le Malqaf a été intégré (la valeur d'intégration $I_{(T)}$=6,84> $I_{(moy)}$=5,56). L'espace doté de la tour à vent se situe dans la profondeur moyenne du système global ($L6_{(T)}$ /L12) où $MDn_{(T)}$= 4,36 et MD moy=5,42. Il est très proche de l'espace extérieur, à un pas syntaxique au-dessous du Sahn (patio). L'espace du Malqaf est de type «c» positionné sur un anneau de mouvement. Il est connecté aux espaces de distribution (sas de service) et de circulation (couloir privé). Il offre aux usagers la liberté de choix pour se déplacer dans l'espace intérieur. L'espace doté de la tour à vent est isolé du système. Il est fortement ségrégué (RRA calculée =1,037>1) et plus contrôlé (Cv=o,53<1 où l'espace dispose d'un potentiel relativement faible). RA est faible (=0,14), plan d'ordre symétrique avec respect de l'ensemble des espaces et en égalité de perméabilité de contrôle.

Sur le plan fonctionnel lié au mode de vie socioculturel : la tour à vent est intégrée dans l'espace de vie (le séjour familial).

Sur le plan environnemental et performance thermique du Malqaf: le rafraîchissement passif a été assuré par le charbon de bois et la jarre poreuse en argile.

6.1.2.2 Maison à Dariya, (1975)

Sous les auspices du projet de développement rural des Nations unies, Hassen Fathy a conçu une unité prototypique de logement pour le village de Dariya. Le mode de vie sociologique rural des habitants est le facteur primordial pris en considération dans l'organisation spatiale. El Maqa'ad (séjour invités homme) est doté d'une large tour à vent faisant face aux vents dominants (figure 6.8) et (figure 6.9). El Malqaf est équipé d'un Salsabil pour humidifier et purifie l'air soufflé à l'intérieur (SERAGELDIN, 2007).

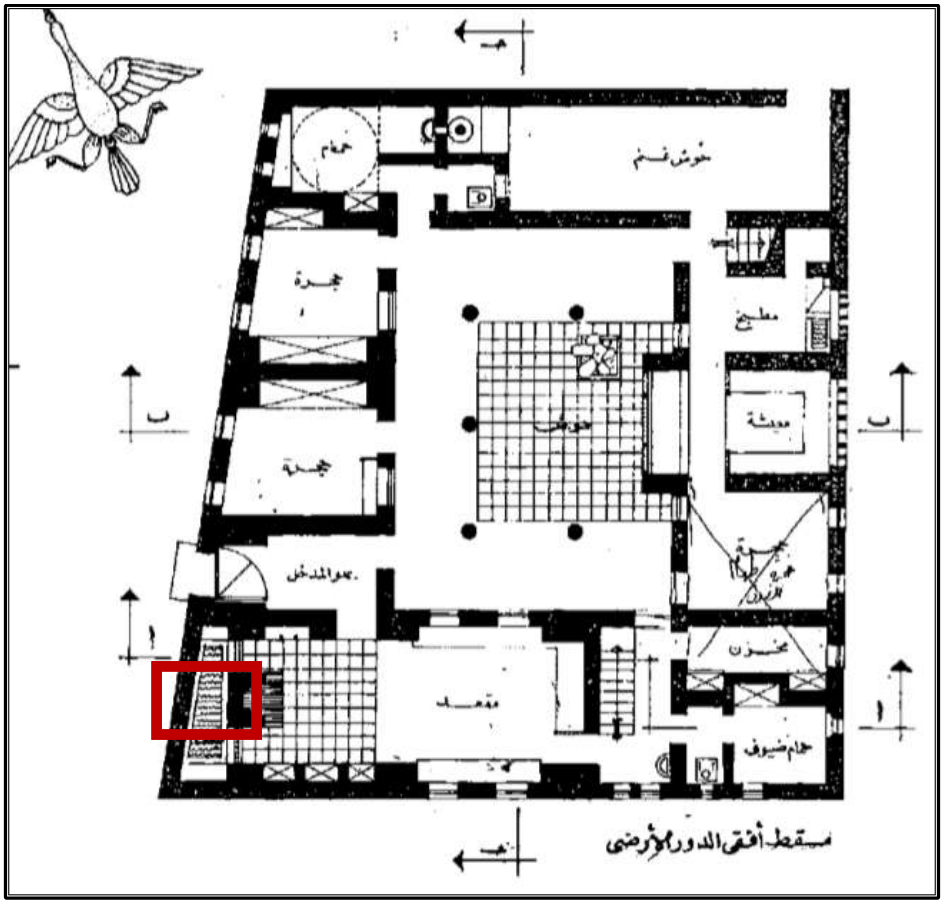


Figure 6.8: *Vue en plan maison prototype à Dariya*
Source: *Serageldin (2007)*

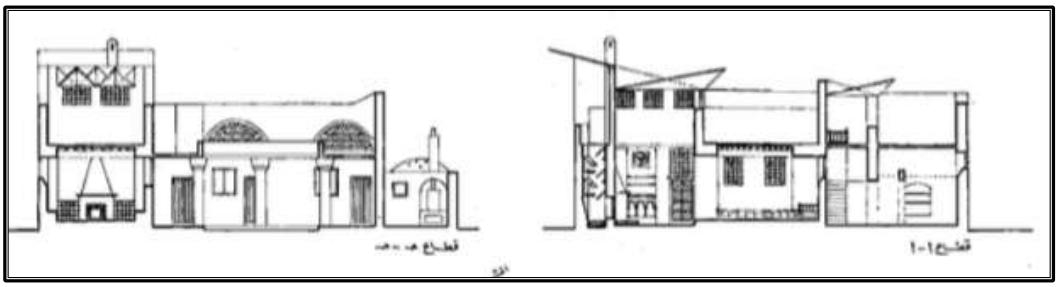


Figure 6.9: *Coupes AA et CC (une maison prototype à Dariya)*
Source: *Serageldin (2007)*

Résultats et interprétations de l'analyse syntaxique

Après l'obtention du graphe justifié présenté dans la figure (6.10), les résultats mesurés et calculés numériquement du système et de l'espace doté de la tour à vent sont récapitulés dans le tableau (6.4) ci-dessous:

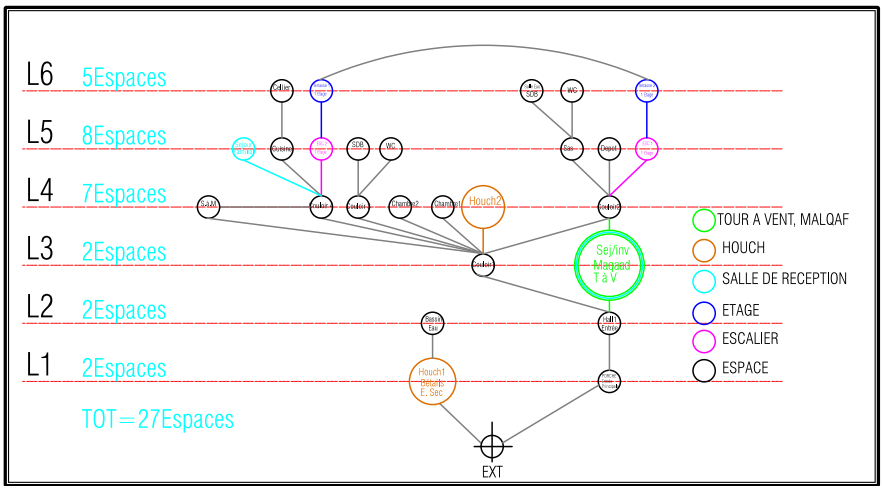


Figure 6.10*: Carte Gamma d'une maison prototype à Dariya*

Arabie		Min	Mean	Max	Propriété syntaxique espace doté de tour à vent						
					MDn(T)	RA(T)	I(T)	CV(T)	NC(T)	Cve(T)	Disposition
Saoudite	Profondeur	2.11	3.57	6.07	3,07						
2/	RA	0.08	0.2	0.40		0.16					Maqaad
El Dariya	I	2.46	5.36	11.20			6.01				(S/Invités)
	CV	0.12	1	5.11				0.53	2	0.5	

Tableau 6.4*: Résultat mesures syntaxiques d'une maison prototype à Dariya*

- Concernant l'aspect syntaxique spatial: L'espace doté de la tour à vent dans la maison Dariya, est sis dans la profondeur moyenne du système global ($L3_{(T)}$ /L6) où $MDn_{(T)}$= 3,0 et MD moy=3,6. Il est très proche de l'espace extérieur, à un pas syntaxique au-dessous du 1er Houch et à 2 pas syntaxiques au-dessus du 2e Houch (après un hall de distribution). L'espace équipé de Malqaf est de type « b ». Il implique des propriétés configurationnelles arborescentes, qui limite le choix de circulation aux occupants. Il dispose d'un potentiel relativement faible où la valeur de contrôle est de 0,53<1. Cette propriété prend en considération les relations entre cette espace et son voisinage immédiat. La valeur de la connectivité avec les autres espaces est de 2. L'espace doté de la tour à vent est superficiel, ségrégué et isolé du système global vu la valeur faible de RA qui tend vers zéro ($RA_{(T)}$=0.16) et la valeur de $RRA_{(T)}$ qui est de 0.833>0,6 (Ibid, p113).

- Concernant l'aspect fonctionnel lié au mode de vie socioculturel : cette tour est implantée dans la Ka'ah pour rafraîchir El Maqa'ad (espace de vie sociale pour recevoir les visiteurs).

- Concernant l'aspect environnemental et la performance thermique du Malqaf, le système passif évaporatif via Salsabil a été adopté pour le rafraîchissement du Dorka'a et d'El Maqa'ad

(système importé de l'Égypte) pour s'adapter au climat chaud et aride de la région.

6.1.3 Maisons au Koweït

6.1.3.1 Résidence Cheikh Nacer Ahmed Sobbah au Koweït, (1978)

La résidence privée de Cheikh Nacer Ahmed Sobbah est d'une architecture locale introvertie adaptée aux conditions climatiques de la région. Afin d'assurer un rafraîchissement passif, une tour à vent élancée orientée nord (Badgeer ou Badgir) a été intégrée entre El Sahn (patio) et le grand Majlis de réception d'hôtes (SERAGELDIN, 2007) (figures 6.11 et 6.12).

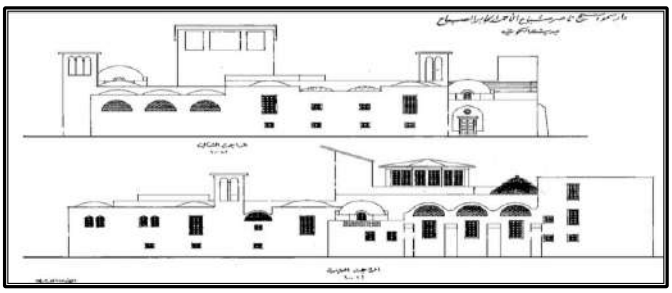


Figure 6.11: *Façade nord et façade ouest résidence Sobbah au Koweït*
Source: *Serageldin (2007)*

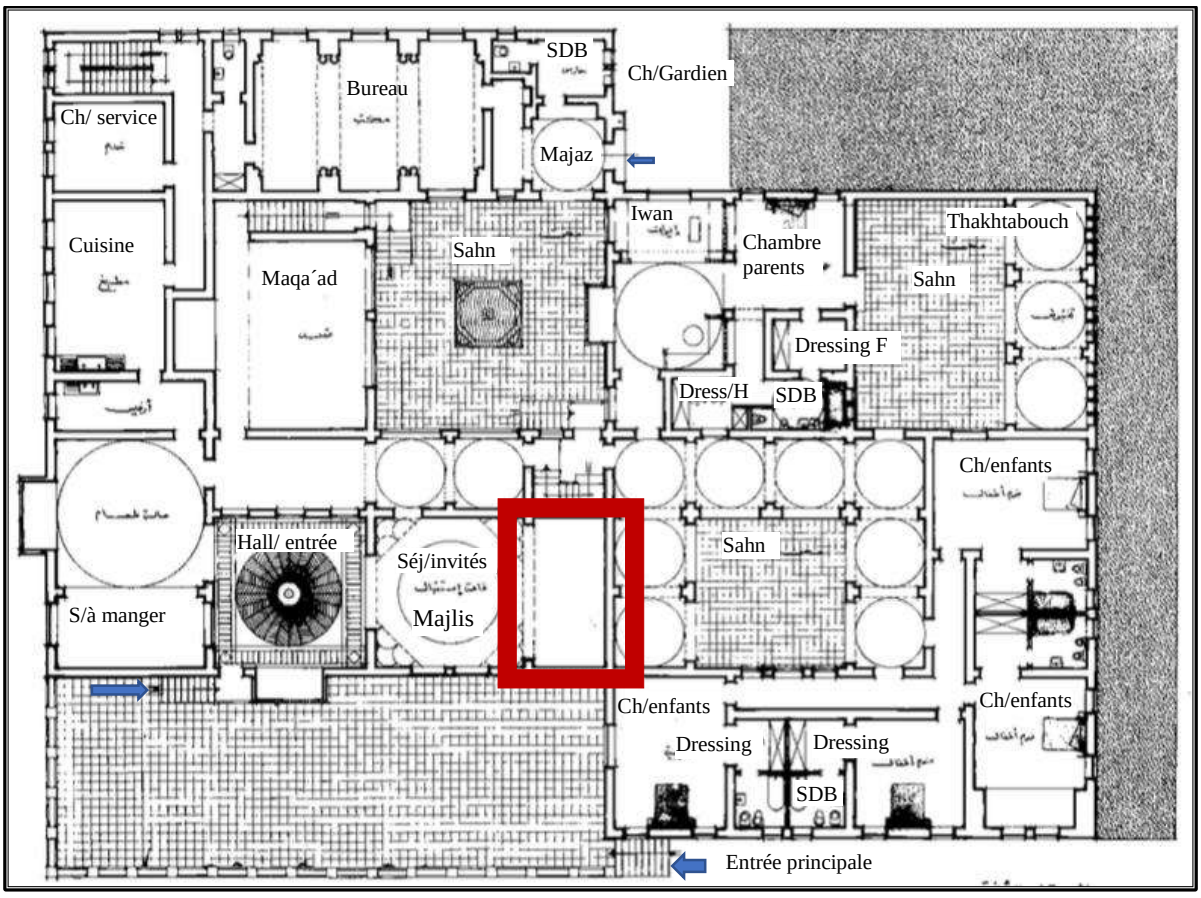


Figure 6.12: Vue en plan résidence Sobbah au Koweït
Source: *Serageldin (2007)*

D'après le graphe justifié (figure 6.13) et les résultats numériques mentionnés dans le (tableau 6.5), il a été constaté que:

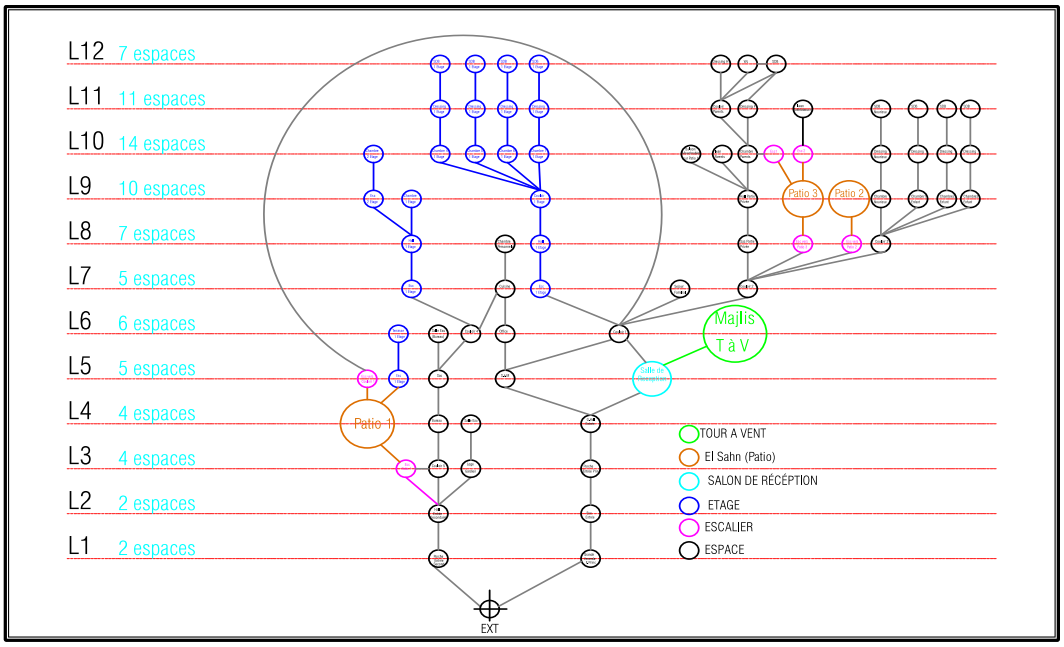


***Figure 6.13**: Carte Gamma de la résidence Sobbah au Koweït*

Égypte		Min	Moy (Mean)	Max	Propriété syntaxique espace doté de tour à vent						
					MDn(T)	RA(T)	I(T)	CV(T)	NC(T)	Cve(T)	Disposition
1/ Résidence	Profondeur	4.31	7.24	13.16	6.12						
Nacer	RA	0.09	0.17	0.33		0.14					El Majlis (S/Invités Hommes)
Sobbah	I	2.95	6.18	10.85			7.02				
	CV	0.16	1	2.86				0.33	1	1	

***Tableau 6.5**: Résultat mesures syntaxiques résidence Nacer Sobbah au Koweït*

- Concernant l'aspect syntaxique spatial: L'espace d'implantation du Badgir résidence Nacer Sobbah au Koweït est sis dans la profondeur moyenne du système global ($L6_{(T)}$ /L12) où $MDn_{(T)}$=6.12 par rapport à MD moy=6.72). Cet espace est proche de l'espace extérieur, il se trouve à deux pas syntaxiques au-dessous du Sahn (patio) après un hall (espace de distribution) et quelques marches (espace de transition). L'espace de la tour à vent est de type cul-de-sac (*dead-end spaces*). Il est connecté uniquement au séjour d'hôtes, ne possédant aucun autre mouvement que celui qui y mène et ne se traverse pas. L'espace d'implantation du Badgir dispose d'un potentiel de contrôle relativement faible ($Cv_{(T)}$=0,33). La valeur de connectivité de 1, montre la faible relation entre l'espace doté de la tour et les espaces avoisinants. L'espace doté de Badgir est superficiel, ségrégué et isolé du système global vu la valeur faible de RA qui tend vers zéro ($RA_{(T)}$=0.14) et la valeur de $RRA_{(T)}$ calculée qui est de 1,400 > 1.

- Concernant l'aspect socioculturel: Le Badgir est sis à El Majlis (salle de réception d'hôtes hommes)

- Concernant l'aspect environnemental et la performance thermique du Badgir: Non connu

6.1.4 Maisons en Égypte

6.1.4.1 Maison Hamdi Sif El Nasr El Fayoum, (1945)

La maison de vacance de Hamdi Sif AI-Nasr (figure 6.14) devait être utilisée lors des visites périodiques du propriétaire à son domaine. La maison est élevée sur un podium artificiel pour la protéger des inondations. L'organisation spatiale s'articule autour d'une cour extérieure à arcades et la Dorka'a à double hauteur (figure 6.14 et 6.15). Un très court Malqaf assurant la ventilation naturelle a été intégré au-dessus du Maqa'ad.



Figure 6.14: *Vues sur la maison de Sif El Nasr et son Malqaf à El Fayoum en Égypte*
Source: *Steele (1989)*

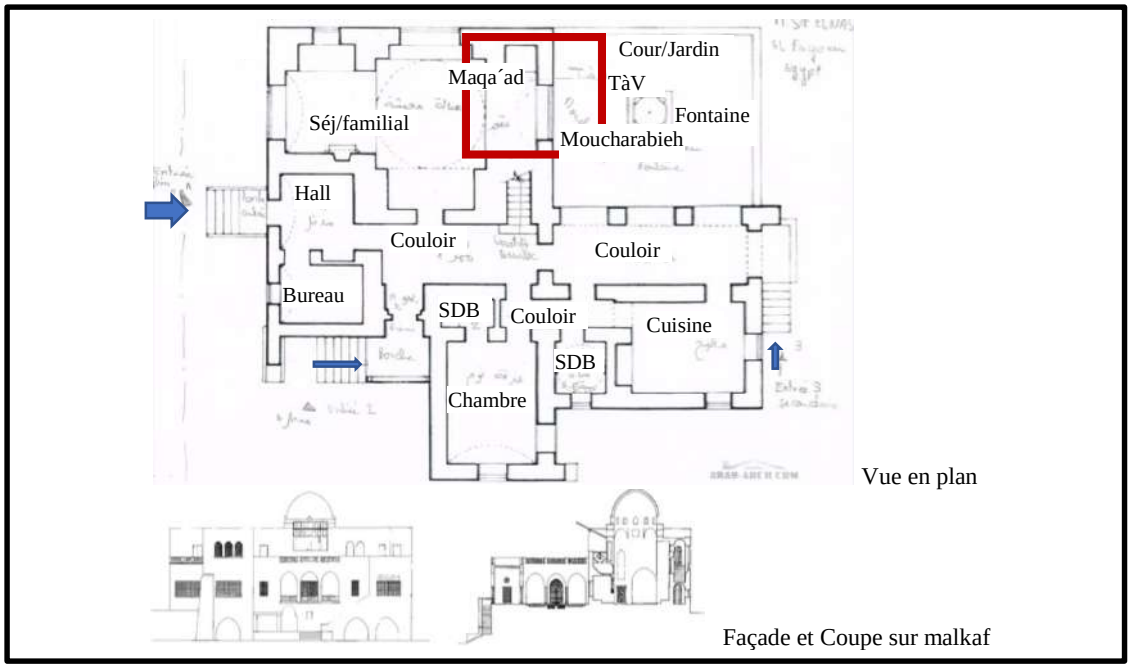


Figure 6.15: *Vue en plan, façade et coupe maison Sif El Nasr à El Fayoum*
Source: *Steele (1989)*

Résultats et interprétations de l'analyse syntaxique

D'après le graphe justifié (figure 6.16) et les résultats numériques mentionnés dans le (tableau

6.6), il a été constaté que:

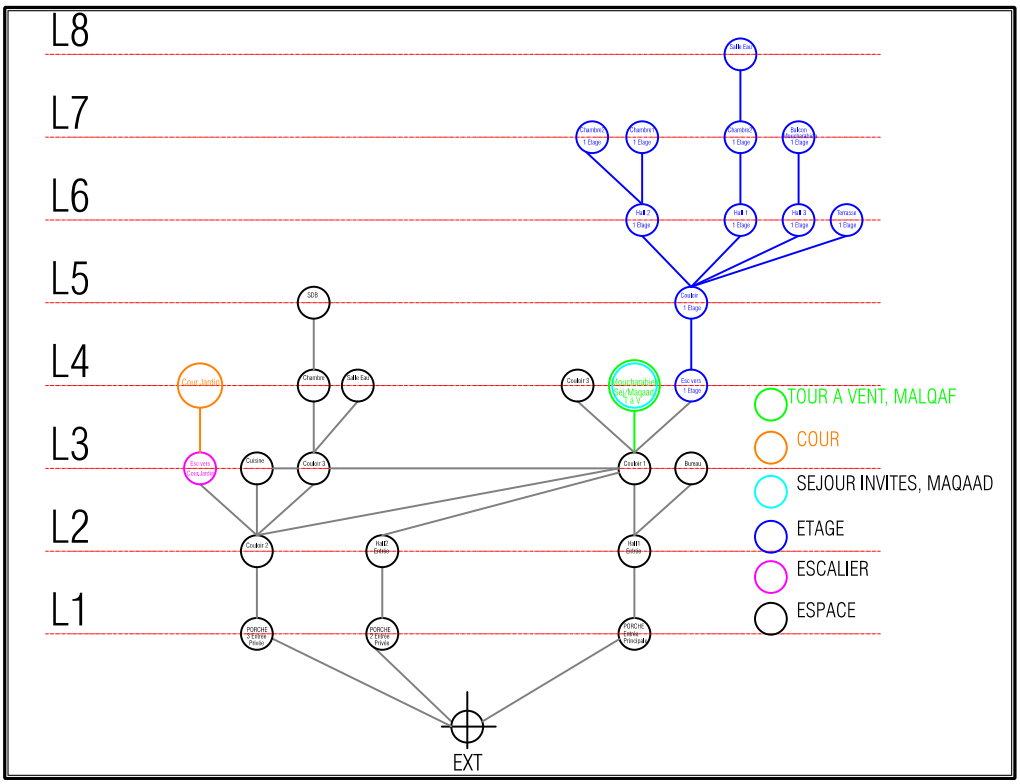


Figure 6.16: *Carte Gamma de la maison Hamdi Sif El Nasr, El Fayoum*

Égypte		Min	Mean	Max	Propriété syntaxique espace doté de tour à vent						
					MDn(T)	RA(T)	I(T)	CV(T)	NC(T)	Cve(T)	Disposition
2/El Fayoum	Profondeur	2.39	3.84	5.64	3.35						
Med Sif El	RA	0.1	0.21	0.34		0.17					Maqa´ad
Nasr	I	2.9	5.12	9.69			5.72				(S/Invités)
1945	CV	0.14	1	3.78				0.14	1	1	

Tableau 6.6: *Résultat mesures syntaxiques maison Hamdi Sif El Nasr, El fayoum*

- Concernant l'aspect syntaxique spatial: Malqaf maison Hamdi Sif El Nasr est sis dans la profondeur moyenne du système global (layer L4/L8), il est dans le même pas syntaxique que l'espace extérieur représenté par la cour. Les autres espaces ayant la même profondeur de ce pas syntaxique en graphe (cour, chambre, salle d'eau, couloir et cage d'escalier), n'ont aucun lien direct spatial ou fonctionnel avec ce dispositif. La topologie de l'espace doté de ce système est de type cul-de-sac (*dead-end spaces*). Cet espace est connecté uniquement à El Maqa'ad. Il ne possède aucun autre mouvement que celui qui y mène et ne se traverse pas. Il dispose d'un potentiel relativement faible où la valeur de contrôle est de 0,14 et le nombre de connexions égale à 1. L'espace doté de Malqaf est superficiel, non profond, il tend à être intégré dans l'ensemble du système vu sa basse valeur de $RA_{(T)}$ qui est de 0,17. Le calcul de la $RRA_{(T)}$ (mesure globale des effets d'intégration/ségrégation), a donné la valeur de 0,924>0,6. Ce chiffre

se réfère aux espaces les plus ségrégués et les plus contrôlés (plus privé / privé) (Ibid, p113).

- Concernant l'aspect socioculturel: il est implanté dans l'espace de vie sociale El Maqa'ad.
- Concernant l'aspect environnemental et la performance thermique du Malqaf: le système assure la ventilation naturelle en période estivale car le climat de la région est chaud et humide.

6.1.4.2 Villa Ismail Abdelrazik à Abu Girg- El Menia, (1941)

Cette villa est célèbre par la forme de sa Dorka'a en double hauteur et les flancs de ces Iwans qui les bordent. Et comme les vents désirés soufflent du côté nord, l'Iwan El Chamali de cette salle de réception a été équipé d'un Malqaf (figure 6.17). La villa sous forme de «L» est composée de 3 parties distinctes: la 1re est centrale (espace d'articulation et de distribution) reliant les ailes, la 2e est destinée à la partie jour (la Dorka'a, la salle à manger et le bureau) et la 3e à la partie nuit (les chambres). Cette relation spatiale est devenue plus tard si fondamentale dans les travaux de Hassen Fathy.

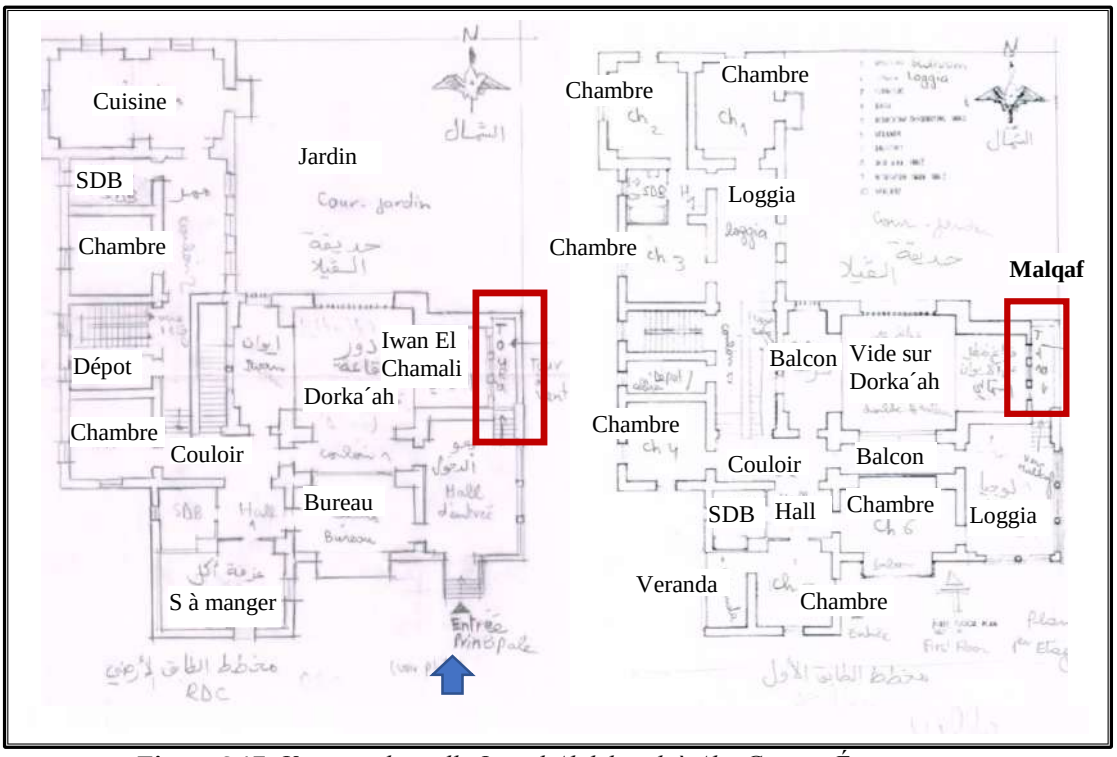


Figure 6.17: *Vues en plan villa Ismail Abdelrazik à Abu Girg en Égypte*
Source: *Serageldin (2007)*

Résultats et interprétations de l'analyse syntaxique

D'après le graphe justifié (figure 6.18) et les résultats numériques mentionnés dans le (tableau 6.7), il a été constaté que:

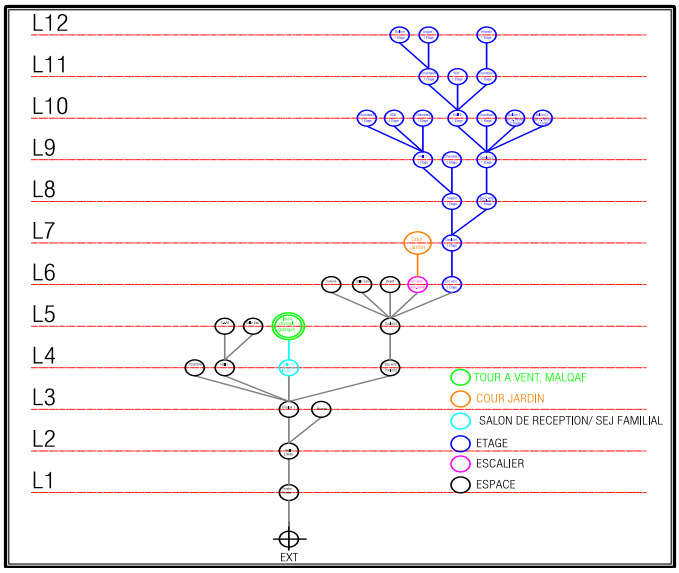


***Figure 6.18**: Carte Gamma de la villa Ismail Abdelrazik à Abu Girg en Égypte*

Égypte		Min	Moy	Max	Propriété syntaxique espace doté de tour à vent						
					MDn(T)	RA(T)	I(T)	CV(T)	NC(T)	Cve(T)	Disposition
1/Abu Girg	Profondeur	3.75	5.54	7.32	6.51						
El Menia	RA	0.15	0.25	0.35		0.3					Iwan El
Ismail. A	I	2.84	4.17	6.52			3.26				Chamali
1941	CV	0.16	1	4.5				0.5	1	1	(S/Invités)

Tableau 6.7: Résultat mesures syntaxiques maison Ismail Abdelrazik à Abu Girg en Égypte

- Concernant l'aspect syntaxique spatial: La tour est à proximité de la profondeur moyenne du système (L5/L12), elle est à deux pas syntaxiques de l'espace extérieur (la cour). Ces deux pas sont la cour et les quelques marches menant vers la cour elle-même. Les espaces se trouvant dans la même profondeur de ce dispositif (la salle à manger, la salle d'eau et le couloir), n'ont pas une liaison spatiale directe avec El Malqaf. La topologie de l'espace doté de ce dispositif est de type cul-de-sac, qui ne permet pas le mouvement transitoire. Cet espace est connecté dans le graphe uniquement à un seul espace qui est l'Iwan Chamali du Dorka'a. Il possède un faible contrôle (0.5 $CV_{(T)}$ < 1 CV_{moy}) et un impact assez faible sur les mouvements. L'espace doté de Malqaf est superficiel tend à être intégré dans l'ensemble du système vu la basse valeur de $RA_{(T)}$ qui est de 0.3. Le calcul de la $RRA_{(T)}$ (mesure plus sensible des effets d'intégration/ségrégation), donne la valeur de 1.899>1. Cette dernière se réfère aux espaces les plus ségrégués et les plus contrôlés (plus privé/privé) (SHOUL, 1993; SUNGUR & ÇAGDAS, 2003).

- Concernant l'aspect socioculturel, cette tour est implantée dans l'Iwan Chamali du *Dorka'a*.

- Concernant l'aspect environnemental et la performance thermique du Malqaf, le système passif adopté pour le rafraîchissement du Dorka'a est la jarre poreuse en argile et le charbon en bois (système très répandu dans cette époque).

6.1.4.3 Villa Tahar El Umari Bek El Fayoum, (1937)

Cette villa en R+1 est sise à Sidmant Al-Gabal dans El Fayoum à climat désertique. Elle est d'une architecture locale rurale. Le plan est linéaire, caractérisé par un Malqaf desservant les deux niveaux. El Malqaf sert à ventiler à la fois Ghorfat El M'aicha au RDC via une bouche de soufflage au niveau du plancher et la chambre du 1er étage (figure 6.19) et (figure 6.20).

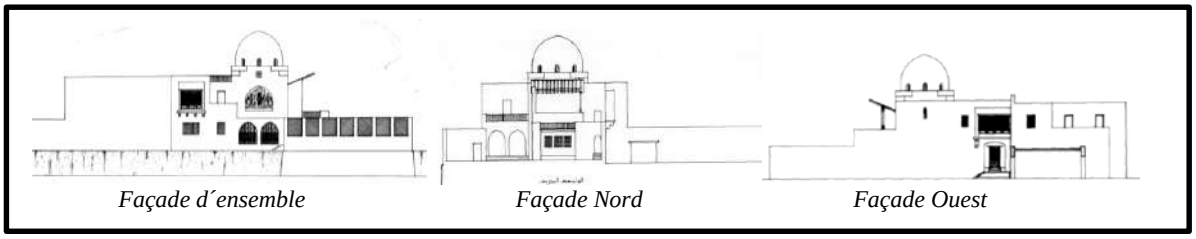
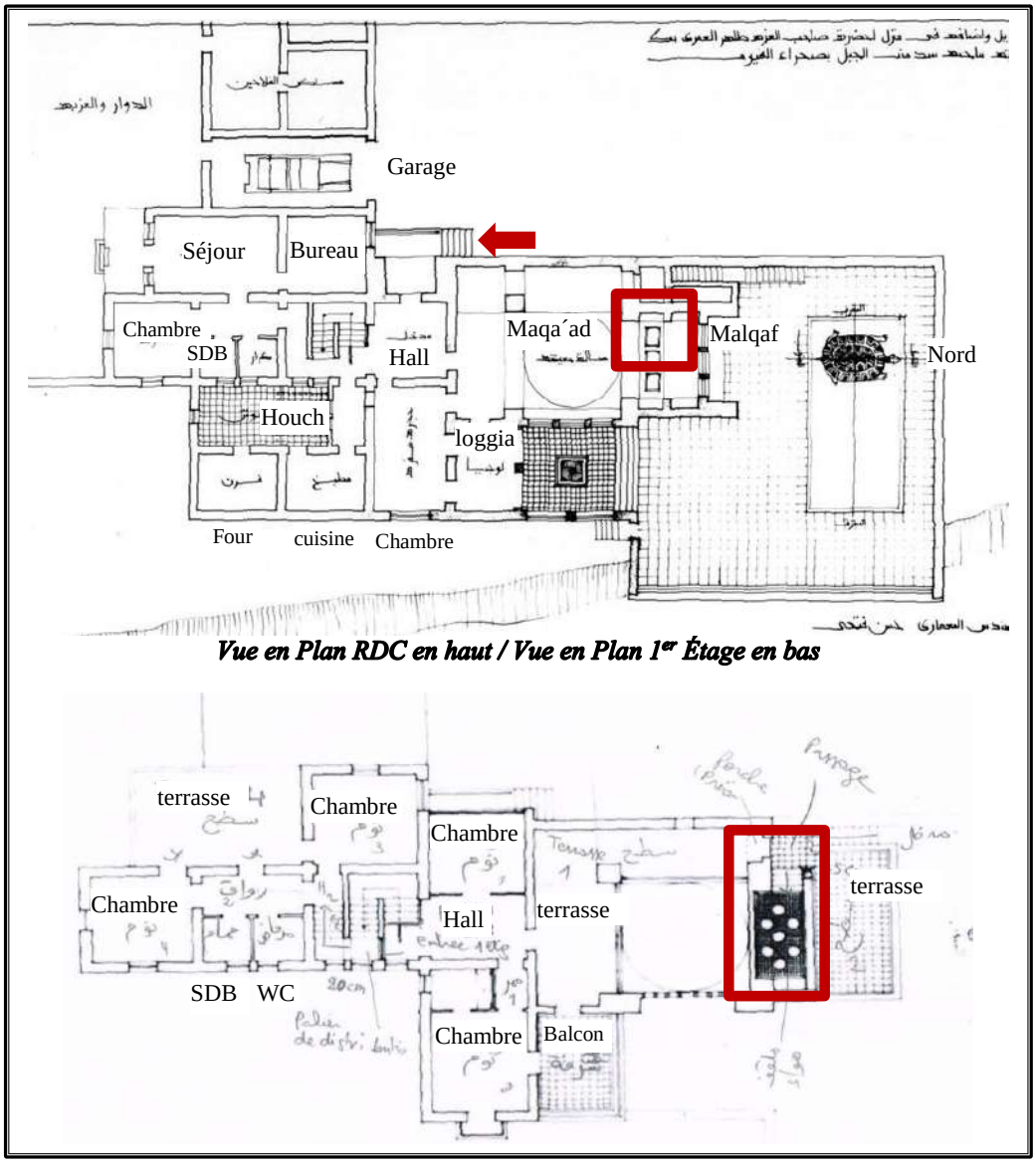


***Figure 6.19**: Façades villa Tahar El Umari, El Fayoum*
Source: Steele (1997)



Vue en Plan RDC en haut / Vue en Plan 1er Étage en bas

***Figure 6.20**: Vues en plan villa Tahar El Umari, El Fayoum*
***Source**: Steele (1997)*

Résultats et interprétations de l'analyse syntaxique

D'après le graphe justifié (figure 6.21) et les résultats mentionnés dans le (tableau 6.8) ci-dessous, il a été constaté que:

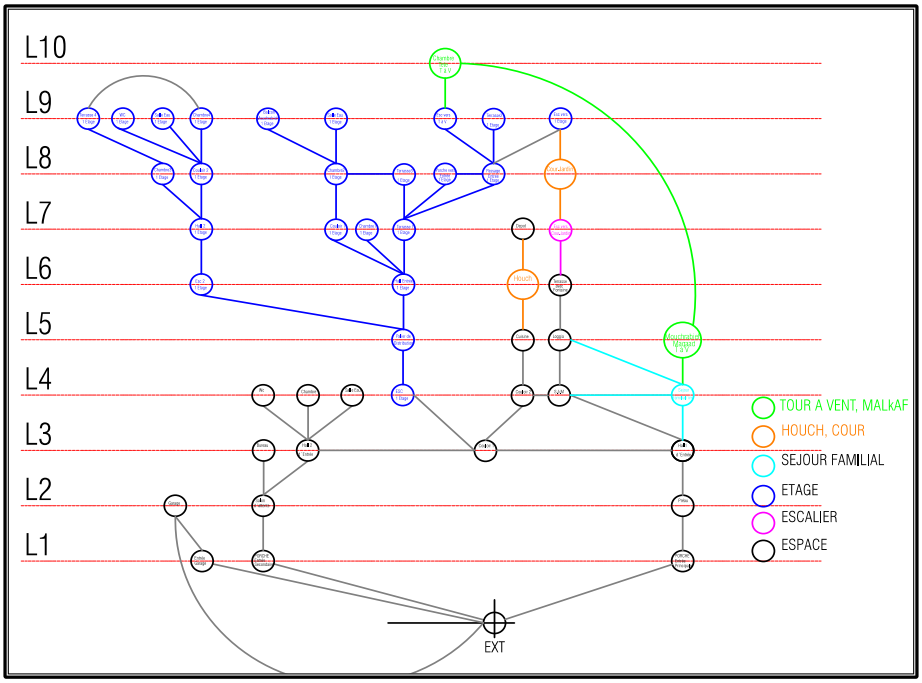


***Figure 6.21**: Carte Gamma de la maison de Tahar El Umari, El Fayoum*

Égypte		Min	Moy (Mean)	Max	Propriété syntaxique espace doté de tour à vent						
					MDn(T)	RA(T)	I(T)	CV(T)	NC(T)	Cve(T)	Disposition
3/El Fayoum	Profondeur	3.79	5.54	7.22	5.18						Maqa´ad
Med Taher	RA	0.11	0.19	0.26		0.17					(S/ invités)
El Umari TàV	I	3.77	5.4	8.41			5.61				RDC
a- El Maqa´ad	CV	0.2	1	3.58				1	2	0.5	
	Profondeur				5.35						chambre
b- TàV /Ch	RA					0.18					(tête)
	I						5.39				
	CV							1	2	0.5	

***Tableau 6.8**: Résultat mesures syntaxiques maison Tahar El Umari, El fayoum*

- Concernant l'aspect syntaxique spatial: La tour à vent de la maison est sise dans la profondeur moyenne (L5/L10), elle est à 1 pas syntaxique de l'espace extérieur représenté par la cour et El Houch. Les espaces qui sont à la même profondeur qu'El Maqa'ad (où El Malqaf est intégrée) comme le palier d'escalier, la cuisine et la loggia, n'ont pas de relation spatiale directe avec ce système de ventilation. La tête de ce dernier est accessible au dernier étage. La topologie de l'espace de la tour à vent est de type -a- cul-de-sac, espace sans issue. Il n'est connecté qu'à un seul espace qui est El Maqa'ad, il n'a aucun mouvement autre que celui qui y mène et il ne se traverse pas. Il dispose d'un potentiel relativement élevé où la valeur de contrôle est de 1. Le

nombre de connexions avec les autres espaces est de deux, relativement faible. L'espace doté de Malqaf est superficiel tend à être intégré dans l'ensemble du système vu la basse valeur de RA où $RA_{(Maqaad)}$=0.17 et $RA_{(chambre)}$=0.18 respectivement. Le calcul de la $RRA_{(T)}$ (mesure plus sensible des effets d'intégration/ségrégation), donne les valeurs suivantes de $RRA_{(Maqa'ad)}$=1.259 et $RRA_{(chambre)}$=1.333 respectivement. Ces valeurs se réfèrent aux espaces les plus ségrégués et les plus contrôlés (plus privé/privé) (SHOUL, 1993; SUNGUR et ÇAGDAS, 2003).

- Concernant l'aspect socioculturel, cette tour est intégrée dans l'espace de vie sociale de la famille El Maqa'ad au RDC, et est adjacente à l'espace de repos (chambre et terrasse) au 1er étage.

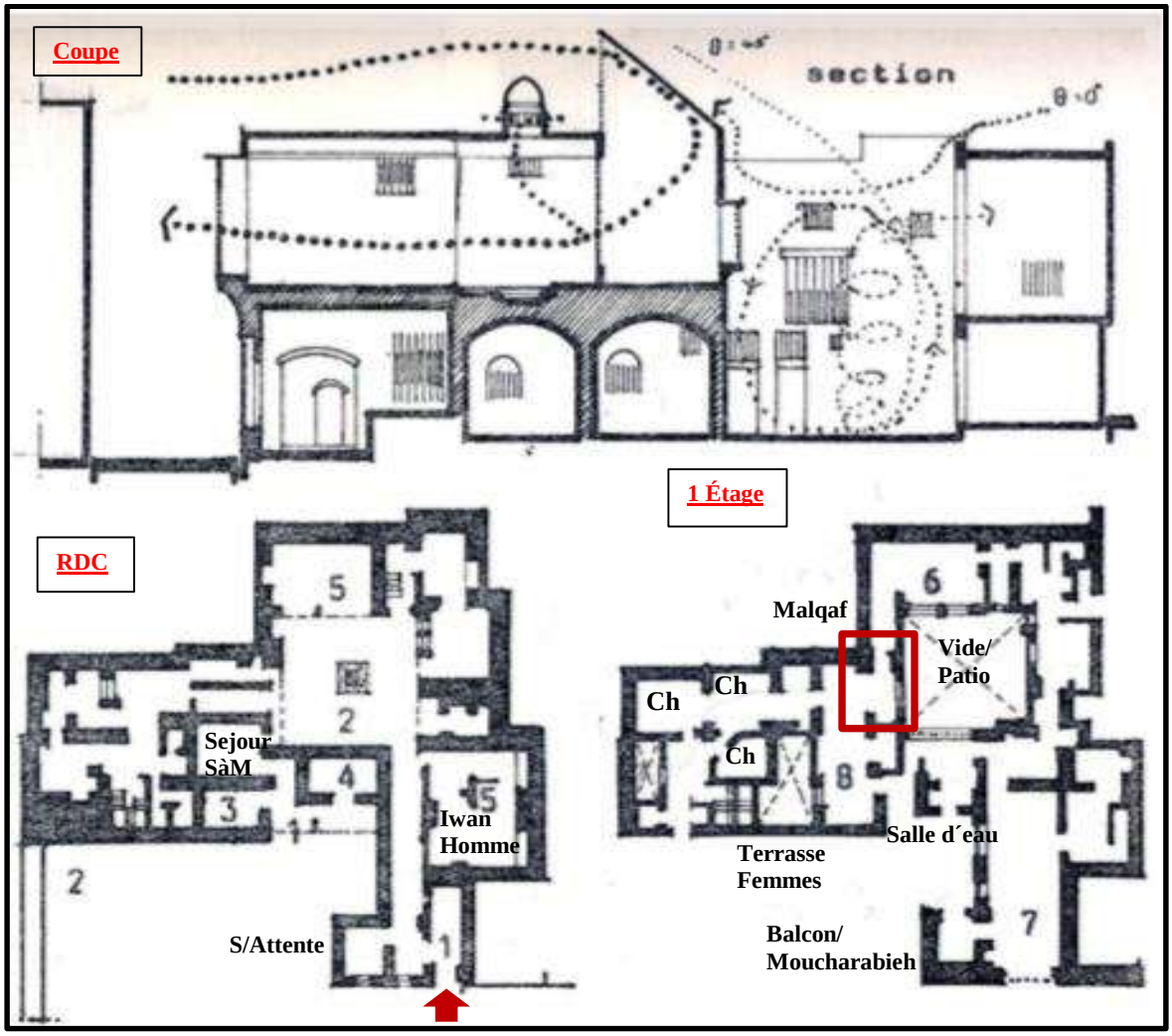
- Concernant l'aspect environnemental et la performance thermique de la tour à vent maison El Umari, le système passif adopté pour le rafraîchissement du Maqa'ad est la jarre poreuse en argile et le charbon en bois (système très répandu dans cette époque).

6.1.4.4 Maison El Sennary au Caire, (1794)

Est un palais archéologique situé à Sayeda Zeinab, au centre du Caire, construit par un marchand soudanais. La maison a été transformée actuellement en un centre culturel. Son architecture est similaire en organisation spatiale à celle des maisons islamiques de l'époque (Mamlouk), où la cour est implantée au centre, équipée d'une petite fontaine et entourée des palmiers, offrant ainsi une vue sur toutes les pièces. La maison dispose d'une seule façade sur une impasse. Le rez-de-chaussée est réservé aux services (cuisine, salle d'eau, un petit puits et espace de stockage), tandis que le 1er étage est réservé au rassemblement hommes (Salamlek), et rassemblement femmes (Haramlek) avec quelques chambres privées. Le séjour privé femmes est doté d'un balcon traité en Moucharabieh (figure 6.22 et 6.23). Au-dessus de ce dernier un Malqaf est intégré assurant la ventilation naturelle requise en été (Safwat, 2013).



***Figure 6.22**: Vues d'intérieur maison El Sennary, Caire*
***Source**: Safwat, (2013).*



1-Entrée 2-Cour 3-Cuisine 4-Stockage 5-El Takhtabouche 6-El Maqa´ad...7-Ka´ah 8-Ka´ah

***Figure 6.23**: Vues en plan maison El Sennary, Caire*

***Source**: Safwat, (2013)*

Résultats et interprétations de l'analyse syntaxique

D'après la (figure 6.24) et les résultats mentionnés dans le (tableau 6.9), il a été constaté que:

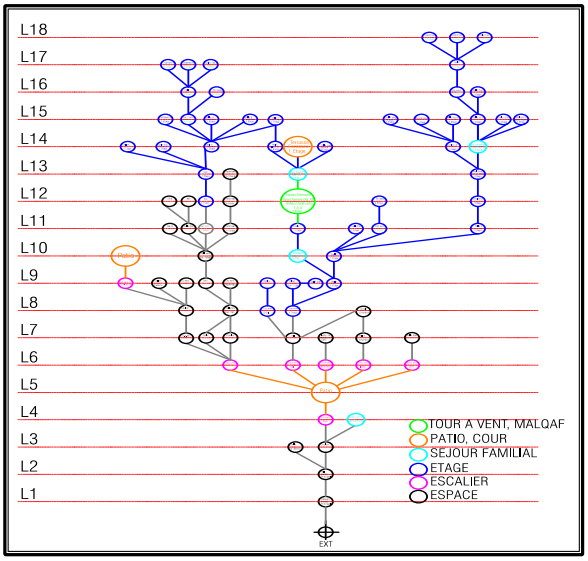


***Figure 6.24**: Carte Gamma de la maison El Sennary, Caire*

Égypte		Min	Moy	Max	Propriété syntaxique espace doté de tour à vent						
					MDn(T)	RA(T)	I(T)	CV(T)	NC(T)	Cve(T)	Disposition
4/Caire	Profondeur	6.38	8.88	13.25	7.48						Prolongement du Ka´ah
El Sennary	RA	0.12	0.18	0.28		0.15					(Traité en
1794	I	3.52	5.60	7.89			6.55				Moucharabieh)
	CV	0.16	1	3.5				1.83	3	0.33	

***Tableau 6.9**: Résultat mesures syntaxiques maison El Sennary, Caire*

- Concernant l'aspect syntaxique: l'espace doté du Malqaf est très proche de la profondeur moyenne ($MD_{(T)}$= 7.48; MD(moy)= 8.88). Il est lié à 2 pas syntaxiques de l'espace extérieur (l'espace Ka'ha puis la terrasse femmes). Tous les espaces implantés sur la même ligne de pas syntaxique qu'El Malqaf (tels que la salle de bain, le WC, le hammam et l'escalier) n'ont aucune relation spatiale ou fonctionnelle directe avec ce dispositif. L'espace d'implantation du Malqaf est de type «b» impliquant des propriétés configurationnelles arborescentes et limitant le choix de circulation aux occupants. Il dispose d'un potentiel relativement élevé où la valeur de contrôle est de 1.83>1. Cette propriété prend en considération les relations entre cet espace et son voisinage immédiat. Le nombre de connexions avec les autres espaces est de 3. L'espace doté de ce dispositif est superficiel tend à être intégré dans l'ensemble du système vu la basse valeur de $RA_{(T)}$ qui est de 0.15. Le calcul de la $RRA_{(T)}$ donne la valeur de 1.595>1. Cette dernière se réfère aux espaces les plus ségrégués et les plus contrôlés (SHOUL, 1993, SUNGUR et ÇAGDAS, 2003). Donc, l'espace de son implantation est privé et isolé du système global maison.

- Concernant l'aspect socioculturel : El Malqaf est sis dans El Haramlek séjour rassemblement femmes, il est connecté directement à un espace extérieur traité en Moucharabieh donnant ainsi la possibilité aux femmes de la maison de voir le patio central sans être vu.

-Concernant l'aspect environnemental, Malqaf maison EL Sennary favorise la ventilation naturelle très convoitée dans le climat chaud et humide de la ville. Un courant d'air est assuré dans El Ka'ah à travers trois sources d'approvisionnement d'air à savoir: le Malqaf, la moucharabieh et la terrasse. Ces dernières contribuent à la création d'une ventilation transversale permanente à l'intérieur.

6.1.5 Maisons en Émirats arabes unies

Les exemples des maisons choisis en E.A.U sont sis à El Fahidi, Bastakia, l'un des plus anciens sites historiques résidentiels à Dubaï. Le site comprenant 60 maisons de grandes écoutes à leurs époques dont la plupart d'entre elles étaient la propriété de riches marchands persans. Le tissu est compact, de ruelles étroites, caractérisé par la présence des Badgirs (figure 6.25).

La plupart de ces maisons ont été réaffectées en zone culturelle touristique après rénovation. (Municipalité Dubaï du patrimoine, 2017).



***Figure 6.25**: Vues générales sur les maisons de Bastakia (ancien site réaffectées en zone touristique)*

6.1.5.1 Maison M^{ed} Salah Fikree, El Bastakia Dubai

Le dossier graphique de la maison est présenté (figure 6.26) ci-dessous:

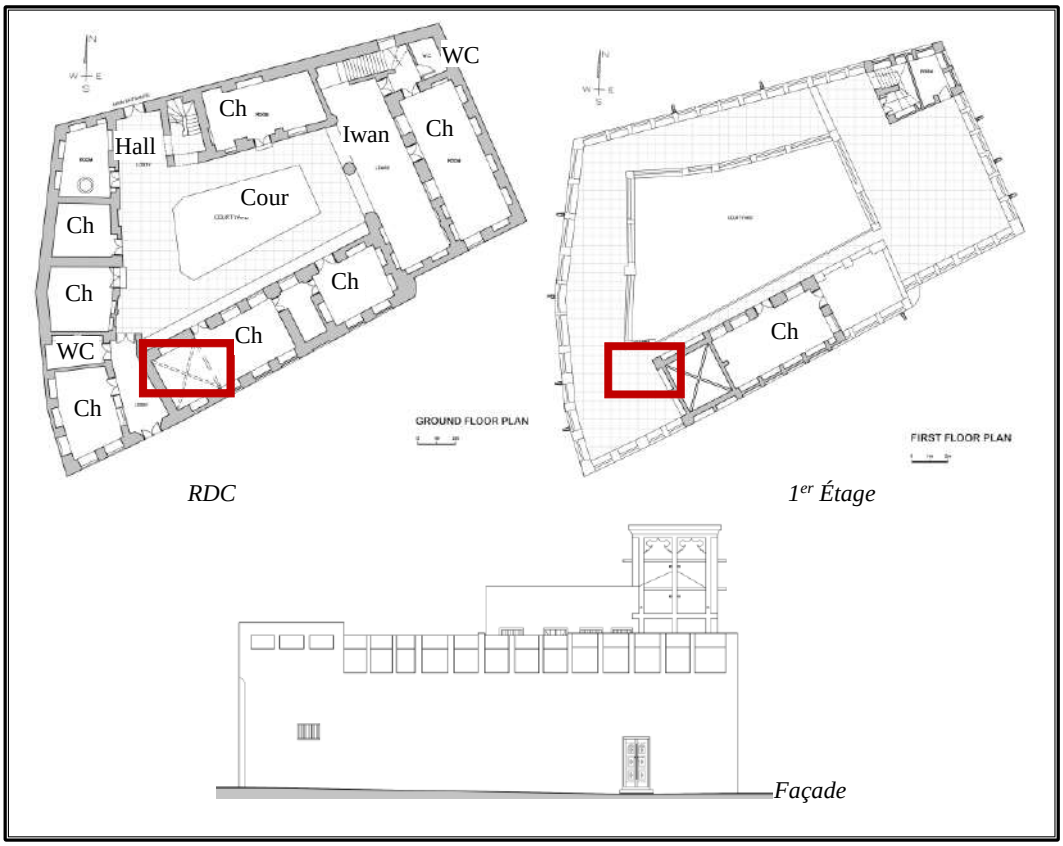


***Figure 6.26**: Vues en plan et façade principale maison M^{ed} Salah Fikree, Dubaï*
***Source:** Municipalité du patrimoine Dubaï (2017)*

Résultats et interprétations de l'analyse syntaxique

D'après le graphe justifié en (figure 6.27) et les résultats calculés mentionnés dans le (tableau 6.10), il a été constaté que:

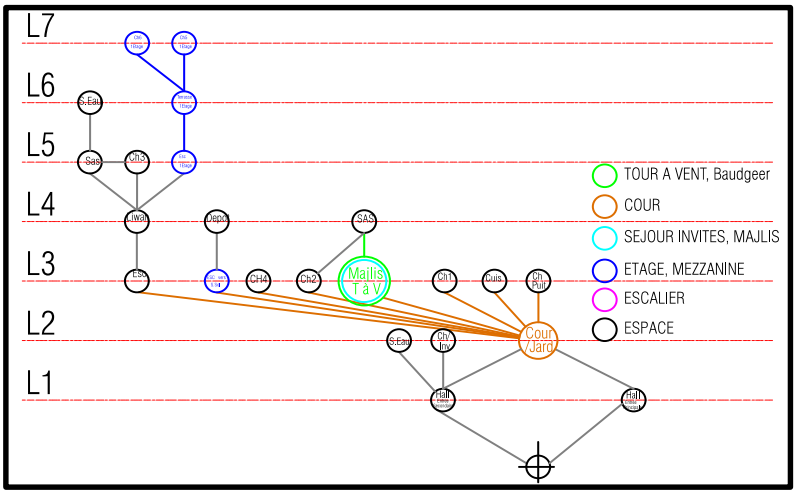


***Figure 6.27**: Carte Gamma pour la maison M^ed Salah Fikree, Dubaï UAE*

					Propriété syntaxique espace doté de tour à vent						
		Min	Mean	Max	MDn(T)	RA(T)	I(T)	CV(T)	NC(T)	Cve(T)	Disposition
1/Dubai,	Profondeur	2.21	3.6	5.26	3.08						
El Bastakia	RA	0.11	0.23	0.38		0.18					El Majlis
Med Salah	I	2.58	4.62	9.03			5.27				(S/Invités)
Fikree	CV	0.11	1	6.25				0.61	2	0.5	RDC

***Tableau 6.10**: Résultats mesures syntaxiques maison M^ed Salah Fikree, Dubaï UAE*

- Concernant l'aspect syntaxique spatial: L'espace d'implantation du Badgir maison Fikree est très proche de la profondeur moyenne (layer L3/L7 où $MD_{(T)}$= 3.08; $MD_{(moy)}$= 3.6), il est à 1 pas syntaxique au-dessus de l'espace extérieur (la cour). Les espaces se trouvant à la même profondeur que l'espace doté de ce dispositif tels que les chambres et la cuisine, n'ont pas une liaison spatiale directe avec lui. L'espace équipé du Badgir est de type « b ». Il implique des propriétés configurationnelles arborescentes, qui limite le choix de circulation aux occupants. Il dispose d'un potentiel relativement faible avec son voisinage immédiat où la valeur de contrôle est de 0.5. La valeur de la connectivité avec les autres espaces est de 2, relativement faible. L'espace doté du Badgir est superficiel tend à être intégré dans l'ensemble du système vu la basse valeur de $RA_{(T)}$ qui est de 0.18. Le calcul de la $RRA_{(T)}$(mesure plus sensible des effets d'intégration/ségrégation), donne la valeur de 0.878>0.6. Cette dernière se réfère aux espaces ségrégués et contrôlés (Ibid, p113). Donc l'espace doté de Badgir est privé et isolé.

- Concernant l'aspect socioculturel: le Badgir est implanté dans l'espace de vie sociale El Majlis.

- Concernant l'aspect environnemental et la performance thermique: Le Badgir assure la ventilation naturelle très convoité en été vis-à-vis le climat chaud et humide de la ville.

6.1.5.2 Maison Abdullah M^ed El Bastaki, El Bastakia Dubaï

Le dossier graphique de cette maison est présenté (figure 6.28) ci-dessous:

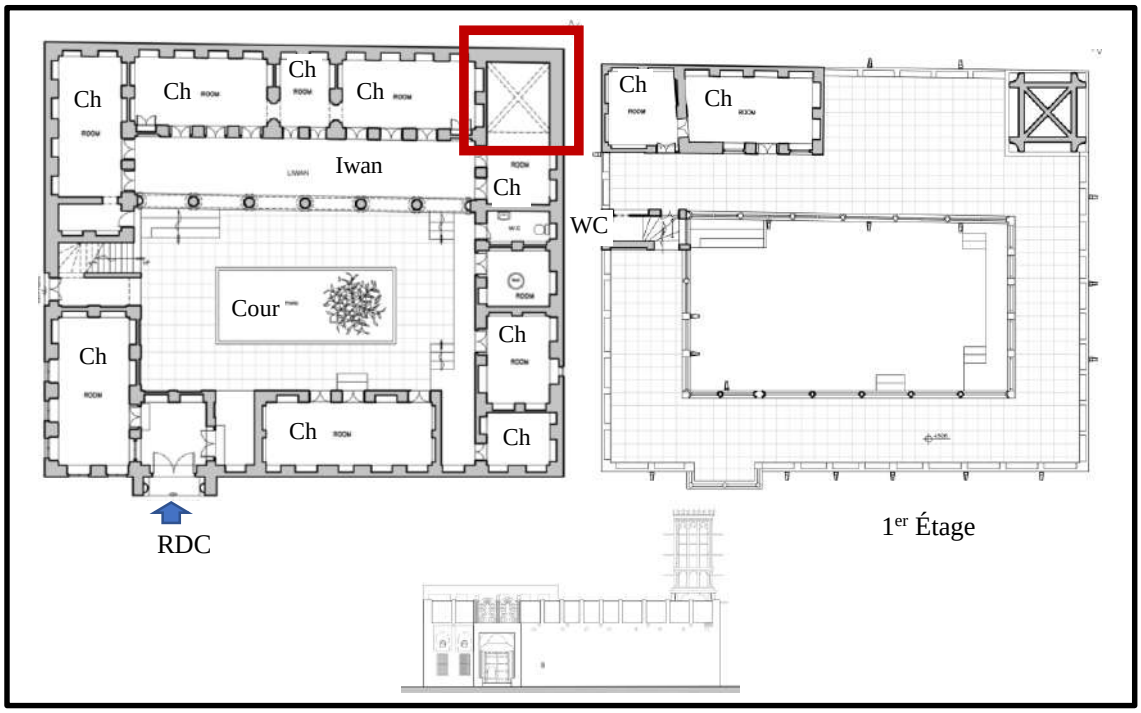


***Figure 6.28**: Vues en plans et façade principale maison El Bastaki, Dubaï*
***Source :** Municipalité du patrimoine Dubaï (2017)*

Résultats numériques de l'analyse syntaxique

D'après le graphe justifié (figure 6.29) et les résultats mentionnés dans le (tableau 6.11) ci-dessous, il a été constaté que:

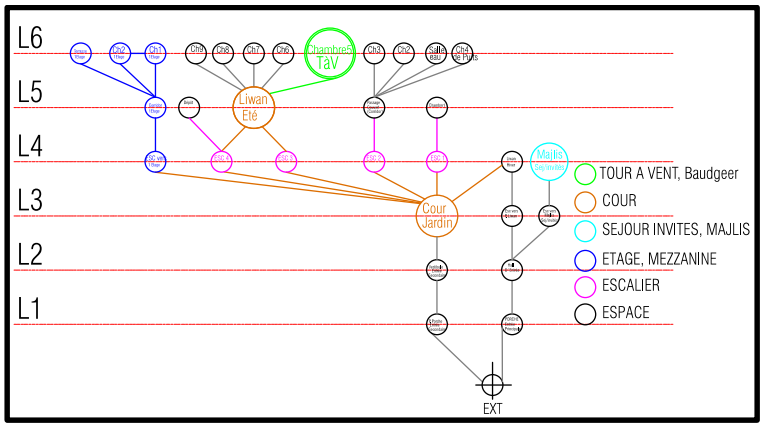


***Figure 6.29**: Carte Gamma pour la maison El Bastaki, Dubaï*

2/Dubai,		Min	Mean	Max	Propriété syntaxique espace doté de tour à vent						
					MDn(T)	RA(T)	I(T)	CV(T)	NC(T)	Cve(T)	Disposition
Bastakia	Profondeur	2.45	4.19	6.25	4.58						
Abdullah	RA	0.09	0.21	0.35		0.23					Grande
Med	I	2.85	5.06	10.33			4.18				Chambre
El Bastaki	CV	0.14	1	5.33				0.16	1	1	RDC

***Tableau 6.11**: Résultats mesures syntaxiques maison El Bastaki, Dubaï*

- Concernant l'aspect syntaxique spatial: L'espace d'implantation du Badgir maison Al Bastaki est très proche de la profondeur moyenne où $MD_{(T)}$= 4.58; $MD_{(moy)}$= 4.19), il est à 1 pas syntaxique au-dessous de l'espace extérieur couvert et ouvert (l'Iwan d'été). Les espaces se trouvant à la même profondeur que l'espace doté de ce dispositif sont des chambres similaires à l'espace en question. La topologie de l'espace du Badgir est de type « a » cul-de-sac, espace sans issue. Il est connecté dans le graphe uniquement à un seul espace qui est l'Iwan nord d'été. Il ne possède aucun autre mouvement que celui qui y mène et ne se traverse pas. Il dispose d'un potentiel relativement faible avec son voisinage immédiat où la valeur de contrôle est de 0.16. Le nombre de connexions avec les autres espaces est de 1 (faible). L'espace doté du Badgir est superficiel tend à être intégré dans l'ensemble du système vu la basse valeur de $RA_{(T)}$ qui est de 0.23. Le calcul de la $RRA_{(T)}$ (mesure plus sensible des effets d'intégration/ségrégation), donne la valeur de 1.321>1. Cette dernière se réfère aux espaces les plus ségrégués et les plus contrôlés (SHOUL, 1993; SUNGUR et ÇAGDAS, 2003).

- Concernant l'aspect socioculturel: le Badgir est sis dans l'espace de repos (la grande chambre).

- Concernant l'aspect environnemental et la performance thermique: Le Badgir assure la ventilation naturelle très convoité en été pour le climat chaud et humide de la ville.

6.1.5.3 Maison Mir Abdullah Amiri, El Bastakia Dubai

Le dossier graphique de cette maison est présenté (figure 6.30) ci-dessous:

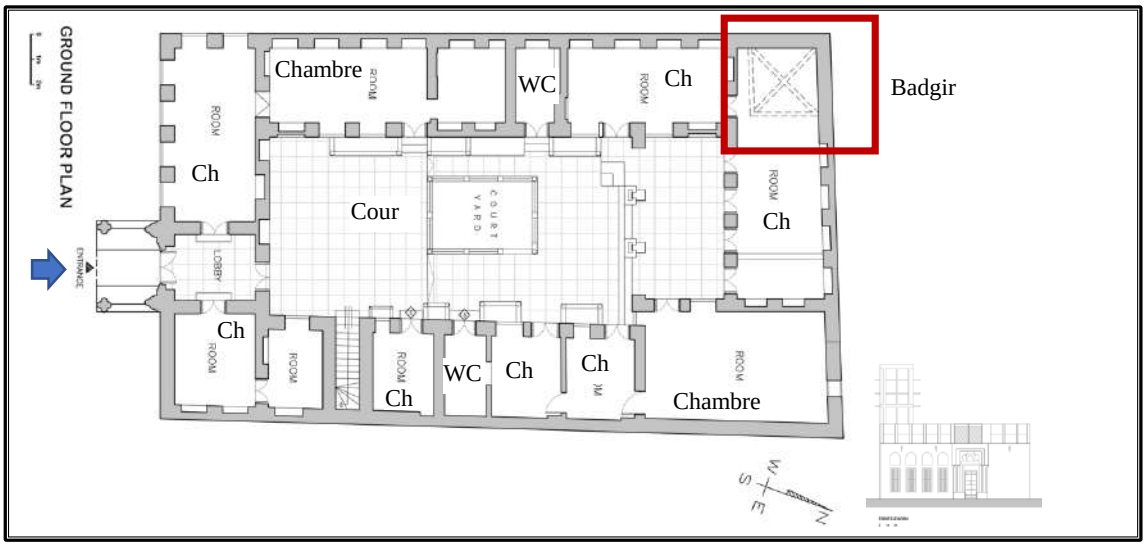


***Figure 6.30**: Vue en plan RDC et façade principale maison Mir Abdullah, Dubaï*
***Source**: Municipalité du patrimoine Dubaï (2017)*

Résultats numériques de l'analyse syntaxique

D'après le graphe justifié (figure 6.31) et les résultats mentionnés dans le (tableau 6.12) ci-dessous, il a été constaté que:

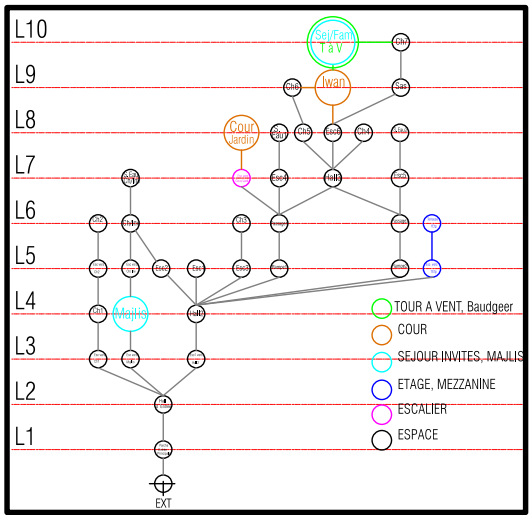


***Figure 6.31**: Carte Gamma de la maison Mir Abdullah, Dubaï*

3/Dubai		Min	Mean	Max	Propriété syntaxique espace doté de tour à vent						
					MDn(T)	RA(T)	I(T)	CV(T)	NC(T)	Cve(T)	Disposition
Bastakia	Profondeur	3.15	4.89	7.73	6.31						
Mir	RA	0.11	0.21	0.36		0.28					Sej/Fam
Abdullah	I	2.74	5.07	8.57			3.48				RDC
Amiri	CV	0.14	1	4				0.83	2	0.5	

***Tableau 6.12**: Résultats mesures syntaxiques maison Mir Abdullah, Dubaï*

Concernant l'aspect syntaxique spatial: L'espace d'implantation du Badgir maison Al Amiri est proche de la profondeur maximale où $MD_{(T)}$= 6.31; $MD_{(max)}$= 7.73), il est à 1 pas syntaxique au-dessus de l'espace extérieur couvert et ouvert (Iwan). Le seul espace se trouvant dans le même pas syntaxique que l'espace doté de ce dispositif est la chambre. Cette dernière a une relation directe avec la tour à vent. La topologie de l'espace du Badgir est de type « a » cul-de-sac, espace sans issue. Il est connecté dans le graphe uniquement à un seul espace qui est l'Iwan. Il ne possède aucun autre mouvement que celui qui y mène et ne se traverse pas. Il dispose d'un potentiel relativement faible avec son voisinage immédiat où la valeur de contrôle est de 0.83<1. Le nombre de connexions avec les autres espaces est de 2 (relativement faible). L'espace doté du Badgir est superficiel tend à être intégré dans l'ensemble du système vu la basse valeur de $RA_{(T)}$ qui est de 0.28. Le calcul de la $RRA_{(T)}$ (mesure plus sensible des effets d'intégration/ségrégation), donne la valeur de 1.806>1. Cette dernière se réfère aux espaces les plus ségrégués et les plus contrôlés (SHOUL, 1993; SUNGUR et ÇAGDAS, 2003).

- Concernant l'aspect socioculturel: le Badgir est implanté dans l'espace de vie familiale.
- Concernant l'aspect environnemental et la performance thermique: Le Badgir assure la ventilation naturelle très convoitée en été pour le climat chaud et humide de la ville.

6.1.5.4 Maison Sherif Sultan El Olama, El Bastakia Dubai

Cette maison est équipée de deux tours à vent voir figure (6.32) ci-dessous:

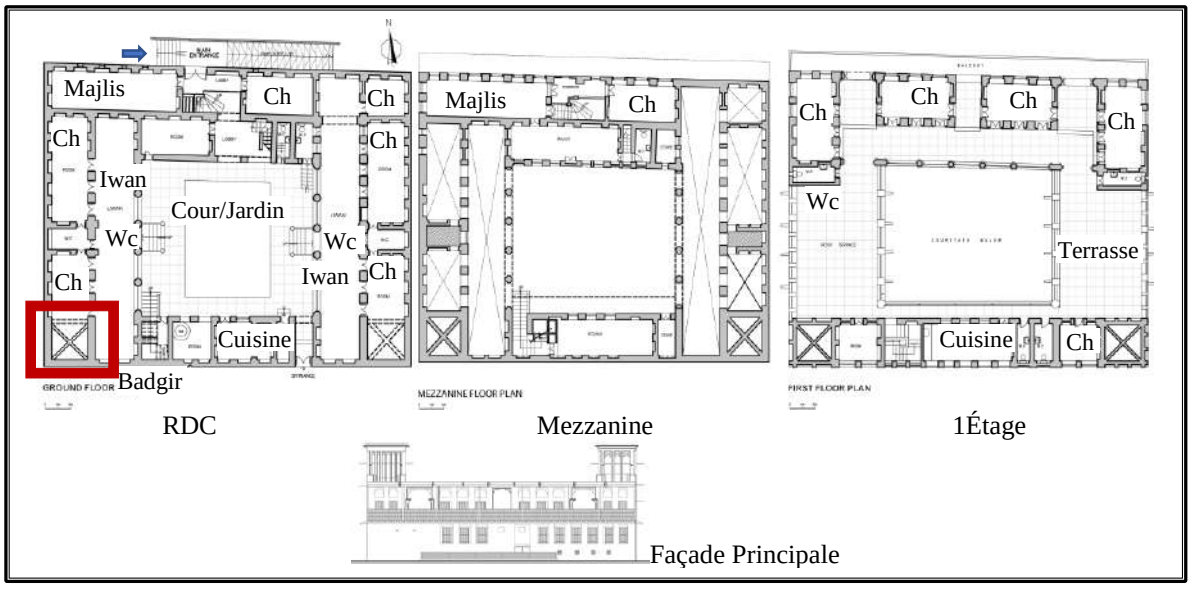


Figure 6.32: *Vues en plan et façade principale maison Sherif Sultan, Dubaï*
Source: *Municipalité du Patrimoine Dubaï (2017)*

Résultats numériques de l'analyse syntaxique

D'après la figure 6.33 et les résultats mentionnés dans le (tableau 6.13), il a été constaté que:

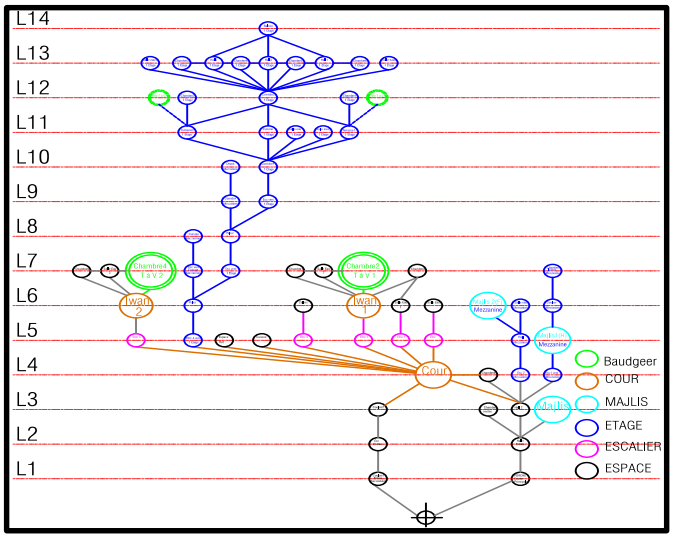


Figure 6.33: *Carte Gamma de la maison Sherif Sultan, Dubaï*

4/Dubai, E.A.U		Min	Moy	Max	Propriété syntaxique espace doté de tour à vent						
					MDn(T)	RA(T)	I(T)	CV(T)	NC(T)	Cve(T)	Disposition
	Profondeur	4.17	6.45	9.23	6.89						
Bastakia	RA	0.1	0.17	0.26		0.18					Grande
Sherif Sultan	I	3.82	6.06	9.93			5.34				Chambre
a- TàV1/Ch	CV	0.09	1	7				0.58	2	0.5	RDC
	Profondeur				6.79						
b- TàV2 /Ch	RA					0.18					Grande
	I						5.43				Chambre
	CV							0.53	2	0.5	RDC

Tableau 6.13: *Résultats mesures syntaxiques maison Sherif Sultan, Dubaï*

- Concernant l'aspect syntaxique spatial: L'espace d'implantation des deux Badgirs est très proche de la profondeur moyenne du système global ($MD_{(T1)}$= 6.89; $MD_{(T2)}$= 6.79 et $MD_{(moy)}$= 6.45). Pour les deux cas de Badgirs, ces espaces sont à un pas syntaxique au-dessus de l'espace extérieur (l'Iwan1 et l'Iwan2). Les espaces se trouvant sur le même pas syntaxique que l'espace doté pour chaque Badgir (chambres) sont fortement liés à ce dispositif de ventilation. Dans cette maison, chaque espace équipé de Badgir est du type « b » limitant le choix de circulation aux occupants. Il dispose d'un potentiel relativement faible avec son voisinage immédiat ($Cv_{(T1)}$ = 0.58; $Cv_{(T2)}$= 0.53 et d'un nombre de connexions faible ($Nc_{(T1)}$= 2; $Nc_{(T2)}$=2). Les deux espaces dotés de Badgir sont superficiels tendent à être intégré dans l'ensemble du système vu la basse valeur de $RA_{(T)}$ qui est de 0.18 chacune. Le calcul de la $RRA_{(T)}$, donne la valeur de 1.621>1. Cette dernière se réfère aux espaces les plus ségrégués et les plus contrôlés (SHOUL, 1993; SUNGUR et ÇAGDAS, 2003). Donc les deux espaces dotés de Badgirs sont privés et isolés.

- Concernant l'aspect socioculturel: les deux Badgirs sont implantés dans les chambres.
- Concernant l'aspect environnemental et la performance thermique: Le Badgir assure la ventilation naturelle très convoitée en été pour le climat chaud et humide de la ville.

6.1.5.5 Maison Mir Abdulwahid, El Bastakia Dubaï

Cette maison est équipée de deux tours à vent dont la 1ère desservant le RDC et la 2e desservant le 1er étage, comme l'indique le dossier graphique (figure 5.34) ci-dessous:

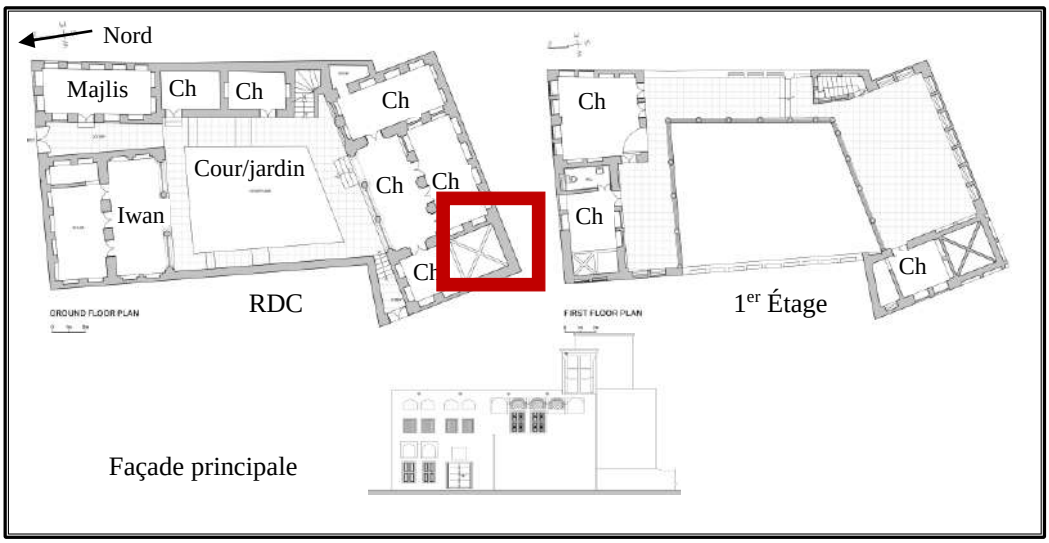


Figure 6.34: *Vues en plan et façade principale maison Mir Abdulwahid, Dubaï*
Source: *Municipalité du patrimoine Dubaï (2017)*

Résultats numériques de l'analyse syntaxique

D'après le graphe justifié (figure 6.35) et les résultats mentionnés dans le (tableau 6.14) ci-dessous, il a été constaté que:

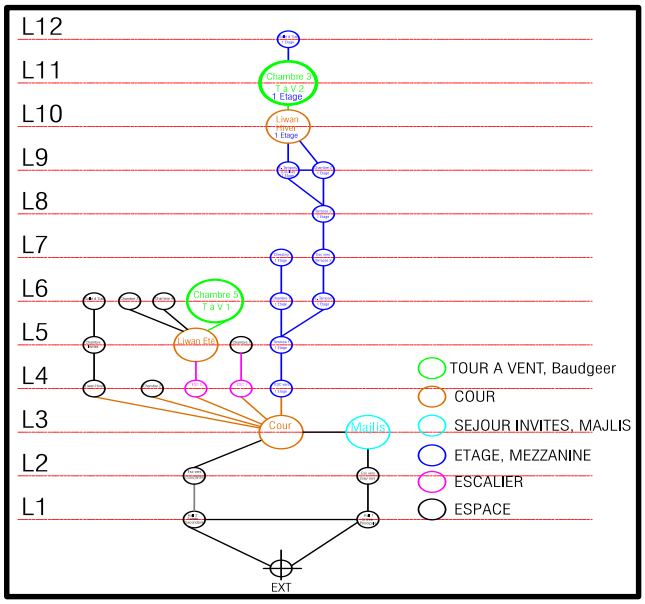


***Figure 6.35**: Carte Gamma de la maison Mir Abdulwahid, Dubaï*

		Min	Mean	Max	Propriété syntaxique espace doté de tour à vent						
					MDn(T)	RA(T)	I(T)	CV(T)	NC(T)	Cve(T)	Disposition
5/Dubai,	Profondeur	3.17	5.05	8.72	5.58						
El Bastakia	RA	0.15	0.28	0.55		0.32					Grande
Mir Abdulwahid	I	1.81	3.75	6.44			3.05				Chambre
a- TàV1/Ch	CV	0.14	1	4				0.25	1	1	RDC
	Profondeur				7.75						
b- TàV2 /Ch	RA					0.48					Grande
	I						2.07				Chambre
	CV							1.5	2	0.5	1Etage

***Tableau 6.14**: Résultats mesures syntaxiques maison Mir Abdulwahid, Dubaï*

- Concernant l'aspect syntaxique spatial:

Cas du 1er Badgir desservant le rez-de-chaussée: L'espace d'implantation du 1er Badgir est sis dans la profondeur moyenne du système global (L6/L12 où $MD_{(T1)}$= 5.58; $MD_{(moy)}$= 5.05), il est à 1 pas syntaxique au-dessus de l'espace extérieur (l'iwan). Les espaces se trouvant sur le même pas syntaxique que l'espace doté de Badgir (chambres) sont fortement liés à ce dispositif de ventilation. L'espace doté de ce dispositif est de type cul-de-sac. Il est connecté uniquement à l'Iwan et ne possédant aucun autre mouvement que celui qui y mène et ne se traverse pas. Il dispose d'un potentiel très faible avec son voisinage immédiat ($Cv_{(T1)}$=0.25) où le nombre de connexions avec les autres espaces est de ($Nc_{(T1)}$=1). Il est superficiel tend à être intégré dans l'ensemble du système vu la basse valeur de $RA_{(T1)}$ (0.32). Le calcul de la $RRA_{(T1)}$ donne la valeur de 1.767>1. Cette dernière se réfère aux espaces les plus ségrégués et les plus contrôlés (SHOUL, 1993; SUNGUR et ÇAGDAS, 2003). Donc l'espace du RDC doté de Badgir est privé et isolé.

Cas du 2e Badgir desservant le 1er étage: L'espace d'implantation du 2ème Badgir est sis proche de la profondeur maximale du système global (layer L11/L12 où $MD_{(T1)}$= 7.75 ; $MD_{(max)}$= 8.72), il est à 1 pas syntaxique au-dessus de l'espace extérieur (l'iwan). Il se trouve seul sur le pas syntaxique. L'espace doté de ce dispositif est de type « b ». Il implique des propriétés configurationnelles arborescentes, qui limitent le choix de circulation aux occupants. Il dispose d'un potentiel relativement élevé avec son voisinage immédiat ($Cv_{(T2)}$=1.50) où le nombre de connexions avec les autres espaces relativement est faible $Nc_{(T2)=}$2. Il est superficiel vu la basse valeur de $RA_{(T2)}$ (0.48). Le calcul de la $RRA_{(T1)}$ donne la valeur de 2.765>1. Cette dernière se réfère aux espaces les plus ségrégués et les plus contrôlés (SHOUL, 1993; SUNGUR et ÇAGDAS, 2003). Donc l'espace du 1er étage doté de Badgir est fortement isolé.

- Concernant l'aspect culturel: Les Badgirs sont implantés dans l'espace de repos (chambre).
- Concernant l'aspect environnemental et la performance thermique: Les deux Badgirs assurent la ventilation naturelle très convoitée en été pour le climat chaud et humide de la ville.

6.1.5.6 Maison Mir Abdul Rahman.F, El Bastakia Dubaï

Cette maison est équipée de deux tours à vent dont la 1re desservant le RDC et la 2e desservant le 1er étage, comme l'indique le dossier graphique (figure 6.36) ci-dessous:

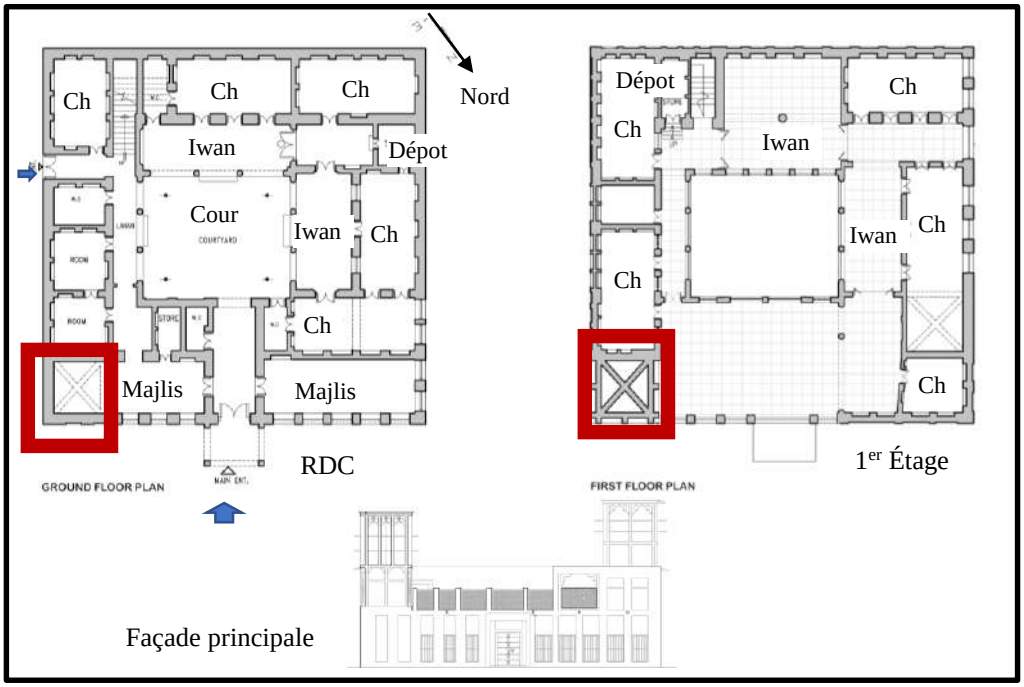


***Figure 6.36**: Vues en plan et façade principale maison Mir AbdulRahman, Dubaï*
***Source**: Municipalité du patrimoine Dubaï (2018)*

Résultats et interprétations de l'analyse syntaxique

D'après le graphe justifié (figure 6.37) et les résultats mentionnés dans le (tableau 6.15) ci-dessous, il a été constaté que:

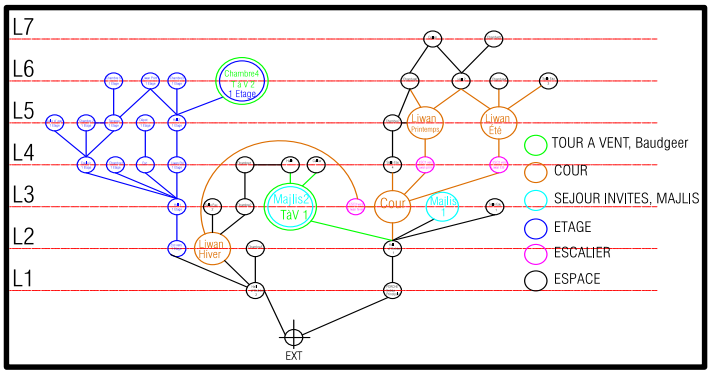


***Figure 6.37**: Carte Gamma de la maison Mir Abdul Rahman.F, Dubaï*

		Min	Mean	Max	MDn(T)	Propriété syntaxique espace doté de tour à vent					
						RA(T)	I(T)	CV(T)	NC(T)	Cve(T)	Disposition
6/Dubai,	Profondeur	3.83	5.36	6.97	4.95						
El Bastakia	RA	0.13	0.21	0.29		0.19					Majlis
AbdulRahman,F	I	3.43	4.92	7.23			5.18				RDC
a- TàV1	CV	0.2	1	3.03				1.7	3	0.33	
	Profondeur				6.97						
b- TàV2	RA					0.29					Grande
	I						3.43				Chambre
	CV							0.25	1	0.25	1Etage

***Tableau 6.15**: Résultats mesures syntaxiques maison Mir Abdul Rahman.F, Dubaï*

- Concernant l'aspect syntaxique spatial:

Cas du 1er Badgir desservant le rez-de-chaussée: L'espace d'implantation du 1er Badgir est très proche de la profondeur moyenne du système global (L3/L7 où $MD_{(T1)}$= 4.95; $MD_{(moy)}$= 5.36), il est sur le pas syntaxique de l'espace extérieur (cour). Les espaces se trouvant sur le même pas syntaxique que l'espace doté de Badgir (chambres, Majlis, Iwan) sont fortement liés à ce dispositif de ventilation. L'espace doté de ce dispositif est de type «c» positionné sur un anneau de mouvement (offre le choix de mouvement). Il dispose d'un potentiel élevé avec son voisinage immédiat ($Cv_{(T1)}$=1.7) où le nombre de connexions avec les espaces avoisinants $Nc_{(T1)}$ égale à 3 (offre le choix de mouvement). Il est superficiel tend à être intégré dans l'ensemble du système vu la basse valeur de $RA_{(T1)}$ (0.19). Le calcul de la $RRA_{(T1)}$ donne la valeur de 1.301>1. Cette dernière se réfère aux espaces les plus ségrégués et les plus contrôlés.

Cas du 2e Badgir desservant le 1er étage: L'espace d'implantation du 2e Badgir est sis dans la profondeur maximale du système global (layer L6/L7où $MD_{(T1)}$= $MD_{(max)}$= 6.97), il est à 1pas syntaxique au-dessus de l'espace extérieur (l'Iwan). Les espaces se trouvant sur le même pas syntaxique que l'espace doté de Badgir (chambres, hall, salle eau) sont fortement liés à ce dispositif de ventilation. L'espace doté de ce dispositif est de type cul-de-sac. Il est connecté uniquement au hall et ne possédant aucun autre mouvement que celui qui y mène et ne se

traverse pas. Il dispose d'un potentiel faible avec son voisinage immédiat ($Cv_{(T2)}$=0.25) où le nombre de connexions avec les autres espaces est aussi faible ($Nc_{(T2)}$=.1). Il est superficiel vu la basse valeur de $RA_{(T2)}$ (0.29). Le calcul de la $RRA_{(T2)}$ donne la valeur de 1.986 >1. Cette dernière se réfère aux espaces les plus ségrégués et les plus contrôlés (SHOUL, 1993; SUNGUR et ÇAGDAS, 2003). Donc l'espace du 1er étage doté de Badgir est fortement isolé.

- Concernant l'aspect fonctionnel: Le 1er Badgir est implanté dans l'espace de vie sociale El Majlis du RDC par contre le 2e est dans l'espace de repos (la grande chambre) du 1er étage.

- Concernant l'aspect environnemental et la performance thermique: Les deux Badgirs assurent la ventilation naturelle très convoitée en été pour le climat chaud et humide de la ville.

6.1.5.7 Maison Abdul Quader Rashidi, El Bastakia Dubaï

Cette maison est équipée d'un seule Badgir comme l'indique la figure (6.38) ci-dessous:

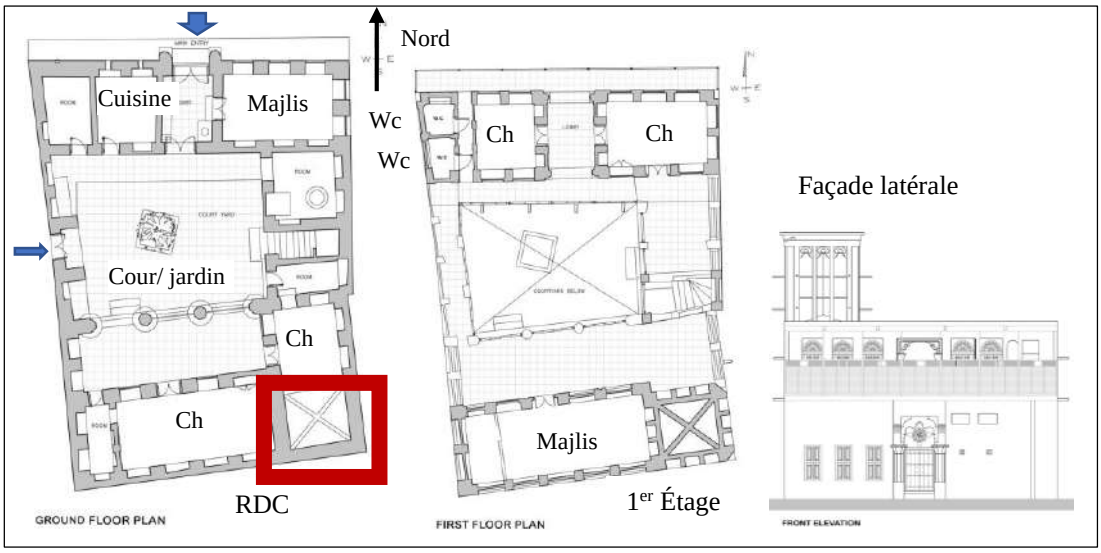


Figure 6.38: *Vues en plan et façade latérale maison AbdulQuader.R, Dubaï*
Source: *Municipalité du patrimoine Dubaï (2017)*

Résultats et interprétations de l'analyse syntaxique

D'après le graphe justifié (figure 6.39) et les résultats mentionnés dans le (tableau 6.16) ci-dessous, il a été constaté que:

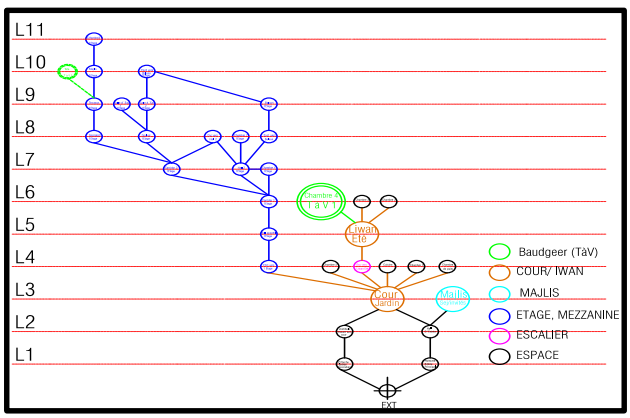


Figure 6.39: *Carte Gamma de la maison Mir Abdul Quader. R, Dubaï*

		Min	Mean	Max	Propriété syntaxique espace doté de tour à vent						
					MDn(T)	RA(T)	I(T)	CV(T)	NC(T)	Cve(T)	Disposition
7/Dubai,	Profondeur	3.45	4.95	7.45	6						
El Bastakia	RA	0.15	0.24	0.4		0.31					Chambre
Abdul Quader	I	2.47	4.28	6.51			3.2				RDC
Rashidi	CV	0.12	1	5.83				0.25	1	1	

Tableau 6.16: *Résultats mesures syntaxiques maison Abdul Quader. R, Dubaï*

- Concernant l'aspect syntaxique spatial: L'espace d'implantation Badgir est sis dans la profondeur maximale du système global où $MD_{(T)}$= 6; $MD_{(max)}$= 7.45), il est à un pas syntaxique au-dessus de l'espace extérieur (l'Iwan). Les espaces se trouvant sur le même pas syntaxique que l'espace doté de Badgir (les chambres, le couloir) sont fortement liés à ce dispositif de ventilation. L'espace doté de ce dispositif est de type cul-de-sac. Il est connecté uniquement au hall et ne possédant aucun autre mouvement que celui qui y mène et ne se traverse pas. Il dispose d'un potentiel faible avec son voisinage immédiat ($Cv_{(T)}$=0.25) où le nombre de connexions avec les autres espaces est aussi faible ($Nc_{(T)}$ = 1). Il est superficiel vu la basse valeur de $RA_{(T)}$ (0.31). Le calcul de la $RRA_{(T)}$ donne la valeur de 1.867 >1. Cette dernière se réfère aux espaces les plus ségrégués et les plus contrôlés.
- Concernant l'aspect culturel: Le Badgir est implanté dans l'espace de repos (la chambre).
- Concernant l'aspect environnemental et la performance thermique: Le Badgir assure la ventilation naturelle très convoitée en été pour le climat chaud et humide de la ville.

6.1.6 Maison en Iran

6.1.6.1 Maison Gerami, Yazd, (entre 1893- 1903)

Est une grande maison comprenant deux parties différentes dont chacune possède une cour centrale garnie de verdures et un bassin d'eau (figures 6.40 et 6.41). Elle dispose de deux salles accessibles de tours à vent dont la première rafraîchit deux niveaux le RDC (l'Iwan) et le sous-sol en été (séjour) et la deuxième desservant le RDC de la grande salle d'hôtes en printemps (KASHANI, 2013).

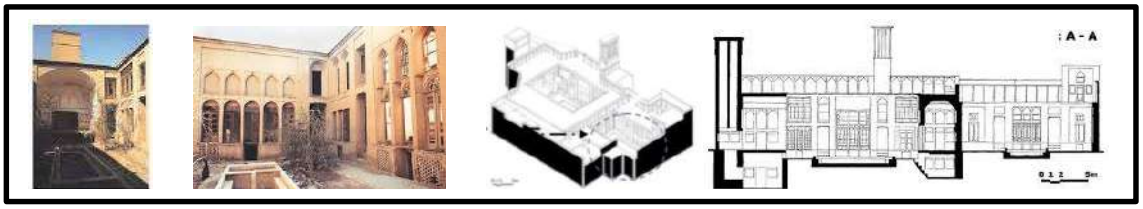


Figure 6.40: *Vue de l'intérieur, axonométrie et coupe, maison Gerami, Yazd (1863)*
Source: *Kashani (2013)*

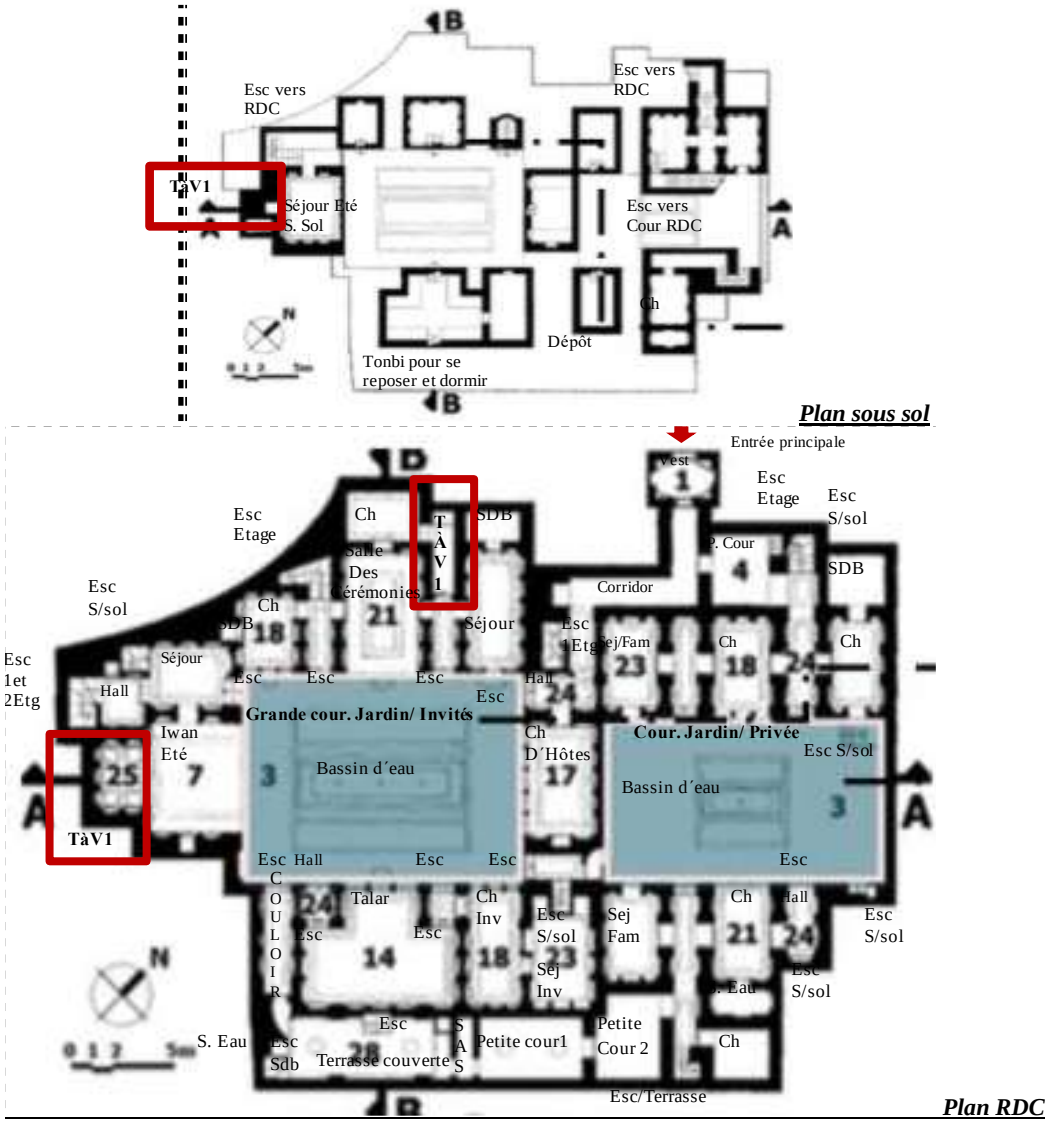


***Figure 6.41**: Vues en plans maison Gerami, Yazd (entre 1893- 1903)*
***Source**: Kashani (2013)*

Résultats et interprétations de l'analyse syntaxique

D'après le graphe justifié (figure 6.42) et les résultats mentionnés dans le (tableau 6.17), il a été constaté que:

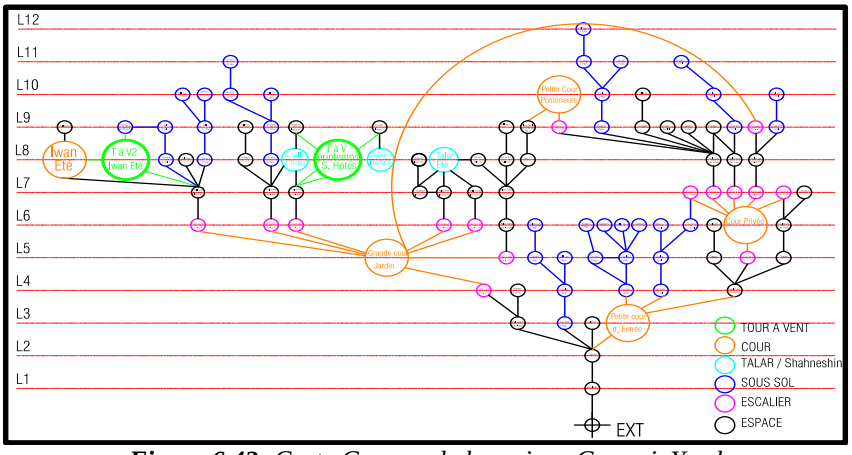


***Figure 6.42**: Carte Gamma de la maison Gerami, Yazd*

		Min	Mean	Max	MDn(T)	Propriété syntaxique espace doté de tour à vent					
						RA(T)	I(T)	CV(T)	NC(T)	Cve(T)	Disposition
3/Yazd,	Profondeur	4.61	7.07	10.16	7.08						
Gerami	RA	0.07	0.12	0.18		0.12					Salle TàV
a- TàV1	I	5.5	8.65	13.95			8.29				
été	CV	0.14	0.99	4.5				1	3	0.33	RDC & S/Sol
	Profondeur				7.06						
b- TàV2	RA					0.12					Salle TàV
Printemps	I						8.32				
	CV							1.83	5	0.2	RDC

Tableau 6.17*: Résultats des mesures syntaxiques maison Gerami, Yazd*

- Concernant l'aspect syntaxique spatial: il s'agit d'un système très contrôlé et guidé de l'extérieur, fermé et connecté à l'intérieur via les cours. Les deux Badgirs sont sis dans le même pas syntaxique (L8). Ils sont placés dans la profondeur moyenne du système global dont les valeurs sont ($MDn_{(Tété)}$=7.08 et $MDn_{(Tprintemps)}$=7.06 par rapport à MD moy=7.07). Le Badgir d'été se trouve sur le même pas syntaxique que l'espace extérieur couvert et ouvert présenté par l'iwan d'été. Tandis que le Badgir printemps est à deux pas syntaxiques au-dessous de la grande cour après l'espace de transition représenté par le hall et quelques marches. Les espaces se trouvant sur le même pas syntaxique que l'espace des deux Badgirs (Iwan été, Talar, grande salle de réception, hall) sont fortement liés à ces dispositifs de ventilations. La topologie des deux espaces de la tour à vent est complexe de type «d», constitue plus deux anneaux de mouvement dont les espaces en communs sont nombreux. Sachant que l'espace de type-d permet le mouvement, mais avec beaucoup moins de contrôle parce qu'il y a toujours le choix d'itinéraires dans plusieurs directions. Les deux tours à vent été et printemps disposent d'un potentiel de contrôle relativement élevé où les valeurs de contrôle sont de 1 et 1.83 respectivement. Le nombre de connexions est important pour les deux cas. Il est de 3 pour la tour d'été et de 5 pour celle du printemps. Elles sont ségréguées et isolées du système global vu les valeurs de RRA ($T_{été}$)= RRA ($T_{printemps}$)=1.445>1.

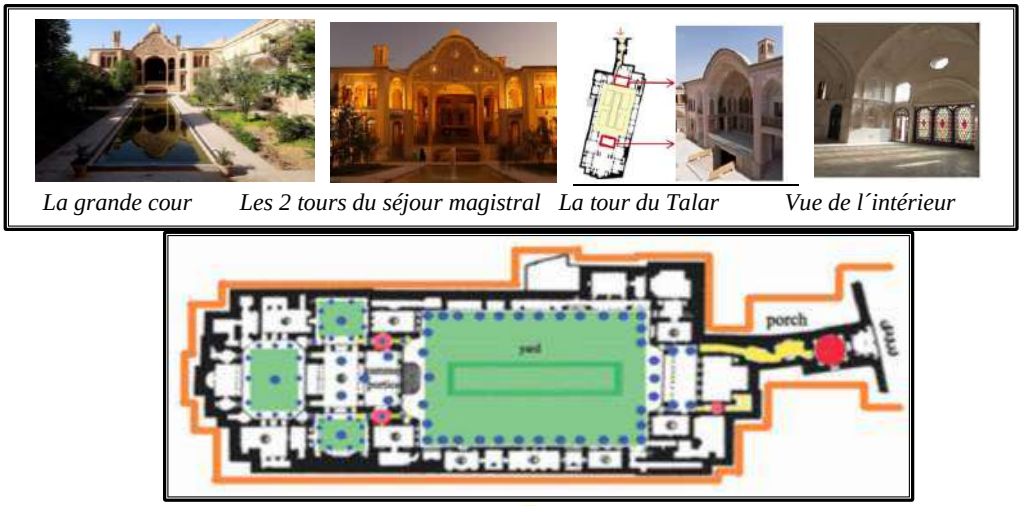
- Concernant l'aspect culturel: Les Badgirs sont implantés adjacents aux espaces de vie sociale à savoir: le séjour et l'Iwan d'été et la Shahneshin (la grande salle d'hôtes).

- Concernant l'aspect environnemental et performance thermique: Le sous-sol ou Sardab (figure 5.46) comprend des salles multifonctionnelles où le système Qanat qui est enterré à environ 60m sous la surface du sol, passe au-dessous. Puisque l'eau coulant dans ce conduit est relativement froide, le sous-sol devient également froid. L'air refroidi du sous-sol est véhiculé via la tour à vent vers le rez-de-chaussée sous l'effet du gradient de température (effet cheminée). Sachant que, dans une profondeur de 5 à 6m sous la surface du sol, les fluctuations

de température pendant l'année restent constantes. En outre, les dimensions des orifices d'entrée air Badgir, la hauteur importante de son conduit et le partage de ce dernier en six sous conduits renforcent son rendement thermique (GHASEMI, 2004) et (KASHANI, 2013).

6.1.6.2 Maison Boroujerdi, Kashan, (1857)

Est une maison historique touristique construite pour la femme du riche marchand Boroujerdi (figure 6.43). Elle est célèbre de ses trois Badgirs, qui ont une forme octogonale différente à celle existante à leur époque. Elles s'élèvent de 40m d'hauteur. Ces tours servent à refroidir les espaces de réception à des températures exceptionnellement fraîches (NOSTRATPOUR, 2012). Elles sont construites en pierre et brique, revêtues en un mortier d'argile et de paille. Deux tours sont destinées à rafraîchir le grand séjour magistral qui occupe le rez-de-chaussée et le sous-sol en été, tandis que la 3^{e} tour sert à ventiler le Talar d'hiver. La salle du Badgir est accessible pour se débarrasser de la poussière cumulée. La résidence dispose de 03 accès séparés dont le 1er est au RDC tandis que le 2^{e} et le 3^{e} desserve le 1er étage dont les différentes vues en plans sont détaillées en (annexe I).



Badgir/ Tour à vent vestibule (Dalan) couloir Cours et Patios

Figure 6.43*: Vues et schéma de la maison des Boroudjerdi à Khashan avec ces trois Badgirs, (1857)*
Source*: Hamidreza et al. (2016)*

Résultats et interprétations de l'analyse syntaxique

D'après le graphe justifié (figure 6.44) et les résultats mentionnés dans le (tableau 6.18) ci-dessous, il a été constaté que:

- Concernant l'aspect syntaxique spatial:

*Cas du 1er Badgir desservant Talar hiver (RDC): l'espace Badgir est sis dans la profondeur moyenne du système global où MD(T1)=7.31; MD (moy)= 7.27), il est sur le même pas syntaxique de l'espace extérieur (la grande cour) et à 2 pas syntaxiques au-dessus du l'Iwan d'hiver. Les espaces se trouvant sur le même pas syntaxique que l'espace de Badgir (espace de

repos, salle à manger, hall) sont fortement liés à ce dispositif de ventilation. L'espace de ce dispositif est de type «d» complexe, constitue 2 anneaux de mouvement dont le Talar et l'Iwan sont les espaces en communs. L'espace de type-d permet le mouvement, mais avec beaucoup moins de contrôle parce qu'il y a toujours le choix d'itinéraires dans les deux directions. La valeur de contrôle est faible ($Cv_{(T1)}$= 0.7) et le nombre de connexions avec les espaces avoisinants $Nc_{(T1)}$ est de 3 (offre le choix de mouvement). Il est superficiel tend à être intégré dans l'ensemble du système vu la basse valeur de $RA_{(T1)}$ (0.13). La valeur calculée de $RRA_{(T1)}$ est de 1.494 > 1. Cette dernière se réfère aux espaces les plus ségrégués et les plus contrôlés.

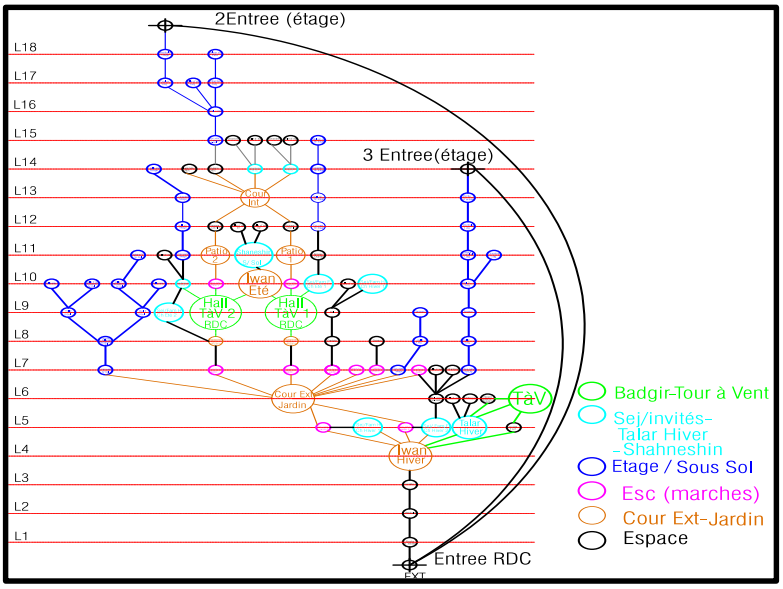


Figure 6.44: *Carte Gamma de la maison des Boroudjerdi à Khashan*

		Min	Mean	Max	Propriété syntaxique espace doté de tour à vent						
					MDn(T)	RA(T)	I(T)	CV(T)	NC(T)	Cve(T)	Disposition
7/Kashan,	**Profondeur**	4.56	**7.27**	11.13	**7.31**						
Iran, 1857	**RA**	0.07	**0.13**	0.21		**0.13**					Salle Badgir
Boroudjerdi	**I**	4.58	**7.85**	13.04			**7.35**				(Tour à vent)
TàV1Hiver	**CV**	0.11	**1**	4.33				**0.7**	**3**	**0.5**	RDC
	Profondeur				**4.96**						
TàV2 Eté	**RA**					**0.08**					**Hall**
	I						**11.71**				S/Sol
	CV							**1.66**	**4**	**0.25**	
TàV3 Eté	**Profondeur**				**5.3**						
	RA					**0.09**					**Hall**
	I						**11.79**				S/Sol
	CV							**2.41**	**5**	**0.2**	

Tableau 6.18: *Résultats mesures syntaxiques maison Boroudjerdi, Kashan*

*Cas du 2e et 3e Badgir desservant le salon majestueux (sous-sol et RDC): l'espace des deux Badgirs est sis dans la profondeur minimale du système global où MD (T2) = 7.31; MD

(T3) = 5.30 et MD(min)= 4.56, respectivement. Les 2 Badgirs sont à un pas syntaxique au-dessous de l'espace extérieur (Iwan été). Les espaces se trouvant sur le même pas syntaxique que les deux tours (terrasse, séjour familial et hall) sont fortement liés à ces dispositifs de ventilations. Les deux espaces de ce dispositif sont complexes de type «d», constituent plus de 2 anneaux de mouvements dont les 2 cours, les 2 patios, l'Iwan d'été et la grande salle de réception, sont les espaces en communs. L'espace de type -d- permet le mouvement, mais avec beaucoup moins de contrôle parce qu'il y a toujours le choix d'itinéraires dans plusieurs directions. Pour les 2 tours, la valeur de contrôle est très élevée ($Cv_{(T2)}$ = 1.66 et $Cv_{(T3)}$ = 2.41 respectivement) et le nombre de connexions avec les espaces avoisinants est important ($Nc_{(T2)}$=4 et $Nc_{(T3)}$ =5 respectivement). Les deux espaces des Badgirs sont superficiels tendent à être intégrés dans l'ensemble du système vu la basse valeur respectivement de $RA_{(T2)}$ (0.08) et $RA_{(T2)}$ (0.09). La valeur calculée des deux tours sont respectivement de $RRA_{(T2)}$ = 0.919 et $RRA_{(T3)}$ = 1.034>1. Elles se réfèrent aux espaces les plus ségrégués et les plus contrôlés.

- Concernant l'aspect culturel : Les Badgirs sont implantés adjacents aux espaces de vie sociale à savoir: Talar (le séjour d'été) et Shahneshin (la grande salle de rassemblement).

- Concernant l'aspect environnemental et performance thermique: Les paramètres géométriques des tours à vent de la maison de Bojourdjiha à savoir la grande section du conduit (3x5m^2), la tête à 8 ouvertures pour un captage maximal des vents de toutes directions, la hauteur très importante de sa colonne (h=40m), et l'accroissement du nombre de tour par espace (02 tour pour séjour majestueux), sont des facteurs contribuant à augmenter la quantité de débit d'air pénétrante en présence du vent et accélérer l'effet de tirage thermique en absence de ce dernier (GHASEMI, 2004) et (KASHNI, 2013). La tour à vent en tant qu'espace et non comme équipement intégré dans l'espace, a facilité l'accessibilité et l'entretien de ce système.

6.1.6.3 Maison Mortaz, Yazd, (1865)

La ville de Yazd se caractérise par un climat chaud et sec en été (T_{max} 45°C ; HR 12%) froid en hiver (T_{min} -14°C, HR 73%). Afin de s'adapter à ces conditions climatiques rudes, la maison est dotée d'une tour à vent sise à côté de l'Iwan. La tour reçoit l'air frais de la cour principale et de l'Iwan pour ventiler le Talar du RDC et le sous-sol. Elle est quadri-directionnelle d'une section rectangulaire de 6,05x3,45m^2 et compartimentée en 6 sous conduits de 1,5m^2 de section chacun. La maison se compose de 2 parties et chaque partie a sa propre entrée et cour. Les entrées sont reliées les uns aux autres de façon discrète. Toutes les pièces sont interconnectées et disposées autour de ces 2 cours (figure 6.45 et 6.46) (ZHALEH *et al*., 2015).



***Figure 6.45**: Vues sur la cour extérieure de la maison Mortaz à Yazd, (1865)*
***Source:**Memarian (2005)*

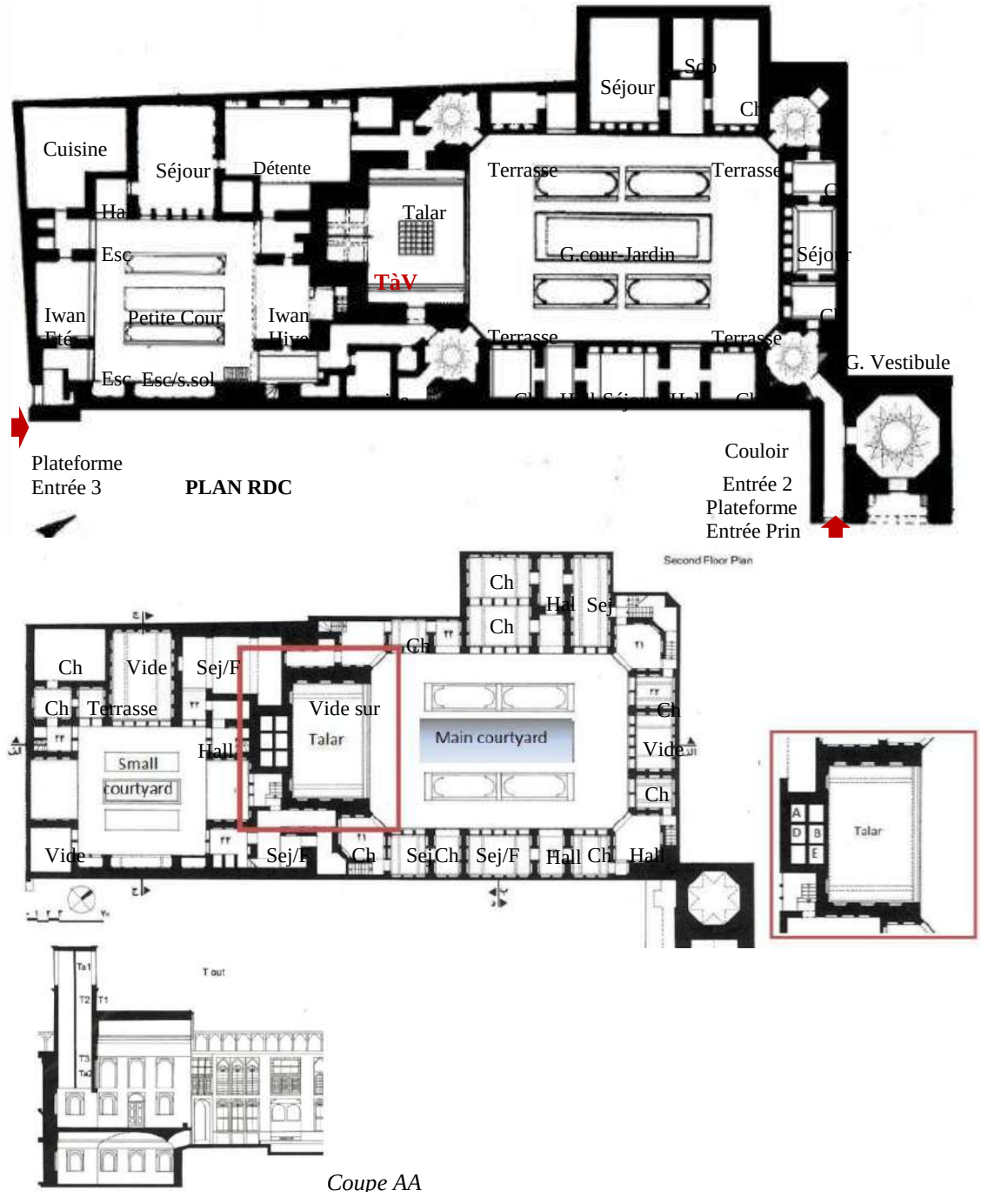


***Figure 6.46**: Détail Badgir maison Mortaz, Yazd*
***Source**: Zhaleh Hedayat et al. (2015)*

La recherche de ZHALEH et ses collaborateurs (2015) sur le capteur à vent de cette maison, a révélé que, ce dernier agisse en tant que modificateur de température de l'air. L'efficacité maximale du capteur sans humidification était de: 22% aux heures les plus chaudes

de la journée 03 novembre 2014 et 70% aux heures les plus froides de la journée 26 décembre 2014. Cela a été dû à l'inertie thermique importante des murs du système (voir annexe III).

Résultats et interprétations de l'analyse syntaxique

D'après le graphe justifié (figure 6.47) et les résultats mentionnés dans le (tableau 6.19) ci-dessous, il a été constaté que:

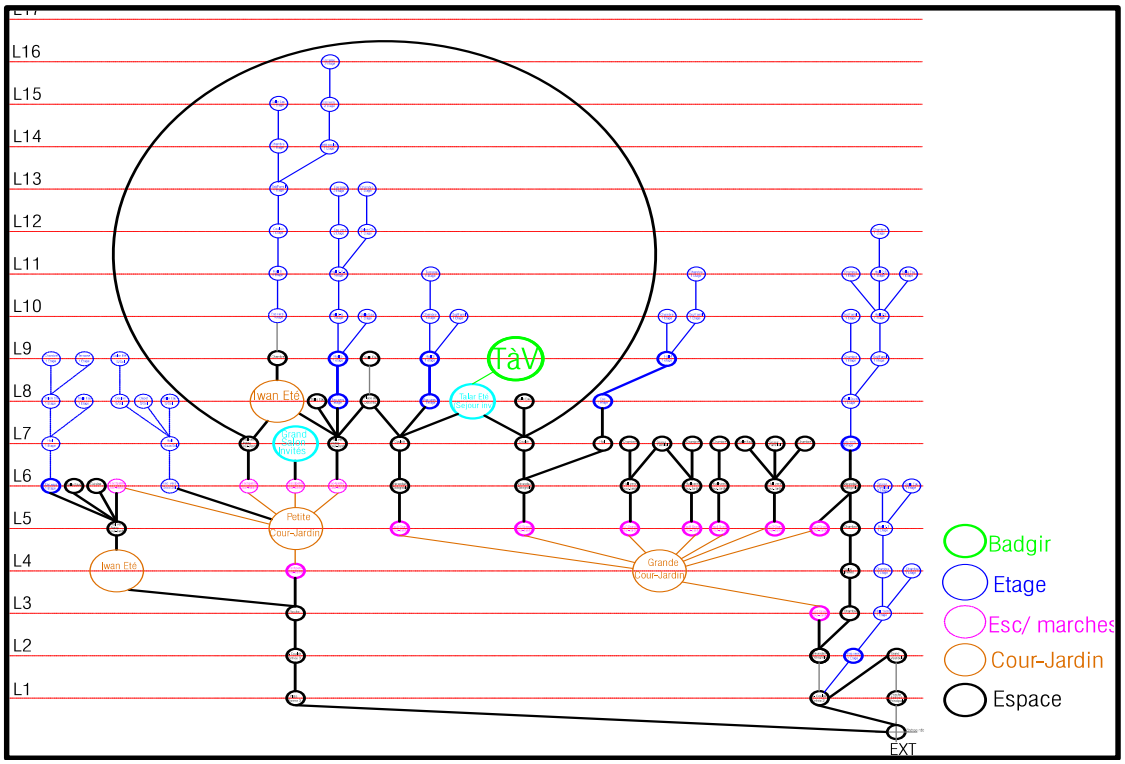


Figure 6.47: *Carte Gamma de la maison Mortaz*

					Propriété syntaxique espace doté de tour à vent						
		Min	Mean	Max	MDn(T)	RA(T)	I(T)	CV(T)	NC(T)	Cve(T)	Disposition
1/Yazd, Mortaz	Profondeur	5.78	8.65	13.65	7.46						
	RA	0.08	0.13	0.22		0.11					Salle TàV
	I	4.46	7.82	11.81			8.73				
	CV	0.2	0.99	4				0.33	1	1	RDC

Tableau 6.19: *Résultats des mesures syntaxiques maison Mortaz*

- Concernant l'aspect syntaxique spatial: L'espace d'implantation Badgir est très proche de la profondeur moyenne du système global où $MD_{(T)}$= 7.46, $MD_{(moy)}$= 8.65, il est à 1 pas syntaxique au-dessus de l'espace extérieur (l'Iwan été). Les espaces se trouvant sur le même pas syntaxique que l'espace doté de Badgir (hall, chambres, terrasse et séjour familial) sont fortement liés à ce dispositif de ventilation. L'espace doté de ce dispositif est de type cul-de-sac. Il est connecté uniquement au hall et ne possédant aucun autre mouvement que celui qui y mène et ne se traverse pas. Il dispose d'un potentiel faible avec son voisinage immédiat ($Cv_{(T)}$=0.33) où le nombre de connexions avec les autres espaces est aussi faible ($Nc_{(T)}$=.1). Il est superficiel vu la

basse valeur de $RA_{(T)}$ (0.11). Le calcul de la $RRA_{(T)}$ donne la valeur de 1.428 >1. Cette dernière se réfère aux espaces les plus ségrégués et les plus contrôlés.

- Concernant l'aspect socioculturel: Le Badgir est un espace adjacent au Talar été.
- Concernant l'aspect environnemental et la performance thermique: Le Badgir a prouvé son efficacité en hiver en tant que capteur d'air modificateur de température en climat chaud et sec.

6.1.6.4 Maison Lariha, Fahadan.Yazd, (1863/1864)

En 1999, l'organisation du patrimoine national a enregistré ce bâtiment en tant que monument national. Sa superficie est d'environ 1700m^2. La maison comprend trois cours centrales et une combinaison d'Iwan, Talar et chambre. Elle est célèbre par son capteur à vent sis derrière le grand Iwan d'été. Le chambre du capteur est adjacente à l'Iwan afin de faciliter l'entretien, l'ouverture et la fermeture de ce système selon la saison et le besoin (figure 6.48).

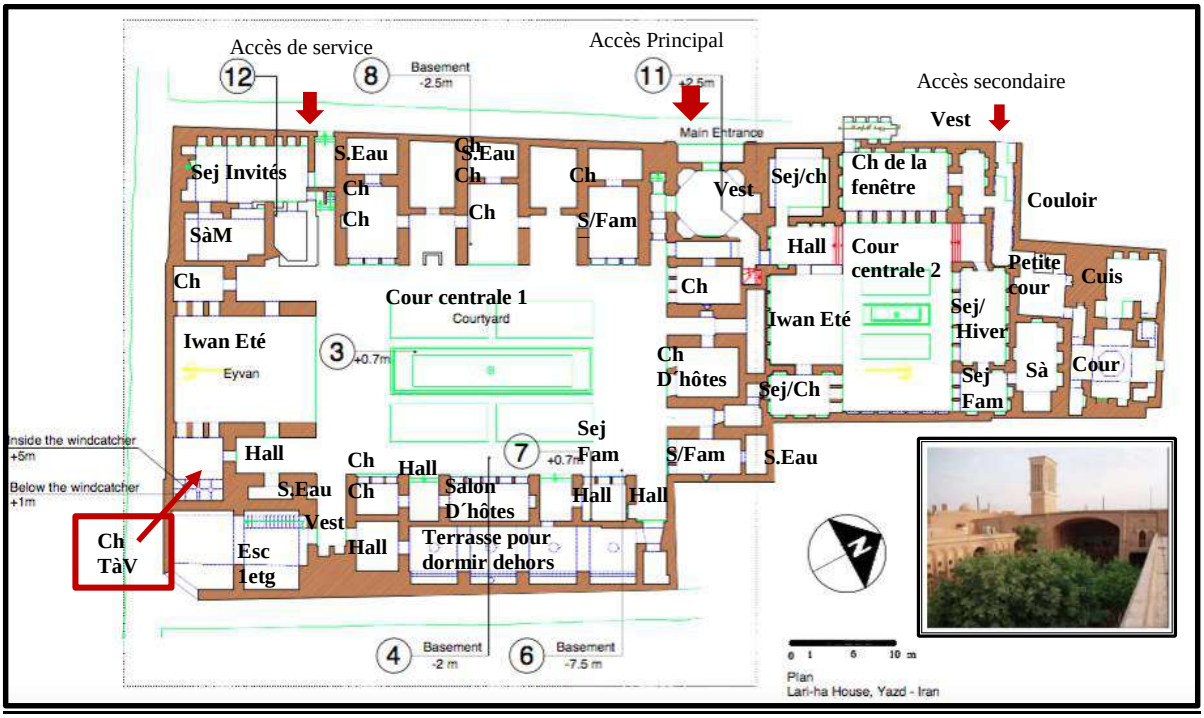


Figure 6.48: *Vue en plan RDC maison Lariha, Fahadan, Yazd, (1863)*
Source: *Ahmadreza et al. (2008)*

Comme les cours et les tours à vent sont considérées comme les éléments les plus efficaces du point de vue thermique, la performance du Badgir était analysée et vérifiée par AHMADREZA et ses collaborateurs en (2008). Les résultats des mesures effectuées le 20 juin 2007 ont montré une réduction de 2,7°C à 7,2°C dans les chambres d'été, et de 3,3°C dans la chambre de Badgir.

Résultats et interprétations de l'analyse syntaxique

D'après le graphe justifié (figure 6.49) et les résultats mentionnés dans le (tableau 6.20) ci-dessous, il a été constaté que:

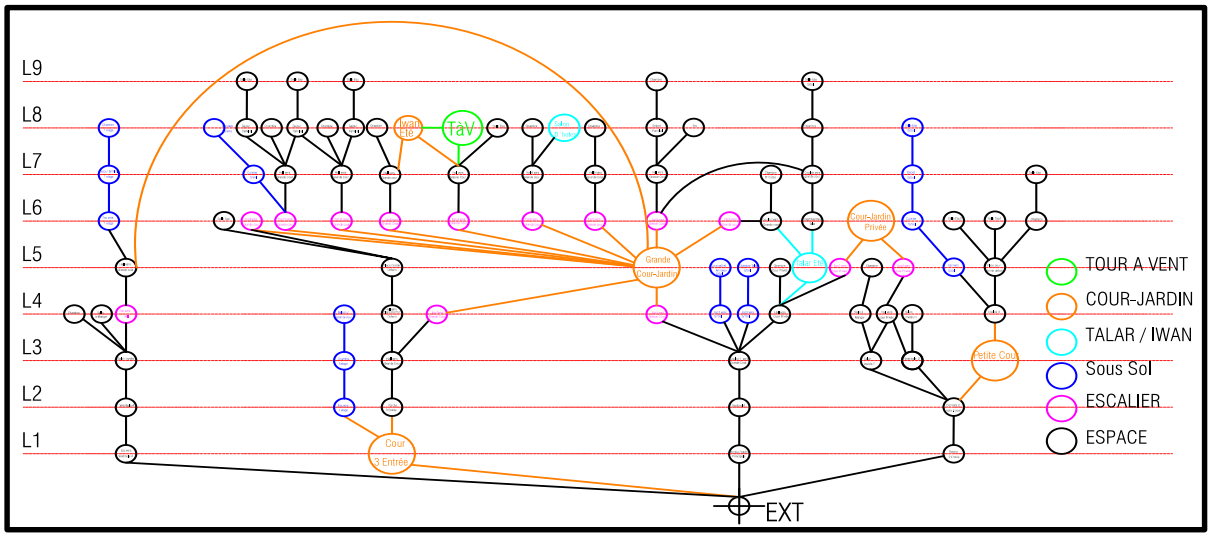


***Figure 6.49**: Carte Gamma de la maison Lariha, Fahadan, Yazd (1863)*

					Propriété syntaxique espace doté de tour à vent						
		Min	Mean	Max	MDn(T)	RA(T)	I(T)	CV(T)	NC(T)	Cve(T)	Disposition
2/Fahadan	Profondeur	4.23	6.72	12.17	6.97						
Yazd, (1863)	RA	0.06	0.12	0.23		0.12					Salle TàV (windcatcher Room)
Lariha	I	4.24	8.84	14.66			7.94				
	CV	0.25	1	5.5				0.58	2	0.5	RDC

***Tableau 6.20**: Résultats des mesures syntaxiques maison Lariha*

- Concernant l'aspect syntaxique spatial: La tour à vent de la maison Lariha est dans la profondeur moyenne du système global ($MDn_{(Tété)}$=6.97 par rapport à MD moy=6.72), elle est sur le pas syntaxique de l'espace extérieur (l'Iwan d'été). Les espaces se trouvant sur le même pas syntaxique que l'espace Badgir (les chambres, le salon d'hôtes, le séjour familial et l'Iwan) sont fortement liés à ce dispositif de ventilation. L'espace doté de ce dispositif est de type «c» positionné sur un anneau de mouvement qui offre le choix de mouvement. La tour à vent été dispose d'un potentiel de contrôle relativement faible où la valeur de contrôle est de 0.58. Le nombre de connexions de 2, montre la faible relation entre l'espace tour à vent et son voisinage immédiat. La tour à vent est ségréguée et isolée du système global vu sa faible valeur de RA qui tend vers zéro ($RA_{(T)}$=0.12) et $RRA_{(T)}$ de 1.395>1.

- Concernant l'aspect socioculturel: le Badgir est un espace adjacent au Talar été.

- Concernant l'aspect environnemental et la performance thermique: l'étude de AHMADREZA et FERGUS en (2008) montre que ce bâtiment passif doté de cour et de Badgir fonctionne très bien en termes de modulation des variation de la température, abaissant la température ambiante par différentes stratégies de refroidissement passif traditionnelles. Les occupants se retrouvent avec des espaces de diverses températures en été (voir annexe III).

6.1.6.5 Maison Historique1, Yazd, (non datée)

La maison est dotée d'un Badgir dont les plans sont présentés (figure 6.50) ci-dessous:

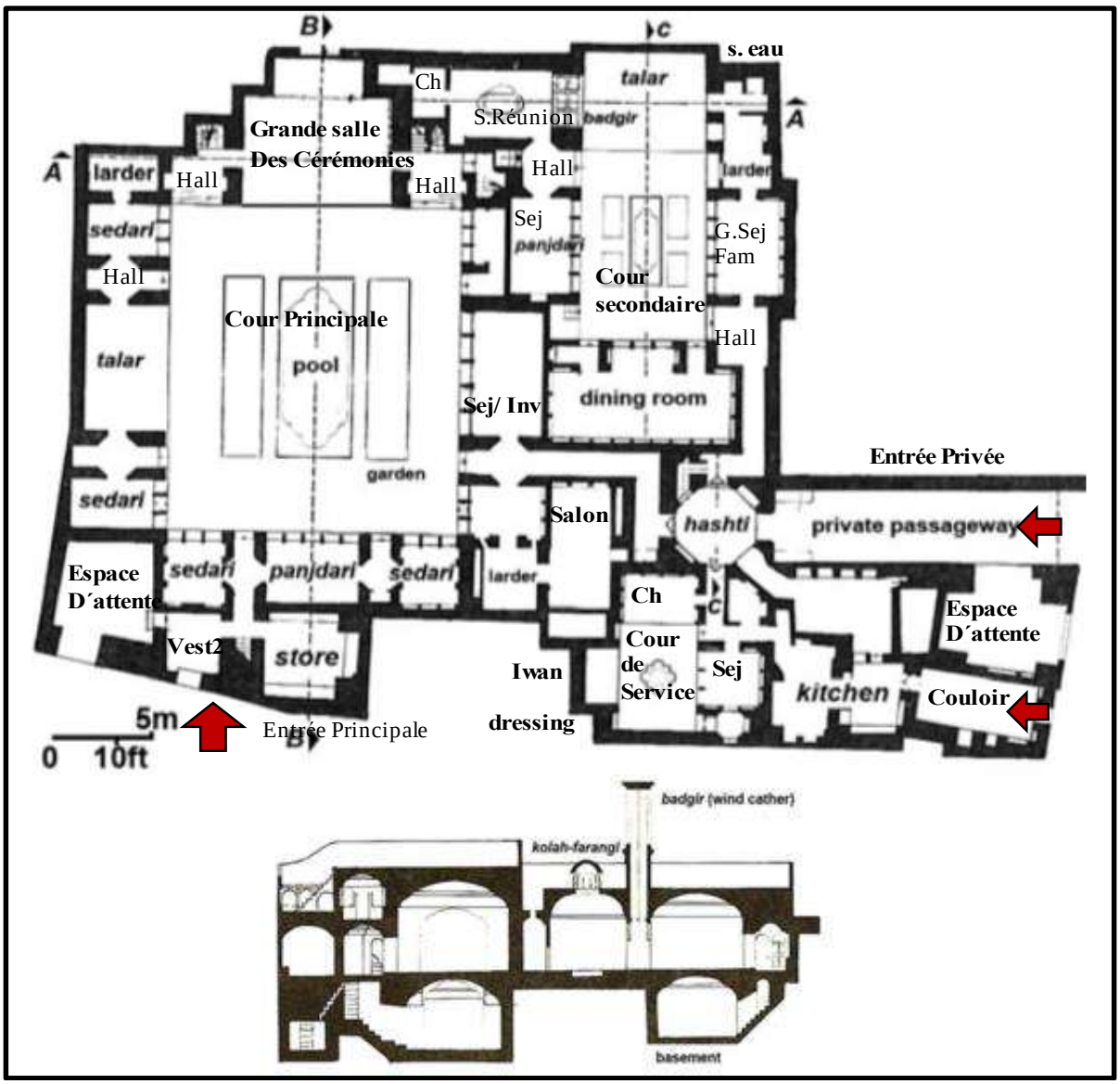


Figure 6.50*: Vue en plan RDC et coupe maison historique1 (non datée), Yazd*
Source*: Abouei (2006)*

Résultats et interprétations de l'analyse syntaxique

D'après le graphe justifié (figure 6.51) et les résultats mentionnés dans le (tableau 6.22) ci-dessous, il a été constaté que:

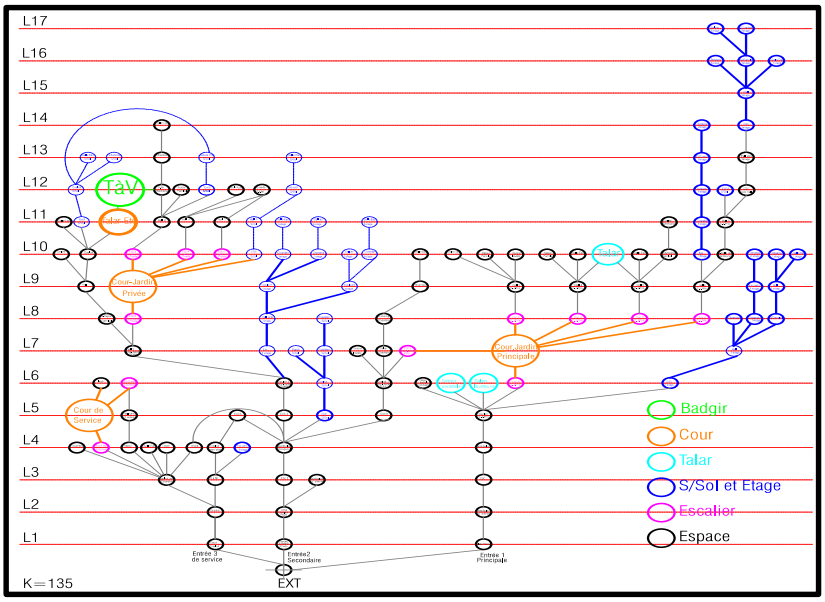


Figure 6.51: *Carte Gamma de la maison historique1, Yazd*

		Min	Mean	Max	Propriété syntaxique espace doté de tour à vent						
					MDn(T)	RA(T)	I(T)	CV(T)	NC(T)	Cve(T)	Disposition
1/Yazd, Iran	Profondeur	8.39	12.26	19.43	13.44						
(Non datée)	RA	0.11	0.17	0.27		0.18					TàV
M.Historique 1	I	3.57	6.12	8.92			5.3				(windcatcher)
	CV	0.14	1	4.83				0.83	2	0.5	RDC

Tableau 6.21: *Résultats des mesures syntaxiques maison Historique1*

- Concernant l'aspect syntaxique spatial: L'espace du de la tour à vent est sis dans la profondeur moyenne du système global de la maison où $MDn_{(T)}$= 13.44 $MD_{(Moy)}$=12.26. Il est proche de l'espace extérieur à un pas syntaxique du Talar. L'espace Badgir est de type «c», positionné sur un anneau de mouvement. Il dispose d'un potentiel de contrôle relativement faible où la valeur de contrôle est de 0. 83. La valeur de connectivité des 2 montre la faible relation entre l'espace tour à vent et son voisinage. L'espace Badgir est fortement ségrégué et isolé du système global vu sa faible valeur de RA qui tend vers zéro $RA_{(T)}$=0.18 et $RRA_{(T)}$=2.647> 1.

- Concernant l'aspect fonctionnel: Le Badgir est un espace intermédiaire entre le Talar d'eté et la salle de rassemblement.

- Concernant l'aspect environnemental et la performance thermique: Le rafraîchissement de l'air à l'intérieur a été assuré par la tour à vent, l'espace bleu (bassin d'eau et fontaines) et l'espace vert. Le partage de la gaine en 06 sous conduits ainsi que leurs hauteurs importantes, augmentent la surface de transfert de chaleur de la tour et par conséquent améliore son rendement thermique (GHASEMI, 2004). La durabilité environnementale est assurée par les facteurs naturels eau, végétation et air via la tour à vent (Badgir) et la cour.

6.1.6.6 Maison Historique2, Yazd, (non datée)

Le dossier graphique de la maison es présenté (figure 6.52) ci-dessous:

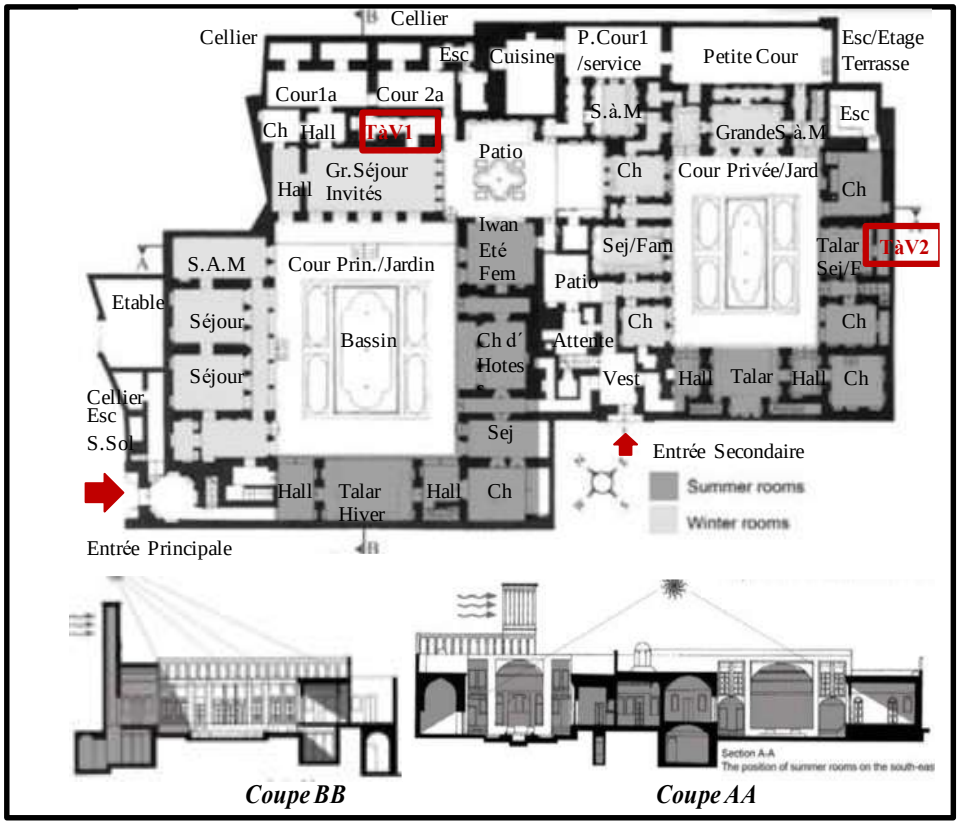


***Figure 6.52**: Vue en plan et coupes maison historique2 (non datée), Yazd*
***Source**: Hosseini et al. (2015)*

Résultats et interprétations de l'analyse syntaxique

D'après le graphe justifié (figure 6.53) et les résultats mentionnés dans le (tableau 6.22) ci-dessous, il a été constaté que:

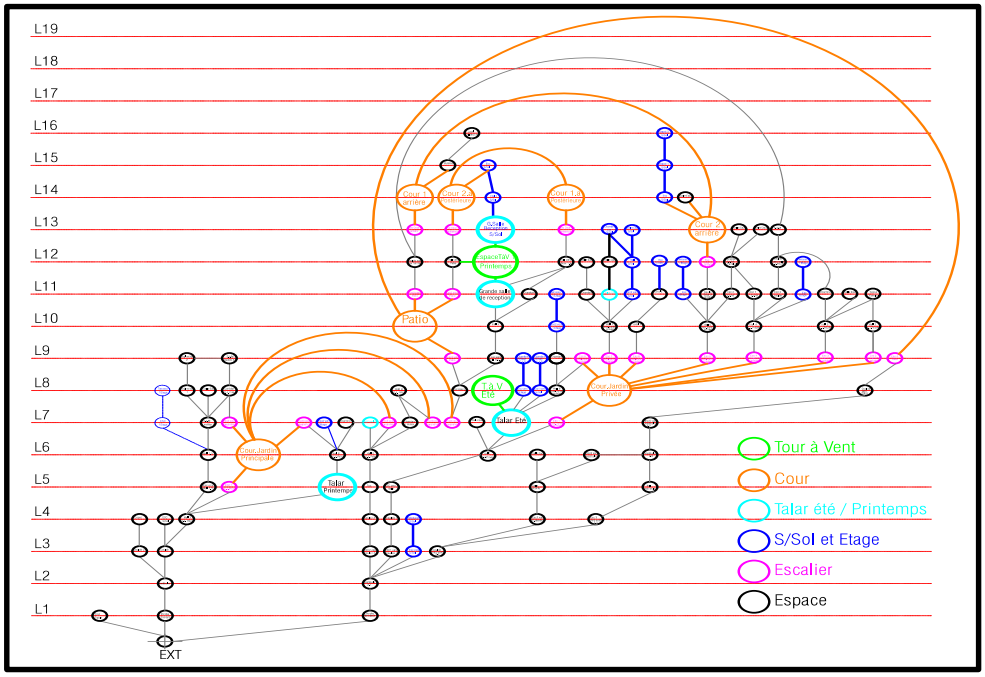


***Figure 6.53**: Carte Gamma de la maison historique2, Yazd*

		Min	Mean	Max	Propriété syntaxique espace doté de tour à vent						
					MDn(T)	RA(T)	I(T)	CV(T)	NC(T)	Cve(T)	Disposition
5/Yazd, Iran	Profondeur	6.07	8.71	13.28	8.80						Espace TàV
M,Historique	RA	0.07	0.11	0.18		0.11					(windcatcher)
Modèle2	I	5.53	9.10	13.40			8.71				RDC
TàV1 Eté	CV	0.16	1	4.33				0.2	1	1	Près du Talar
	Profondeur				8.55						Espace TàV
TàV2	RA					0.11					(windcatcher)
Printemps	I						9.00				RDC /S.sol
	CV							1	3	0.33	Gr. Séj. Invités

***Tableau 6.22**: Résultats des mesures syntaxiques maison historique2*

- Concernant l'aspect syntaxique spatial: Il s'agit d'un système fermé, ouvert à l'intérieur, bouclé et très contrôlé. La présence de deux tours à vent une pour l'été et l'autre pour le printemps, prouve l'importance de ce dispositif dans la culture iranienne. Les deux espaces de tour à vent se situent dans la profondeur moyenne du système global de la maison d'où $MDn_{(T1)}$= 8.80, $MDn_{(T2)}$ =8.55 et $MD_{(Moy)}$ =8.71 respectivement. Elles sont très proches de l'espace extérieur. Le Badgir d'été se trouve à un pas syntaxique de l'espace extérieur Talar (espace couvert et ouvert) tandis que le Badgir printemps est à deux pas syntaxiques au-dessus du patio (après quelques marches). Les espaces se trouvant sur le même pas syntaxique que l'espace Badgir été (cour, espace de transition) ou Badgir printemps (terrasse, séjour familial et espace de transition) sont fortement liés à ce dispositif de ventilation.

Espace Badgir été est de type cul-de-sac. Il est connecté uniquement au Talar été. Par contre, Badgir printemps est de type «d» complexe. Il constitue plus de deux anneaux de mouvements dont le patio, la cour postérieure, la grande salle de réception et les halls sont les espaces en communs. Il permet le mouvement, mais avec beaucoup moins de contrôle parce qu'il y a toujours le choix d'itinéraires dans plusieurs directions. La tour à vent « été » dispose d'un potentiel de contrôle très faible ($Cv_{(été)}$=0.2) et d'un nombre de connexions très limité ($NC_{(été)}$= 1). Cela, montre la faible relation entre l'espace tour « été » et son voisinage immédiat. Par contre la tour à vent « printemps » dispose d'un potentiel de contrôle élevé ($Cv_{(printemps)}$=1) et d'un nombre de connexions considérable ($NC_{(important)}$= 3). Cela, montre la relation forte entre l'espace tour « printemps » et son voisinage immédiat.

Les deux tours à vent sont ségréguées et isolées du système global vu leurs faibles valeurs de RA qui tendent vers zéro ($RA_{(été)}$= $RA_{(printemps)}$= 0.11), et $RRA_{(été)}$ = $RRA_{(printemps)}$= 1.641>1.

6.1.6.7 Maison Sigari, Yazd, (date non précise)

Selon les documents de l'organisation culturelle iranienne, diverses parties de la maison ont été construites au début, au milieu et à la fin de la période Qajar et une partie appartient à la période Pahlavi. La maison était construite pour M. Akhavan Sigari, un commerçant de Yazd. Elle était considérée comme le meilleur exemple dans la ville de Yazd, car c'est une maison des quatre saisons (NOSTRATPOUR, 2012) (figure 6.54).

Il existe deux tours à vent dans cette résidence placées sur l'axe longitudinale et transversale de la cour principale. Ces capteurs ayant des chambres spécifiques, desservent directement les espaces de vie et de réception été (salle majestueuse) et printemps (Talar). La présence de verdures et d'un bassin d'eau contribuent à rafraîchir l'air pénétrant dans ces salons (figures 6.55 et 6.56).

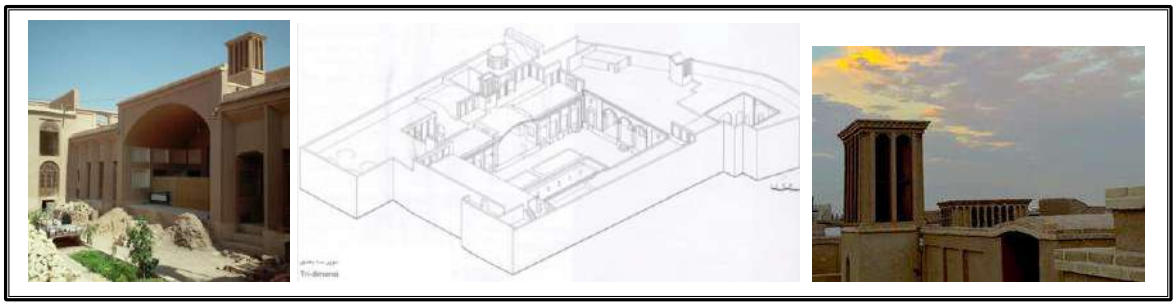


Figure 6.54*: Vues générales sur la maison Sigari et sa tour à vent, Yazd*
Source*: Nostratpour, (2012)*

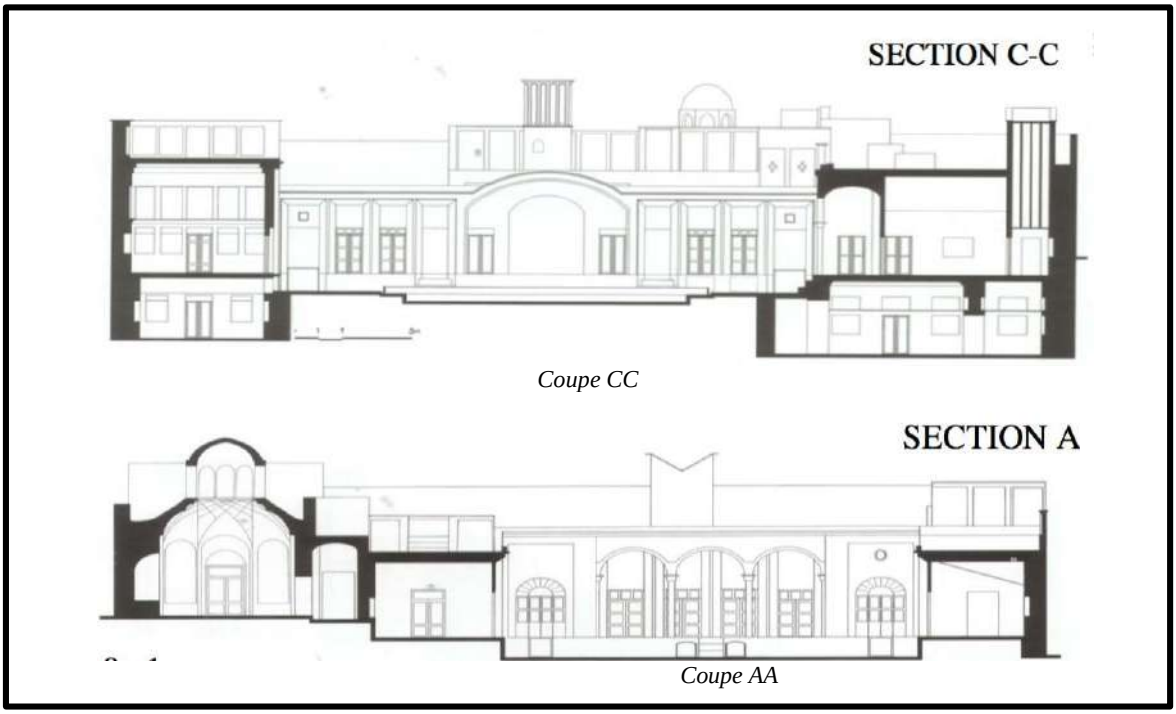
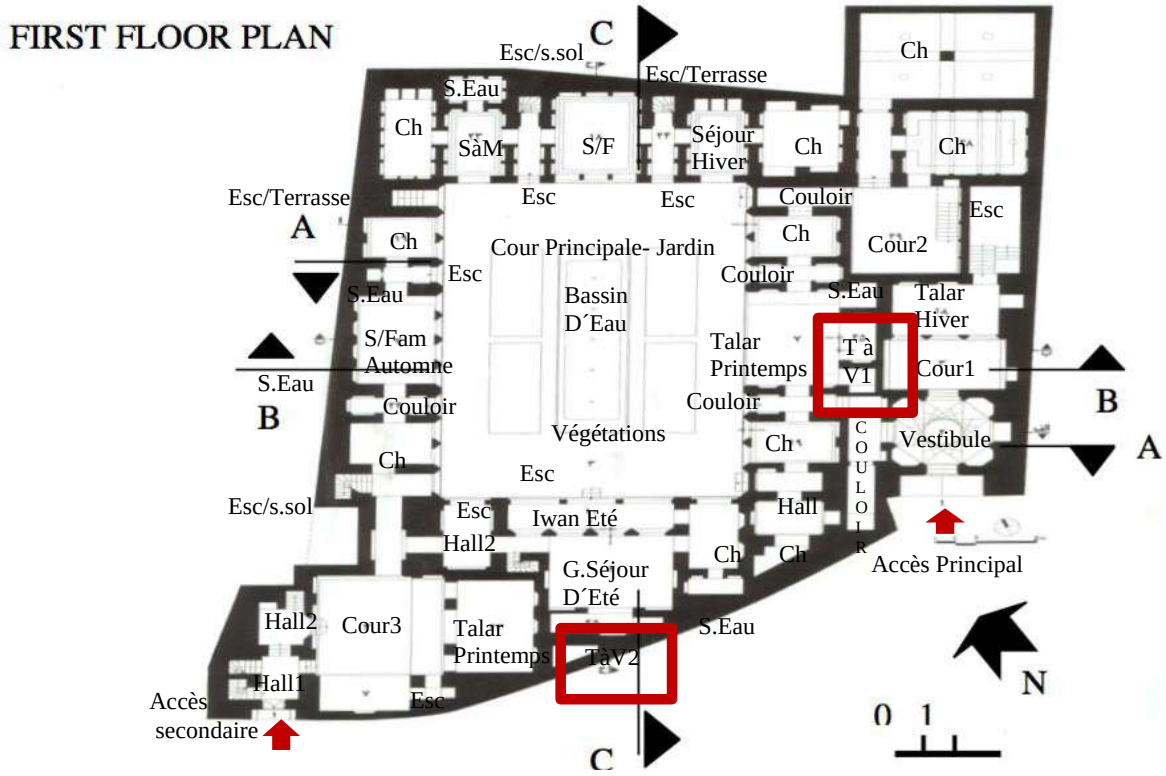
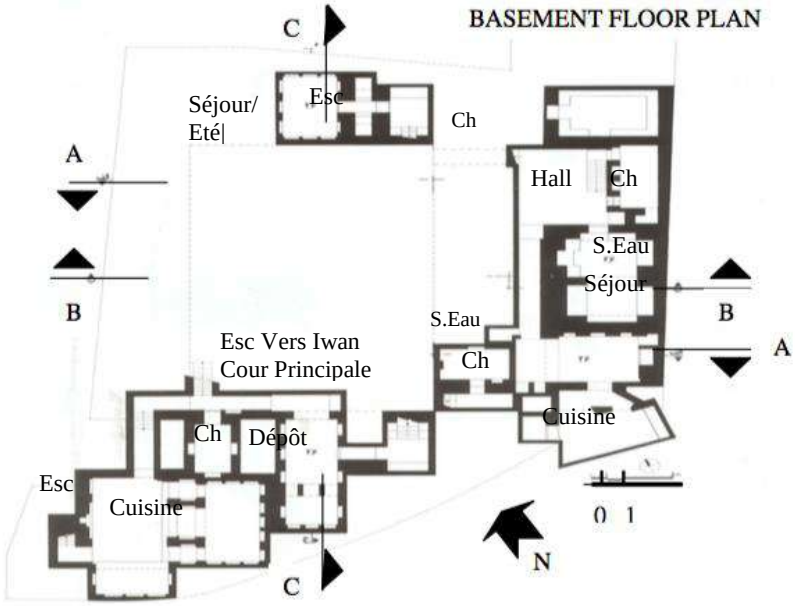


Figure 6.55*: Coupes AA et BB (maison Sigari à Yazd)*
Source*: Nostratpour (2012)*



Plan RDC



Plan Sous Sol

Figure 6.56*: Vues en plans maison Sigari, Yazd*
Source*: Nostratpour (2012)*

Résultats et interprétations de l'analyse syntaxique

D'après le graphe justifié (figure 6.57) et les résultats mentionnés dans le (tableau 6.23) ci-dessous, il a été constaté que:

- Concernant l'aspect syntaxique spatial: Les deux tours à vent de la maison Sigari se situent dans la profondeur moyenne du système global (L8/L15) où $MDn_{(Tété)}$=7.37 et $MD_{(Tprintemps)}$=6.92 par rapport à $MD_{(moy)}$=7.81. Les deux tours à vent «été» et «printemps» sont

très proches de l'espace extérieur, elles se trouvent à un pas syntaxique au-dessus du Talar été et Talar printemps respectivement. Les espaces se trouvant sur le même pas syntaxique que l'espace Badgir été ou printemps (séjour familial, chambre et espace de transition) sont fortement liés à ce dispositif de ventilation. Les deux salles de Badgir sont de type cul-de-sac et connectées uniquement à leurs propres Iwans (Talar). Les deux tours à vent «été» et «printemps» disposent d'un potentiel de contrôle relativement faible où les valeurs de contrôle sont de 0.2 et 0.33 respectivement. Le nombre de connexions pour les deux cas de 1 montre la faible relation entre la salle du Badgir et son voisinage immédiat. Les deux salles de Badgir sont ségréguées et isolées du système global vu les valeurs de RRA ($T_{été}$)= 1.562 et RRA ($T_{printemps}$)= 1.458 qui sont supérieures à 1.

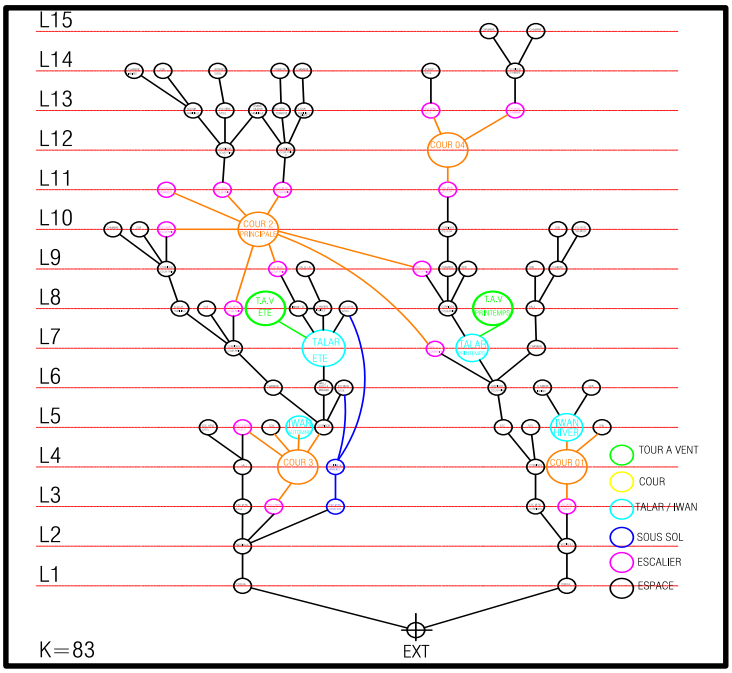


***Figure 6.57**: Carte Gamma de la maison Sigari, Yazd*

		Min	Mean	Max	Propriété syntaxique espace doté de tour à vent						
					MDn(T)	RA(T)	I(T)	CV(T)	NC(T)	Cve(T)	Disposition
4.Yazd,Iran	Profondeur	5.06	7.81	12.69	7.37						
Akhavan	RA	0.1	0.16	0.28		0.15					Salle TàV
Sigari	I	3.46	6.26	9.97			6.34				(windcatcher Room)
TàV1 Eté	CV	0.16	1	3.5				0.2	1	1	RDC
	Profondeur				6.92						
TàV2	RA					0.14					Salle TàV
Printemps	I						6.83				(windcatcher Room)
	CV							0.33	1	1	RDC & S/Sol

***Tableau 6.23**: Résultats des mesures syntaxiques maison Sigari*

- Concernant l'aspect socioculturel: Le Badgir est un espace adjacent au Talar été et non un équipement ajouté à l'espace.

- Concernant l'aspect environnemental et la performance thermique: La configuration géométrique du Badgir (multidirectionnel, hauteur, surface orifice entrée air, matériau) permet d'assurer une ventilation naturelle et un rafraîchissement passif par la force du vent et le tirage thermique à l'intérieur de l'espace. Les salles de Badgir sont accessibles et faciles à les entretenir.

6.1.6.8 Maison Attarha, Yazd, (date non précise)

La maison possède une tour à vent connectée directement à un bassin d'eau pour rafraîchir l'Iwan d'été. La (figure 6.58) ci-dessous, représente la vue en plan de cette maison.

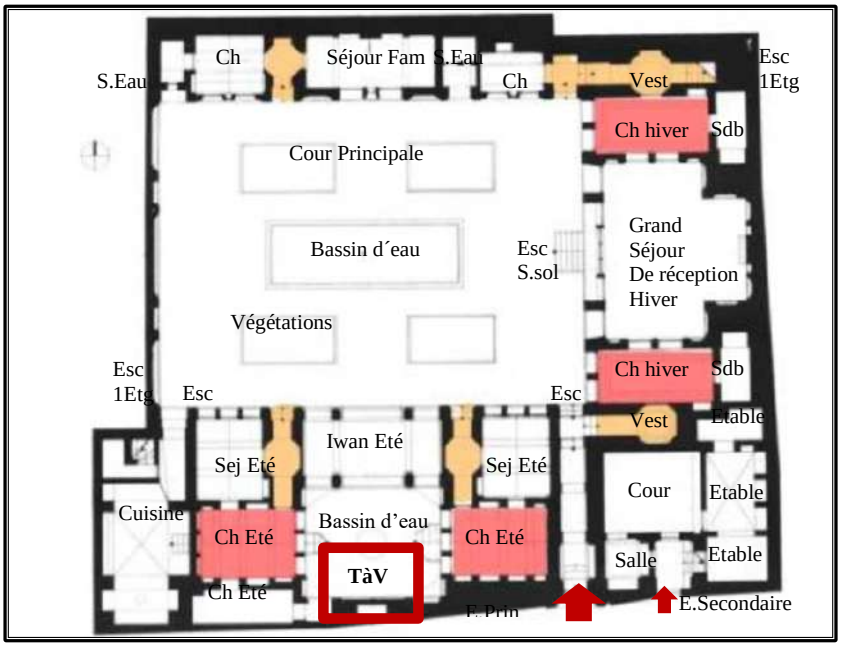


Figure 6.58: *Vue en plan RDC maison Attarha, Yazd (non datée)*
Source: *Payam (2011)*

Résultats et interprétations de l'analyse syntaxique

D'après la (figure 6.59) et les résultats mentionnés dans le (tableau 6.24), il a été constaté que:

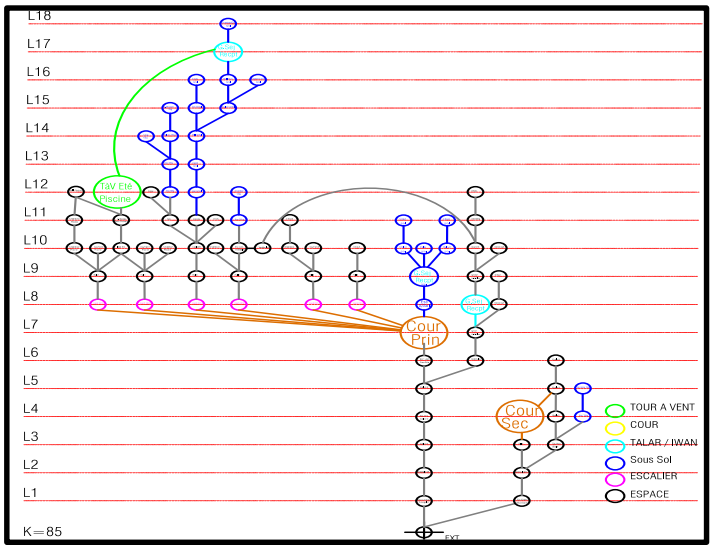


Figure 6.59: *Carte Gamma de la maison Attarha, Yazd*

		Min	Mean	Max	Propriété syntaxique espace doté de tour à vent						
					MDn(T)	RA(T)	I(T)	CV(T)	NC(T)	Cve(T)	Disposition
	Profondeur	5.08	8.69	14.69	9.35						
Iran	RA	0.09	0.18	0.32		0.2					
Attarha	I	3.03	5.82	10.16			4.96				Bassin d'eau
TàV Eté	CV	0.25	1	4				0.33	1	1	

***Tableau 6.24**: Résultats des mesures syntaxiques maison Attarha*

- Concernant l'aspect syntaxique spatial: La tour à vent de la maison Attarha se situe dans la profondeur moyenne du système global ($MDn_{(T)}$=9.35 par rapport à $MD_{(moy)}$=8.69), elle est sur le pas syntaxique que l'espace extérieur (iwan été). Les espaces se trouvant sur le même pas syntaxique que l'espace Badgir « été » (hall vers bassin d'eau et espaces de transition verticale) sont liés à ce dispositif de ventilation. L'espace doté de Badgir est de type «b» qui lève la possibilité du mouvement traversant et le contrôle fortement. Il dispose d'un potentiel de contrôle relativement faible où la valeur de contrôle est de 0.33. Le nombre de connexions de 2, montre la faible relation entre l'espace tour à vent et son voisinage immédiat. La tour est fortement ségréguée et isolée du système global vu sa faible valeur de RA qui tend vers zéro ($RA_{(T)}$=0.20) et $RRA_{(T)}$ de 2.127>1.
- Concernant l'aspect culturel: Le badgir est un équipement accolé au bassin d'eau. Ce dernier est entouré par les Sehdaris (pièces d'été de trois portes) et Talar (Iwan).
- Concernant l'aspect environnemental et la performance thermique: Le bassin d'eau sert à rafraîchir l'air pénétrant via le Badgir avant de le faire véhiculer vers les pièces et le Talar d'été.

6.2 Analyse des maisons contemporaines

6.2.1 Maison Ahmed Abdin, Caire, Égypte

Les principales forces de l'environnement (soleil, vent et terre) ont façonné ce bâtiment. Les considérations nécessaires de durabilité sont l'approche principale adoptée par l'architecte chercheur Ahmed Abdine et appliquées dans sa propre maison au Caire (figure 6.60).

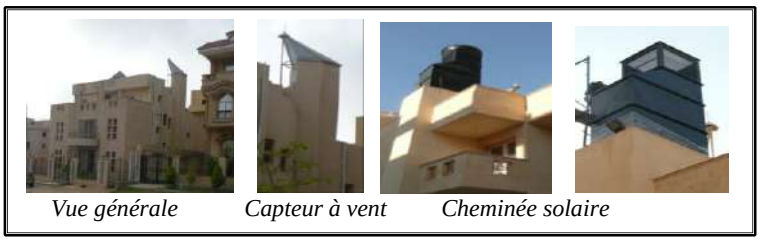
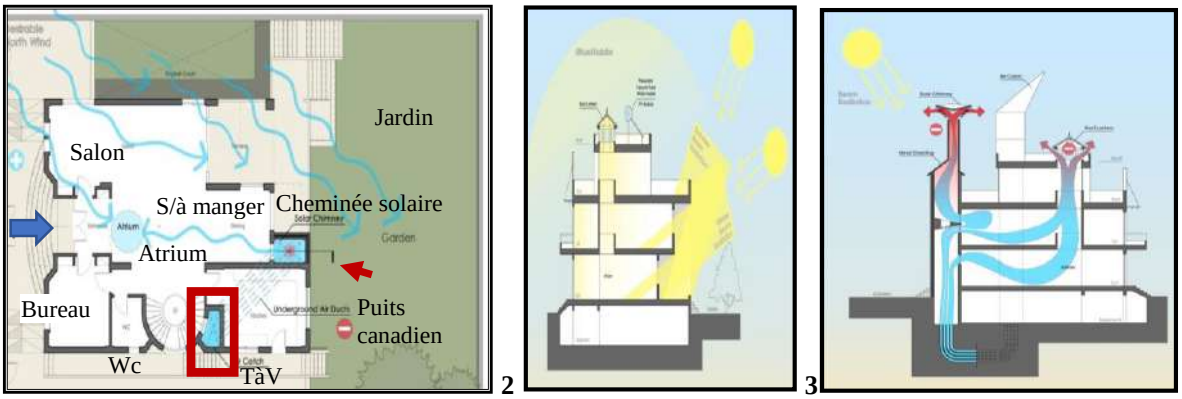


***Figure 6.60**: Vue générale sur la maison Abdin, Caire*

Les matériaux de construction naturels et écologiques (tels que la pierre et le bois) ont été utilisés, l'orientation optimale N-S a été adoptée, la végétation adéquate a été plantée. Un chauffe-eau solaire, un système combiné (cheminée solaire-puit canadien - capteur à vent), ont été exploités afin de minimiser la consommation des énergies fossiles et non renouvelables.

L'organisation spatiale a été centrée autour d'un atrium, dans son coin, il y'a une cheminée solaire. Cette dernière fait accélérer le mouvement d'air à l'intérieur de la maison en favorisant : la pénétration des vents désirables frais via les ouvertures du salon et l'évacuation de l'air chaud vicié vers l'extérieur via la cheminée solaire. L'apport de l'air neuf frais a été effectué au moyen d'un capteur à vent situé dans la cage d'escalier desservant l'étage (figure 6.61).



1.Vue en plan RDC; 2.Protection contre le rayonnement solaire; 3.Combinaison TàV, cheminée solaire et puits canadien

***Figure 6.61**: Vue en plan RDC maison Abdin et soltuions écologiques appliquées, Caire*

***Source**: Abdin (2012)*

Résultats et interprétations de l'analyse syntaxique

D'après la figure 6.62 et les résultats mentionnés dans le (tableau 6.25), il a été constaté que:

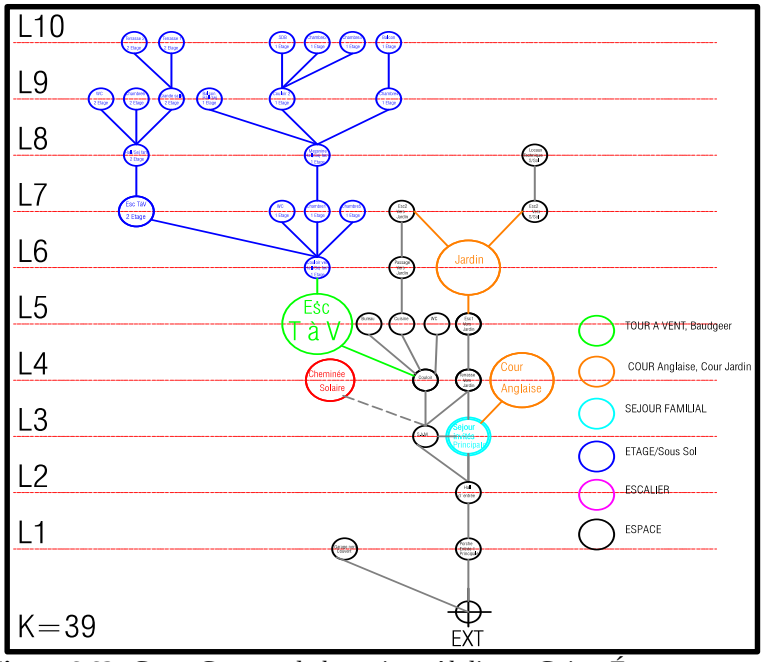


***Figure 6.62**: Carte Gamma de la maison Abdin au Caire, Égypte*

		Min	Mean Moy	Max	Propriété syntaxique espace doté de tour à vent						
					MDn(T)	RA(T)	I(T)	CV(T)	NC(T)	Cve(T)	Disposition
3/Caire, Égypte Ahmed Abdin	Profondeur	3.63	5.46	7.97	3.63						La cage D´escalier
	RA	0.14	0.24	0.37		0.14					
	I	2.65	4.41	7.03			7.03				
	CV	0.2	1	3.5				0.4	2	0.5	

***Tableau 6.25**: Résultats des mesures syntaxiques maison Abdin*

- Concernant l'aspect syntaxique spatial: La tour à vent se situe dans la profondeur minimale ($Mdn_{(T)}$= $MD_{(min)}$= 3.63), à un pas syntaxique au-dessous et au-dessus de l'espace extérieur représenté respectivement par la cour anglaise et le jardin postérieur privé. Les espaces se trouvant sur la même profondeur que ce dispositif (le bureau, le wc et la cuisine) ne sont pas liés spatialement avec la tour à vent. L'espace doté de tour est de type «b» qui lève la possibilité du mouvement traversant et le contrôle fortement. Il dispose d'un potentiel de contrôle de 0.4 relativement faible. Le nombre de connexions de 2 montre la faible relation entre l'espace tour à vent et son voisinage immédiat. La tour est ségréguée et isolée du système global vu sa faible valeur de RA qui tend vers zéro ($RA_{(T)}$=0.14) et $RRA_{(T)}$ calculée de 0.903>0.6.
- Concernant l'aspect fonctionnel : Tour à vent sise dans la cage d´escalier.
- Concernant l'aspect environnemental et performance thermique: l'amélioration de la performance thermique et énergétique de ce système a été faite par la combinaison tour à vent-atrium- cheminée solaire et puit canadien. D'après l'interview avec l'architecte lors de la conférence internationale sur les solutions écologiques organisée par le laboratoire ABE université de Constantine BAPS 2012, la consommation à diminuer mais les informations concernant le rendement du point de vue ventilation (taux de débit d'air pénétrant) et sensation de confort, n'ont pas été communiqués par le concepteur.

Donc, il a été conclu que: toutes les propriétés syntaxiques spécifiques aux maisons traditionnelles égyptiennes analysées dans ce chapitre n'ont pas été trouvées dans ce modèle mis à part qu'elles sont isolées et disposant d'une faible valeur de contrôle. Le nouvel emplacement de la tour (cage d'escalier) diffère totalement de ce qui se faisait autrefois dans les maisons traditionnelles égyptiennes. Cela a engendré la disparition de plusieurs valeurs de la tour ancienne. L'efficacité thermique assurée (selon les propos du concepteur) ne confirme pas la réussite totale de cette solution. La marginalisation du rôle de la tour à vent dans le renforcement des liens sociaux est due à l'excentricité de son emplacement. Elle ne semble pas participer ou jouer un rôle important dans le fonctionnement. En effet, La tour à vent est implantée dans la cage d'escalier qui mène vers les étages et par conséquent elle est connectée uniquement à l'espace de circulation au lieu d'être lié à un espace mère (réception invités ou regroupement familial). Un plan libre ouvert donnant sur un atrium est adopté dans la conception de cette maison. Tous les espaces sont intégrés autour de ce dernier (espace sans délimitation physique ou visuelle). La modernité a apporté beaucoup de mutations dans le mode de vie des habitants telle que l'apparition de nouveaux espaces, de nouvelles activités et pratiques, de nouvelles technologies et par conséquent des surfaces supplémentaires. La tour à

vent doit s'adapter à ce nouveau mode de conception: sa forme, ses dimensions, son emplacement et ses techniques de réalisation doivent être revues pour qu'elle soit adoptée au mode de vie actuel.

6.2.2 Maison contemporaine durable à Wardan, Égypte (2012)

C'est une maison rénovée à Wardan zone rurale, soit environ 50 km au N-O du Caire, où les principes de conception écologique ont été adoptés. Les températures de l'air in situ ont été relevées dans la construction pendant les mois les plus chauds de l'année (1 et 15 /7/2010 et en 1, 15 et 31/8/2010 à 5h,7h,8h,9het11h du matin. Les températures de l'air à l'extérieur étaient de 26 à 36°C et à l'intérieur de la maison étaient de 28 à 34°C. Afin de surmonter les températures et améliorer la qualité de l'air à l'intérieur, les concepts de conception écologique ont été appliqués particulièrement les tours à vents. Les plans sans et avec tour à vent sont indiqués (figure 6.63). Les plans de la maison après rénovation sont dotés de trois capteurs de vents desservant le rez-de-chaussée et le 1er étage.

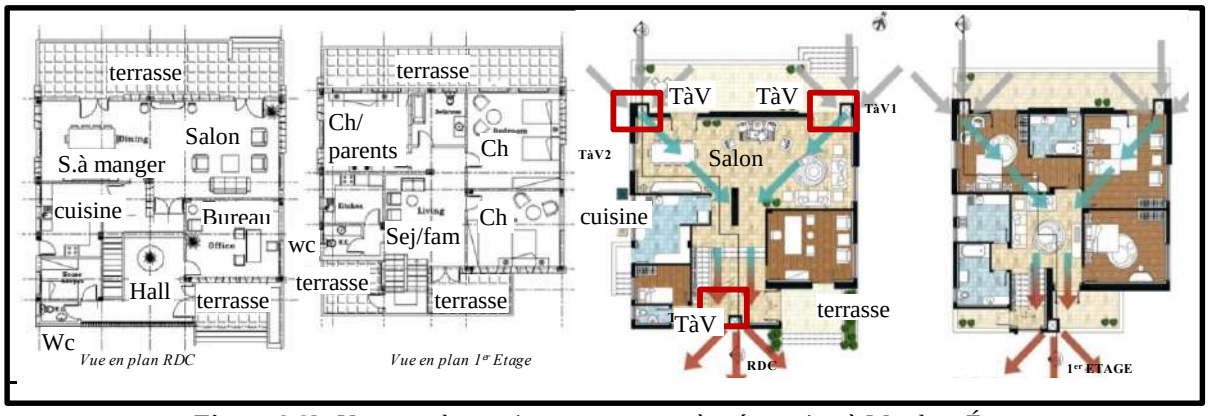


Figure 6.63*: Vues en plan maison avant et après rénovation à Wardan, Égypte*
Source*: Bassioni et al. (2012)*

La conception écologique comprenait des capteurs de vent (Malqaf) et des ventilateurs de plafond pour favoriser la circulation de l'air. De doubles parois externes ont été utilisées avec une couche supplémentaire de 5cm en panneaux de mousse expansée pour renforcer l'isolation thermique de la pierre de chaux existante. La peinture blanche externe a été utilisée pour refléter la chaleur solaire. Le plâtrage en terre battue de 2.5 cm d'épaisseur a été employé comme matériau éco énergétique. Le marbre et les carreaux de céramique locaux ont été également utilisés. Des films en caoutchouc ont été appliqués pour l'étanchéité. Des puits d'eau souterraine ont été utilisés en plus de l'eau locale du Nil. Une ceinture verte de végétation a été créée autour de la maison pour encourager la faune et filtrer l'air de toutes impuretés. Le système d'irrigation utilisé était du type goutte à goutte. Un système d'épuration d'eaux grises a été utilisé et celles-ci traitées ont été conservées dans un réservoir souterrain pour une

réutilisation ultérieure. La gestion du recyclage des déchets a également été appliquée (figure 6.64) (BASSIONI *et al*., 2012).

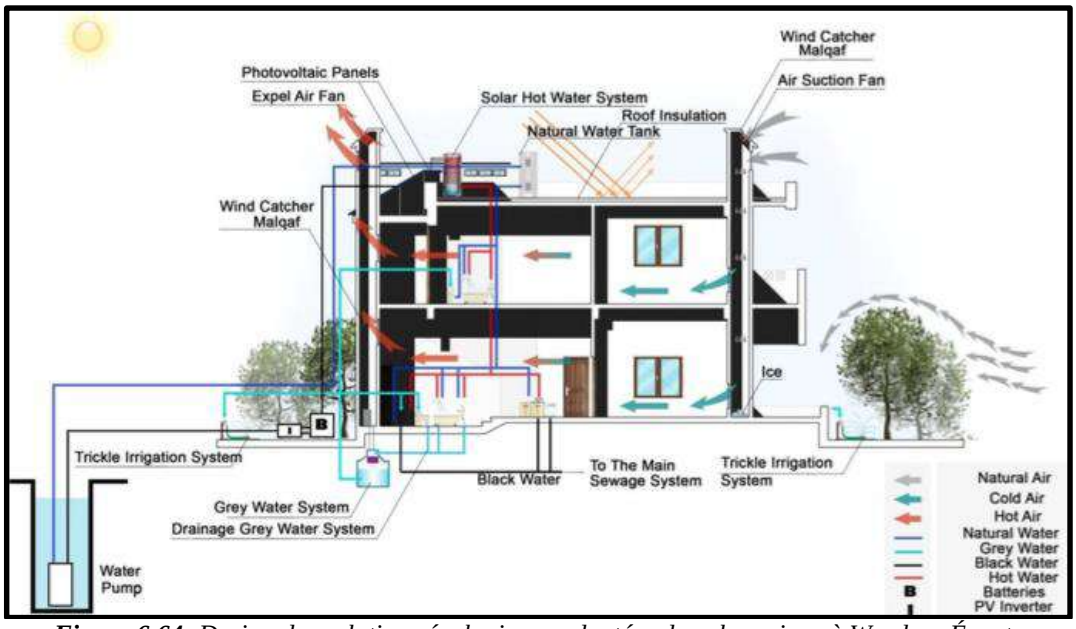


Figure 6.64*: Design des solutions écologiques adoptées dans la maison à Wardan, Égypte*
Source*: Bassioni et al. (2012)*

La qualité de l'environnement intérieur (principe de capteurs à vent adoptés): Le RDC et le 1er étage ont été modifiés pour permettre une ventilation naturelle (figure 6.63). Le salon et la salle à manger sont devenus des espaces ouverts permettant le mouvement de l'air venant du N-E vers le sud au RDC. Deux capteurs de vent (Malqaf) orientés nord, étaient implantés dans ce salon pour l'alimenter en air frais et évacuer l'air chaud de l'espace ouvert à travers un 3e capteur sis côté sud près de la terrasse postérieure. Au premier étage, l'air frais a été introduit dans deux chambres via ces capteurs et aussi à travers les ouvertures basses, en revanche l'air chaud vicié a été expulsé à travers le Malqaf du sud et les lucarnes de la cage d'escalier. Les ventilateurs de plafond ont été introduits pour accélérer le mouvement de l'air, en cas de besoin.
L'efficacité énergétique: L'énergie solaire a été utilisée pour générer de l'électricité via des panneaux photovoltaïques (PV) ainsi que pour la production de l'eau chaude sanitaire. Une étude estimative a été réalisée en comparant le coût des systèmes écologiques intégrés par rapport à ceux des systèmes de climatisation classiques (voir annexe III).
Analyse coût du cycle de vie: D'après, les résultats de la comparaison des coûts, il a été conclu que la conception écologique montre une économie de (31%) par rapport à une conception standard et une économie de (60%) en utilisant une énergie électrique provenant de panneaux photovoltaïques. La durée d'amortissement des surcoûts dans le cas d'une conception standard est d'environ 2,2 ans, et d'environ 0,68 ans dans le cas d'une conception écologique (BASSIONI *et al*., 2012).

Résultats et interprétations de l'analyse syntaxique

D'après le graphe justifié (figure 6.65) et les résultats numériques mentionnés dans le (tableau 5.26) ci-dessous, il a été constaté que:

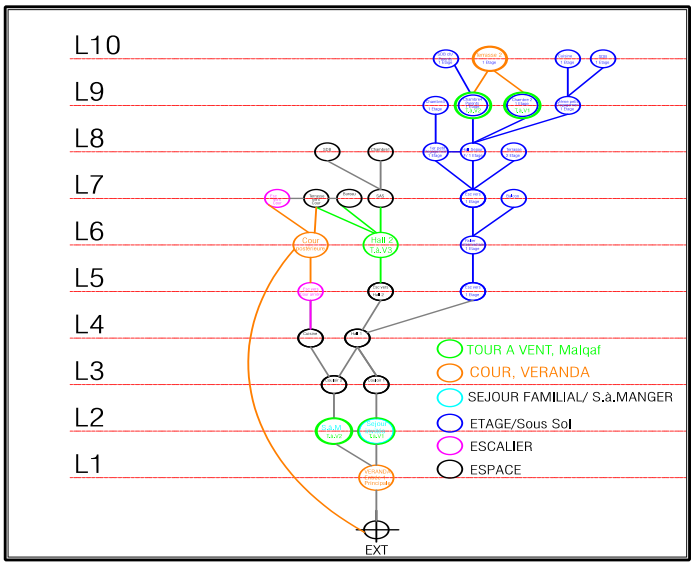


***Figure 6.65**: Carte Gamma de la maison écologique à Wardan*

Égypte		Min	Moy	Max	Propriété syntaxique espace doté de tour à vent						
					MDn(T)	RA(T)	I(T)	CV(T)	NC(T)	CVe(T)	Disposition
2/Wardan	Profondeur	3.38	5.02	6.45	4.77						RDC
Espace	RA	0.15	0.26	0.36		0.25					Séjour
doté de	I	2.75	3.92	6.28			3.97				invités &
TàV1	CV	0.25	1	2.25				1.16	3	0.33	Familial
	Profondeur				4.64						
Espace	RA					0.24					RDC
doté de	I						4.11				Salle à
Tàv2	CV							1	3	0.33	Manger
Espace	Profondeur				4.29						
doté de	RA					0.21					RDC
TàV3	I						4.55				Hall vers
	CV							2.16	4	0.25	jardin
Espace	Profondeur				5.45						
doté de	RA					0.29					Étage
TàV1	I						3.36				Chambre
	CV							0.7	2	0.5	
Espace	Profondeur				5.45						
doté de	RA					0.29					Étage
TàV2	I						3.36				Chambre
	CV							0.7	2	0.5	Parents

***Tableau 6.26**: Résultats des mesures syntaxiques maison à Wardan*

- Concernant l'aspect syntaxique spatial: Les espaces des trois tours à vent de la maison écologique à Wardan se situent dans la profondeur moyenne du système global. Elles sont syntaxiquement très proches de l'espace extérieur, soient dans la même profondeur de la terrasse côté jardin postérieur (cas de la 3^{e} tour à vent du hall cage d'escalier), soient à un pas syntaxique au-dessous de la terrasse d'entrée principale (cas de la 1re et la 2^{e} tour du séjour ouvert au RDC) ou bien au-dessus de l'espace extérieur représenté par la terrasse du 1er étage

(cas de la 1re et la 2e tour des 2 chambres). Les espaces se trouvant sur le même pas syntaxique que l'espace des trois tours sont liés à ce dispositif de ventilation à savoir: tour 1 (séjour et salle à manger); tour 2 (Cour et palier escalier) et tour 3 (Chambres). Les espaces dotés de capteurs à vent varient entre deux types à savoir: «d» complexe pour les deux tours desservant le séjour du RDC. Ce type constitue plus de 2 anneaux de mouvements dont la cour, véranda, le séjour sont parmi les espaces en communs. Et type «c» positionné sur un anneau de mouvement. L'espace des tours 1, 2 et 3 dispose d'un potentiel de contrôle variable allant du 0.7 jusqu'au 2.16. Le nombre de connexions est variable (2, 3 et 4). Les tour sont fortement ségréguées et isolées du système global vu leurs faibles valeurs de RA qui tendent vers zéro ($RA_{(T)}$=0.21 ; 0.24 ; 0.25 et 0.29) et $RRA_{(T)}$ =2.228 ; 1.403 ; 1.461 ; 1.695>1.

- Concernant l'aspect fonctionnel: Puisqu'il s'agit des travaux de rénovation et dans un souci d'une bonne ventilation, 3 tours à vents ont été réalisées en dehors de la surface habitable en tenant compte du sens des vents dominants de la région. 2 tours à vent sont réalisées dans la véranda d'entrée et une dans le hall desservant la cage d'escalier.

- Concernant l'aspect environnemental et performance thermique: l'amélioration de la qualité de l'air à l'intérieur a été effectuée par l'intégration de la tour à vent dans une conception écologique durable appropriée où plusieurs technologies sont associées telles que: les ventilateurs de plafond fonctionnant par l'énergie solaire, l'isolation thermique renforcée et l'utilisation des matériaux éco énergétiques. Donc, la tour à vent seule ne peut pas assurer le confort thermique désiré d'une façon passive (voir annexe III).

Donc, il a été conclu que: Deux propriétés syntaxiques ont été respectées dans cet exemple: la profondeur moyenne et la ségrégation des espaces d'implantation des capteurs à vent.

6.2.3 Maison contemporaine, Iran (2007-2012)

Cette maison en R+2 de 460 m2, est inspirée du mode de vie traditionnelle iranien. Elle se compose d'espaces ouverts et fermés adaptés aux besoins de l'utilisateur (figures 6.66 et 6.67). Elle est dotée d'un espace de tour à vent desservant ces trois étages et garnis d'espace vert.



***Figure 6.66**: Maison Firouzmandan, Lars Iran*
***Source**: http://caoi.ir/index.php/en/projects...uzmandan-house, (2012)*



Figure 6.67: *Coupes sur la maison Firouzmandan et sa tour à vent, Iran*
Source: *http://caoi.ir/index.php/en/projects...uzmandan-house, (2012)*

La tour sert à rafraichir les pièces suivantes: la chambre du sous-sol au moyen d'une ouverture au niveau du plafond, le séjour polyvalent du RDC via une porte fenêtre ainsi que la chambre et la terrasse couverte du 1er étage à travers des impostes (figure 6.67).

Résultats et interprétations de l'analyse syntaxique

D'après le graphe justifié (figure 6.68) et les résultats numériques mentionnés dans le (tableau 6.27) ci-dessous, il a été constaté que:

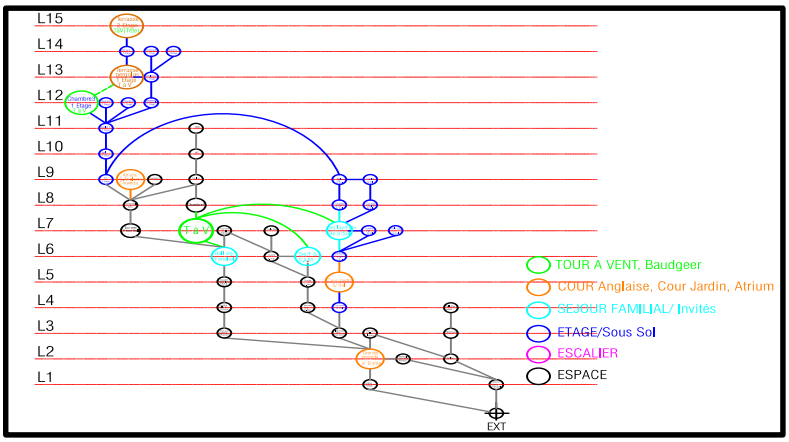


Figure 6.68: *Carte Gamma de la maison contemporaine à Lars, Fars en Iran*

		Min	Mean	Max	Propriété syntaxique espace doté de tour à vent						
					MDn(T)	RA(T)	I(T)	CV(T)	NC(T)	Cve(T)	Disposition
1/Lars, Fars	Profondeur	4.31	6.1	9.39	4.54						Espace
Province Iran	RA	0.13	0.2	0.33		0.14					Tour
Firouzmandan	I	2.97	5.19	7.54			7.04				A vent
TàV	CV	0.2	1	3.5				1.28	4	0.25	

Tableau 6.27*: Résultats des mesures syntaxiques maison Firouzmandan, Fars province Iran*

- Concernant l'aspect syntaxique spatial: la tour à vent de la maison contemporaine à Lars Fars en Iran est considérée comme un espace extérieur indépendant, elle est située dans la profondeur minimale du système global à 2 pas syntaxiques au-dessus de la cour et au-dessous de l'atrium. Les espaces se trouvant sur le même pas syntaxique que l'espace du Badgir ne pas sont liés à ce dispositif de ventilation (séjour sous-sol, cuisine, salle d'eau et hall). L'espace de la tour à vent est de type «d», qui fait partie des complexes car il contient plus de deux anneaux et qui ont plusieurs espaces en communs, le déplacement entrepris à partir de cet espace à travers un espace voisin a le choix de retourner en empruntant un chemin d'un autre espace voisin. L'espace de la tour à vent permet le mouvement, mais avec beaucoup moins de contrôle parce qu'il y a toujours le choix d'itinéraires dans les deux directions. L'espace de la tour à vent est extraverti ($I_{(T)}$= 7.04>I_{mean}=5.19) perméable où l'extérieur tend à avoir un potentiel local assez important sur les mouvements (Cv_T=1.28>1). Il est fortement ségrégué, isolé du système vu sa faible valeur de l'asymétrie relative (RA_T=0.14 tend vers le zéro, $RRA_{(T)}$=1.076) et en égalité de perméabilité de contrôle.
- Concernant l'aspect socioculturel: la tour à vent a maintenu sa disposition spatiale, en tant qu'élément architectural servant à rafraîchir naturellement les espaces de réception, de rencontre familiale, d'échanges et de repos (chambre et terrasse) comme auparavant. Sa conception a été développée pour qu'elle soit une partie centrale intégrante du point de vue socioculturel loin de la centralité géométrique (voir plans). Son rôle est devenu polyvalent.
- Concernant l'aspect environnemental, à travers cet exemple, la tour à vent contemporaine conçue et réalisée en Iran a apporté un nouveau rôle à ce dispositif qui est l'éclairage naturel. L'introduction de l'éclairage naturel au sein des espaces ventilés via le Badgir augmente les bienfaits environnementaux de ce dernier. La présence de l'espace vert dans la tour à vent améliore la qualité de l'air à l'intérieur.

Donc une nouvelle disposition syntaxique (profondeur minimale), un nouveau type (tour à vent verte), une augmentation de nombre d'étage servis, ont été affectés à cet élément. La ségrégation est la seule propriété syntaxique sauvegardée de la tour iranienne traditionnelle.

6.2.4 Maison contemporaine à Ouargla, Algérie (1980)

C'est une villa sise à Ouargla au Sud algérien, conçue par le bureau égyptien des frères El Menyaoui comme il a été cité et expliqué auparavant dans le chapitre 3. La maison dispose de deux gaines de tour à vent (figure 6.69) dont la 1re est implantée au rez-de-chaussée dans le séjour et la 2e au 1er étage dans la chambre (figure 6.70).



Figure 6.69: *Vues générales sur la maison contemporaine à Ouargla, Algérie*
Source: *Bouchahm (2003)*

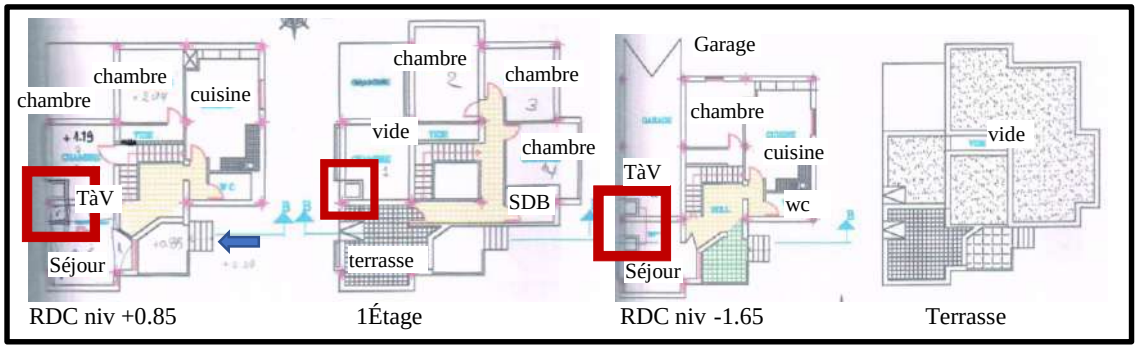


Figure 6.70: *Vues en plan maison contemporaine à Ouargla, Algérie*
Source: *Bouchahm (2003)*

Résultats et interprétations de l'analyse syntaxique

D'après le graphe justifié (figure 6.71) et les résultats numériques mentionnés dans le (tableau 6.28) ci-dessous, il a été constaté que:

Concernant l'aspect syntaxique spatial: L'espace doté des deux capteurs à vent se situe dans la profondeur moyenne du système global ($MD_{(T1)}$= 4,29, $MD_{(T2)}$= 3,35 et $MD_{(moy)}$ =4,34),

- L'espace doté de la 1re tour à vent est à 2 pas syntaxiques (hall- séjour invités) au-dessous de l'espace extérieur (véranda d'entrée principale) et la 2e tour à 3 pas syntaxiques de la terrasse d'étage (escalier-couloir-Chambre d'étage). Ces deux espaces sont liés syntaxiquement à l'espace extérieur. Les espaces se trouvant sur le même pas syntaxique que l'espace du capteur sont liés à ce dispositif de ventilation (séjour, hall et escalier). La topologie de l'espace doté du 1er capteur est de type «a», espace cul- de-sac (dead-end spaces) par lequel aucun mouvement n'est possible à d'autres espaces. Le lien qui unit cet espace au reste du graphe est lien coupé car son élimination couperait l'espace en question du reste de la structure spatiale. Tandis que L'espace doté du 2e capteur est de type «b» complexe, il dégage la possibilité du mouvement traversant et le contrôle fortement. Chaque chemin à travers l'espace du type-b est unique et le mouvement de retour doit passer par le même espace.

L'espace doté de la 1re tour à vent est extraverti ($I_{(T1)}$ = 2.42<I_{mean}=2.52 et $RA_{(T1)}$ tend vers le zéro) perméable où l'extérieur tend à avoir un potentiel local très faible sur les mouvements ($Cv_{(T1)}$ =0.25<1). Il est ségrégué, isolé du système vu sa basse valeur de l'asymétrie relative ($RA_{(T1)}$ =0.41 tend vers le zéro et $RRA_{(T1)}$ =1.729), ($I_{(T1)}$ =2.42>1) et en égalité de perméabilité de contrôle. Le nombre de connexions de ($Nc_{(T1)}$ =1) confirme également son isolement.

- L'espace doté de la 2e tour à vent est introverti ($I_{(T2)}$ = 3.40>I_{mean}=2.52) imperméable par rapport à l'extérieur, tend à avoir un potentiel sur les mouvements ($Cv_{(T2)}$ =1≤1). Il est ségrégué, isolé du système vu sa basse valeur de l'asymétrie relative ($RA_{(T2)}$ =0.29 tend vers le zéro, $RRA_{(T2)}$ = 1.223) et en égalité de perméabilité de contrôle. Le nombre de connexions de ($Nc_{(T2)}$ =1) confirme également son isolement. Et cela conforme aux résultats trouvés dans les exemples analysés dans ce chapitre.

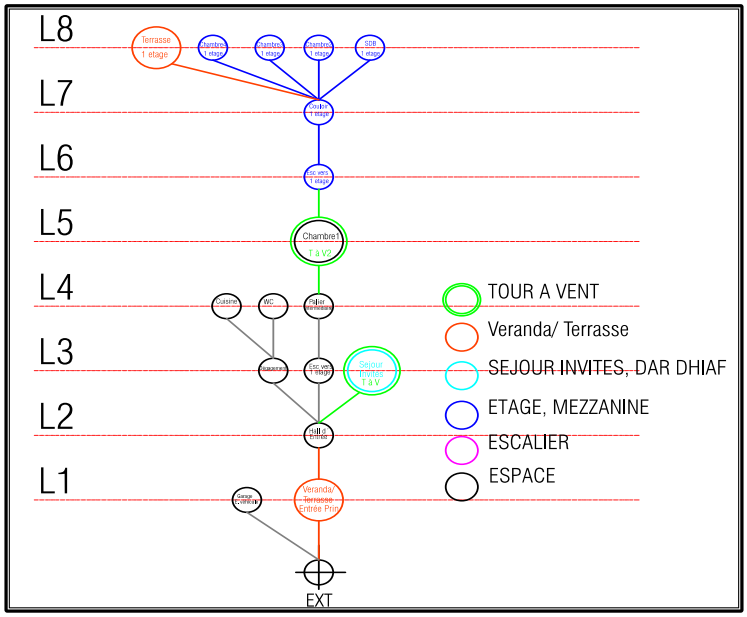


Figure 6.71*: Carte Gamma de la maison contemporaine à Ouargla, Algérie*

					Propriété syntaxique espace doté de tour à vent						
		Min	Mean	Max	MDn(T)	RA(T)	I(T)	CV(T)	NC(T)	Cve(T)	Disposition
1/Ouargla	Profondeur	3.23	4.34	5.82	4.29						
Villa	RA	0.27	0.41	0.6		0.41					Sej/Invités
	I	1.65	2.52	3.57			2.42				RDC
TàV1	CV	0.16	1	5.5				0.25	1	1	
	Profondeur				3.35						
TàV2	RA					0.29					Chambre
	I						3.4				Étage
	CV							1	1	0.33	intermédiaire

Tableau 6.28*: Résultats des mesures syntaxiques villa cité Amrane, Ouargla, Algérie*

- Concernant l'aspect socioculturel: les deux capteurs dont le 1er desserve le salon et le 2e la chambre d'étage, prennent la même disposition que celle des anciennes maisons analysées.

Donc, cet aspect a été respecté.

- Concernant l'aspect environnemental et performance thermique: d'après l'étude expérimentale de (BOUCHAHM, 2003), l'écart de température entre 2 maisons avec et sans capteur (bouche de soufflage supprimée) était de 4°C. En introduisant l'humidification cet écart a augmenté de 6° pour atteindre les 10°c. L'ignorance de l'utilité de ces capteurs par les habitants et le risque permanent d'infiltration de poussière et scorpions sont les causes principales de leurs condamnations (BOUCHAHM, 2003).

6.2.5 Maison contemporaine à Ouled Djellal, Algérie (1980)

Cet exemple a été décrit dans le cadre architectural auparavant et discuté largement sur le plan sociologique dans le chapitre 4 (voir plans).

Résultats et interprétations de l'analyse syntaxique

D'après le graphe justifié (figure 6.72) et les résultats numériques mentionnés dans le (tableau 6.29), il a été constaté que:

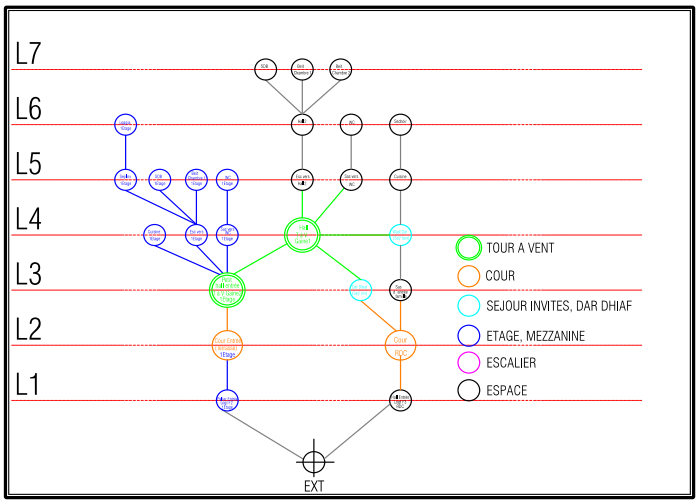


***Figure 6.72**: Carte Gamma de la maison contemporaine à Ouled Djellal, Algérie*

Exemples TàV en Algérie

					Propriété syntaxique espace doté de tour à vent						
		Min	Mean	Max	MDn(T)	RA(T)	I(T)	CV(T)	NC(T)	Cve(T)	Disposition
2/Ouled Djellal, TàV1	Profondeur	2.34	3.77	4.96	2.34						Hall RDC
	RA	0.1	0.22	0.31		0.1					
	I	3.15	4.86	9.28			9.28				
	CV	0.2	1	3.5				2.03	5	0.2	
TàV2	Profondeur				2.46						Hall 1Étage
	RA					0.11					
	I						8.55				
	CV							2.45	5	0.2	

***Tableau 6.29**: Résultats des mesures syntaxiques logement contemporain à Ouled Djellal, Algérie*

- Concernant l'aspect syntaxique spatial : le système du logement semi-collectif d'Ouled Djellal

est contrôlé de l'extérieur et connecté à l'intérieur (configuration annulaire). L'espace équipé des 2 gaines de la tour à vent desservant le RDC et l'étage respectivement, se trouve dans la profondeur minimale, non conforme aux résultats des maisons analysées dans ce chapitre. Il est très proche syntaxiquement de l'espace extérieur, soit au-dessous de la cour d'entrée à un pas syntaxique (cas du RDC) ou bien à deux pas syntaxiques de ce dernier (cas de l'étage). Les espaces se trouvant sur le même pas syntaxique que l'espace doté de la 1re gaine de la tour ne sont pas liés à ce dispositif de ventilation (cuisine, Wastdar et escalier), tandis que celui de la 2e gaine est fortement lié (Dar Dhiaf et sas d'entrée).

- L'espace doté de tour à vent au RDC (Wastdar) est de type «d», impliquant une configuration annulaire composée de 03 boucles de mouvement au choix de l'usager et connectant le rez-de-chaussée avec le 1er étage. Chaque boucle est composée de l'espace de vie (Wastdar), l'espace de transition (sas entrée logement) et l'espace extérieur (cour ou terrasse d'entrée logement). La seule différence entre ces trois boucles est l'absence de l'espace de réception (invités), d'où son ajout est lié au type de logements (F3 avec Dar Dhiaf au RDC au lieu d'un F2 sans cette salle à l'étage). L'espace équipé de la tour est connecté également aux espaces privés nuit (chambres et salle de bain) via des marches. Cette topologie offre aux usagers un choix plus libre pour explorer l'espace intérieur. La présence d'un nombre important de boucles constituées d'espaces (TàV) type «d», a réduit la profondeur spatiale créant ainsi un système intégré au lieu d'être ségrégué cas des exemples analysés.
- L'espace de Wastdar doté de TàV au RDC et à l'étage dispose d'un potentiel de contrôle élevé sur les mouvements ($CV_{(T1)}$ et $CV_{(T2)}$ sont de 2,03 et 2,45 respectivement) et d'un nombre de connexions importants par rapport au exemples analysés ($NC_{(T1)}$ et $NC_{(T2)}$ = 5 chacun). Donc, l'espace équipé de ce dispositif pour les 2 étages, constitue un véritable pivot local des circulations au sein de l'appartement, ce qui ne concorde pas avec les résultats des exemples analysés (valeur de contrôle <1 et nombre de connectivité relativement faible ≤3).

L'espace doté des 2 conduits de la tour à vent est introverti ($I_{(T1)}$=9.28 > $I_{(T2)}$=8.55> I_{mean}=4.86) imperméable par rapport à l'extérieur, tend à avoir un potentiel élevé sur les mouvements et en égalité de perméabilité de contrôle. C'est un espace superficiel, fortement intégré dans le système vu les basses valeurs de l'asymétrie relative ($RA_{(T1)}$ =0.1<$RA_{(T2)}$= 0.11 tend vers le zéro et $RRA_{(T2)}$= 0.520< $RRA_{(T2)}$= 0.578< 0.6). Donc, l'espace doté de tour à vent au RDC et 1er étage est superficiel, de peu de profondeur qui tend d'être fortement intégré dans le système (0.4<$RRA_{(T1)\ et\ (T2)}$<0.6 (Ibid, page113). La tour d'Ouled Djellal possède des propriétés syntaxiques différentes de celles trouvées dans les exemples analysés dans ce chapitre. Cela

explique son mauvais emplacement en organisation spatiale.

- Concernant l'aspect socioculturel: L'espace doté de la tour à vent avec ses deux compartiments à Ouled Djellal, est devenu un espace central polyvalent: de rencontre, d'échanges, de réception, de vie familiale, et d'espace de transition, au lieu d'être uniquement un de ces espaces et pas tous ensemble, comme il a été constaté dans les anciens exemples traditionnels analysés. Ce type social de logement (surface réduite) a contribué à la polyvalence de cet espace.

-Concernant l'aspect environnemental et performance thermique: la tour d'Ouled Djellal a assuré un rendement thermique important, mais qui reste insuffisant. L'introduction de l'humidification est indispensable pour améliorer ses performances (TORKIA, 2009).

6.3 Détermination des propriétés de l'espace doté de tour à vent

Tous les résultats obtenus à travers l'analyse syntaxique des 28 exemples nationaux et internationaux sont récapitulés dans un tableau (voir annexe III). Afin de déterminer les propriétés syntaxiques de l'espace de la tour à vent ou l'espace doté de tour à vent des exemples étudiés, une analyse comparative a été élaborée pour chaque paramètre syntaxique du 1er ordre. Ces paramètres syntaxiques sont: la profondeur, la valeur de contrôle, l'asymétrie relative réelle, l'intégration et la topologie de l'espace.

6.3.1 La profondeur

La (figure 6.73) indique que l'espace en question se trouve dans la profondeur moyenne dans toutes les anciennes maisons mis à part les cas disposant de plus d'une tour. Ces maisons sont spécifiques aux 2 pays l'Iran et E.A.U où une importance très particulière a été donnée à ces tours. La variation de la profondeur de ces dernières est justifiée par la présence des tours à vent été-printemps et été-hiver, ou bien tours à vent 4 saisons (cas de la maison Segari en Iran). L'orientation par rapport aux vents désirés est le facteur primordial de la détermination du nombre et de la disposition de l'espace doté de tour. Donc un changement de disposition engendre un changement de profondeur. Dans les maisons modernes la profondeur moyenne par rapport au système global n'était pas l'objectif de la conception. Mais c'est surtout l'aspect thermique qui a dominé. Une exception est faite dans la maison moderne en Iran et le cas de la ville d'Ouargla en Algérie.

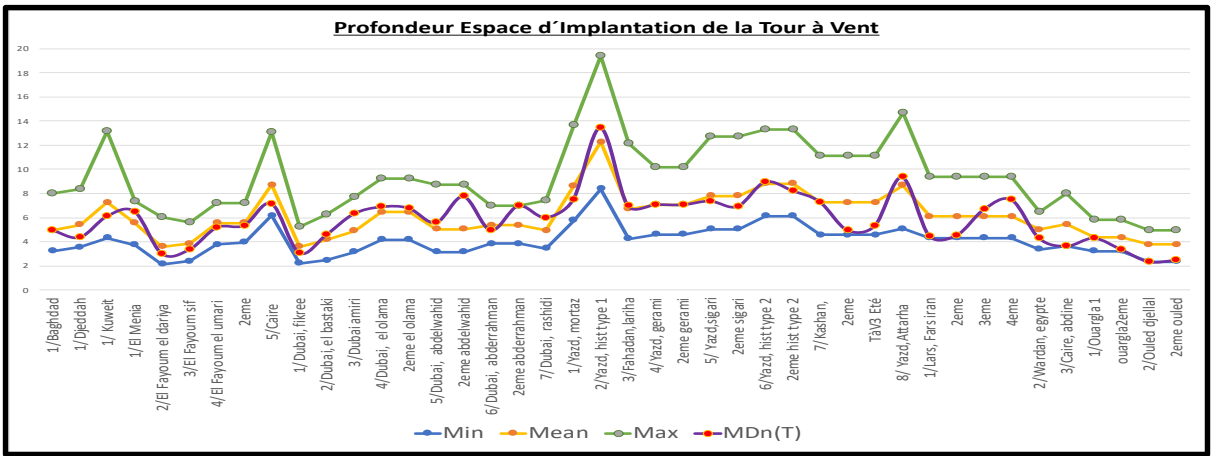


***Figure 6.73**: Comparaison des profondeurs de l'espace TàV ou doté de la TàV dans les exemples étudiés*

6.3.2 L'asymétrie relative réelle

Dans toutes les maisons étudiées anciennes ou modernes, l'espace doté de tour à vent est isolé et fortement ségrégué puisque la majorité des points relatifs aux maisons se trouve au-dessus de la ligne représentant la limite supérieure de l'espace intégré qui est supérieure à 1 (figure 6.74). Le seul cas qui se situe dans la zone des espaces intégrés dont les valeurs varient entre 0.4 et 0.6 (Ibid, p113) est celui d'Ouled Djellal.

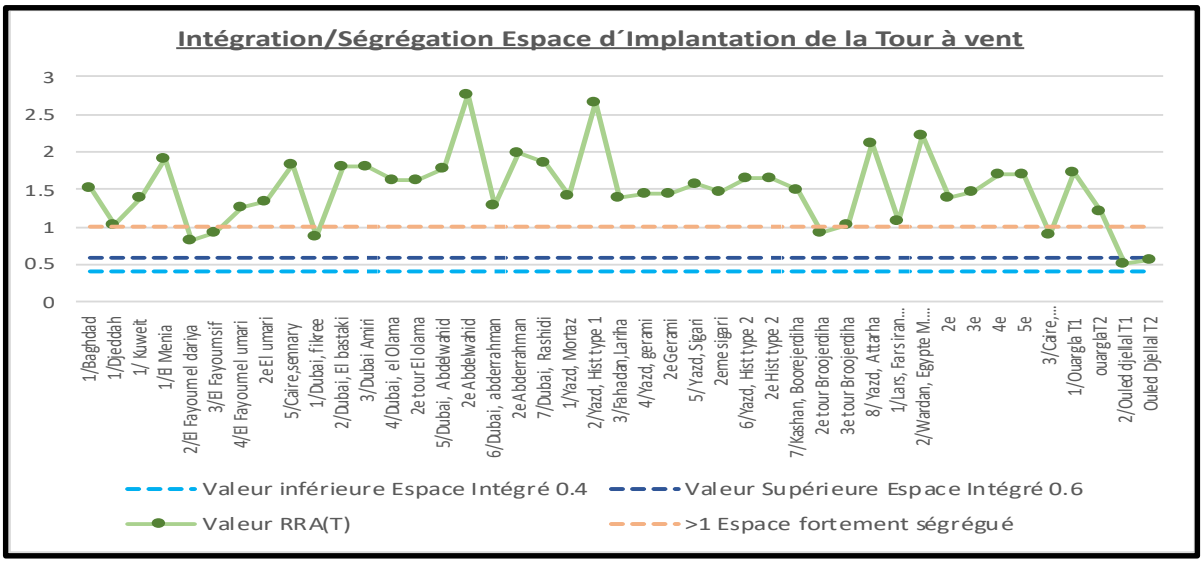


***Figure 6.74**: Comparaison des RRA de l'espace TàV ou doté de TàV dans les exemples étudiés*

6.3.3 La topologie de l'espace doté de tour à vent

La (figure 6.75) montre que les 4 topologies existent dans les maisons étudiées. Mais chaque type correspond à un pays déterminé. Le type «d» complexe est le plus dominant dans les maisons iraniennes anciennes et dans la plupart des maisons contemporaines mis à part Ouargla et la maison de Abdin en Égypte. Le type «c» est le plus dominant dans les maisons des pays du golfe. Les espaces du type «c» et «d» impliquent la configuration annulaire du

système. Un plan annulaire offre aux usagers une flexibilité de mouvement. Les types «a» et «b» sont les plus dominants en Égypte et en Algérie. La répartition de ces types par rapport aux pays, est liée au mode de vie sociologique à l'exception de l'Algérie puisque l'étude a été faite par les Égyptiens.

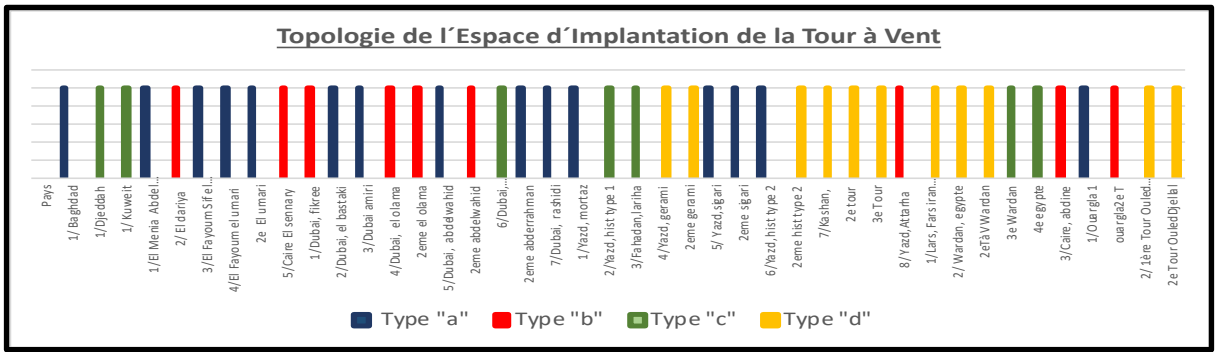


Figure 6.75: *Comparaison de la topologie de l'espace TàV ou doté de TàV dans les exemples étudiés*

La topologie dominante apparente de l'espace tour à vent ou doté de tour à vent dans l'échantillon d'étude est le type «a» en cul-de-sac (figure 6.76), par lequel aucun mouvement n'est possible à d'autres espaces. Le lien qui unit cet espace au reste du graphe est un lien coupé car son élimination couperait l'espace en question du reste de la structure spatiale. Ce qui confirme son isolement. Mais en additionnant le pourcentage des types complexes «c» et «d» , on se retrouve avec 64,4%. Donc, la topologie dominante de l'espace en question est de type complexe formant des espaces sociaux et fonctionnels. L'espace en question fait partie d'un anneau ou plus de mouvement avec les espaces extérieurs (cour, Sahn,.etc), les espaces semi ouverts (Iwan, Maqa'ad) et les espaces couverts les séjours destinés à la réception des invités. De tels anneaux rassemblent des activités alliées et les séparent d'autres espaces pour préserver son identité.

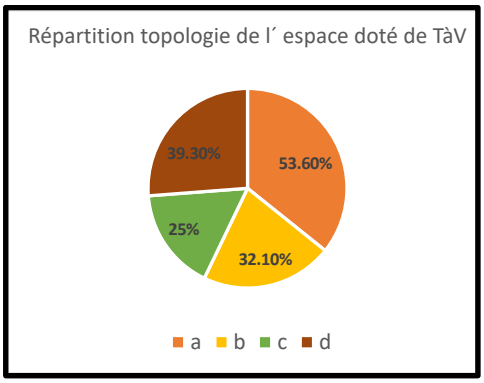


Figure 6.76: *Taux de répartition de la topologie de l'espace de la tour à vent dans les exemples étudiés*

6.3.4 La valeur de contrôle

L'espace doté de la tour à vent de toutes les maisons étudiées disposent d'une valeur de contrôle faible inférieur à 1 mis à part les maisons anciennes dotées de plus d'une tour à vent

et les maisons modernes en Algérie (figure 6.77). Donc, l'espace de la tour à vent exerce un potentiel local faible de contrôle sur les espaces qui l'entourent.

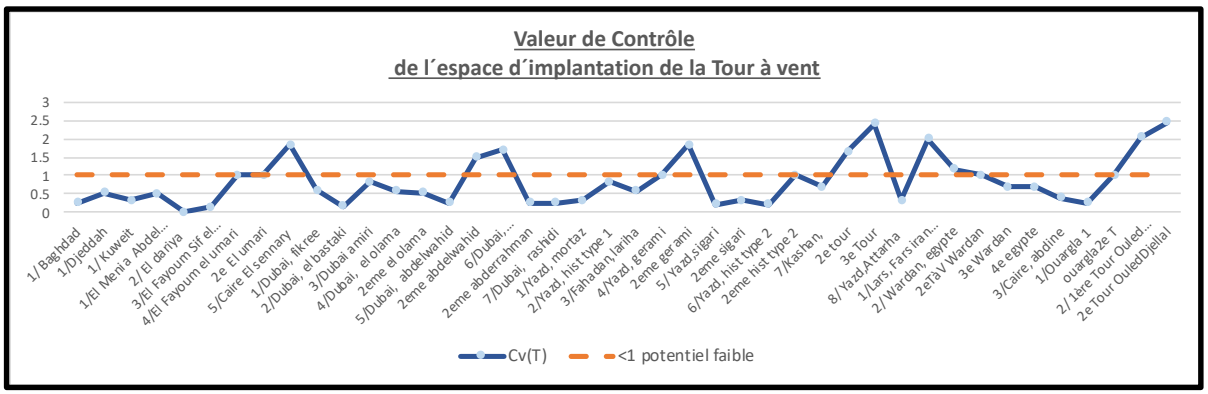


***Figure 6.77**: Comparaison de la valeur de contrôle de l'espace TàV ou doté de TàV dans les exemples étudiés*

6.3.5 La valeur de la connectivité

Le nombre de connexions de l'espace doté de la tour à vent de toutes les maisons étudiées est au maximum de 2. Le nombre de connexions des maisons anciennes possédant plus d'une tour augmente. Il peut atteindre la valeur de 5. La gaine de la tour à vent des maisons contemporaines desserve plusieurs espaces dans différents étages, ce qui explique le nombre élevé de connexions dans ce type (figure 6.78).

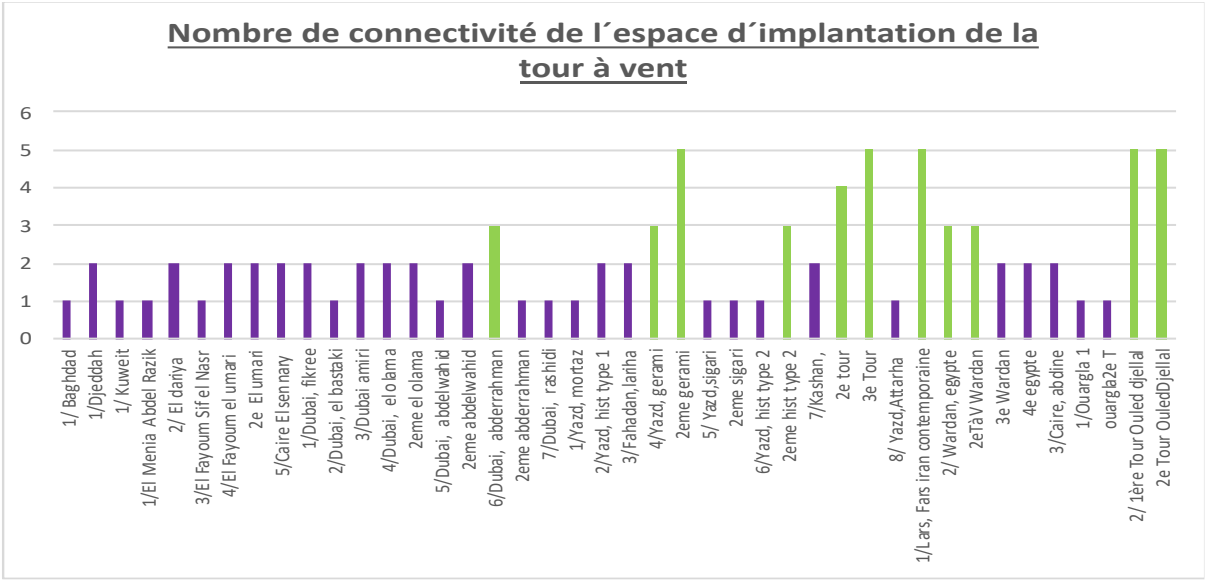


***Figure 6.78**: Comparaison du nombre de connexions de l'espace TàV ou doté de TàV dans les exemples étudiés.*

6.3.6 La valeur de l'intégration par rapport à l'extérieur

D'après la figure (6.79), il a été constaté que les deux courbes de l'intégration et l'intégration moyenne du système global sont presque superposé dans la plupart des maisons étudiées. Donc il s'agit d'un espace imperméable par rapport à l'extérieur, tend à avoir un

potentiel élevé sur les mouvements et en égalité de perméabilité de contrôle.

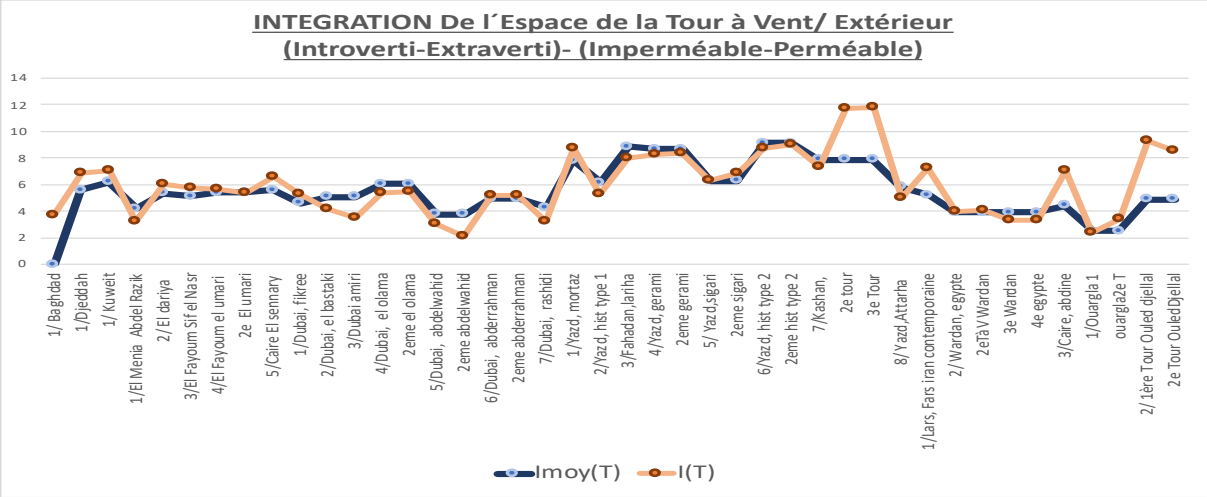


Figure 6.79*: Comparaison de la valeur d'intégration de l'espace TàV ou doté de TàV dans les exemples étudiés.*

6.4 L'emplacement de la tour à vent

D'après les exemples analysés, la tour à vent est lié à trois types d'espaces à savoir: l'espace de vie sociale (séjour, Majlis, Wastdar, Iwan, etc), l'espace de repos (chambre) et dans des cas particuliers adjacents à l'espace de transition et de distribution (cage d'escalier, hall ou couloir). Une carte de différents positionnements de la tour ou de l'espace lié à la tour relative aux maisons cas d'études est élaborée voir (figure 6.80).

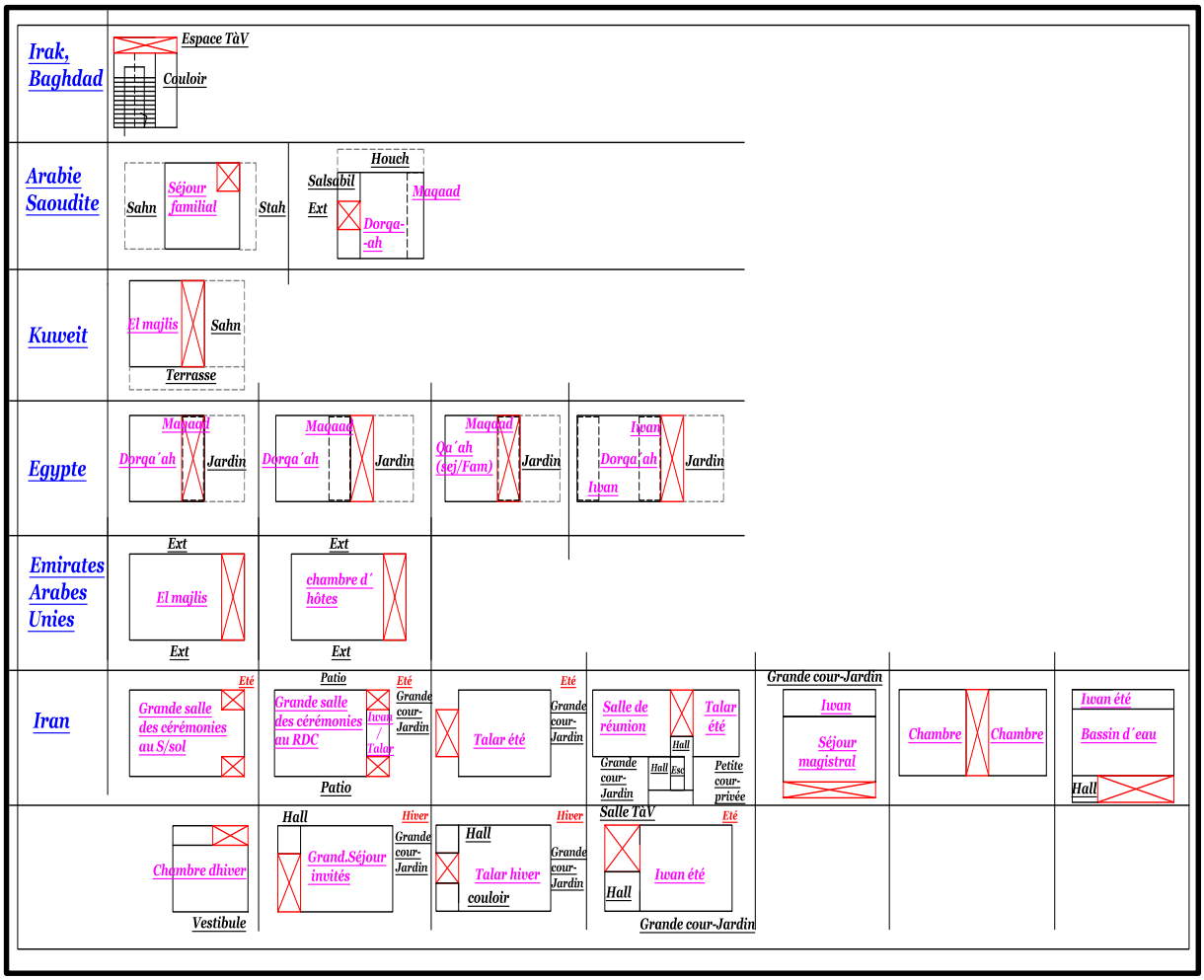


Figure 6.80: *Carte de l'emplacement de l'espace TàV ou doté de TàV dans les exemples étudiés*

6.5 L'aspect environnemental et rendement thermique de la TàV

Dans les maisons anciennes analysées, le rendement thermique de la tour à vent est assuré aussi bien par sa configuration géométrique (hauteur, sections et nombre de compartiments) que par des systèmes de rafraîchissement évaporatif passifs combinés tels que: Qanat ou conduit enterré (transfert de chaleur sol-air) en Iraq et en Iran, Salsabil, charbon humide (transfert de chaleur air-eau) en Égypte et par une cour centrale garnie de bassin d'eau et de végétations. Malgré cela, le confort thermique est insuffisant. Par contre sa position dans l'organisation spatiale de la maison est bien étudiée, elle agrémente la vie sociologique à l'intérieur.

Dans les maisons contemporaines analysées, l'inverse est constaté: la performance thermique de la tour a été améliorée par des technologies récentes combinées, mais son positionnement en tant qu'élément architectural renforçant les liens sociaux a été marginalisé. Elle est devenue un élément architectural purement technique. Les différents types de

fonctionnement de la tour à vent en ventilation naturelle et rafraîchissement passif sont mentionnés (la figure 6.81).

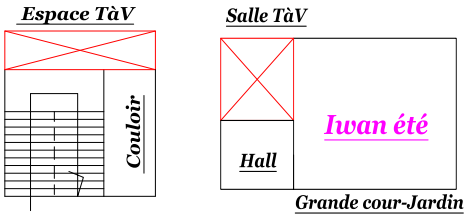
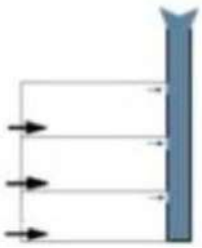
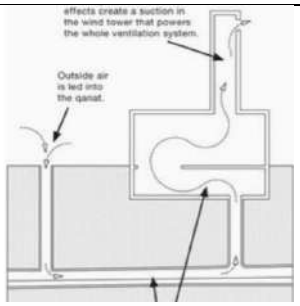
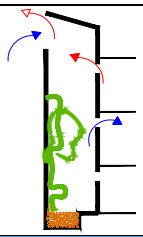
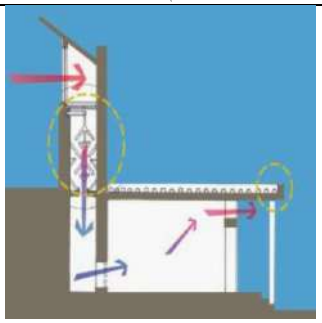
Type	Schéma	Principe transfert de chaleur	Pays
Tour à vent espace de transition accessible		Par la masse	Iraq Iran
Tour à vent Conduit (gaine) intégrée dans un espace		Par la masse	Iran /Égypte E.A.U/ Koweït / Arabie Saoudite Algérie
Combinaison Tour à vent avec un autre système de rafraichissement 1/ Tour à vent - Sol Qanat. (utilisation de la géothermie)		Par la température du sol qui est constante	Iraq Iran
2/ Tour à vent - Végétation		Par évaporation	Iran
3/ Tour à vent- Eau		Par évaporation	Iran Égypte Arabie Saoudite

Figure 6.81*: Typologie selon le mode de fonctionnement de la TàV dans les exemples étudiés*

Conclusion

La syntaxe spatiale qui est fondée sur la théorie configurationnelle de l'espace nous a permis de décoder les formations spatiales et leurs impacts sur l'activité humaine de l'espace

de la tour à vent ou l'espace doté de ce dispositif par l'utilisation aussi bien de la carte gamma que du logiciel *Agraph*. L'espace en question est un système introverti imperméable par rapport à l'extérieur, il se trouve dans la profondeur moyenne du système global soit dans le même pas syntaxique que l'espace extérieur (cour, patio, Sahn, etc) ou au maximum à deux pas syntaxique au-dessous ou au-dessus de ce dernier (après un espace de transition verticale et/ou de distribution horizontale). L'espace d'implantation de la tour à vent est isolé du système, fortement ségrégué (RRA>1), privé et plus contrôlé. L'extérieur est isolé de l'espace tour à vent (la valeur d'intégration de la tour à vent $I(T) \geq I_{mean}$). Le RA est faible, plan d'ordre symétrique avec respect de l'ensemble des espaces et en égalité de perméabilité de contrôle. La topologie dominante de l'espace en question est de type complexe avec un taux global de 64,3% entre « c » et « d » formant des espaces sociaux et fonctionnels. L'espace en question fait partie d'un anneau ou plus de mouvement avec les espaces extérieurs (cour, Sahn, etc), semi ouvert (Iwan, Maqa'ad) et les séjours pour recevoir invités. De tels anneaux rassemblent des activités alliées et les séparent d'autres espaces pour conserver son identité. Ce résultat confirme les travaux de (ROOPAL *et al*., 2015). *«Space syntax»* a apporté des résultats concrets, exprimables de l'espace réel doté de la tour à vent. Elle a fourni avec les techniques d'analyses traditionnelles empruntées dans le chapitre 4 (l'observation en situation, l'entrevue et l'enquête sociologique), un outil complet pour comprendre, développer la structure spatiale de l'espace doté de ce dispositif et déceler les éventuelles lacunes de sa conception au Sud algérien (cas d'étude).

La configuration spatiale des maisons dotées de la tour à vent à Ouled Djellal n'est pas conforme en propriétés syntaxiques par rapport aux exemples internationaux analysés. Ce qui remet en cause la disposition de la tour dans la conception de ces logements et justifie leur condamnation par les habitants. Par contre le cas d'Ouargla, la plupart de ses résultats syntaxiques obtenus sont similaires à ceux des exemples analysés. Ce qui confirme l'hypothèse de l'ignorance de l'utilité du système comme cause principale de leurs condamnations, évoquée par BOUCHAM (2003).

La syntaxe spatiale a fourni un outil complémentaire nécessaire à l'analyse socioéconomique-environnementale (chapitre 04) pour surgir les défaillances configurationnelles du cas algérien et à l'analyse typologique (chapitre 06) pour jaillir les qualités de l'espace équipé de la tour à vent en monde islamique. Les résultats obtenus serviront comme base de données pour le prochain chapitre.

Chapitre 7

Chapitre 07

Analyse typologique conceptuelle

Introduction

Trois types de l'habitat caractérisent le parc immobilier en Algérie: individuel, intermédiaire (semi-collectif) et collectif. L'habitat intermédiaire est le type le plus répandu dans les régions sud (vis-à-vis des programmes lancés par l'état).
Ce chapitre est consacrée à l'analyse typologique de 45 projets d'habitat semi-collectif très convoité dans les régions à climat aride (cas de la wilaya d'Oued Souf) et semi-aride (cas de la wilaya de Biskra).

Ce chapitre est consacré à l'analyse typologique de l'habitat intermédiaire très convoité dans les régions à climat aride (cas de la wilaya d'Oued Souf) et semi-aride (cas de la wilaya de Biskra). Après la définition des critères significatifs de classement, le choix et le recueil des données (échantillon des projets existants ou proposés), des analyses comparatives sont faites. Chaque analyse se conclut par une typologie du critère traité. Les conclusions de chaque typologie sont croisées afin d'aboutir à une combinatoire qui a un caractère partiellement synthétique, explicatif et génératif.

7.1 Paramètres d'analyse

Comme il a été déjà cité en chapitre 3, l'analyse typologique établie est focalisée sur les aspects relatifs aussi bien à la tour à vent et de son emplacement qu'à l'habitat semi-collectif au sud. Ces paramètres sont de contexte environnemental physique, conceptuel et socioculturel.

7.1.1 Paramètres étudiés en environnement physique

Le climat et le site sont les deux éléments traités dans ce contexte comme suit:

7.1.1.1 Le climat

Le climat de l'Algérie est varié, car le pays dispose d'une très grande superficie. Selon la classification de Koppen*, la partie nord possède un climat méditerranéen classe (*Csa)* tempéré, alors que le reste du pays possède en majorité un climat désertique aride classe (*BWh*

*La classification de Köppen est une classification des climats fondée sur les précipitations et les températures, inventée par le botaniste Wladimir Peter Köppen en 1900.

chaud et sec. Cependant entre ces deux grands types de climats existent des climats de transition, particulièrement le climat semi-aride classe (*BSK*) sec steppique. Ce dernier correspond à deux types de climats: climat méditerranéen avec une sècheresse ne se limitant plus uniquement à la saison estivale, mais à une bonne partie de l'année et climat méditerranéen aux influences montagnardes, un petit plus continental (figure 7.1). (https://fr.wikipedia.org/wiki/Climat_enAlgérie).

Le climat dominant au sud est chaud et sec caractérisé par une sécheresse et une aridité permanente qui dure toute l'année, une précipitation insuffisante et variable, une amplitude thermique journalière et annuelle potentiellement forte, une chaleur excessive à des températures extrêmes, des étés chauds ou très chauds et des hivers froids la nuit. (https://fr.wikipedia.org/wiki/Climat désertique#Climat_désertique_chaud).

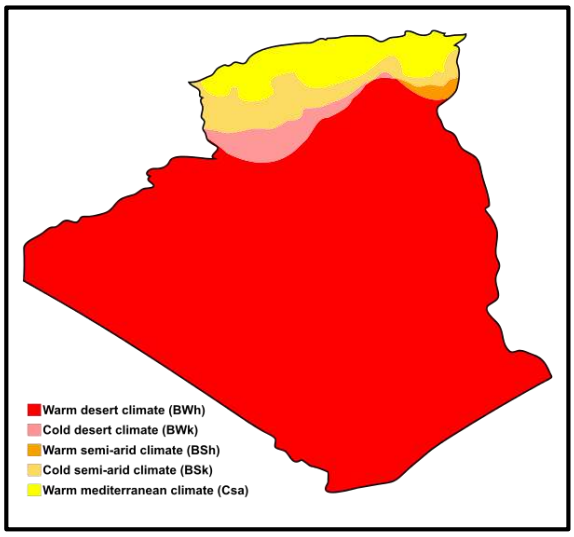


Figure 7.1: *Carte climatique de l'Algérie selon la classification de Koppen*
Source: *https://fr.maps-algeria.com/l%27algérie-carte-climatique*

L'intégration d'un système de ventilation naturelle et de rafraîchissement passif tel que la tour à vent fraîche dans ce genre de climat est fortement recommandée au sud du pays (BOUCHAHM, 2006; DJOUIMA, 2008 et TORKIA, 2009) afin d'atténuer les conditions rudes climatiques de ces régions et assurer un confort thermique pour les occupants.

7.1.1.2 Le site

Le choix des sites d'analyse (cas d'études) était porté sur les wilayas de Biskra et Oued Souf pour les raisons suivantes:

- La différence de climat entre les deux régions à savoir: chaud aride pour El Oued et chaud semi-aride pour Biskra.
- La continuité du travail préalablement élaboré en chapitre 4 (l'enquête sociologique sur la

ville d'Ouled Djellal ex wilaya de Biskra).

- La dominance du type d'habitat semi-collectif était un facteur encourageant pour le choix de la wilaya d'Oued Souf puisque ce type représente un taux de (82,7%) des logements réalisés par les autorités (Direction du logement d'El Oued, 2018). Parmi les 11000 logements réalisés dans la wilaya 9100 logements est du type semi-collectif, le reste (1900 logements) est du type individuel et absence totale de logement collectif.
- L'accessibilité aux sources d'informations (documentations) dans ces deux wilayas nous a permis ainsi d'entreprendre l'analyse dans de meilleures conditions.

7.1.2 Paramètres étudiés en contexte conceptuel

Avant de déterminer les paramètres de conception pris en considération lors de l'entreprise de l'analyse typologique, nous mettons l'accent en premier lieu sur quelques points essentiels qui sont:

7.1.2.1 Type de logement

Le choix a été porté sur le type d'habitat intermédiaire (entre individuel et collectif), qui est basé sur trois propriétés définies par la réglementation française de la circulaire du 9 août 1974 à savoir: une hauteur maximale de trois étages, un accès individuel et une surface de terrasse égale au quart de celle du logement. Comme il a été cité auparavant, ce type a été adopté pour l'élaboration d'une typologie dotée de tour à vent en habitat semi-collectif et ceux pour les raisons suivantes:

- Il a fait l'objet d'une enquête sociologique préalable en chapitre 4,
- Il est le mieux adapté au sud en le comparant à l'habitat collectif,
- Il est le mieux adapté au climat chaud et sec par rapport à l'habitat collectif (hauteur limitée) et proche à l'échelle de la maison individuelle.
- Il est le mieux adapté au mode de vie sociologique par le nombre restreint de logements desservis, les qualités spatiales proches de la maison individuelle et par la présence le plus souvent d'un espace privatif extérieur au niveau de chaque logement.
- Il est plus économique pour les autorités dans les régions désertiques par rapport à l'habitat individuel. C'est un type très recommandé et répandu au sud.

7.1.2.2 Échantillonnage (nombre et type de projets analysés / Wilaya)

Le seul critère pris en considération lors de la collecte des données était d'avoir des dossiers graphiques des projets (réalisés ou proposés dans un concours d'architecture), sises dans les deux wilayas cas d'études Oued Souf et Biskra quelques soient leurs types par mode

d'acquisition (social, promotionnel, participatif, LSP, ...) dates de réalisation (projet ancien ou récent). L'objectif était de rassembler un maximum d'exemples différents en leurs conceptions architecturales.

Le nombre total de projets recueillis dans les deux wilayas était de 25 exemples (12 à Biskra et 13 à El Oued). Ces projets sont de conceptions architecturales différentes, de 45 variantes réparties comme suit: 24 variantes à Oued Souf et 21 variantes à Biskra respectivement. Le résultat de la base de données de ces variantes d'habitat semi-collectif par localisation et nombre de projets dans chaque wilaya, est présenté dans le (tableau 7.1) ci-dessous.

Liste des Projets Analysés

Climat aride Cas de la wilaya d´Oued Souf		Climat semi aride Cas de la wilaya de Biskra	
Intitulé du Projet	Nombre de variante	Intitulé du Projet	Nombre de variante
1/ Projet 18logts S/C - El Nakhla	01	1/ Projet 40 Logts S/C Branis	01
2/ Projet 34logts S/C - DEBILA	01	2/ Projet 14 Logts S/C - Bordj Ben Azouz	02
3/ Projet 100 logts S/C Aachèche - El Oued	01	3/ Projet 20 Logts S/C Loutaya	02
4/ Projet 200 logts S/C - Guemar	03	4/ Projet 40 Logts S/C Loutaya	01
5/Projet 150 logts S/C - Hassi Khalifa	03	5/ Projet 50 Logts S/C Loutaya	01
6/Projet 100 Logts S/C El Chott - El Oued	01	6/ Projet 20 Logts S/C Tolga	01
7/Projet 216 Logts S/C - El Oued	03	7/ Projet 50 Logts S/C Ourlal	03
8/Projet 334 Logts S/C El Nadhour - El Oued	02	8/ Projet 20 Logts S/C - M´Chounech	01
9/Projet 72 Logts S/C El Chott El Oued	01	9/ Projet 20 Logts S/C - M´Chounech	01
10/ Projet 20 Logts S/C - Oued El Alenda	01	10/ Projet 50 Logts S/C LSP Sonatrach - Biskra	01
11/ Projet 150 Logts S/C Taghzout	03	11/ Projet 32 Logts S/C - El Chetma	01
12/ Projet 50 Logts S/C - Taleb Larbi	04	12/ Projet 350 Logts S/C Participatifs - Biskra	02
–	–	13/ Projet 80 Logts S/C Ouled Djellal	04
Total= 12 Projets / 24 variantes		Total= 13 Projets / 21 variantes	
Total= 25 Projets de 45 variantes			

***Tableau 7.1**: Liste des projets analysés dans les wilayas d'Oued Souf et Biskra*

7.2 Identification des éléments à analyser relatifs à la conception du projet

Mettre en évidence les éléments d'identification de chaque conception du projet analysé sous ses aspects morphologiques et organisationnels d'une part et sociologiques et

environnementaux liés à la tour à vent d'autre part était la prochaine étape effectuée après la collecte des données. Ces éléments se distinguent en trois catégories indiquées comme suit:

7.2.1 Éléments relatifs à l'aspect morphologique

Sont la forme urbaine et les modalités d'assemblage des unités de bâti, la forme architecturale du bloc et de l'unité de composition, la hauteur du bloc (nombre d'étages), nombre et type de logements par étage et mode d'accessibilité aux blocs et aux logements.

7.2.2 Éléments rapportant au planning spatial

Sont le programme surfacique (surface habitable, surface non habitable et surface totale logement) et l'organisation spatiale aussi bien de l'unité de composition que des espaces en mitoyennetés logements liés à la tour à vent.

7.2.3 Éléments relatifs à l'environnement socioculturel liés à la tour à vent

Sont le volume, la surface et la disposition des espaces à lier à la tour à vent. Ces espaces sont l'espace de vie (tel que séjour invités, séjour familial et Wastdar), l'espace de repos (chambre) et l'espace extérieur filtre d'entrée (tel que jardin privatif, terrasse et cour) dont le choix ressort de l'analyse syntaxique en chapitre 5 et 6 (effectué sur des exemples de maisons dotées de tours à vent sises dans le monde islamique).

7.2.4 Éléments relatifs à l'aspect environnemental

En outre de l'orientation des blocs, deux principaux facteurs liés à la tour à vent sont pris en considération lors de l'analyse à savoir :

- Caractéristiques (type et surfaces ouvertures) des éléments architecturaux participant à la ventilation naturelle de l'espace où la tour à vent pourrait être intégrée tel que porte, fenêtre et coupole avec ouvertures.
- Principe de ventilation naturelle assurée: soit unilatérale à simple exposition (mono façade) assurée par la force du vent ou transversale à double exposition assurée par l'effet combiné (la force du vent et le tirage thermique).

Il est à noter que malgré leurs importances dans l'analyse typologique, l'aspect constructif et l'aspect esthétique n'ont pas été pris en considération, car le système constructif du logement n'a pas d'effet sur l'emplacement de la tour à vent en organisation spatiale. L'aspect esthétique fait partie d'un axe de recherche important qui nécessite d'être traité à part dans les recherches futures vu sa complexité. En outre, l'impact de la tour à vent sur la façade n'est pas l'apanage de ce travail.

7.3 L’analyse des exemples

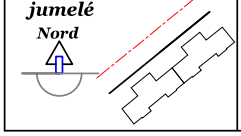
Était la phase la plus difficile rencontrée après l’analyse syntaxique, lors de la collecte des données et la reproduction des dossiers graphiques sur un support informatique de certains projets. Cette étape a appris énormément de temps pour sa réalisation vu le nombre important des exemples et les paramètres à analyser.

7.3.1 Application sur les projets collectés appartenant à la wilaya de Biskra

(Voir tableaux du 7.2 au 7.17).

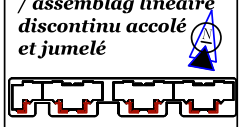
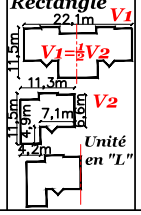
Projet 40 logts S/C Branis

Données Projet 40 logts S/C Branis

Forme urbaine	Forme Archi Bloc/ Logt	Orientation	Nombre d´Etage	Usage	N° logts /Bloc	Type logts	Surf/ logts
Barre / assemblage linéaire continu, accolé et jumelé 	Rectangle  Unité en "L" 	NE-SO	R+1 Hauteur Etage 3.06m	Résidentiel	04 N° logts /unité 02	RDC F3-F3 1 Etage F3-F3	Habitable 68,56m2 Non-Hab (séchoir) 2,50m2 Totale 71,41m2

Projet 14 logts S/C Bordj Ben Azouz

Données Projet 14 logts S/C Bordj Ben Azouz

Forme urbaine	Forme Archi Bloc/ Logt	Orientation	Nombre d´Etage	Usage	N° logts /Bloc	Type logts	Surf/ logts
Barre (en bande) / assemblag linéaire discontinu accolé et jumelé 	Rectangle V1 	NE-SO	R+1 Hauteur Etage 3.06m	Résidentiel V1et V2 similaire	Bloc de 04 logts N° logts /unité 02	RDC F3-F3 1 Etage F3-F3	Habitable 68,56m2 Non-Hab (séchoir) 2,50m2 Totale 71,41m2

Projet 20 logts S/C Loutaya

Données Projet 20 logts S/C Loutaya

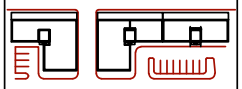
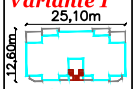
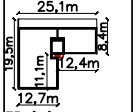
Forme urbaine	Forme Archi Bloc/ Logt	Orientation	Nombre d´Etage	Usage	N° logts /Bloc	Type logts Espace/Bloc	Surf/ logts
Barre (en bande) / assemblage linéaire discontinu accolé avec bloc d´angle 	Rectangulaire Variante 1  Variante 2  Unité rectangulaire 	NE-SO	R+1 Hauteur Etage 3.06m	Mixte RDC Commerce 1er Etage Habitation	02	RDC 06 locaux 1 Etage F4-F4	Habitable 90,32m2 Non-Hab (séchoir) 19,10m2 Totale 109,42m2

***Tableau 7.2**: Analyse de la forme urbaine et architecturale (40 Logts S/C Branis, 14 Logts S/C Bordj Ben Azouz et 20 Logts S/C Loutaya)*

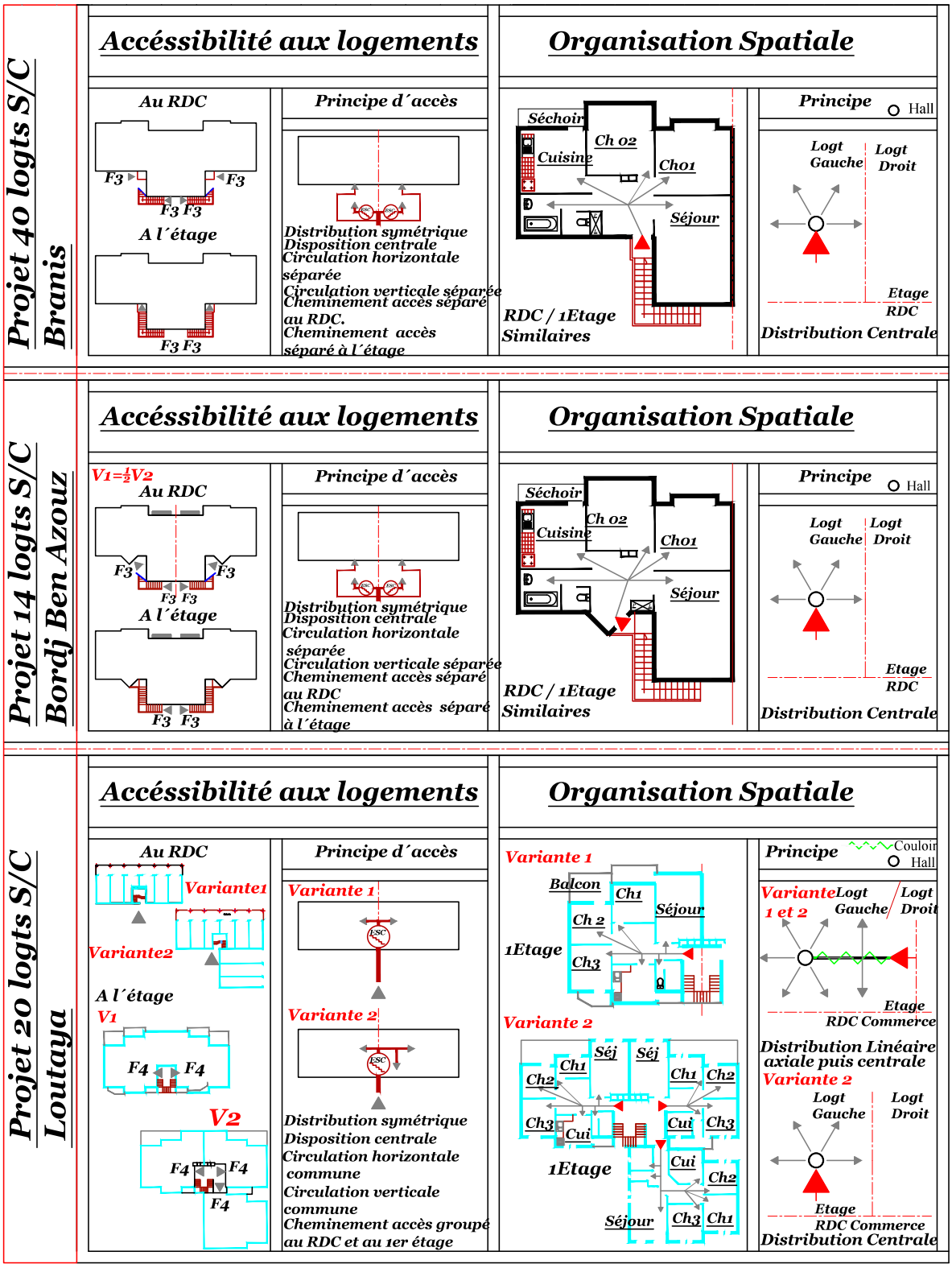


***Tableau 7.3**: Analyse de l'accessibilité et de l'organisation spatiale (4o Logts S/C Branis, 14Logts S/C Bordj Ben Azouz et 20 Logts S/C Loutaya)*

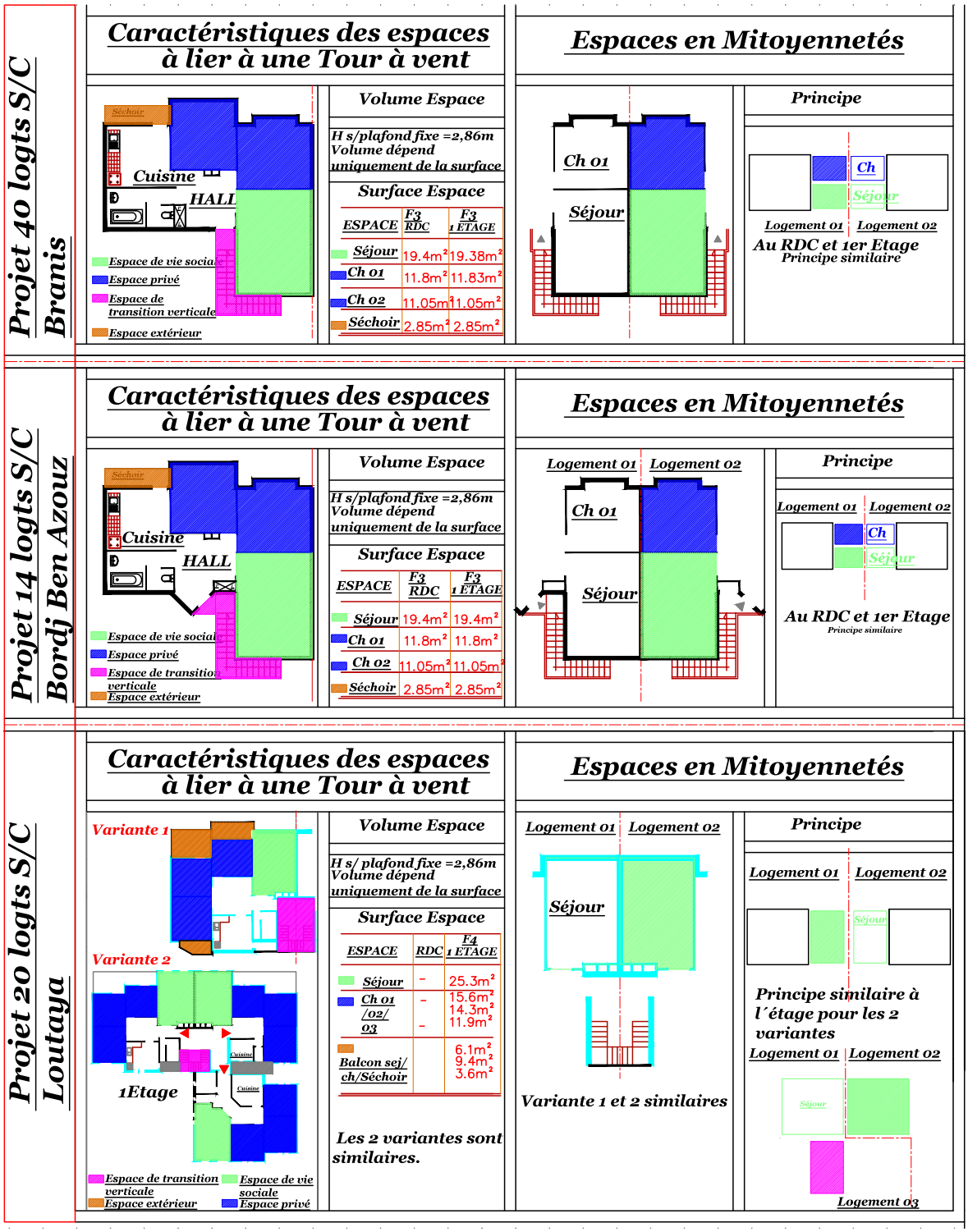


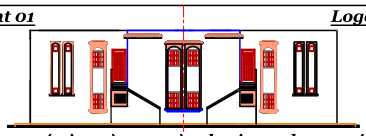
Tableau 7.4: *Analyse des espaces à lier à la TàV et des espaces en mitoyennetés entre logements* (4o Logts S/C Branis, 14Logts S/C Bordj Ben Azouz et 20 Logts S/C Loutaya)

Projet 40 logts S/C Branis

Eléments de ventilation

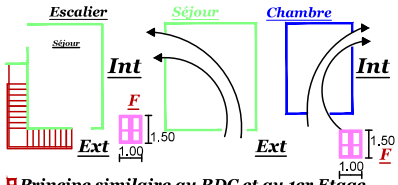
Façade Principale Bloc

Logement 01 | Logement 02



- Façade symétrique à caractère horizontal marqué par la ligne du ciel et la hiérarchie des étages .
- Les espaces liés à la tour à vent sont ventilés via des fenêtres (chambre et séjour) à l´exception de la cage d´escalier qui se trouve à l´extérieur (à l´air libre).
- La ventilation naturelle est le 1er mode de conditionnement de ces espaces.

Principe de ventilation



Surface Ouverture

$F_{chambre}$= 1.50m2

$F_{séjour}$= 1.50m2

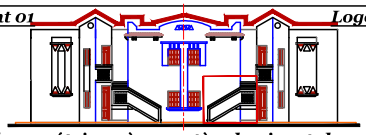
- Principe similaire au RDC et au 1er Etage .
- Ventilation naturelle unilatérale à simple exposition (mono-facade).
- Ventilation assurée par la force du vent
- Cage d´escalier à l´extérieur, exposée directement au vent.

Projet 14 logts S/C Bordj Ben Azouz

Eléments de ventilation

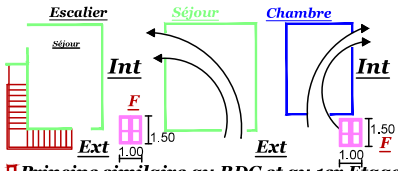
Façade Principale Bloc

Logement 01 | Logement 02



- Façade symétrique à caractère horizontal marqué par la ligne du ciel et la hiérarchie des étages .
- Les espaces liés à la tour à vent sont ventilés via des fenêtres (chambre et séjour) à l´exception de la cage d´escalier qui se trouve à l´extérieur (à l´air libre).
- La ventilation naturelle est le 1er mode de conditionnement de ces espaces.

Principe de ventilation



Surface Ouverture

$F_{chambre}$= 1.50m2

$F_{séjour}$= 1.50m2

- Principe similaire au RDC et au 1er Etage .
- Ventilation naturelle unilatérale à simple exposition (mono-facade)
- Ventilation assurée par la force du vent
- Cage d´escalier à l´extérieur, exposée directement au vent.

Projet 20 logts S/C Loutaya

Eléments de ventilation

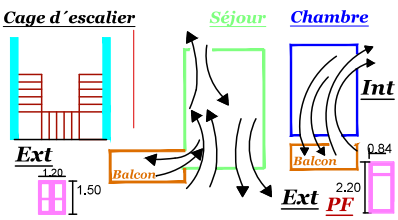
Façade Principale Bloc

Logement 01 | Logement 02

D´après les vues en plans, on a constaté que:

- Les espaces liés à la tour à vent sont ventilés via des fenêtres (chambre et séjour).
- La façade principale de la cage d´escalierest ouverte complètement vers l´extérieur, traitée en garde corps.
- La ventilation naturelle est le 1er mode de conditionnement de ces espaces.

Principe de ventilation



Surface Ouverture

F=1.80m2

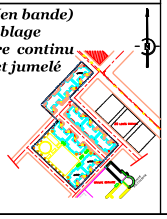
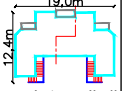
P F= 1.84m2

- Principe similaire au RDC et au 1er Etage .
- Ventilation séjour et chambre est assurée par l´effet combiné: la force du vent et le tirage thermique (présence de 2ouvertures sur la même façade)
- La cage d´escalier est exposée directement au vent.

Tableau 7.5: *Éléments et principe de ventilation naturelle* (4o Logts S/C Branis, 14Logts S/C Bordj Ben Azouz et 20 Logts S/C Loutaya)

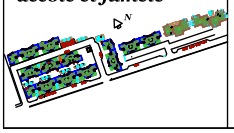
Projet 40 logts S/C Loutaya

Données Projet 40 logts S/C Loutaya

Forme urbaine	Forme Archi Bloc/ Logt	Orientation	Nombre d´Etage	Usage	N° logts /Bloc	Type logts /Bloc	Surf/ logts
Barre (en bande) / assemblage Linéaire continu accolé et jumelé 	Rectangle 19.0m 12.4m  Unité en "L" 	NO-SE NE-SO	R+1 Hauteur Etage 3.06m	Résidentiel	04 N° logts /unité 02	RDC F3-F3 1 Etage F3-F3	Habitable 66,00m2 Non-Hab (Loggia/Balcon) 7,66m2 Totale 73,66m2

Projet 50 logts S/C Loutaya

Données Projet 50 logts S/C Loutaya

Forme urbaine	Forme Archi Bloc/ Unité	Orientation	Nombre d´Etage	Usage	N° logts /Bloc	Type logts /Bloc	Surf/ logts
Barre (en bande) / assemblage Linéaire continu accolé et jumelé 	Rectangle 21.90m 10.10m  Unité En "L" 	N-S E-O	R+1 (+6.12m) Hauteur Etage 3.06m	Résidentiel	04 N° logts /unité 02	RDC F3-F3 1 Etage F3-F3	Habitable 68,80m2 Non-Hab (Loggia/Balcon) 3,76m2 Totale 73,34m2

Projet 20 logts S/C Tolga

Données Projet 20 logts S/C Tolga

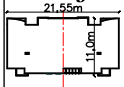
Forme urbaine	Forme Archi Bloc/ Unité	Orientation	Nombre d´Etage	Usage	N° logts /Bloc	Type logts /Bloc	Surf/ logts
Barre (en bande) / assemblage Linéaire continu accolé et jumelé	Rectangle 21.55m 11.0m  Unité carrée 	NE-SO	R+1 (+6.12m) Hauteur Etage 3.06m	Résidentiel	04 N° logts /unité 02	RDC F3-F3 1 Etage F3-F3	Habitable 68,30m2 Non-Hab (Loggia/Balcon) 4,51m2 Totale 72,81m2

Tableau 7.6: *Analyse de la forme urbaine et architecturale* (4o Logts S/C Loutaya, 50 Logts S/C Loutaya et 20 Logts S/C Tolga)

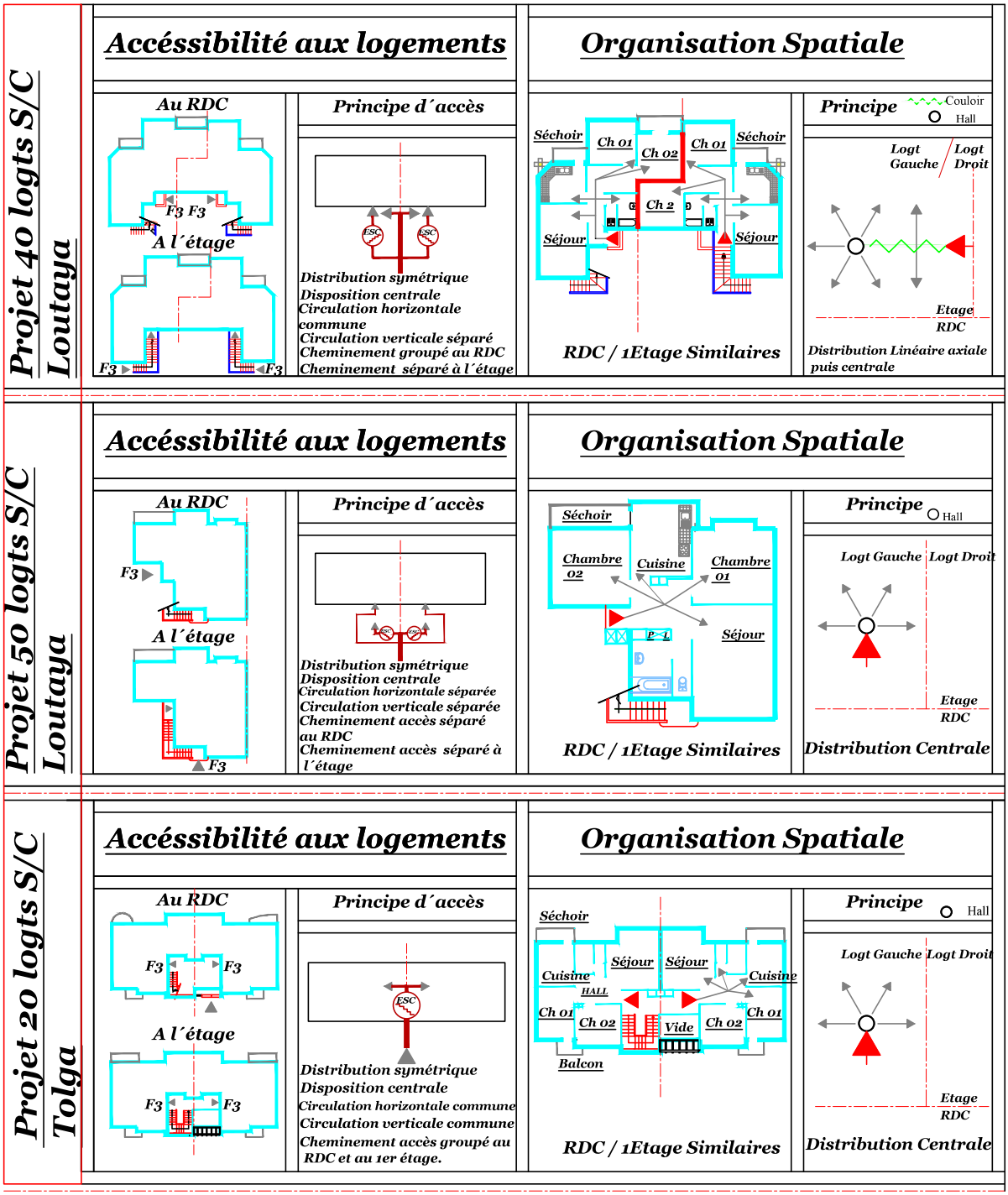


***Tableau 7.7**: Analyse de l'accessibilité et de l'organisation spatiale (4o Logts S/C Loutaya, 50 Logts S/C Loutaya et 20 Logts S/C Tolga)*

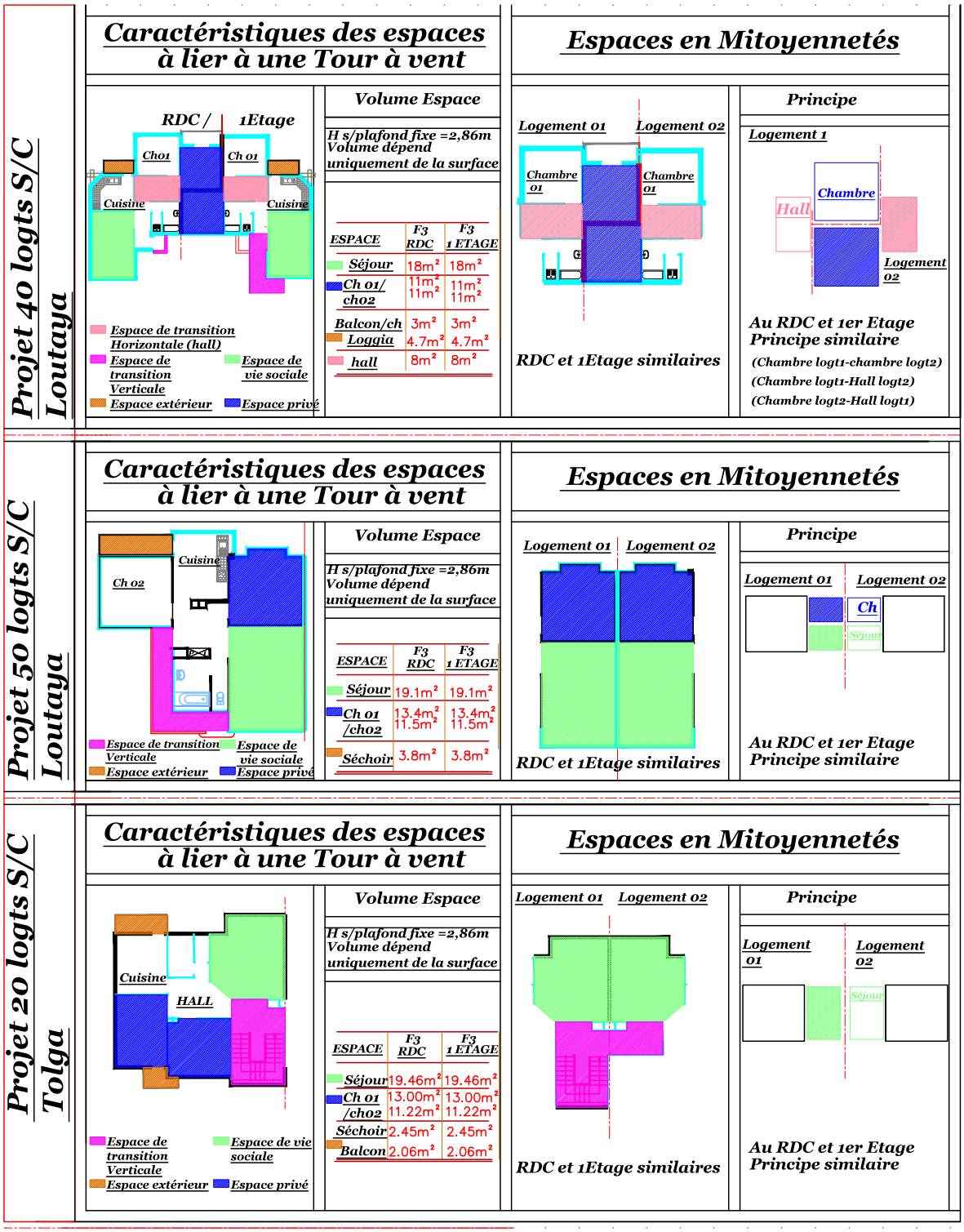


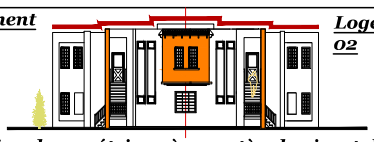
***Tableau 7.8**: Analyse des espaces à lier à la TàV et des espaces en mitoyennetés entre logements (4o Logts S/C Loutaya, 50 Logts S/C Loutaya et 20 Logts S/C Tolga)*

Projet 40 logts S/C Loutaya

Eléments de ventilation

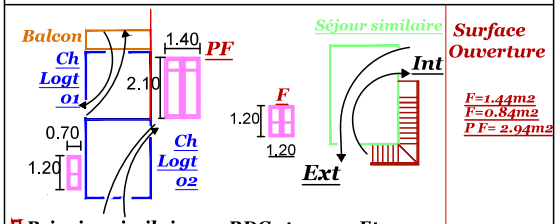
Façade Principale Bloc

Logement 01 — Logement 02



- La façade symétrique à caractère horizontal marqué par la ligne du ciel (silhouette).
- Les espaces liés à la tour à vent sont ventilés via des fenêtres pour chambre et séjour.
- La Cage d´escalier est sise à l´extérieur,elle est ventillée naturellement.
- La ventilation naturelle est le 1er mode de conditionnement de ces espaces.

Principe de ventilation



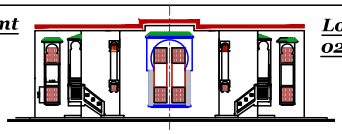
- Principe similaire au RDC et au 1er Etage .
- Ventilation naturelle unilatérale à simple exposition (mono-facade)
- Ventilation assurée par l´effet du vent .
- Cage d´escalier à l´extérieur,ventilée naturellement

Projet 50 logts S/C Loutaya

Eléments de ventilation

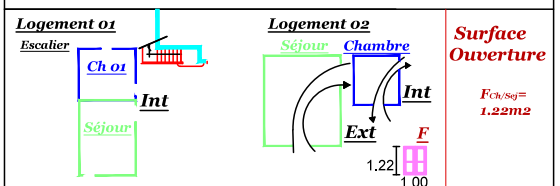
Façade Principale Bloc

Logement 01 — Logement 02



- La façade à caractère horizontal marqué par la ligne du ciel, la hiérarchie des étages et les corniches.
- Les espaces liés à la tour à vent sont ventilés via des fenêtres pour chambre et séjour.
- La Cage d´escalier est sise à l´extérieur,elle est ventillée naturellement.
- La ventilation naturelle est le 1er mode de conditionnement de ces espaces.

Principe de ventilation



- Principe similaire au RDC et au 1er Etage .
- Ventilation naturelle unilatérale à simple exposition mono-façade.
- Ventilation assurée par l´effet du vent .
- Cage d´escalier à l´extérieur,ventilée naturellement

Projet 20 logts S/C Tolga

Eléments de ventilation

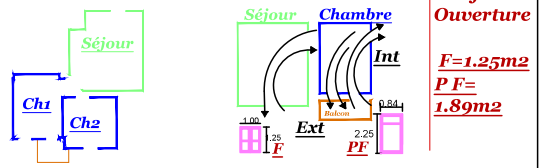
Façade Principale Bloc

D´après les vues en plans, on a constaté que:

- Les espaces liés à la tour à vent sont ventilés par l´ouverture des fenêtres des chambres/et les portes fenêtres des séjours.
- La Cage d´escalier est sise à l´extérieur,elle est ventilée naturellement.
- La ventilation naturelle est le 1er mode de conditionnenement de ces espaces.

Principe de ventilation

Principe similaire pour les deux Logements



- Principe similaire au RDC et au 1er Etage .
- Ventilation naturelle à simple exposition mono-facade
- Ventilation assurée par l´effet du vent (cas du séjour)
- Ventilation assurée par l´effet combiné: la force du vent et le tirage thermique (cas de la chambre)
- Cage d´escalier à l´extérieur,ventilée naturellement

Tableau 7.9: *Éléments et principe de ventilation naturelle (4oLogts S/C Loutaya, 50 Logts S/C Loutaya et 20 Logts S/C Tolga)*

Données Projet 50 logts S/C Ourlal

Projet 50 logts S/C Ourlal

Forme urbaine	Forme Archi Bloc/ Unité	Orientation	Nombre d´Etage	Usage	N° logts /Bloc	Type logts /Bloc	Surf/ logts en (m2)
Barre (en bande) / assemblage Linéaire discontinu unité accolée et jumelée / assemblage Linéaire continu , unité accolée	Rectangle 16,20m 12,70m F3-F3 16,20m F2-F2 12,70m F2-F3 18,80m Unité rectangluaire F2-F2 F3-F3 F2-F3	NE-SO	R+1 Hauteur Etage 3.06m	Résidentiel	04 N° logts /unité 02	Type F3-F3 RDC/Etage F3 /F3 Type F2-F2 RDC/Etage F2/F2 Type F2-F3 RDC/Etage F2 / F3	Hab: 66,9 Non-Hab8,2 Totale:75,05 Hab: 50,2 Non-Hab 8,2 Totale: 58,4 Hab F3: 66,2 Hab F2: 50,2 Non-Hab8,2 ToT: F3 74,4 ToT: F2 58,4

Données Projet 20 logts S/C M´Chounech

Projet 20 logts S/C M´Chounech

Forme urbaine	Forme Archi Bloc/ Unité	Orientation	Nombre d´Etage	Usage	N° logts /Bloc	Type logts /Bloc	Surf/ logts
Barre (en bande) / assemblage Linéaire continu unité accolée et jumelée	Rectangle 18,90m 11,40m Unité rectangulaire	NE-SO NO-SE	R+1 Hauteur Etage 3.06m	Résidentiel	04 N° logts /unité 02	RDC F3-F3 1 Etage F3-F3	Habitable 65,00m2 Non-Hab 4,06m2 Totale 69,06m2

Données Projet 40 logts S/C M´Chounech

Projet 40 logts S/C M´Chounech

Forme urbaine	Forme Archi Bloc/ Unité	Orientation	Nombre d´Etage	Usage	N° logts /Bloc	Type logts /Bloc	Surf/ logts
Barre (en bande) assemblage Linéaire /unité accolée et jumelée	18,9m 11,4m Unité rectangulaire	E-O	R+1 Hauteur Etage 3.06m	Résidentiel	04 N° logts /unité 02	RDC F2-F3 1 Etage F2-F3	Habitable F2=42,7m2 F3=60,0m2 Non-Hab F2=2,00m2 F3=1,44m2 Totale F2=44,7m2 F3=61,4m2

Tableau 7.10: *Analyse de la forme urbaine et architecturale (5o Logts S/C Ourlal, 20Logts S/C M'Chounech et 40 Logts S/C M'Chounech)*

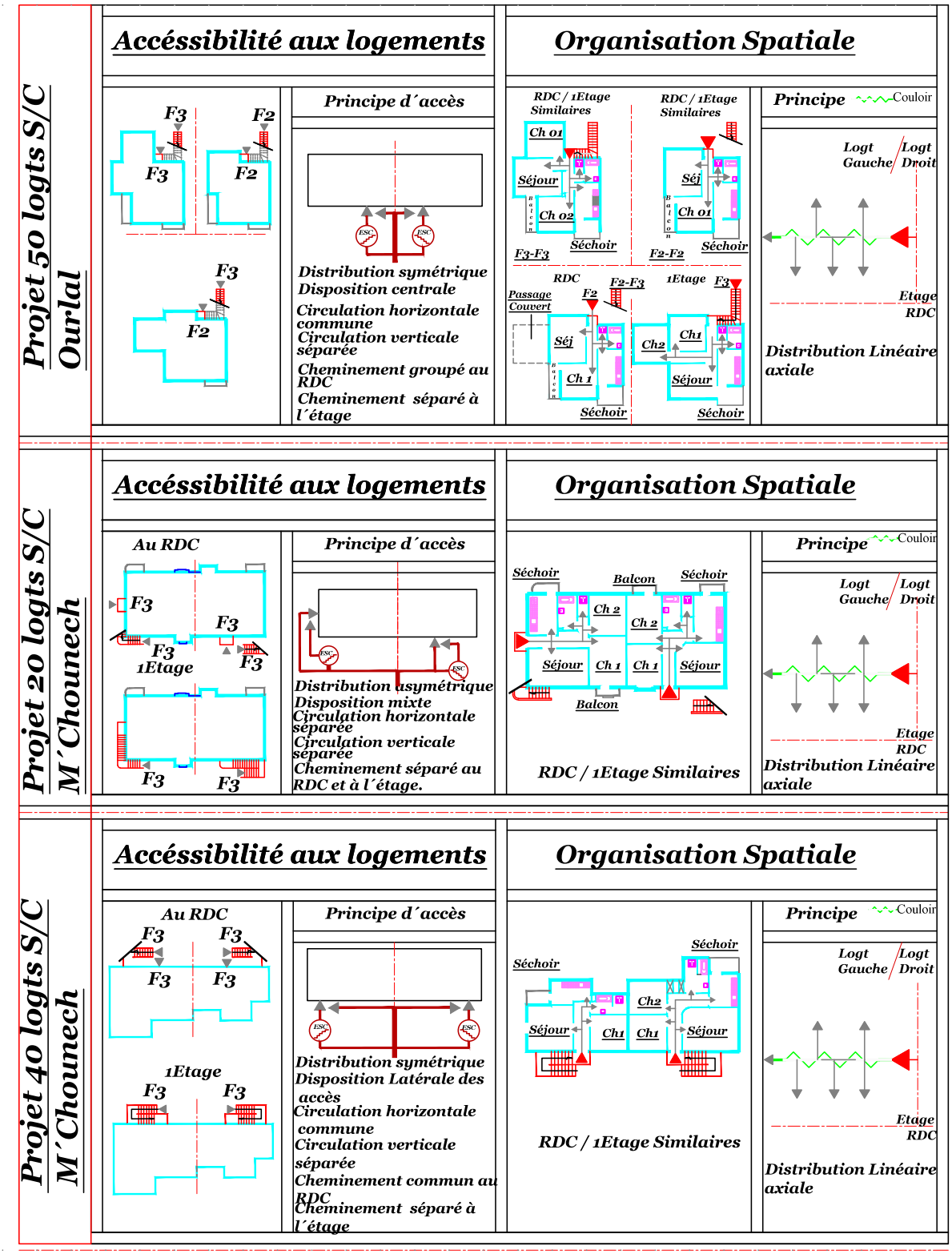


***Tableau 7.11**: Analyse de l'accessibilité et de l'organisation spatiale (5o Logts S/C Ourlal, 20 Logts S/C M'Chounech et 40 Logts S/C M'Chounech)*

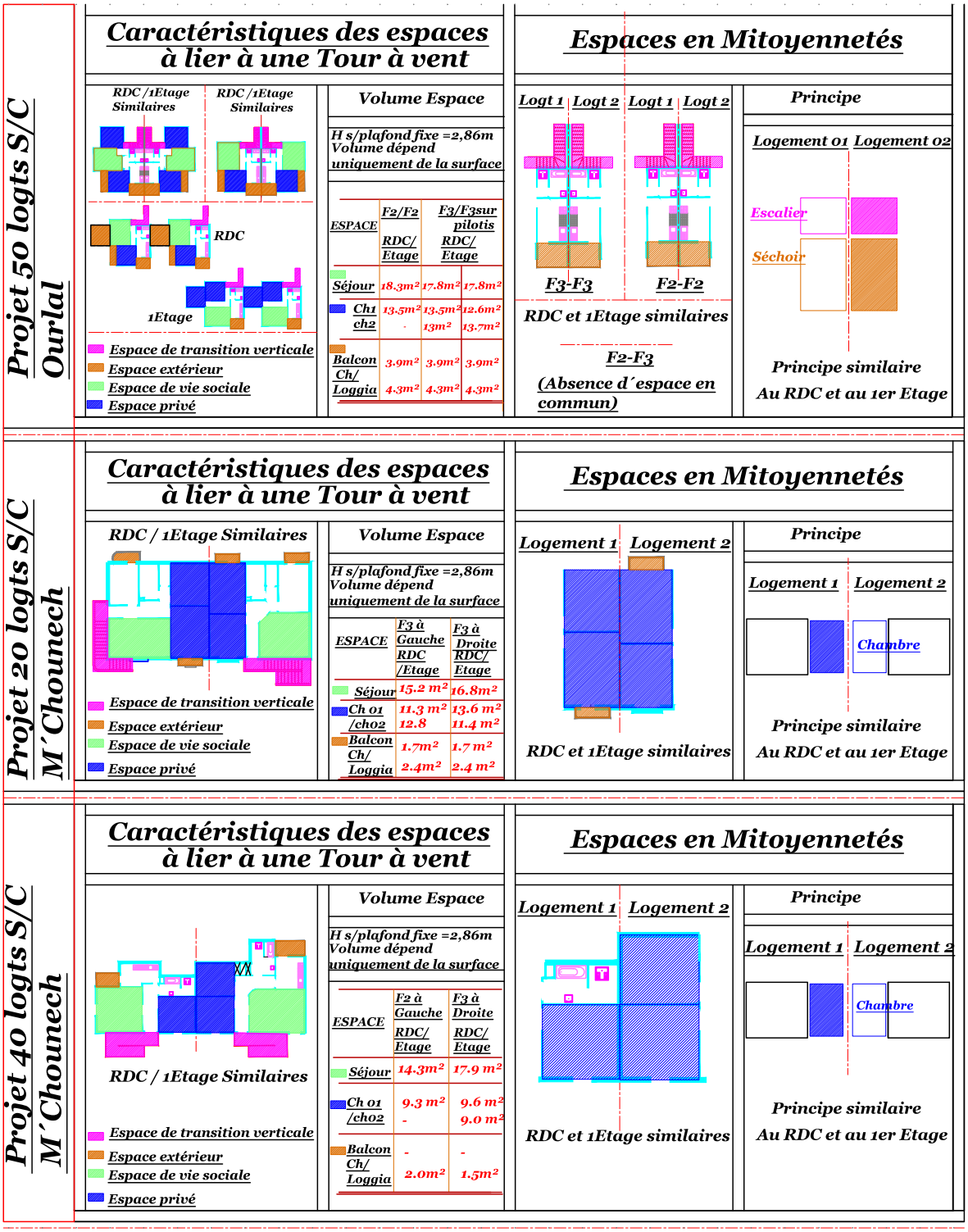


***Tableau 7.12**: Analyse des espaces à lier à la TàV et espaces en mitoyennetés logements (5o Logts S/C Ourlal, 20 Logts S/C M'Chounech et 40 Logts S/C M'Chounech)*

Projet 50 logts S/C Ourlal

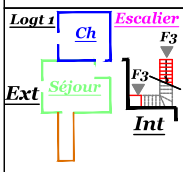
Eléments de ventilation

Façade Principale Bloc



- La façade à caractère horizontal marqué par la ligne du ciel, la hiérarchie des étages et les corniches
- Les espaces liés à la tour à vent sont ventilés via des fenêtres pour chambre /fenêtres et portes fenêtres pour séjour sauf l´escalier qui se trouve à l´extérieur.
- La ventilation naturelle est le 1er mode de conditionnenement de ces espaces.

Principe de ventilation



Surface Ouverture

F=1.25m2
P F= 2.12m2

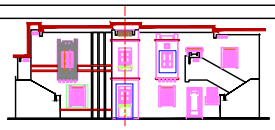
Principe similaire au RDC et au 1er Etage .

- Ventilation naturelle à double exposition traversante assurée par l´effet combiné: la force du vent et le tirage thermique (cas séjour).
- Ventilation assurée par l´effet du vent (cas chambre)

Projet 20 logts S/C M´Chounech

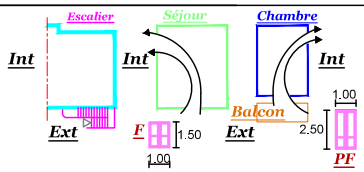
Eléments de ventilation

Façade Principale Bloc



- La façade à caractère horizontal marqué par la ligne du ciel, la hiérarchie des étages et les corniches.
- Les espaces liés à la tour à vent sont ventilés via des fenêtres (chambre) et portes fenêtres sauf la cage d´escalier qui se trouve à l´extérieur.
- La ventilation naturelle est le 1er mode de conditionnenement de ces espaces.

Principe de ventilation



Surface Ouverture

F=1.50m2
P F= 2.50m2

Principe similaire au RDC et au 1er Etage .

- Ventilation naturelle à simple exposition (mono- façade)
- Ventilation assurée par l´effet du vent
- Cage d´escalier sise à l´extérieur,ventilée naturellement

Projet 40 logts S/C M´Chounech

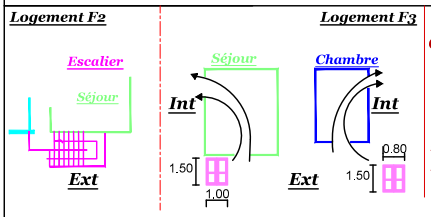
Eléments de ventilation

Façade Principale Bloc

D´après les vues en plans, on a constaté que:

- Les espaces liés à la tour à vent sont ventilés via des fenêtres (chambre et séjour) à l´exception de la cage d´escalier qui se trouve à l´extérieur.
- La ventilation naturelle est le 1er mode de conditionnenement de ces espaces.

Principe de ventilation



Surface Ouverture F2/F3

Fchambre= 1.20m2

Fséjour= 1.20m2

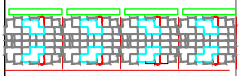
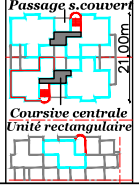
Principe similaire au RDC et au 1er Etage .

- Ventilation naturelle à simple exposition (mono- façade)
- Ventilation assurée par l´effet du vent
- Cage d´escalier sise à l´extérieur,ventilée naturellement

Tableau 7.13: *Éléments et principe de ventilation (5o Logts S/C Ourlal, 20Logts S/C M'Chounech et 40 Logts S/C M'Chounech)*

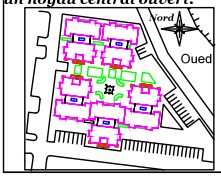
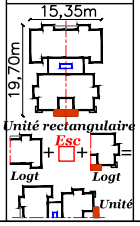
Projet 50 logts S/C LSP Sonatrach Biskra

Données Projet 50 Logts S/C LSP Sonatrach Biskra

Forme urbaine	Forme Archi Bloc/ Unité	Orientation	Nombre d´Etage	Usage	N° logts /Bloc	Type logts /Bloc	Surf/logts en (m2)
Ensemble compact en blocs groupés. Assemblage linéaire continu Plan à coursive centrale ouverte. 	Rectangulaire 25,70m Passage s.couvert 21,00m Coursive centrale Unité rectangulaire 	NE-SO	R+2	Résidentiel	10	Type F3-F3 au RDC	Hab F3 79,6 Non-Hab 10,7m2 S.Totale F3=90,3m2
			Hauteur Etage 3.06m		N° logts /unité 05	Type F5-F5 Duplex 1er et 2ème	Hab F5 101,1m2 Non-Hab 33,1m2 S.Tot F5=134,2m2

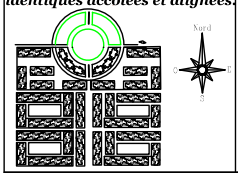
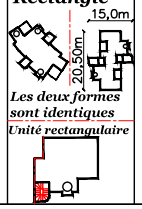
Projet 32 logts S/C El Chetma

Données Projet 32 Logts S/C El Chetma

Forme urbaine	Forme Archi Bloc/ Unité	Orientation	Nombre d´Etage	Usage	N° logts /Bloc	Type logts /Bloc	Surf/logts en (m2)
Assemblage groupé.Unités hétérogène accolées autour d´un noyau central ouvert. 	15,35m 19,70m Unité rectangulaire Esc Logt Logt Unité 	NO-SE	R+3	Mixte: résidentiel et Commercial Variante 01	06 locaux et 08 logts	Type F5-F5 Duplex (RDC, 2 et 3étage)	Hab F5 116,9 Non.Hab19,6 (Préau 14,23 Terrasse 5,4) Tot F5=131,1 Tot F5=118,5 Tot F5=124,5
			Hauteur Etage 3.06m	Résidentiel Variante 02	N° logts /unité 08	Type F6-F6 Duplex (1 et 2 étage)	Hab F6 128,8 Non.Hab 9,6 (Balcon 3,6 Terrasse 5,4) Surf. Totale Tot F5=134,2

Projet 350 logts S/C participatif Biskra

Données Projet 350 Logts S/C Participatifs Biskra

Forme urbaine	Forme Archi Bloc/ Unité	Orientation	Nombre d´Etage	Usage	N° logts /Bloc	Type logts /Bloc	Surf/ logts
Assemblage en barres groupées continues.Unités identiques accolées et alignées. 	Rectangle 15,0m 20,50m Les deux formes sont identiques Unité rectangulaire 	N-S et E-O	R+2 (V1) et R+1 (V2)	Mixte: résidentiel et Commercial Variante1	RDC Commerce 1 et 2ème étage logements (08 logts)	Type F4	Hab F4=76,2 Non.Hab 8,4 (Patio 5,45 séchoir 2,9) Surf.Totale F4=84,6m2
			Hauteur Etage 3.06m	Résidentiel Variante2	N°/ Unité 04 logts/ unité pour les deux variantes	Type F3	Hab F3=58,8 Non.Hab 8,2 (Terrasse) Surf.Totale F3=66,95m2

Projet 80 logts S/C Ouled Djellal

Données Projet 80 Logts S/C Ouled Djellal

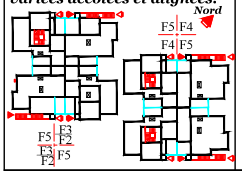
Forme urbaine	Forme Archi Bloc/ Unité	Orientation	Nombre d´Etage	Usage	N° logts /Bloc	Type logts /Bloc	Surf/ logts
Assemblage groupé unitaire jumelé. Unités identiques ou variées accolées et alignées. 	Rectangulaire 24,40m 12,10m Unité de composition Unité jumelée par symétrie pour tous les types d´ assemblage. 	N-S	R+1	Résidentiel	04 Logts/	Type F5/F4 F3/F2 F5/F4-F2	F2 Hab N.H Tot 47,1 17,0 64 F3 Hab N.H Tot 63,9 19,1 83,0
			Hauteur Etage 3.06m		N°/ Unité 02 Logts/		F4 Hab N.H Tot 76,8 19.1 95,9 F5 H N.H Tot 87 22,3 109,3

***Tableau 7.14**: Analyse de la forme urbaine et architecturale (5o Logts S/C Sonatrach Biskra, 32 Logts El Chetma, 350 Logts S/C Biskra et 80 Logts Ouled Djellal)*

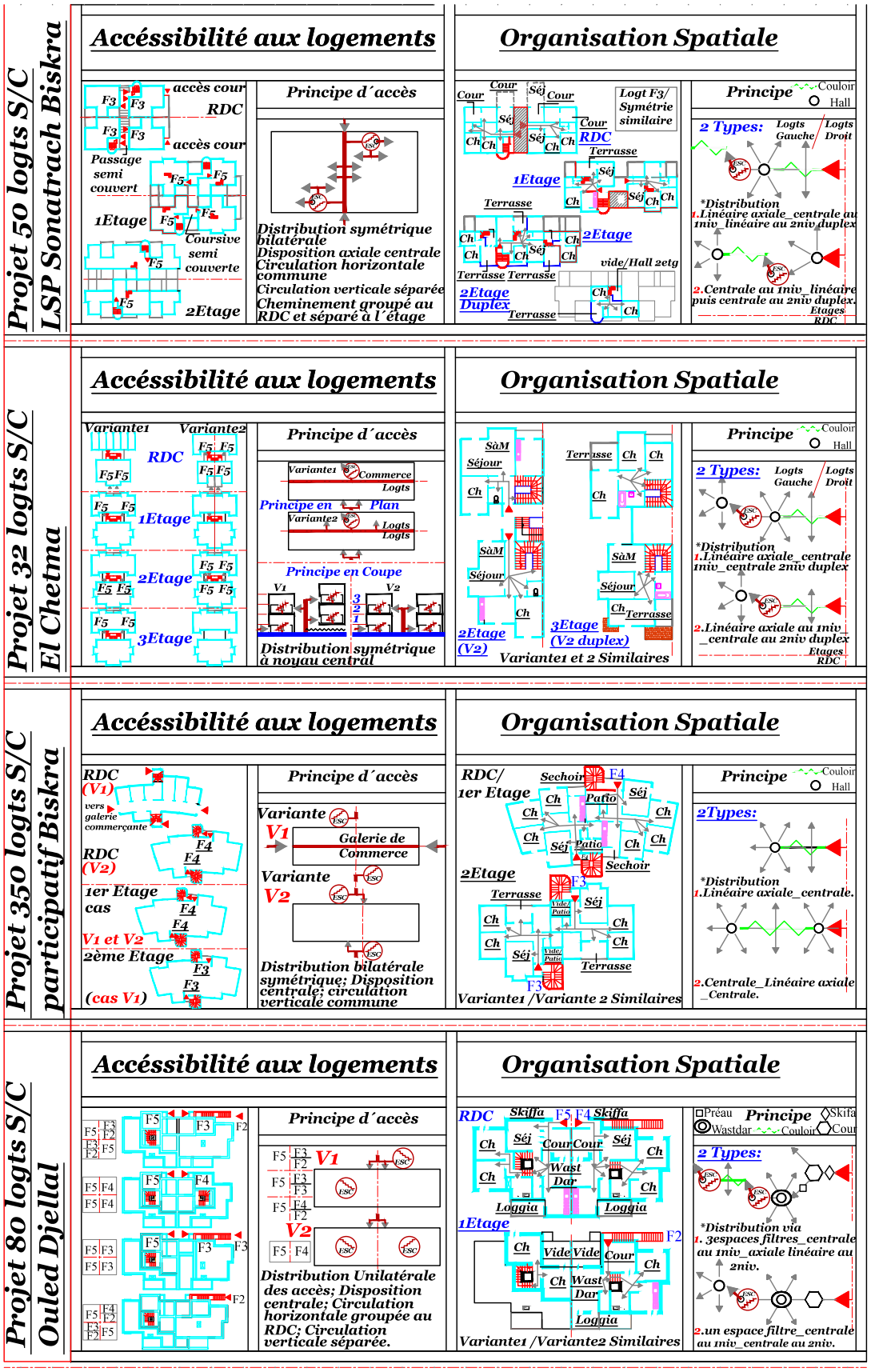


***Tableau 7.15**: Analyse de l'accessibilité et de l'organisation spatiale (5o Logts S/C Sonatrach Biskra, 32 Logts El Chetma, 350 Logts S/C Biskra et 80 Logts Ouled Djellal)*

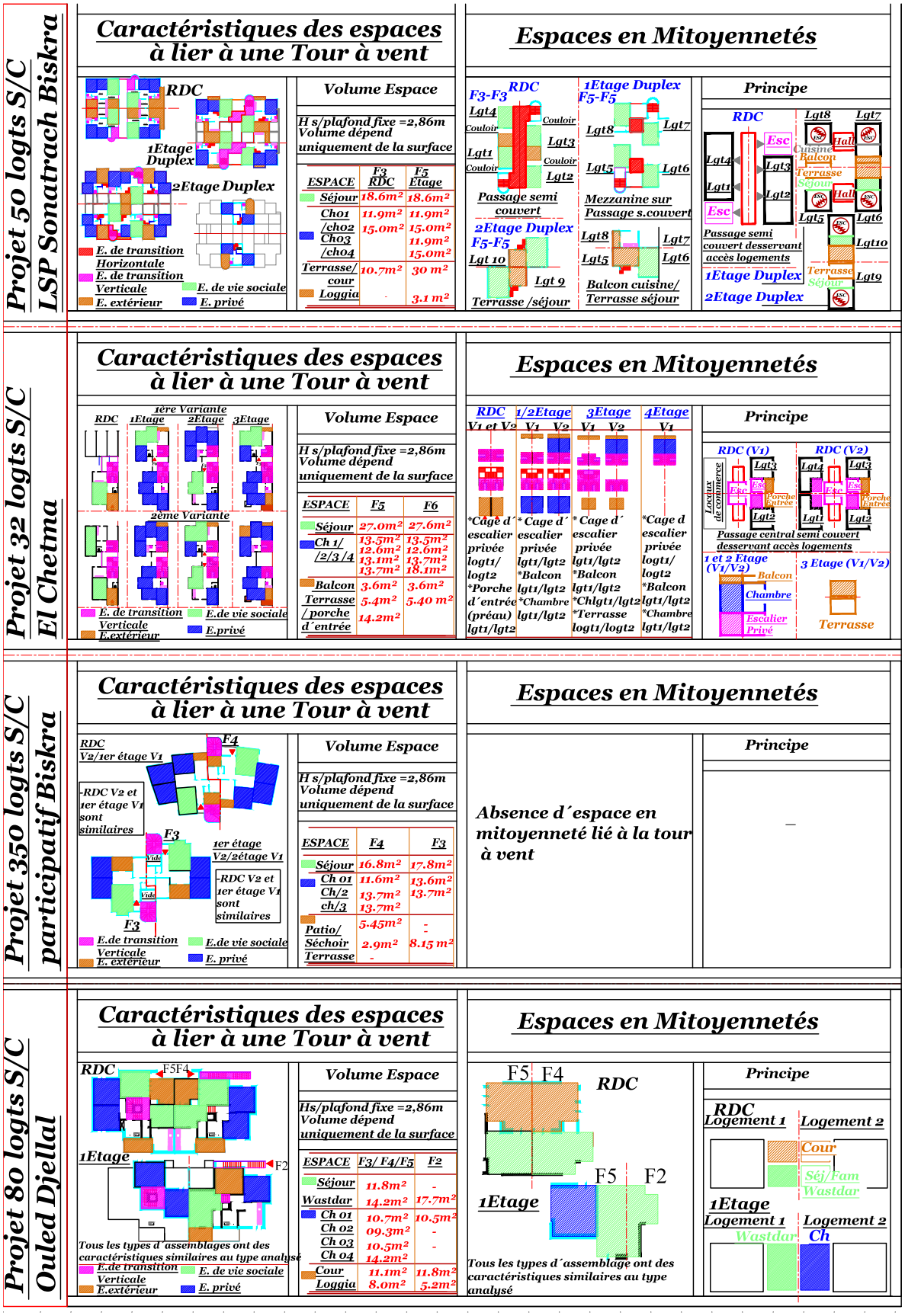
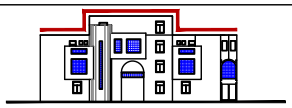


***Tableau 7.16**: Analyse des espaces à lier à la TàV et des espaces en mitoyennetés entre logements (5o Logts S/C Sonatrach Biskra, 32 Logts El Chetma, 350 Logts S/C Biskra et 80 Logts Ouled Djellal)*

Projet 50 logts S/C LSP Sonatrach Biskra

Eléments de ventilation

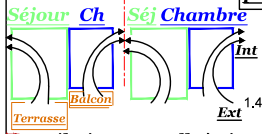
Façade Principale Bloc



- La façade à caractère horizontal marqué par la ligne du ciel et la hiérarchie des étages.
- Les espaces liés à la T à V sont ventilés via des fenêtres (pour chambre), fenêtres et portes fenêtres (pour balcon et terrasse).
- La cage d´escalier est ouverte vers le passage semi couvert qui assure sa ventilation naturelle.
- La ventilation naturelle est le 1er mode de conditionnement de ces espaces.

Principe de ventilation

1-Ventilation via p. fenêtre 2-Ventilation via fenêtre. **(F3/F5)similaires en principe de ventilation**



Surface Ouverture F=1.40m2 P F= 2.64m2

- Ventilation naturelle à simple exposition mono-facade
- Ventilation assurée par l´effet du vent.
- Cage d´escalier sise à l´intérieur,ventilée naturellement via le passage centrale semi couvert

Projet 32 logts S/C El Chetma

Eléments de ventilation

Façade Principale Bloc

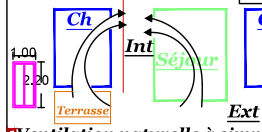
Variante1 avec commerce Variante2 sans commerce



- La façade à caractère horizontal marqué par la ligne du ciel et la hiérarchie des étages.
- Les espaces liés à la T à V sont ventilés via des fenêtres et portes fenêtres (pour balcon et terrasse).
- La cage d´escalier est ouverte vers le passage semi couvert qui assure sa ventilation naturelle.

Principe de ventilation

1-Ventilation via p. fenêtre 2-Ventilation via fenêtre. **(F5/F6)similaires en principe de ventilation**



Surface Ouverture F=1.40m2 P F= 2.64m2

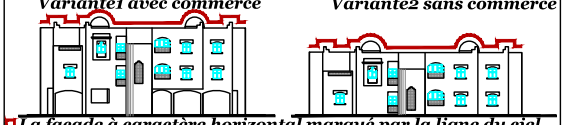
- Ventilation naturelle à simple exposition mono-facade
- Ventilation assurée par l´effet du vent.
- Cage d´escalier sise à l´intérieur,ventilée naturellement via des fenetres donnant sur l´extérieur

Projet 350 logts S/C participatif Biskra

Eléments de ventilation

Façade Principale Bloc

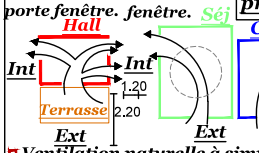
Variante1 avec commerce Variante2 sans commerce



- La façade à caractère horizontal marqué par la ligne du ciel et la hiérarchie des étages.
- Malgré la présence de la coupole dans les espaces liés à la tour à vent particulièrement le séjour, ils sont ventilés d´une façon traditionnelle via des fenêtres.
- La cage d´escalier est sise à l´extérieur, elle est ventilée par le biais d´une grande fenêtre verticale traité en claustra.

Principe de ventilation

1-Ventilation via porte fenêtre. 2-Ventilation via fenêtre. **(F4/F3)similaires en principe de ventilation**



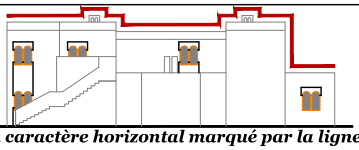
Surface Ouverture F=1.40m2

- Ventilation naturelle à simple exposition.
- Ventilation assurée par l´effet du vent
- C.d´escalier sise à l´extérieur,ventilée naturellement via des fenêtres traitées en claustra

Projet 80 logts S/C Ouled Djellal

Eléments de ventilation

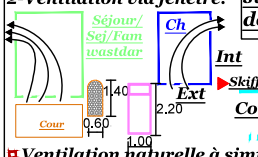
Façade Principale Bloc



- La façade à caractère horizontal marqué par la ligne du ciel et la hiérarchie des étages.
- Les espaces liés à la tour à vent particulièrement le séjour invité, wastdar et les chambres sont ventilés d´une façon traditionnelle via des fenêtres équipées des persiennes.
- La cage d´escalier est sise à l´extérieur, elle est ventilée naturellement.

Principe de ventilation

1-Ventilation via porte fenêtre et fenêtres à la fois. 2-Ventilation via fenêtre. **Types (F5, F4, F3, F2) similaires en principe de ventilation**



Surface Ouverture F= 0.84m2 P F= 2.20m2

- Ventilation naturelle à simple exposition.
- Ventilation assurée par l´effet du vent
- C.d´escalier sise à l´extérieur,ventilée naturellement

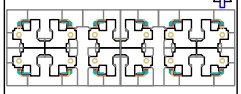
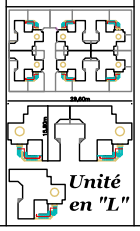
***Tableau 7.17**: Éléments et principe de ventilation (5o Logts S/C Sonatrach Biskra, 32Logts El Chetma, 350 Logts S/C Biskra et 80 Logts Ouled Djellal)*

7.3.2 Application sur les projets collectés appartenant à la wilaya d'Oued Souf

(Voir tableaux du 7.18 au 7.33)

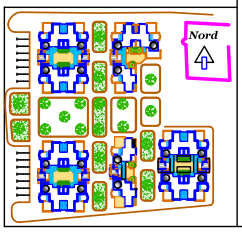
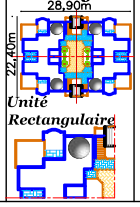
Projet 18logts S/C El Nakhla

Données Projet 18logts S/C El Nakhla

Forme urbaine	Forme Archi Bloc/ Logt	Orientation	Nombre d'Etage	Usage	N° logts /Bloc	Type logts	Surf/ logts en (m2)
Groupée unitaire (système modulaire) clôturée, à double patio dont le 1er est semi privé et le 2ème est privé. Nord 	Rectangulaire  Unité en "L"	E-O	R+1	Résidentiel	04	RDC F3-F4	Type F4 Hab: 134,5 Non.Hab43,5 Totale:178,0
			Hauteur Etage 3.06m		N° logts /unité 02	1 Etage F3-F3	Type F3 Hab: 89,7 Non-Hab23,2 Totale:112,9

Projet 34 logts S/C Debila

Données Projet 34logts S/C DEBILA

Forme urbaine	Bloc/ Logt	Orientation	Nombre d'Etage	Usage	N° logts /Bloc	Type logts	Surf/ logts
En rangée/assemblage linéaire discontinu.Unité jumelée et accolée.Plans à coursive centrale 	Rectangle 28,90m 22,40m  Unité Rectangulaire	E-O	R+1	Résidentiel	08	RDC F3-F2	Type F3 Hab: 66,1 Non-Hab16,6 Totale:82,7
			Hauteur Etage 3.40m		N° logts /unité 04	1 Etage F3-F2	Type F2 Hab: 52,6 Non-Hab14,6 Totale:67,2

Projet 100 logts S/C Aachèche

Données Projet 100 logts S/C Aachèche El Oued

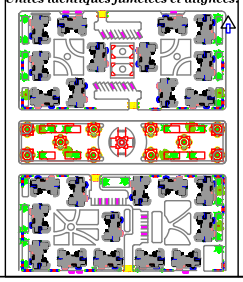
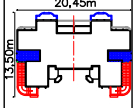
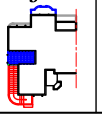
Forme urbaine	Forme Archi Bloc/ Logt	Orientation	Nombre d'Etage	Usage	N° logts /Bloc	Type logts	Surf/ logts
Assemblage groupé unitaire et ouvert Unités identiques jumelées et alignées. 	Rectangle 20,45m 13,50m  Unité Rectangulaire 	N-S E-O	R+1	Résidentiel	04	RDC F3	Type F3 Hab: 64,2 Non-Hab13,5 Totale:77,7
			Hauteur Etage 3.68m		N° logts /unité 02	1 Etage F3	Type F3 Hab: 64,1 Non-Hab: 12 Totale:76,1

***Tableau 7.18**: Analyse de la forme urbaine et architecturale (18Logts S/El Nakhla, 34Logts S/C Debila et100Logts S/C L'Aachèche El Oued)*

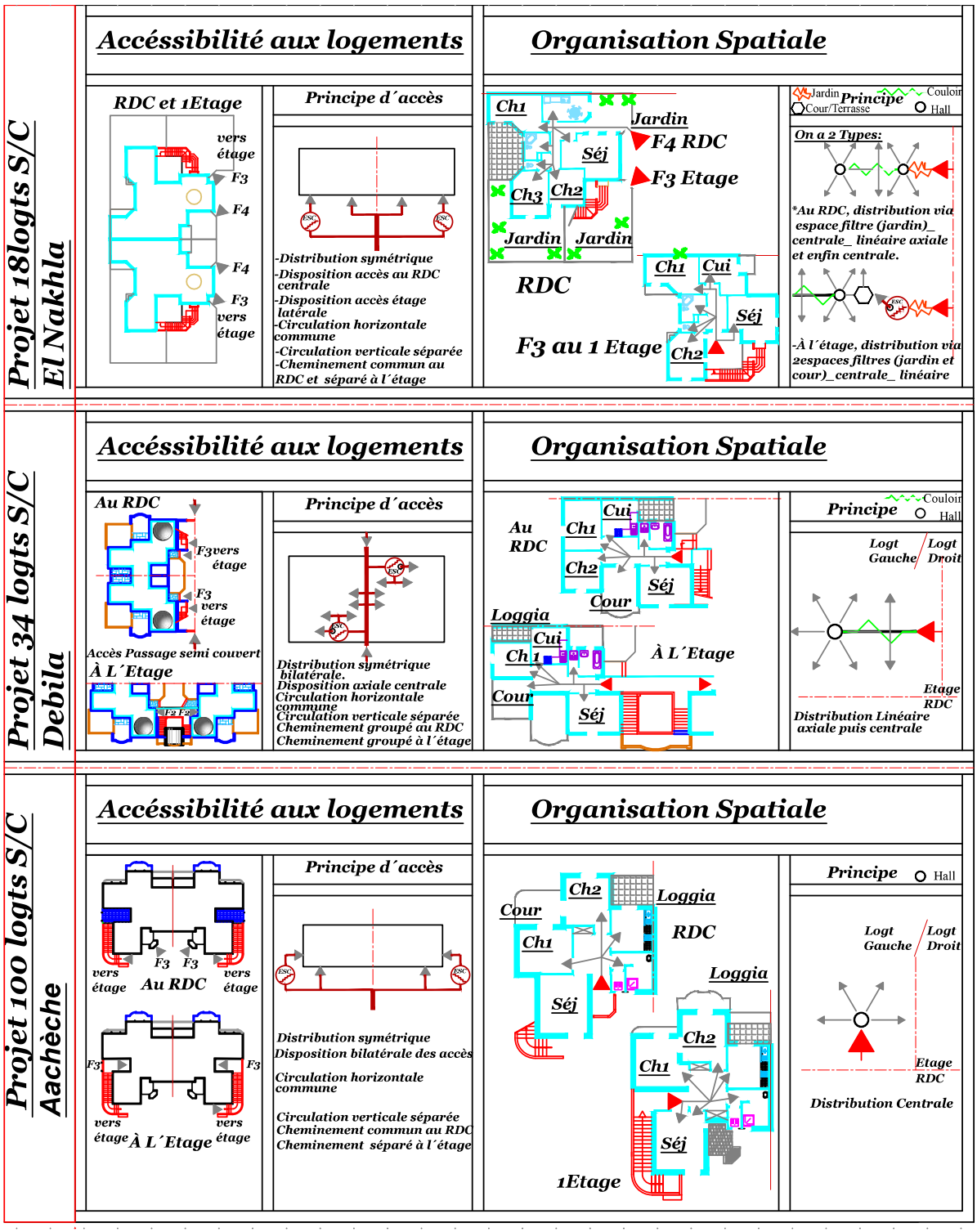


***Tableau 7.19**: Analyse de l'accessibilité et de l'organisation spatiale (18Logts S/El Nakhla, 34Logts S/C Debila et 100Logts S/C L'Aachèche El Oued)*

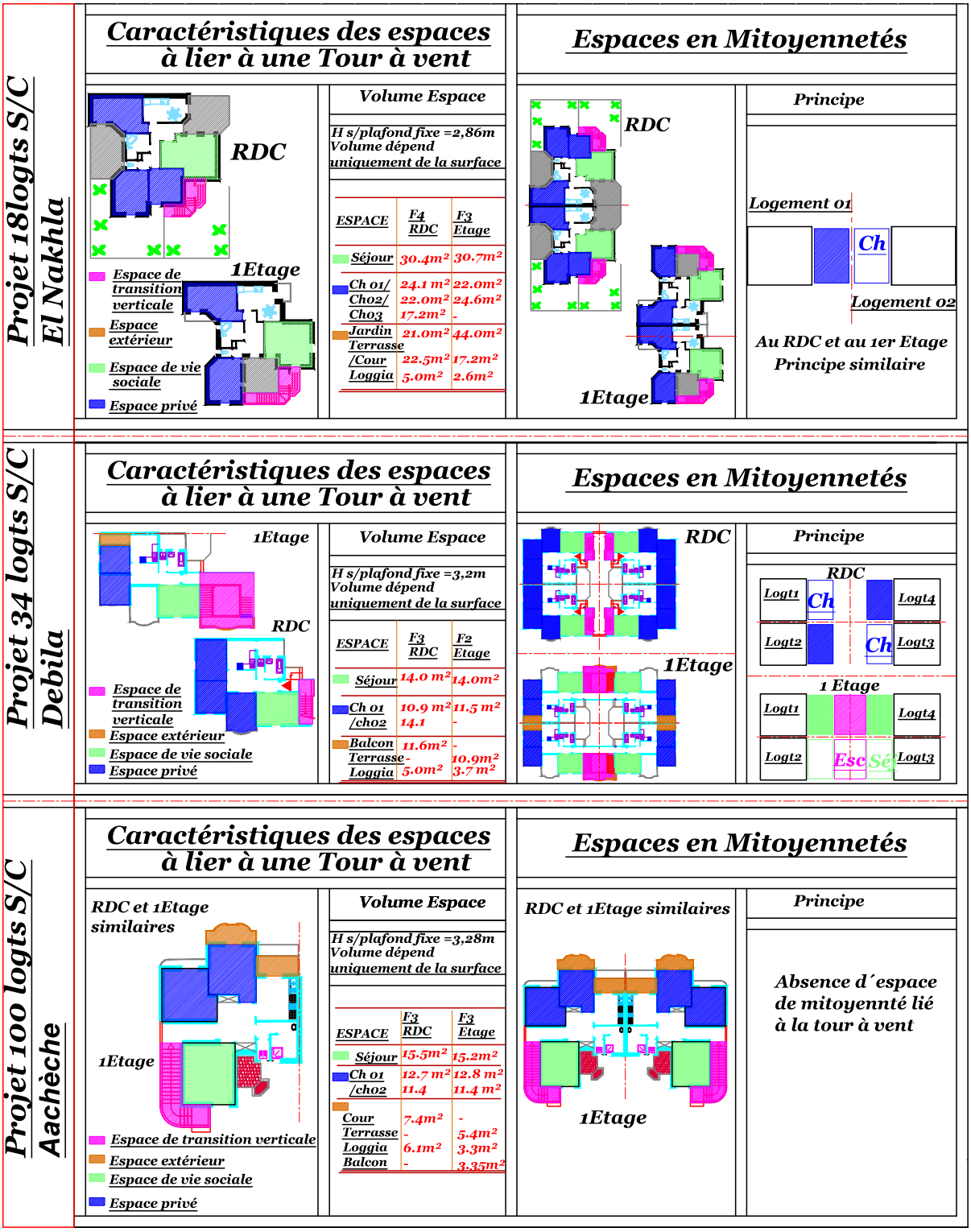
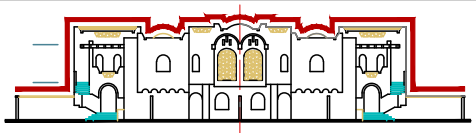


***Tableau 7.20**: Analyse des espaces à lier à la TàV et des espaces en mitoyennetés entre logements (18Logts S/El Nakhla, 34Logts S/C Debila et 100Logts S/C L'Aachèche El Oued)*

Projet 18logts S/C El Nakhla

Eléments de ventilation

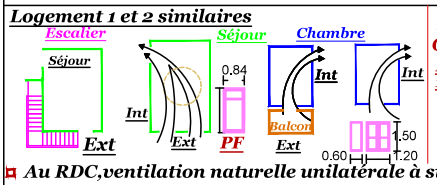
Façade Principale Bloc



- Façade symétrique riche en éléments architectoniques, à caractère horizontal marqué par la ligne du ciel et la hiérarchie des étages.
- Les espaces liés à la tour à vent sont ventilés via des fenêtres et portes fenêtres (chambre et séjour).
- la cage d´escalier se trouve à l´extérieur,elle est exposée directement aux vents.
- La ventilation naturelle est le 1er mode de conditionnement de ces espaces.

Principe de ventilation

Logement 1 et 2 similaires



Surface Ouverture
Fchambre= 1.50m2
Fséjour= 1.50m2

- Au RDC,ventilation naturelle unilatérale à simple exposition mono-facade, assurée par l´effet du vent.
- À l´étage, Ventilation naturelle transversale à double exposition, assurée par l´effet combiné: la force du vent et le tirage thermique.
- La cage d´escalier sise à l´extérieur, est exposée au vent.
- Malgré la présence des coupoles dans les séjours, qui peuvent participer à la ventilation naturelle très convoitée le soir, elles sont dépourvues de toutes sortes d´ouvertures.

Projet 34 logts S/C Debila

Eléments de ventilation

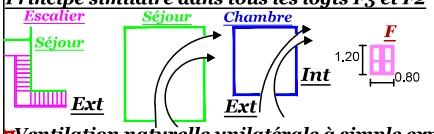
Façade Principale Bloc



- Façade symétrique riche, à caractère horizontal marqué par la ligne du ciel,la hiérarchie des étages et les portes à faux. .
- Les espaces liés à la tour à vent (chambre et séjour) sont ventilés via des fenêtres protégées par l´ombre des portes à faux .
- La Cage d´escalier est sise à l´extérieur,elle est ventilée naturellement

Principe de ventilation

Principe similaire dans tous les logts F3 et F2



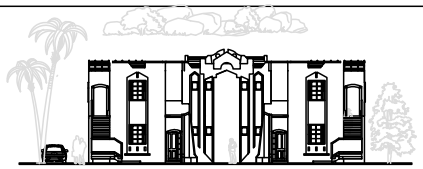
Surface Ouverture
Fchambre= 0.96m2
Fséjour= 0.96m2

- Ventilation naturelle unilatérale à simple exposition mono-facade
- Ventilation assurée par l´effet du vent .
- Cage d´escalier à l´ext, exposée aux vents de sable, chaleur intense) malgré sa couverture en voûte.
- Présence de coupoles sans ouvertures.

Projet 100 logts S/C Aachèche

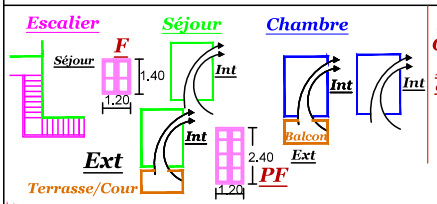
Eléments de ventilation

Façade Principale Bloc



- Façade symétrique, à caractère horizontal marqué par la ligne du ciel et la hiérarchie des étages.
- Les espaces liés à la tour à vent (chambre et séjour) sont ventilés via des fenêtres ou des portes fenêtres.
- La Cage d´escalier est sise à l´extérieur, elle est ventilée naturellement
- Le climatiseur est le mode le plus utilisée de conditionnement d´air dans ces espaces (ch/Sej).

Principe de ventilation



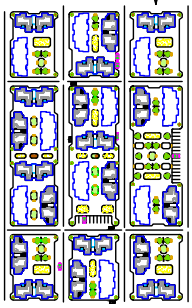
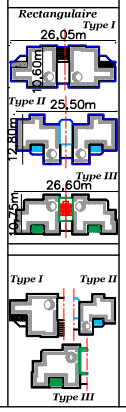
Surface Ouverture
Fchambre= 0.96m2
Fséjour= 0.96m2

- Principe similaire au RDC et au 1er Etage .
- Ventilation naturelle unilatérale à simple exposition mono-facade
- Ventilation assurée par l´effet du vent .
- Cage d´escalier à l´extérieur, exposée aux aléas du climat tels quevent de sable et rayonnement intense particulièrement en été .

***Tableau 7.21**: Élément et principe de ventilation (18Logts S/El Nakhla, 34Logts S/C Debila et 100Logts S/C L'Aachèche El Oued)*

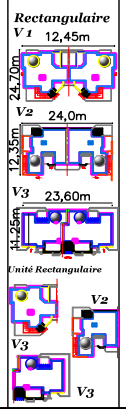
Projet 200 logts S/C Guemar

Données Projet 200 logts S/C Guemar

Forme urbaine	Forme Archi Bloc/ Logt	Orientation	Nombre d´Etage	Usage	N° logts /Bloc	Type logts	Surf/ logts en (m2)
Assemblage groupé unitaire et ouvert.Unités variées jumelées et alignées. 	Rectangulaire Type I 26,05m 10,60m; Type II 25,50m 12,40m; Type III 26,60m 10,25m; Type I Type II Type III 	N-S E-O	R+1	Résidentiel	04	RDC F3	Type I -F3- Hab: 64,6 Non-Hab: 11,2 Totale:75,8
			Hauteur Etage 3.68m		N° logts /unité 02	1 Etage F3	TypeII -F3- Hab: 66,2 Non-Hab: 10,7 Totale:76,9
			Les 3 types analysés ont les mêmes caractéristiques mentionnées ci dessus.				TypeIII -F3- Hab: 68,1 Non-Hab: 10,5 Totale:78,6

Projet 150 logts S/C Hassi Khalifa

Données Projet 150 logts S/C Hassi Khalifa

Forme urbaine	Forme Archi Bloc/ Logt	Orientation	Nombre d´Etage	Usage	N° logts /Bloc	Type logts	Surf/ logts en (m2)
Assemblage groupé unitaire et ouvert.Unités variées jumelées et alignées. 	Rectangulaire V1 12,45m 24,70m; V2 24,0m 12,35m; V3 23,60m 11,25m; Unité Rectangulaire V2 V3 V3 	-	R+1	Résidentiel	04	RDC F3	Variante 1 Type F3-RDC Hab: 68,9 Non-Hab: 21,7 Totale:90,6 1Etage Hab: 68,9 Non-Hab: 16,5 Totale:85,4
			Hauteur Etage 3.40m		N° logts /unité 02	1 Etage F3	Variante 2 Type F3-RDC Hab: 68,3 Non-Hab12 Totale:80,4 1Etage Hab: 69 Non-Hab: 14,6 Totale:83,6
			Les 3 types analysés ont les mêmes caractéristiques mentionnées ci dessus.				Variante 3 Type F3-RDC Hab: 68,8 Non-Hab: 23,3 Totale:92,1 1Etage Hab: 67,9 Non-Hab15,7 Totale:83,6

Projet 100 logts S/C El Chott

Données Projet 100 Logts S/C El Chott- El Oued

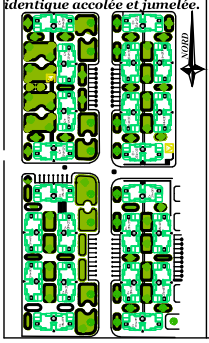
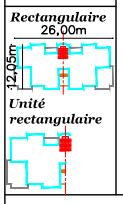
Forme urbaine	Forme Archi Bloc/ Logt	Orientation	Nombre d´Etage	Usage	N° logts /Bloc	Type logts Espace/Bloc	Surf/ logts
Barre (en bande)/assemblage Linéaire discontinu. Unité identique accolée et jumelée. 	Rectangulaire 26,00m 12,05m; Unité rectangulaire 	NE-SO	R+1	Mixte	02	RDC 6 locaux	Type F3 -
			Hauteur Etage 3.20m	RDC Commerce		1 Etage F3-F3	1Etage Hab:76,6 Non-Hab: 27,8 Totale:104,4
				1er Etage Habitation			
	Les 2 variantes analysés ont les mêmes caractéristiques mentionnées ci dessus.			Résidentiel	02	RDC F4-F4	Type F4 RDC Hab:90,1 Non-Hab: 14,3 Totale:104,1
						1 Etage F3-F3	1Etage Type F3 similaire usage mixte

***Tableau 7.22**: Analyse de la forme urbaine et architecturale (200Logts S/C Guemar, 150Logts S/C Hassi Khalifa et 100Logts S/C El Chott El Oued)*

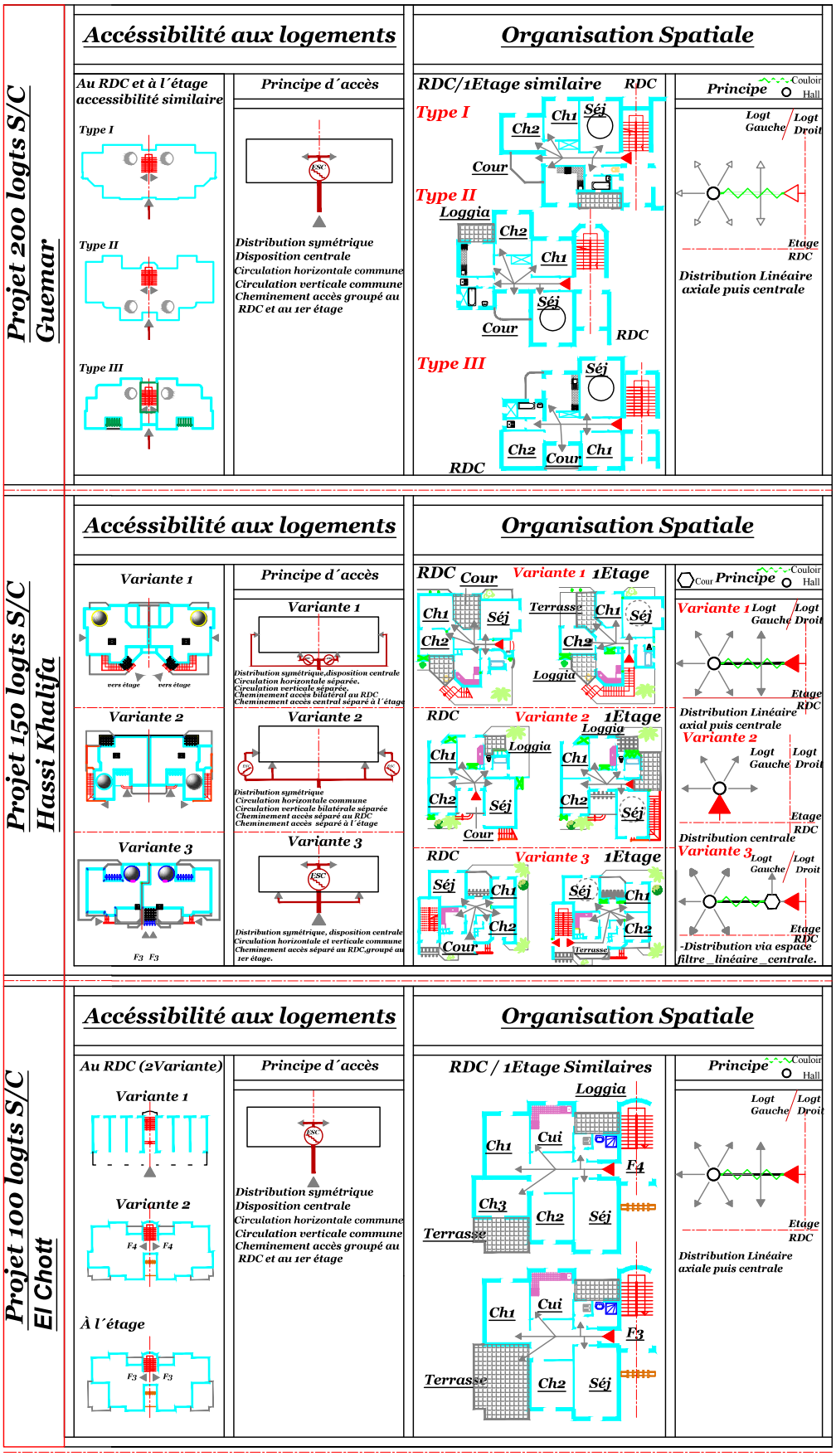


Tableau 7.23: *Analyse de l'accessibilité et de l'organisation spatiale (200Logts S/C Guemar, 150Logts S/C Hassi Khalifa et 100Logts S/C El Chott El Oued)*

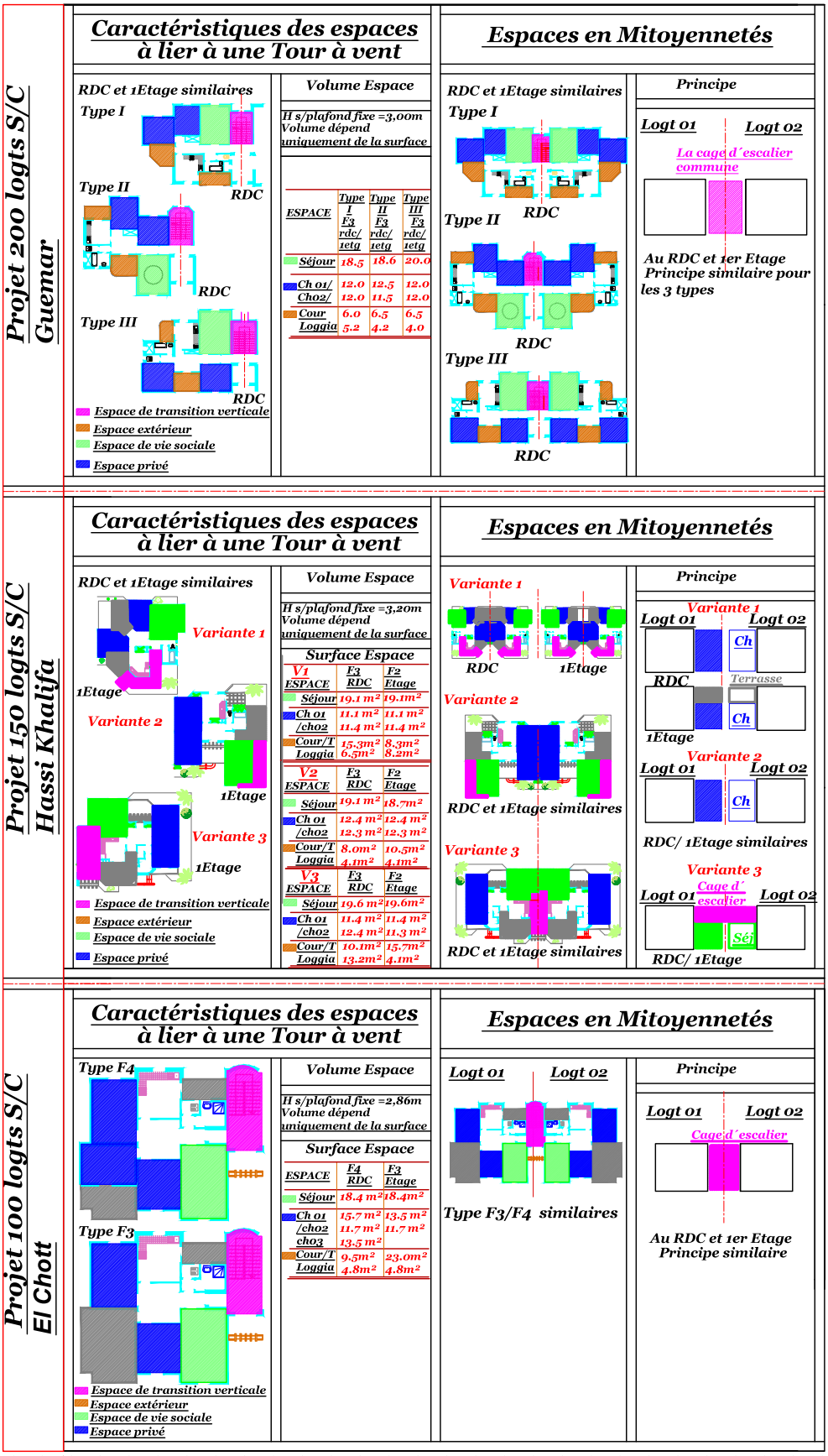


Tableau 7.24: *Analyse des espaces à lier à la TàV et des espaces en mitoyenneté entre logements (200Logts S/C Guemar, 150Logts S/C Hassi Khalifa et 100Logts S/C El Chott El Oued)*

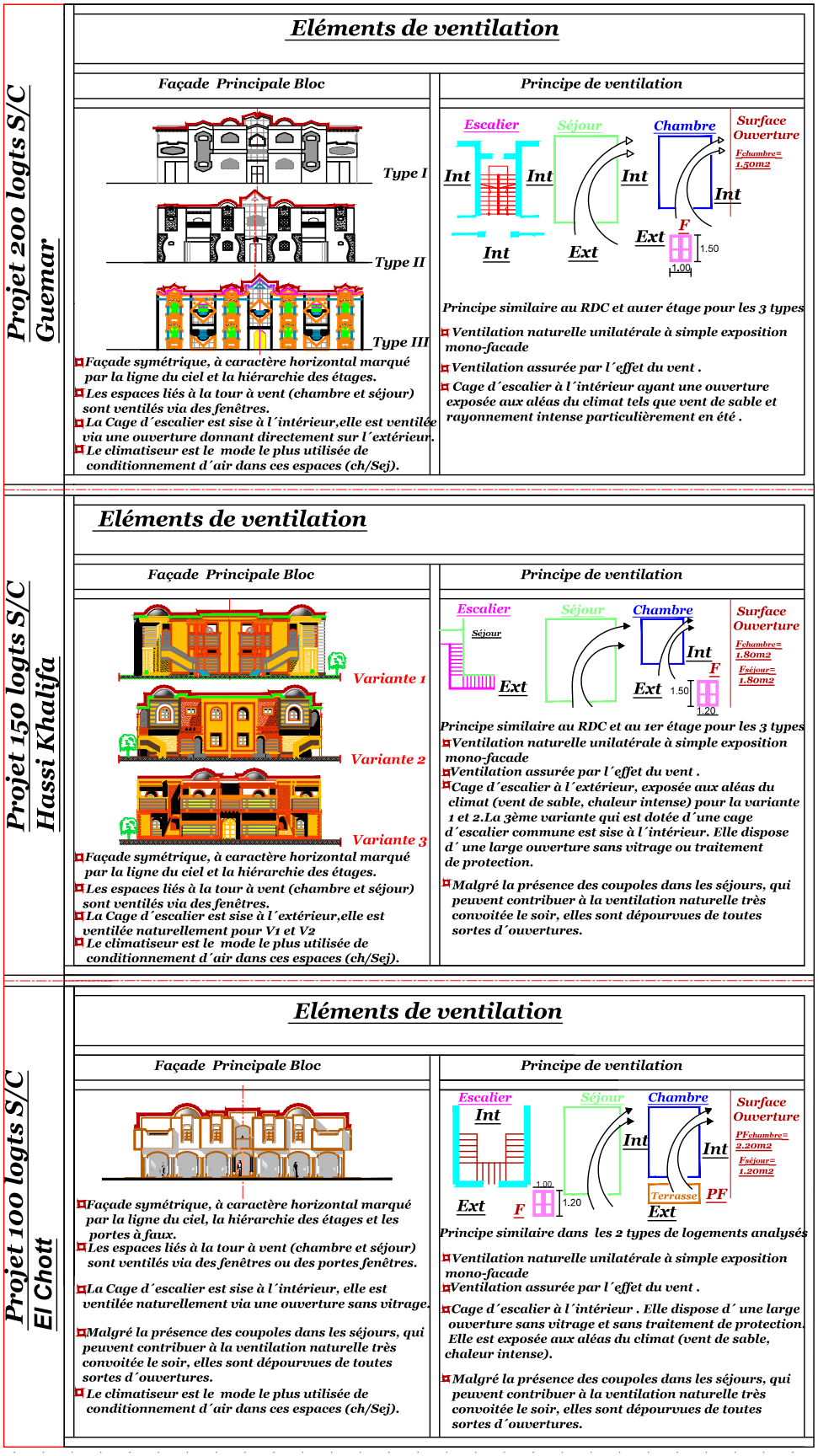
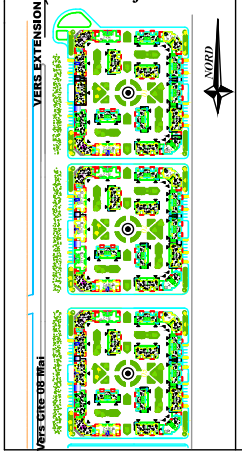


***Tableau 7.25**: Élément et principe de ventilation (200Logts S/C Guemar, 150Logts S/C Hassi Khalifa et 100Logts S/C El Chott El Oued)*

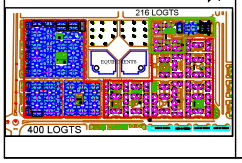
Projet 216 logts S/C El Oued

Données Projet 216 Logts S/C - El Oued

Forme urbaine	Forme Archi Bloc/ Logt	Orientation	Nombre d´Etage	Usage	N° logts /Bloc	Type logts Espace/Bloc	Surf/ logts
Assemblage unitaire groupé et fermé avec cour centrale. Unité accolée et jumelée. 	Rectangulaire Variante 1 22,0m 10,75m Variante 2 21,65m 11,60m Variante 3 8,40m 7,20m 7,25m 11,15m 12,45m 8,30m 11,10m Unité rectangulaire V1 V2 V3	N-S E-O	R+2	Variante 1 Mixte	04	RDC 06 locaux	Variante1 F4/1étage Hab: 72,9 Non-Hab10,5 Totale:83,4
			Hauteur Etage RDC=4m 1et 2Etg = 3.20m	RDC Commerce		1 Etage F4-F4	F3/2étage Hab: 62,4 Non-Hab17,5 Totale:79,9
				1et 2Etage Habitation		2 Etage F3-F3	Variante2 F4/RDC Hab: 72,0 Non-Hab12,7 Totale:84,7
			R+1	Variante 2 et 3 à usage Résidentiel	N° logts /unité 02	RDC F4-F4	F3/Etage Hab: 61,1 Non-Hab10,5 Totale:71,5
			Hauteur Etage 3.20m			1 Etage F3-F3	Variante3 F4/RDC Hab: 79,5 Non-Hab11,2 Totale:90,8 F3/1Etage Hab: 64,8 Non-Hab13,5 Totale:78,3

Projet 334 logts S/C El Nadhour-El Oued

Données Projet 334 Logts S/C El Nadhour El Oued

Forme urbaine	Forme Archi Bloc/ Unité	Orientation	Nombre d´Etage	Usage	N° logts /Bloc	Type logts /Bloc	Surf/ logts
Barre (en bande)/assemblage linéaire discontinu, unité variée accolée. 	Rectangulaire 26,05m 12,20m V1 V2 26,05m 12,20m Unité rectangulaire V1 V2	NE-SO NO-SE	Variante 1 R+2 Variante 2 R+1	Résidentiel	6	Type F4-F4 au RDC	Variante 1 F4/RDC Hab: 82,7 Non-Hab14,5 Totale:97,2
						Type F3-F3 au 1er et 2ème étage	Variante 2 F3/1Etage Hab: 67,3 Non-Hab21,8 Totale:89,1 F3/2Etage Hab: 67,3 Non-Hab18,3 Totale:85,6
			Hauteur Etage 3.20m		N° logts /unité 03		

Projet 72 logts S/C Chott-El Oued

Données Projet 72 Logts S/C Chott El Oued

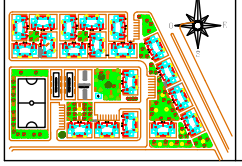
Forme urbaine	Forme Archi Bloc/ Unité	Orientation	Nombre d´Etage	Usage	N° logts /Bloc	Type logts /Bloc	Surf/ logts
Assemblage groupé unitaire et ouvert.Unités identiques jumelées et alignées. 	Rectangulaire 23,60m 12,65m Unité rectangulaire	N-S E-O NO-SE	R+1	Résidentiel	4	F3-F3 au RDC	au RDC Hab: 63,4 Non-Hab: 12,0m2 Totale:75,4
						F3-F3 à l´étage	à l´étage Hab: 63,4 Non-Hab: 14,65m2 Totale:78,1
			Hauteur Etage 3.20m		N° logts /unité 02		

***Tableau 7.26**: Analyse de la forme urbaine et architecturale (216Logts S/C El Oued, 334Logts S/C El Nadhour et 72Logts S/C El Chott El Oued)*

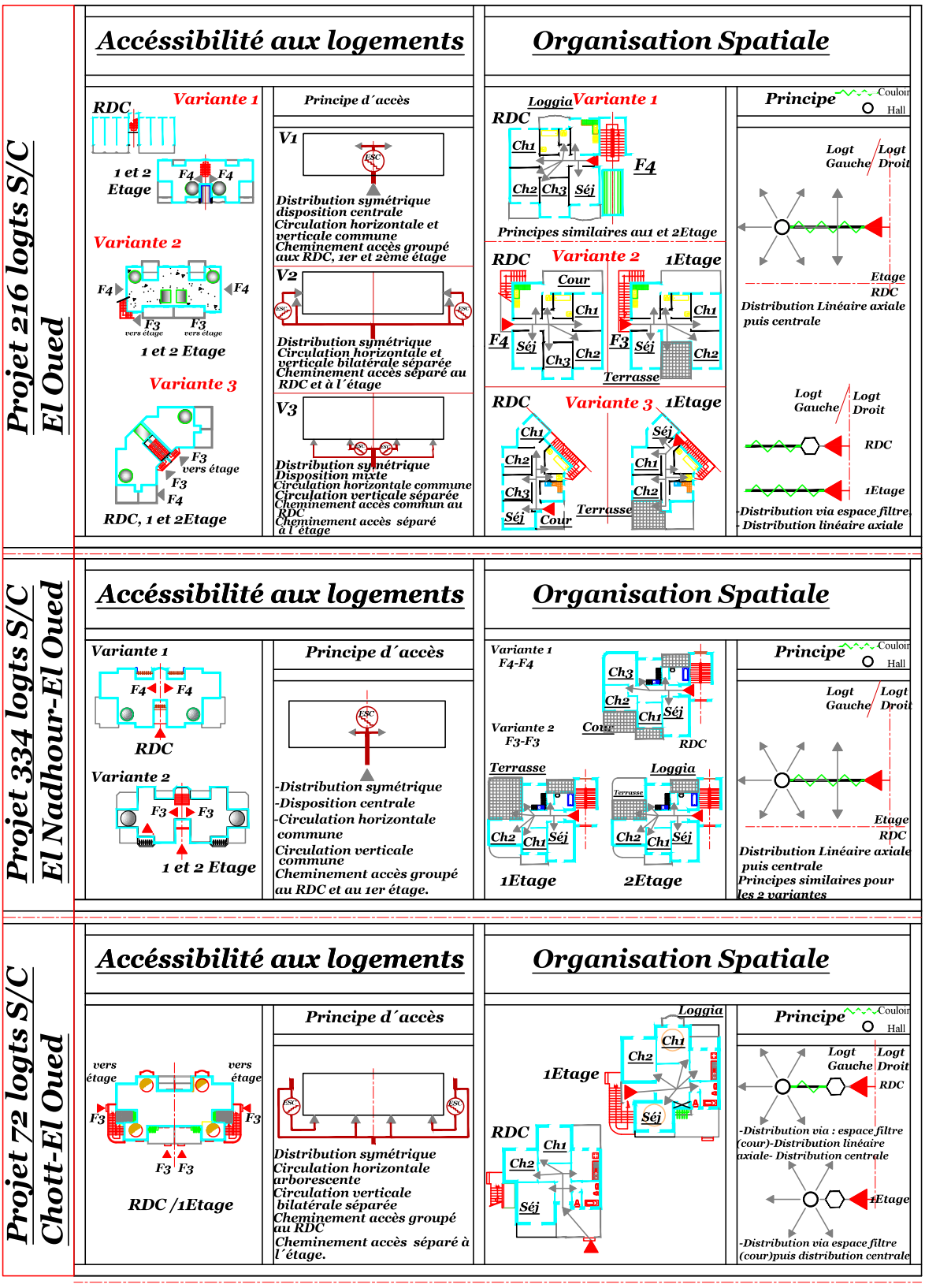


***Tableau 7.27**: Analyse de l'accessibilité et de l'organisation spatiale (216Logts S/C El Oued, 334Logts S/C El Nadhour et 72Logts S/C El Chott El Oued)*

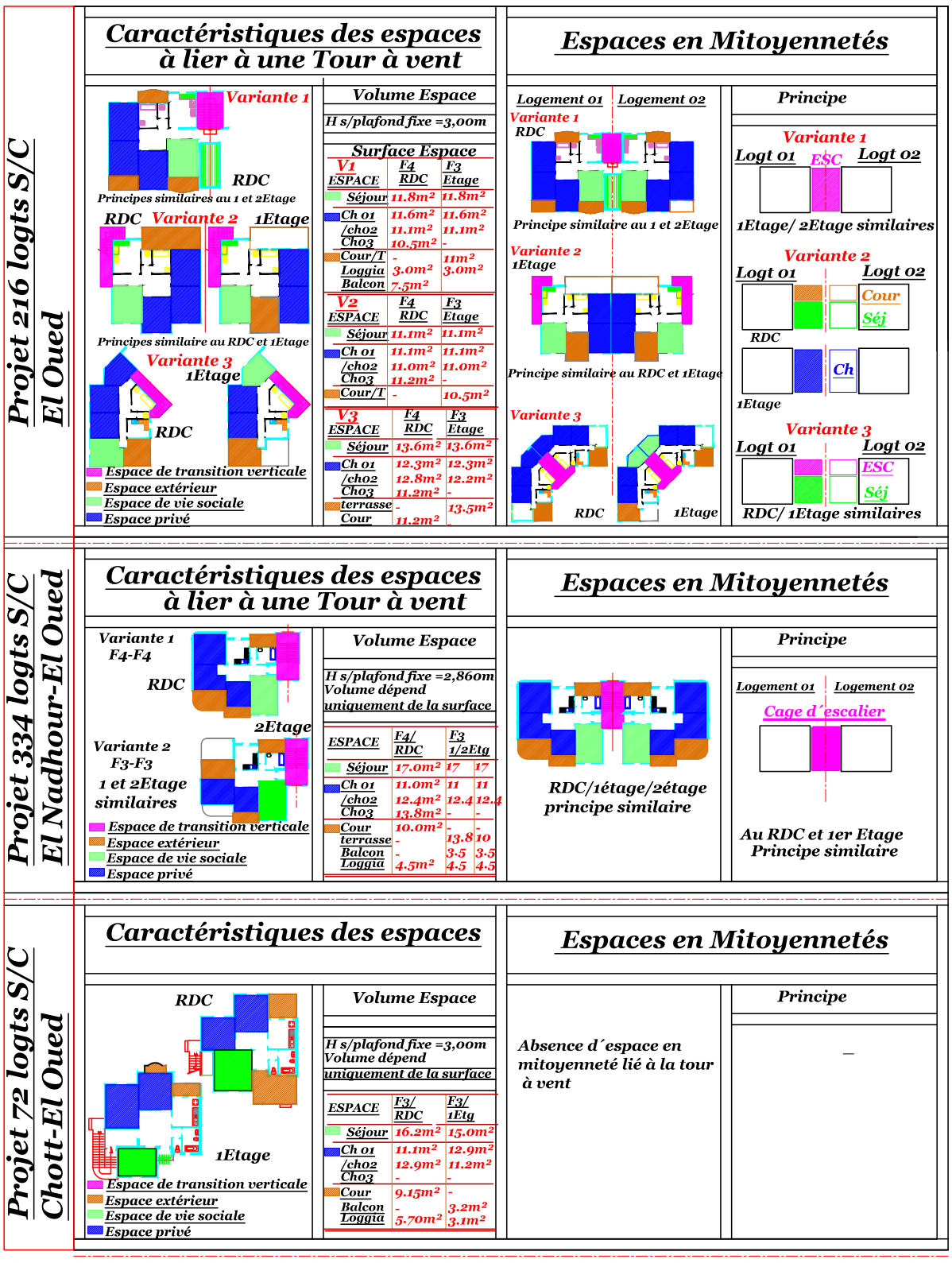
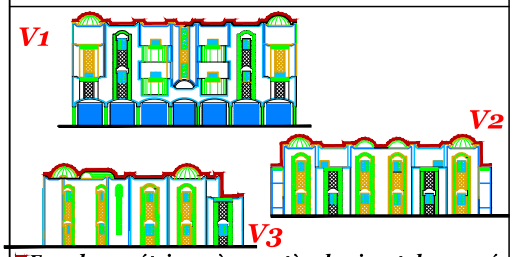


***Tableau 7.28**: Analyse des espaces à lier à la TàV et des espaces en mitoyennetés entre logements (216Logts S/C El Oued, 334Logts S/C El Nadhour et 72Logts S/C El Chott El Oued)*

Projet 216 logts S/C El Oued

Eléments de ventilation

Façade Principale Bloc

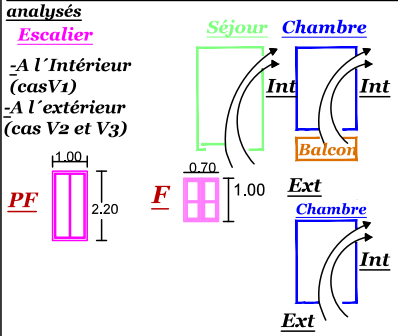


- Façade symétrique, à caractère horizontal marqué par la ligne du ciel, la hiérarchie des étages et la galerie commerçante (cas de V1) .
- Les espaces liés à la tour à vent (chambre et séjour) sont ventilés via des fenêtres ou des portes fenêtres.
- La Cage d´escalier soit elle est sise à l´intérieur (V1) et ventilée naturellement via une ouverture, Soit elle est à l´extérieur exposée directement aux vents.
- Malgré la présence des coupoles au niveau du séjour et la voûté sur la cage d´escalier (V3), qui peut contribuer à la ventilation naturelle très convoitée le soir, elles sont sans ouvertures.

Principe de ventilation

Principe similaire dans les 2 types de Logements analysés

Escalier
-A l´Intérieur (casV1)
-A l´extérieur (cas V2 et V3)



Surface Ouverture
F sej= 0.70m2
PF ch= 2.20m2

- Ventilation naturelle unilatérale à simple exposition mono-facade
- Ventilation assurée par l´effet du vent .
- Cage d´escalier à l´intérieur (cas V1) disposant d´une fenêtre étroite au niveau de chaque étage de dimension 0.5x1.30m.
- Cage d´escalier à l´extérieur (cas V2-V3) semi couverte.

Projet 334 logts S/C El Nadhour-El Oued

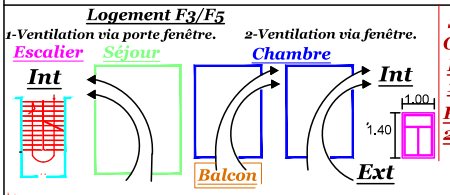
Eléments de ventilation

Façade Principale Bloc

Manque de données

Principe de ventilation

Logement F3/F5
1-Ventilation via porte fenêtre. 2-Ventilation via fenêtre.



Surface Ouverture
F sej= 1.20m2
PF ch= 2.20m2

- Ventilation naturelle à simple exposition mono-facade
- Ventilation assurée par l´effet du vent
  Escalier
- Cage d´escalier sise à l´intérieur,ventilée via une fenêtre

Projet 72 logts S/C Chott-El Oued

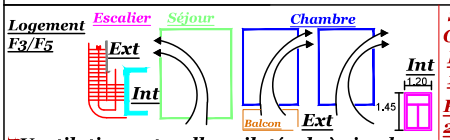
Eléments de ventilation

Façade Principale Bloc



- Façade symétrique, à caractère horizontal marqué par la ligne du ciel, la hiérarchie des étages et les encorbellements.
- Les espaces liés à la TàV (ch et séj) sont ventilés via des fenêtres ou des portes fenêtres.
- La Cage d´escalier est sise à l´extérieur,elle est ventilée naturellement.
- La façade est garnie de coupole, caché architecturale de la région de Oued Souf

Principe de ventilation



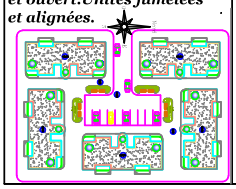
Surface Ouverture
F sej= 1.74m2
PF ch= 2.20m2

- Ventilation naturelle unilatérale à simple exposition mono-facade
- Cage d´escalier dotée de coupole sise à l´intérieur,est ventilée naturellement via une fenêtre.
- La présence des coupoles dans les séjours, qui peuvent contribuer à la ventilation naturelle mais dépourvues de toutes sortes d´ouvertures.

***Tableau 7.29**: Élément et principe de Ventilation (216Logts S/C El Oued, 334Logts S/C El Nadhour et 72Logts S/C El Chott El Oued)*

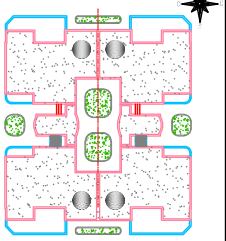
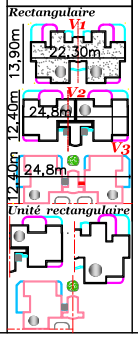
Projet 20logts S/C El Alenda

Données Projet 20 Logts S/C Oued El Alenda

Forme urbaine	Forme Archi Bloc/ Unité	Orientation	Nombre d´Etage	Usage	N° logts /Bloc	Type logts /Bloc	Surf/ logts en (m2)
Assemblage groupé unitaire et ouvert.Unités jumelées et alignées. 	Rectangulaire 26.35m 12.20m Unité rectangulaire 	N-S E-O	R+1 Hauteur Etage 3.20m	Résidentiel	4 N° logts /unité 02	F3-F3 au RDC F3-F3 à l´étage	au RDC Hab: 63,4 Non-Hab: 12,0m2 Totale:75,4 à l´étage Hab: 63,4 Non-Hab: 14,65m2 Totale:78,1

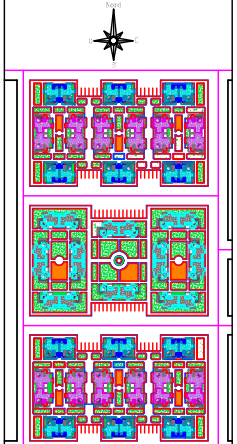
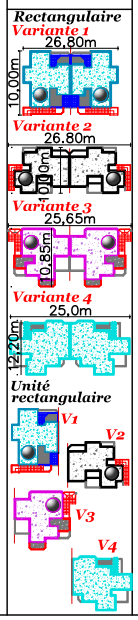
Projet 150 logts S/C Taghzout

Données Projet 150 Logts S/C Taghzout

Forme urbaine	Forme Archi Bloc/ Unité	Orientation	Nombre d´Etage	Usage	N° logts /Bloc	Type logts /Bloc	Surf/ logts
Assemblage groupé unitaire à patio fermé.Unités variées jumelées et alignées. 	Rectangulaire V1 22,30m 13,90m V2 24,8m 12,40m V3 24,8m 12,40m Unité rectangulaire 	N-S	Variante 1 R+1 Variante 2 R+1 Hauteur Etage 3.20m	Résidentiel	4 N° logts /unité 02	Variantes similaires Type F3-F3 au RDC Type F3-F3 au 1er étage	Variante 1 F3/RDC/étage Hab: 69,0 Non-Hab24,2 Totale:93,2 Variante 2 F3/RDC/étage Hab: 69,0 Non-Hab27,2 Totale:96,2 Variante 3 F3-RDC Hab: 69,0 Non-Hab:24 Totale:93,2 F3-1Etage Hab: 69,0 Non-Hab17,8 Totale:86,8

Projet 50 logts S/C Taleb Larbi

Données Projet 50 Logts S/C - Taleb Larbi

Forme urbaine	Forme Archi Bloc/ Logt	Orientation	Nombre d´Etage	Usage	N° logts /Bloc	Type logts Espace/Bloc	Surf/ logts
Assemblage unitaire groupé ouvert.Unité variée accolée et jumelée. 	Rectangulaire Variante 1 26,80m 10,00m Variante 2 26,80m 10,00m Variante 3 25,65m 10,85m Variante 4 25,0m 12,20m Unité rectangulaire V1 V2 V3 V4 	N-S E-O	R+1 Hauteur Etage 3.20m	Résidentiel	04 N° logts /unité 02	F3-F3 au RDC F3-F3 à l´étage	Variante 1 F3-RDC Hab: 67,8 Non-Hab20,1 Totale:87,9 F3-1Etage Hab: 67,8 Non-Hab17,7 Totale:85,5 Variante 2 F3-RDC Hab: 67,6 Non-Hab14,7 Totale:82,3 F3-1Etage Hab: 67,6 Non-Hab8,4 Totale:76,0 Variante 3 F3-RDC Hab: 68,1 Non-Hab18,7 Totale:86,8 F3-1Etage Hab: 68,1 Non-Hab11,1 Totale:79,2 Variante 4 F3-RDC Hab: 68,5 Non-Hab12,5 Totale:81,0 F3-1Etage Hab: 68,5 Non-Hab16,2 Totale:84,7

Les caractéristiques citées ci-dessus sont similaires pour les 3 variantes.

***Tableau 7.30**: Analyse de la forme urbaine et architecturale (20Logts S/C El Alenda, 150Logts S/C Taghzout et 50Logts S/C Taleb Larbi)*

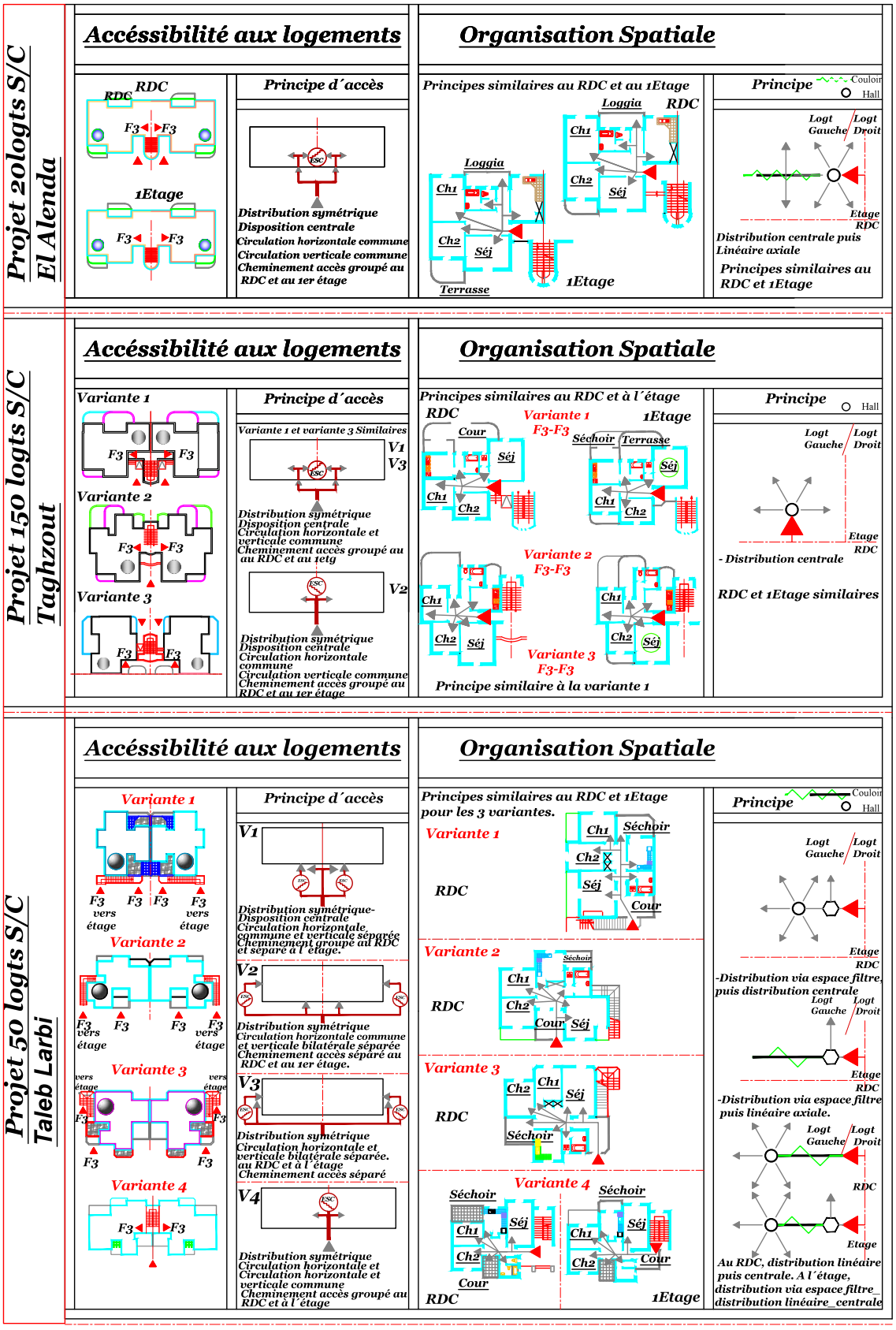


***Tableau 7.31**: Analyse de l'accessibilité et de l'organisation spatiale (20Logts S/C El Alenda, 150Logts S/C Taghzout et 50Logts S/C Taleb Larbi)*

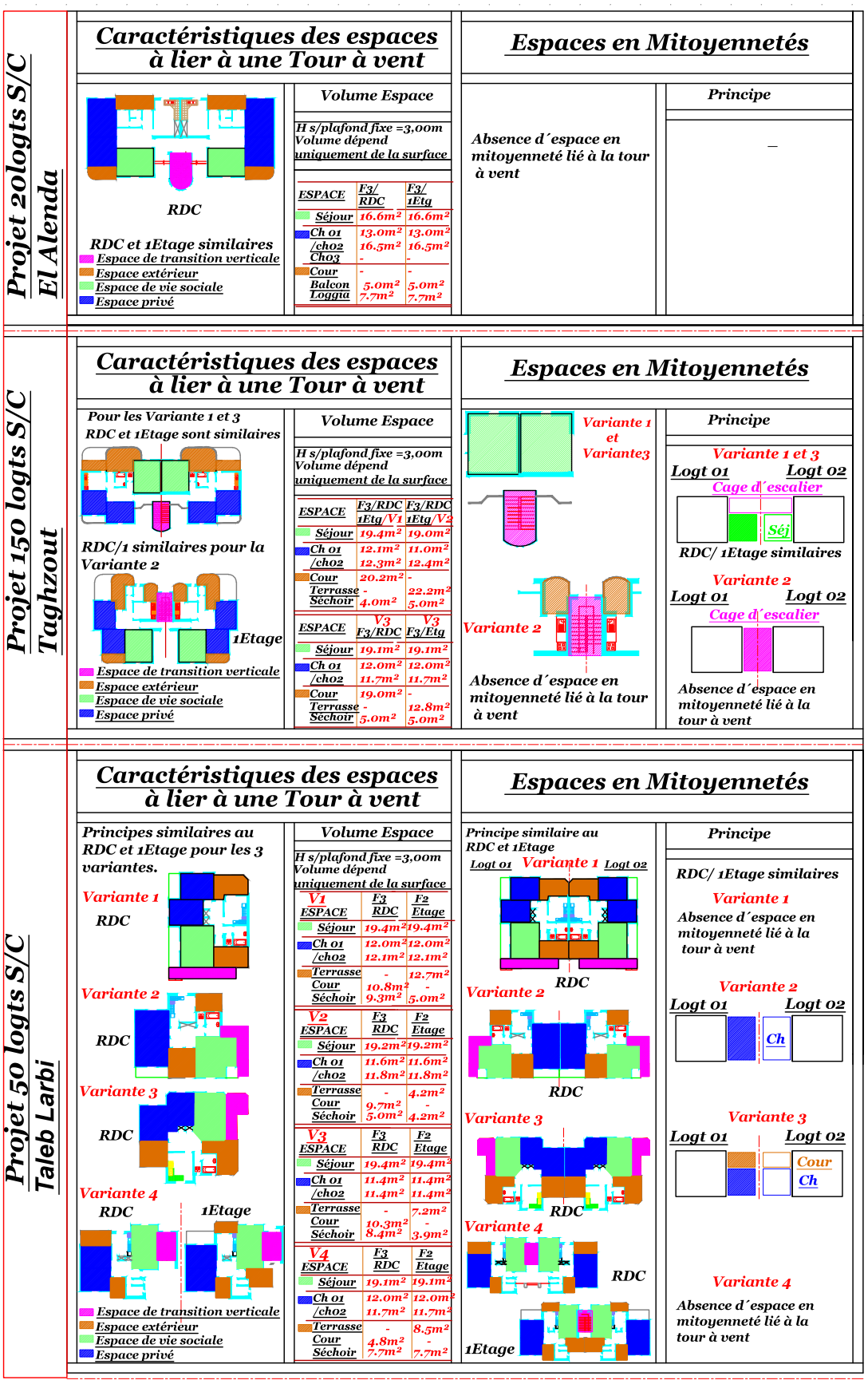
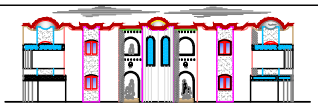


Tableau 7.32: *Analyse des espaces à lier à la TàV et des espaces en mitoyennetés entre logements(20Logts S/C El Alenda, 150Logts S/C Taghzout et 50Logts S/C Taleb Larbi)*

Projet 20logts S/C El Alenda

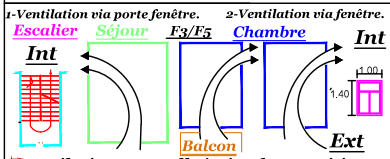
Eléments de ventilation

Façade Principale Bloc



- Façade symétrique, à caractère horizontal marqué par la ligne du ciel, la hiérarchie des étages.
- Les espaces liés à la tour à vent (chambre et séjour) sont ventilés via des fenêtres ou des portes fenêtres.
- La Cage d´escalier est sise à l´intérieur, ventilée naturellement via une ouverture sans vitrage.
- La façade est garnie de coupole, caché architecturale de la région de Oued Souf

Principe de ventilation



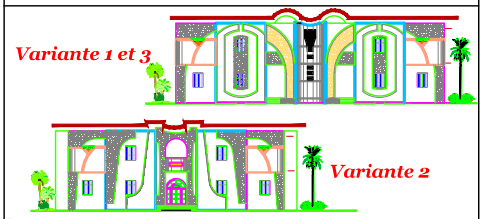
Surface Ouverture Fsej =1.40m2 PF ch= 2.20m2

- Ventilation naturelle à simple exposition mono-facade
- Ventilation assurée par l´effet du vent
- La présence des coupoles dans les séjours et la cage d´escalier, qui peuvent contribuer à la ventilation naturelle mais dépourvues d´ouvertures.

Projet 150 logts S/C Taghzout

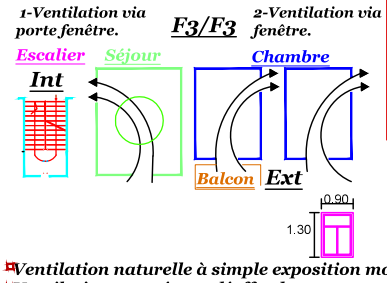
Eléments de ventilation

Façade Principale Bloc



- Façade symétrique, à caractère horizontal marqué par la ligne du ciel, la hiérarchie des étages.
- Les espaces liés à la tour à vent (chambre et séjour) sont ventilés via des fenêtres ou des portes fenêtres.
- La Cage d´escalier est sise à l´intérieur, ventilée via une ouverture sans vitrage ou traitée en claustra.
- La façade est garnie de coupole, caché architecturale de la région de Oued Souf

Principe de ventilation



Surface Ouverture F sej= 1.17m2 PF ch= 2.20m2

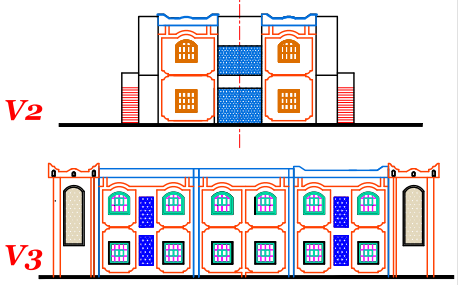
- Ventilation naturelle à simple exposition mono-facade
- Ventilation assurée par l´effet du vent
- La présence des coupoles dans les séjours et la cage d´escalier, qui peuvent contribuer à la ventilation naturelle mais dépourvues d´ouvertures.

Projet 50 logts S/C Taleb Larbi

Eléments de ventilation

Façade Principale Bloc

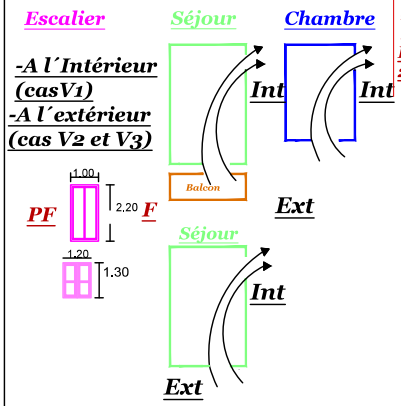
Logement 01 | Logement 02



- Façade symétrique, à caractère horizontal marqué par la ligne du ciel, la hiérarchie des étages.
- Les espaces liés à la tour à vent (chambre et séjour) sont ventilés via des fenêtres ou des portes fenêtres.
- La Cage d´escalier est à l´extérieur, exposée directement aux aléas du climat

Principe de ventilation

Principe similaire dans les 2 types de Logements analysés



Surface Ouverture Fsej= 1.56m2 PF ch= 2.20m2

- Ventilation naturelle unilatérale à simple exposition mono-facade
- Ventilation assurée par l´effet du vent .
- Cage d´escalier à l´extérieur soit totalement ouverte (cas v1 et v2) ou semi couverte (cas v3).

Tableau 7.33: Éléments et principe de ventilation (20Logts S/C El Alenda, 150Logts S/C Taghzout et 50Logts S/C Taleb Larbi)

Conclusion

- Une analyse typologique a été effectuée sur 25 projets constituants 45 variantes d'habitat intermédiaire dans les régions à climat chaud aride et semi-aride au Sud algérien cas des wilayas Oued Souf et Biskra respectivement. Le nombre de projets est réparti comme suit:
12 projets (24 variantes) à Oued Souf et 13 projets (21 variantes) à Biskra.
- Les éléments à analyser relatifs à la conception du projet notamment l'aspect morphologique, le planning spatial, l'aspect socioculturel et l'aspect environnemental ont été identifiés et utilisés pour l'analyse des cas d'études.
- L'analyse typologique a contribué à la définition, à partir des types de l'habitat semi-collectif a posteriori, des types a priori qui vont nous permettre l'accomplissement de l'acte de conception de la typologie de l'habitat semi-collectif relatif à ces régions. Sur la base de cette dernière, l'élaboration de nouveaux types dotés de tours à vent a priori sera accomplie. Les deux typologies feront l'objet du dernier chapitre (chapitre 8).

Chapitre 8

Développement des typologies et performances du prototype adopté

Chapitre 08

Introduction

Le modèle de la maison rafraîchie passivement via la tour à vent est une réponse architecturale aux contraintes climatiques du milieu aride et semi-aride. Il constitue à travers l'histoire un modérateur du microclimat intérieur. Malgré cela, il est délaissé et critiqué de nos jours. Son abandon s'est fait au profit des modèles réputés plus urbains et mieux ancrés dans la tradition occidentale. Par ses qualités intrinsèques d'adaptation au climat, il mérite des applications plus étendues et un réajustement approprié. Les anciennes technologies de refroidissement passif peuvent nous inspirer pour de nouvelles approches novatrices dans la conception des habitations en climat chaud et sec. En examinant les facteurs sociologiques, spatiaux, environnementaux, thermiques et économiques qui influent sur la réussite ou l'échec de la tour à vent, il serait possible de développer une nouvelle typologie de conception de logement rafraîchi passivement. La nouvelle typologie doit répondre aux besoins présents, issus du mode de vie sociale local, d'une consommation d'énergie réduite, confortable thermiquement et adaptée au climat de la région sud où sont situés les cas d'étude de Biskra et d'Oued Souf.

En se basant sur les résultats de la recherche typologique de l'échantillon traité dans le chapitre 07, une typologie d'habitat intermédiaire conventionnel est déterminée. Cette dernière constitue un support de base pour la nouvelle typologie objet de ce chapitre et objectif principal de cette recherche. Les différentes combinaisons obtenues par l'intégration de ce dispositif dans la typologie conventionnelle sont développées selon des critères prédéfinis. Les caractéristiques techniques, la performance thermique, énergétique et économique du prototype adopté sont mentionnées à la fin de ce chapitre pour plus d'informations et de détails sur sa mise en œuvre.

8.1 Interprétation des résultats de la recherche typologique

Après récolte et analyse des différents plans de logements en habitat semi-collectif à Biskra et à Oued Souf, une classification des modèles conventionnels s'avère impérative. Cette classification donne lieu à une première typologie de l'habitat intermédiaire dans la région sud

cas d'étude. L'intégration du système de rafraîchissement passif dans la typologie obtenue vient en second lieu, et ce afin de nous permettre d'atteindre l'objectif escompté.

8.1.1 Critères de classification des résultats

Comme le climat représente un facteur déterminant dans notre travail, le climat semi-aride (cas de la wilaya de Biskra) et le climat aride (cas de la wilaya d'El Oued) ont été pris comme premier critère primordial de classification. Les résultats obtenus de l'analyse ont été classés par la suite selon plusieurs critères significatifs à savoir:

- La forme urbaine: indication du type et du sous-type d'assemblage des unités d'habitation (linéaire, groupée ou mixte) ainsi que les dimensions de l'unité de composition;
- L'orientation de l'unité de composition;
- La hauteur du bâtiment (nombre d'étages);
- Le type d'usage (résidentiel ou mixte);
- Le type de logement (F2, F3, F4, F5 ou F6), logement superposé ou en duplex;
- La hauteur sous plafond;
- La surface du logement (surface habitable, non habitable et totale);
- L'accessibilité aux logements: selon
    - La distribution des accès (organisation des portes d'entrée)
    - Le parcours emprunté pour accéder aux logements (circulation horizontale et verticale).
- L'organisation spatiale des logements: selon
    - Le principe d'organisation des espaces intérieurs (linéaire axiale, centrale ou mixte),
    - La régulation socio-spatiale: sans ou avec contrôle d'accès entre habitant et visiteur (sans ou avec espace filtre).
    - L'organisation des parties communes en mitoyenneté entre logements.
- Le nombre de logements desservis par espace intermédiaire et type d'assemblage.

Malgré leurs importances et leurs influences sur la conception architecturale, la façade et ses éléments ainsi que le système constructif et ses matériaux n'ont pas été pris en compte lors de l'élaboration de la nouvelle typologie. Ces facteurs nécessitent des études complémentaires et feront l'objet d'axes de recherches futures.

8.2 Élaboration des typologies

Deux typologies ont été accomplies dans cette recherche en s'appuyant sur l'ensemble des critères de classification cités ci-dessus:

- Typologie de l'habitat semi-collectif sis au Sud algérien à climat chaud aride cas d'Oued Souf et chaud semi-aride cas de Biskra (conception initiale).
- Typologie développée de l'habitat semi-collectif doté d'un système de rafraîchissement passif et de ventilation naturelle sis au Sud algérien à climat chaud aride cas d'Oued Souf et chaud semi-aride cas de Biskra (conception développée).

Les résultats obtenus des différents paramètres de classification qui composent chaque typologie sont indiqués comme suit:

8.2.1 La forme urbaine

Selon la forme d'assemblage des unités de logement, on a distingué trois types à savoir: assemblage groupé, assemblage en barre et assemblage mixte, où chaque type dispose de variété de sous-type.

8.2.1.1 Typologie de la forme urbaine (conception initiale)

8.2.1.1.1 Assemblage groupé

On distingue quatre sous-types (tableau 8.1) à savoir:

a- Assemblage groupé unitaire à double patio: dont le 1er est semi-public ouvert et le 2^{e} est privé fermé. Ce sous-type figure uniquement à Oued Souf puisque son modèle a fait l'objet d'un concours d'architecture non réalisé. La comparaison ne peut se faire dans les deux cas d'étude.

b- Assemblage groupé à patio: à Oued Souf, les unités de composition sont homogènes et le patio est fermé et privé. En revanche, à Biskra les unités de composition sont hétérogènes et le patio est semi-privé et ouvert. Le climat des deux cas d'études n'a pas d'effet sur ce sous-type d'assemblage, la conception du patio privé ou semi-privé, ouvert ou fermé est un choix conceptuel. C'est le mode de vie sociale qui diffère.

c- Assemblage groupé avec cour centrale, unités de composition (identiques ou variées) alignées et accolées: à Oued Souf, l'assemblage est fermé dont l'accès est contrôlé avec présence d'unités de composition à l'intérieur de la cour. À Biskra, l'assemblage est ouvert, l'accès à l'assemblage est non contrôlé avec absence d'unités de composition à l'intérieur de la cour. Le climat des deux cas d'étude n'influe pas sur ce type d'assemblage, c'est le mode de vie sociale qui diffère.

d- Assemblage groupé avec cour centrale, unités de composition (identiques ou variées) alignées et séparées: dans les deux cas d'études, l'assemblage est ouvert dont l'accès est non contrôlé. Ni le climat ni le mode de vie sociale n'ont une influence sur ce sous-type. C'est un choix conceptuel.

Dans le type d'assemblage groupé pour les deux régions cas d'étude, les sous-types sont similaires dans les cas de figure d'un assemblage à patio ou d'un assemblage autour d'une cour centrale et d'unités de composition alignées et accolées. Cette similarité est issue du mode de vie sociale des habitants. Le seul sous-type différent est le cas d'un assemblage autour d'une cour centrale et d'unités de composition alignées et séparées. Cette différence est due à un choix architectural.

Donc, il a été conclu que la typologie selon la forme urbaine de type assemblage groupé est identique dans les régions à climat aride et semi-aride cas d'étude avec une différence insignifiante constatée dans les détails en sous-types.

Les dimensions de l'unité d'assemblage de tous les sous-types sont comprises dans les intervalles suivants (figure 8.1) et (tableau 8.1):

- Pour la longueur (L): 23,3m ≤ L ≤ 26,8m
- Pour la largeur (l): 10,0 m ≤ l≤ 13,90m

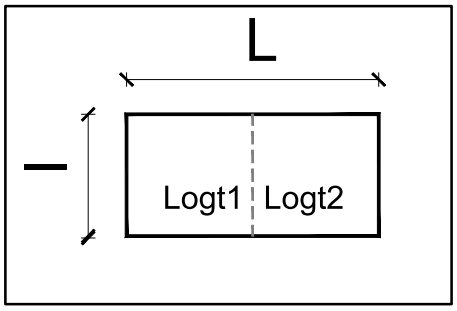


Figure 8.1: *Géométrie de l'unité de composition*

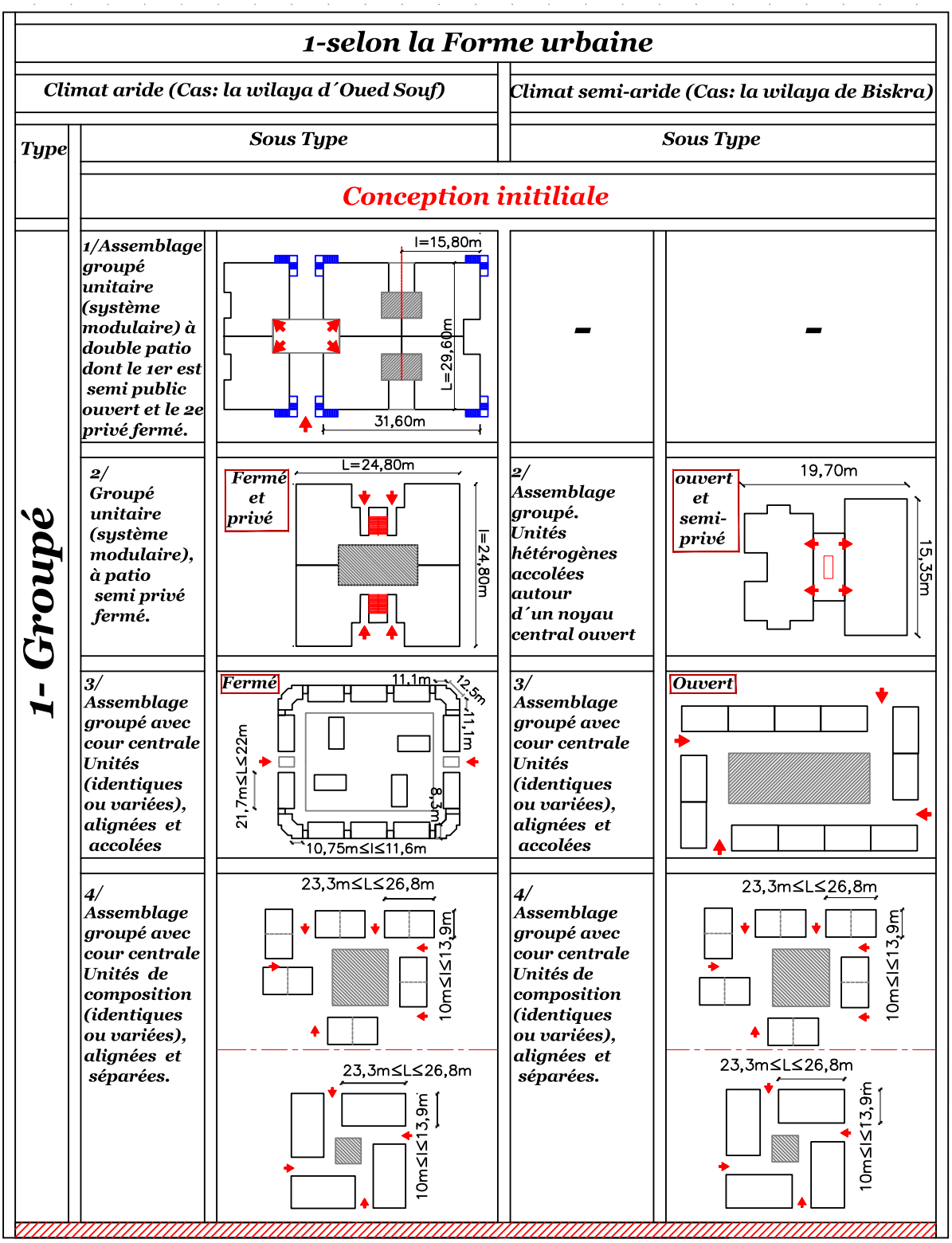


Tableau 8.1: *Typologie de l'habitat intermédiaire selon la forme urbaine /Assemblage groupé*

8.2.1.1.2 Assemblage en bande (linéaire)

On distingue trois sous-types selon la forme du bloc (un bloc est un assemblage de deux unités de composition), la présence ou l'absence de bloc d'angle à savoir (tableau 8.2):

a- Rangée de blocs identiques ou variés, assemblage linéaire discontinu, unité jumelée sans bloc d'angle.

b- Rangée de blocs identiques ou variés, assemblage linéaire discontinu, unité jumelée avec bloc d'angle.

c- Rangée de blocs identiques ou variés, assemblage linéaire continu, unité accolée avec et sans bloc d'angle.

Pour le type d'assemblage en bande (linéaire), il a été constaté que:

- le sous-type avec les caractéristiques suivantes « rangée de blocs identiques ou variés, assemblage linéaire discontinu, unité jumelée et sans bloc d'angle » est le seul sous-type trouvé dans les deux régions cas d'étude. Cela est dû à un choix architectural.

- les autres sous-types restants présentant les caractéristiques suivantes: « rangée de blocs identiques ou variés, assemblage linéaire discontinu, unité jumelée avec bloc d'angle» et « rangée de blocs identiques ou variés, assemblage linéaire continu, unité accolée (avec et sans bloc d'angle) » ne figurent pas dans le tableau de classification de la région d'El Oued à climat aride. Leur disparition dans la zone climatique semi-aride peut se justifier pour deux raisons possibles:

- Soit que le sous-type existe et son modèle ne figure pas dans l'échantillonnage.

- Soit les modèles représentatifs de ces deux sous-types n'ont pas été réalisés à El Oued.

Les dimensions de l'unité d'assemblage de tous les sous-types sont comprises dans les intervalles suivants (figure 8.1) et (tableau 8.2):

- Pour la longueur (L): 16,00 m ≤ L ≤ 26,05m
- Pour la largeur (l): 10,70 m ≤ l ≤ 15,00m

Pour le bloc d'angle (figure 7.2)

- (L): 11,30m ≤ L ≤ 25,10m
- (l): 11,50m ≤ l ≤ 19,50m
- (l´): 04,50m ≤ l´ ≤ 12,70m

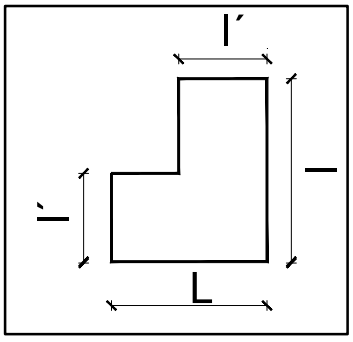


Figure 8.2*: Géométrie bloc d'angle*

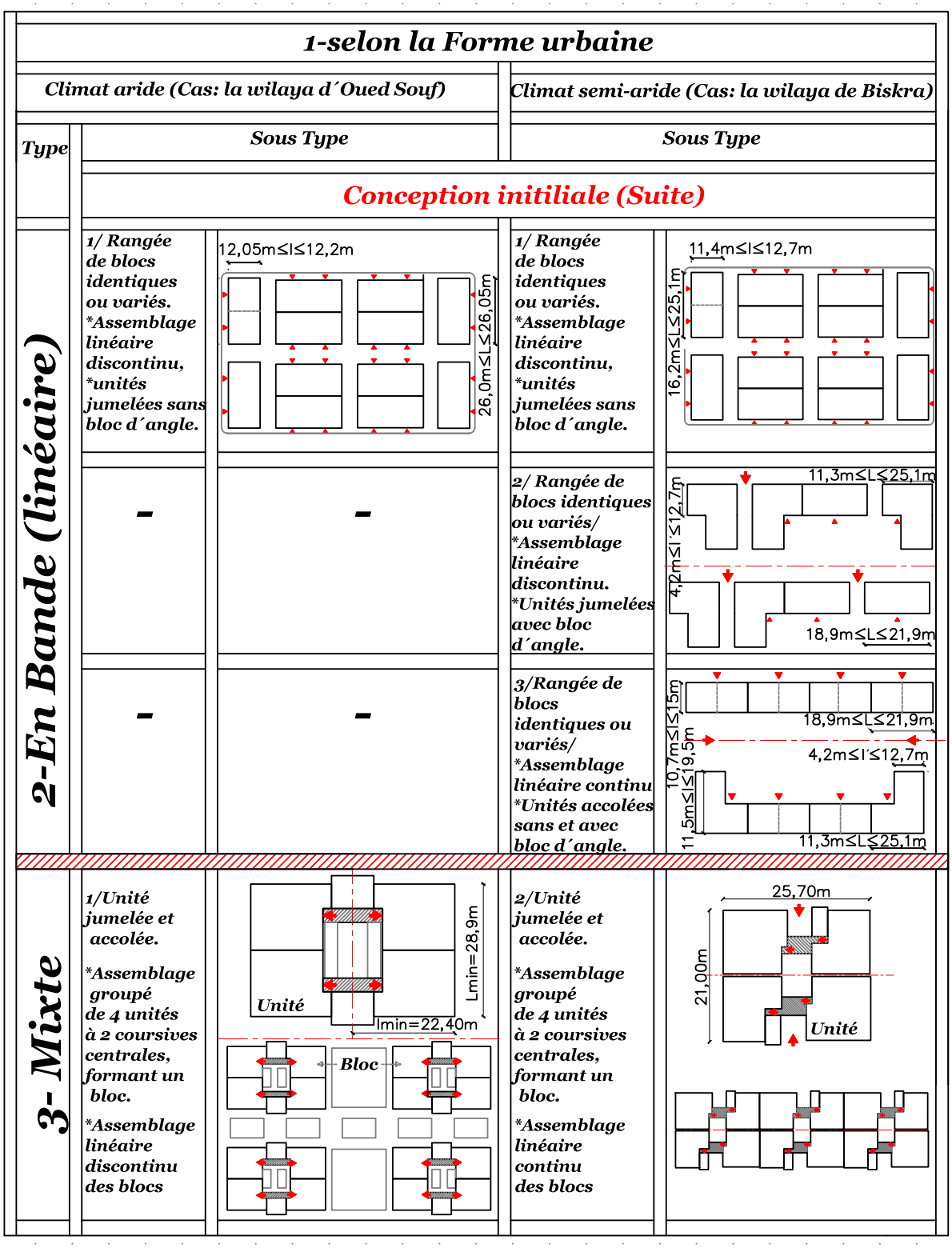


Tableau 8.2: *Typologie de l'habitat intermédiaire selon la forme urbaine /Assemblage en bande et mixte*

8.2.1.1.3 Assemblage mixte

On distingue deux sous-types à savoir (tableau 8.3):

a- Unité jumelée et accolée, assemblage groupé de 4 unités à coursive centrale formant un bloc, assemblage linéaire discontinu des blocs.

b-Unité jumelée et accolée, assemblage groupé de 4 unités à 2 coursives centrales formant un bloc, assemblage linéaire continu des blocs.

Dans le type d'assemblage mixte pour les régions cas d'étude, les deux sous-types sont pratiquement identiques avec une petite différence constatée au niveau de l'assemblage des blocs à savoir:

- Assemblage linéaire continu des blocs dans la wilaya de Biskra à climat semi-aride.
- Assemblage linéaire discontinu des blocs dans la wilaya d'Oued Souf à climat aride.

La typologie selon la forme urbaine type assemblage mixte est identique dans les deux régions à climat distinct avec une différence insignifiante constatée dans les détails en sous-types. Cette différence est due à un choix architectural.

Les dimensions de bloc de composition (un bloc est un assemblage de 4 unités avec cursive centrale) de tous les sous-types sont comprises dans les intervalles suivants (figure 8.3) et (tableau 8.2):

- Pour la longueur (L): 25,70 m ≤ L ≤ 44,8m
- Pour la largeur (l): 21,00 m ≤ l ≤ 28,90m

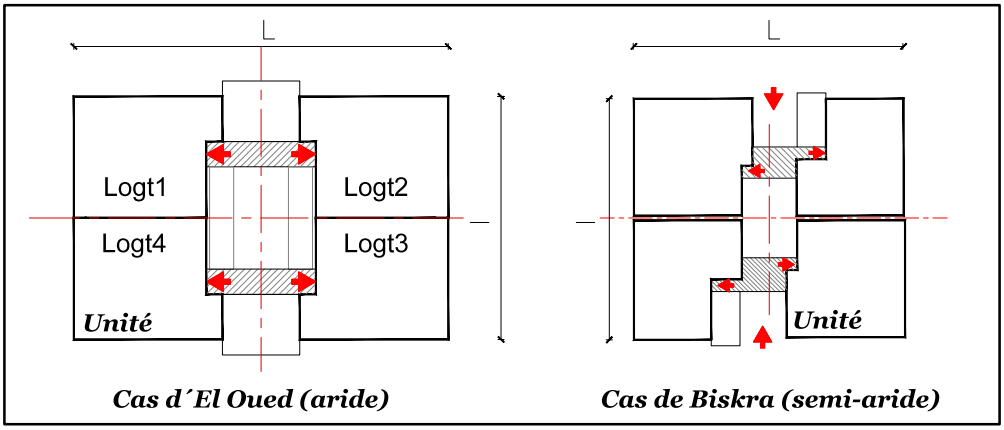


Figure 8.3: *Géométrie du bloc composé de 4 unités de logement*

Par conséquent, il a été conclu que les deux régions cas d'étude à climat différent (aride et semi-aride) présentent les mêmes types de la forme urbaine vis-à-vis le mode d'assemblage des unités de composition (groupé, en bande ou mixte). Cette similarité est issue du mode de vie sociale, le climat n'a aucun impact. Par contre, il a été constaté une légère différence en sous-types au niveau des sous-détails (présence ou absence de bloc d'angle et mode d'assemblage continu ou discontinu). Cette différence est justifiée par un choix architectural ou par un manque de données au niveau des modèles de l'échantillonnage.

8.2.1.2 Typologie développée selon la forme urbaine

La tour à vent peut être placée soit à l'intérieur du logement ou soit au niveau de son enveloppe extérieure. Selon le type d'assemblage des unités de composition, elle peut être intégrée au niveau de la paroi séparant les logements ou au niveau de l'espace intermédiaire de circulation vers l'accès d'entrée.

8.2.1.2.1 Critère d'implantation

L'emplacement à l'intérieur ou à l'extérieur de l'enveloppe du logement est lié aux objectifs fixés par le concepteur et aux diverses restrictions auxquelles il fait face, notamment:

- Les raisons esthétiques et économiques,
- Les raisons conceptuelles:
-La surface habitable limitée,
-La disposition des espaces liés à la conception
- les raisons thermiques: l'obtention d'une meilleure performance thermique.

Selon l'emplacement de la tour à l'intérieur ou à l'extérieur du logement (une ou plusieurs parois exposées aux conditions climatiques extérieures), le taux de transfert de chaleur effectué au sein de son conduit diffère, et par conséquent son rendement diffère aussi.
Le mode d'assemblage des tours à vent influent également leurs performances thermiques par interférence.

8.2.1.2.2 Choix et modes d'assemblages des tours à vent

Le choix de type d'assemblage des tours à vents isolées, jumelées ou mixtes dépend largement du:

-Type d'assemblage des unités de composition et des blocs (groupé, en barre, ou mixte),
-Type des espaces en mitoyenneté entre logements,
- Nombre et disposition de l'espace de transition verticale (cage d'escalier).

8.2.1.2.3 Classification

Pour l'obtention d'une typologie locale développée pour les deux régions cas d'étude, la typologie initiale selon la forme urbaine notamment type et sous-type d'assemblage unités de compositions et blocs, a été prise comme un support de base où les tours à vent ont été intégrées en fonction des critères d'implantation tours cités auparavant. On distingue deux types dont chacun dispose de plusieurs sous-types. Ils sont les suivants:

8.2.1.2.3.a Typologie selon la forme urbaine avec tour intégrée à l'extérieur du logement

Dans ce type, on distingue les trois sous-types d'implantation de tours à vent suivants:

a.1 Au niveau de l'espace privé extérieur non habitable du logement

Tel que loggia, balcon et paroi extérieure. Ce sous-type s'applique soit à une insuffisance de surface habitable ou à un choix architectural (esthétique ou conceptuel) voir (tableau 8.3) et (tableau 8.4).

a.2 Au niveau de l'espace de circulation horizontale privatif vers accès logements au RDC

Tel que: la cour centrale en cas de l'assemblage mixte unités jumelées et accolées à doubles coursives centrales ou le patio en cas de l'assemblage groupé. Ce sous-type est valable en cas d'absence d'espace extérieur privé dans la conception du logement ou selon un choix architectural. Voir (tableau 8.5) pour la disposition des tours à vent par rapport au plan de masse et (tableau 8.19) relatif à la typologie selon l'accessibilité aux logements/ répartition accès et circulation/ circulation horizontale.

a.3 Au niveau de l'espace de circulation verticale vers accès logements aux étages

Ce sous-type est valable lorsque l'espace en mitoyenneté entre logements est un espace de service tel qu'une cuisine, des toilettes et/ou une salle de bain. Ces espaces n'ont aucune relation fonctionnelle avec le système de rafraîchissement passif adopté. Il s'agit d'espaces n'ont liés à la tour à vent selon les résultats obtenus à partir de l'analyse syntaxique du chapitre 6. Voir (tableau 8.19) typologie selon l'accessibilité aux logements/ répartition accès et circulation/ circulation verticale.

8.2.1.2.3.b Typologie selon la forme urbaine avec tour intégrée à l'intérieur du logement

On distingue deux sous-types d'implantation soit:

b.1 Au niveau de l'espace en mitoyenneté entre logements si l'espace adjacent est un espace de vie (séjour) ou un espace de repos (chambre). Ces espaces ont une relation fonctionnelle avec le système de rafraîchissement passif, selon les résultats obtenus à partir de l'analyse syntaxique du chapitre 6.

Pour la disposition par rapport aux types d'assemblage unités de composition en plan de masse, voir (tableau 8.6) relatif à la typologie avec tour à vent à l'intérieur selon la forme urbaine cas de l'assemblage groupé et (tableau 8.7) relatif à la typologie avec tour à vent à l'intérieur selon la forme urbaine cas de l'assemblage en barre et l'assemblage mixte.

Pour le nombre et le type de regroupement des tours, voir (tableau 8.21) typologie selon l'organisation spatiale/les parties communes en mitoyenneté.

b.2 Au niveau de l'espace de circulation verticale si l'espace en mitoyenneté entre logements est un espace de service (cuisine, Wc et/ou SDB). Voir (tableau 8.19) typologie selon l'accessibilité aux logements/ circulation verticale.

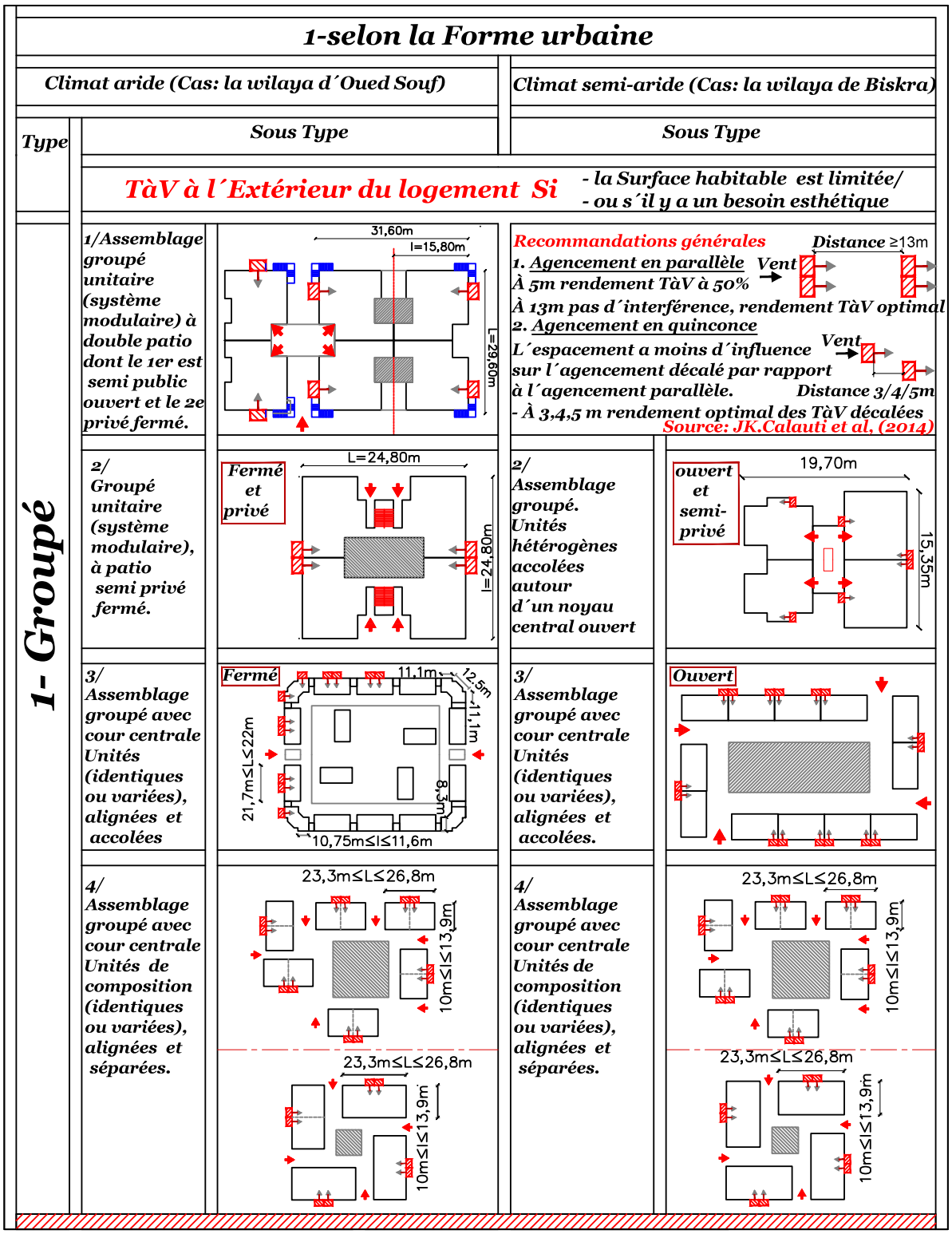


Tableau 8.3: *Typologie développée avec tour à vent à l'extérieur selon la forme urbaine /Assemblage* groupé

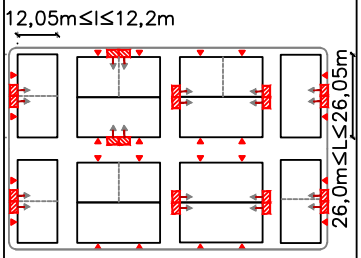
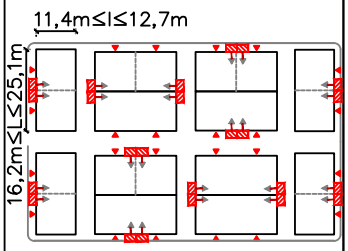
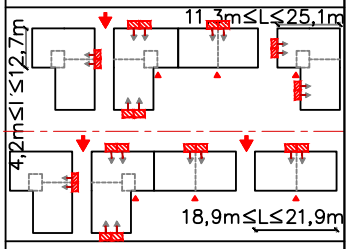
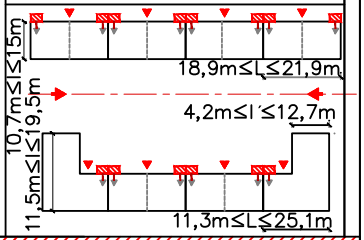
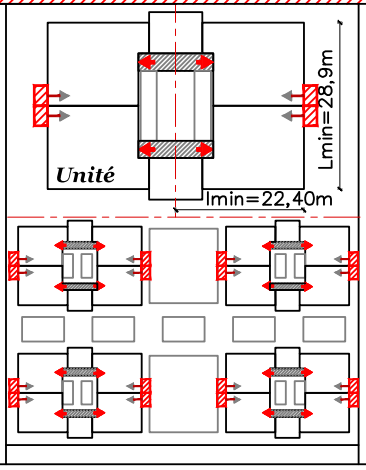
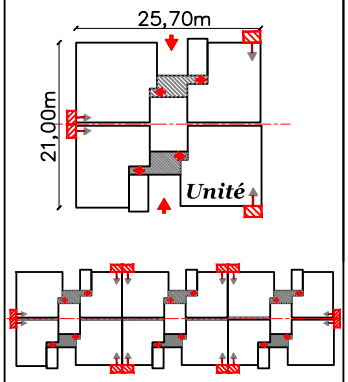
1-selon la Forme urbaine (Suite)				
	Climat aride (Cas: la région d´Oued Souf)		Climat semi-aride (Cas: la région de Biskra)	
Type	Sous Type		Sous Type	
	TàV à l´Extérieur du logement Si la Surface habitable est limitée/ besoin d´esthétique			
2-En Bande (linéaire)	1/ Rangée de blocs variés ou identiques *Assemblage linéaire discontinu, *unités jumelées sans bloc d´angle.		1/ Rangée de blocs variés ou identiques, *Assemblage linéaire discontinu. *Unités jumelées sans bloc d´angle.	
	-	-	2/ Rangée de blocs identiques ou variés *Assemblage linéaire discontinu. *Unités jumelées avec bloc d´angle.	
	-	-	3/Rangée de blocs identiques ou variés, *Assemblage linéaire continu *Unités accolées sans et avec bloc d´angle.	
3- Mixte	1/Unité jumelée et accolée. *Assemblage groupé de 4 unités à 2coursives centrales, formant un bloc. *Assemblage linéaire discontinu des blocs		2/Unité jumelée et accolée. *Assemblage groupé de 4 unités à 2 coursives centrales, formant un bloc. *Assemblage linéaire continu des blocs	

Tableau 8.4: *Typologie développée avec TàV à l'extérieur selon la forme urbaine /Assemblage* en bande et assemblage mixte

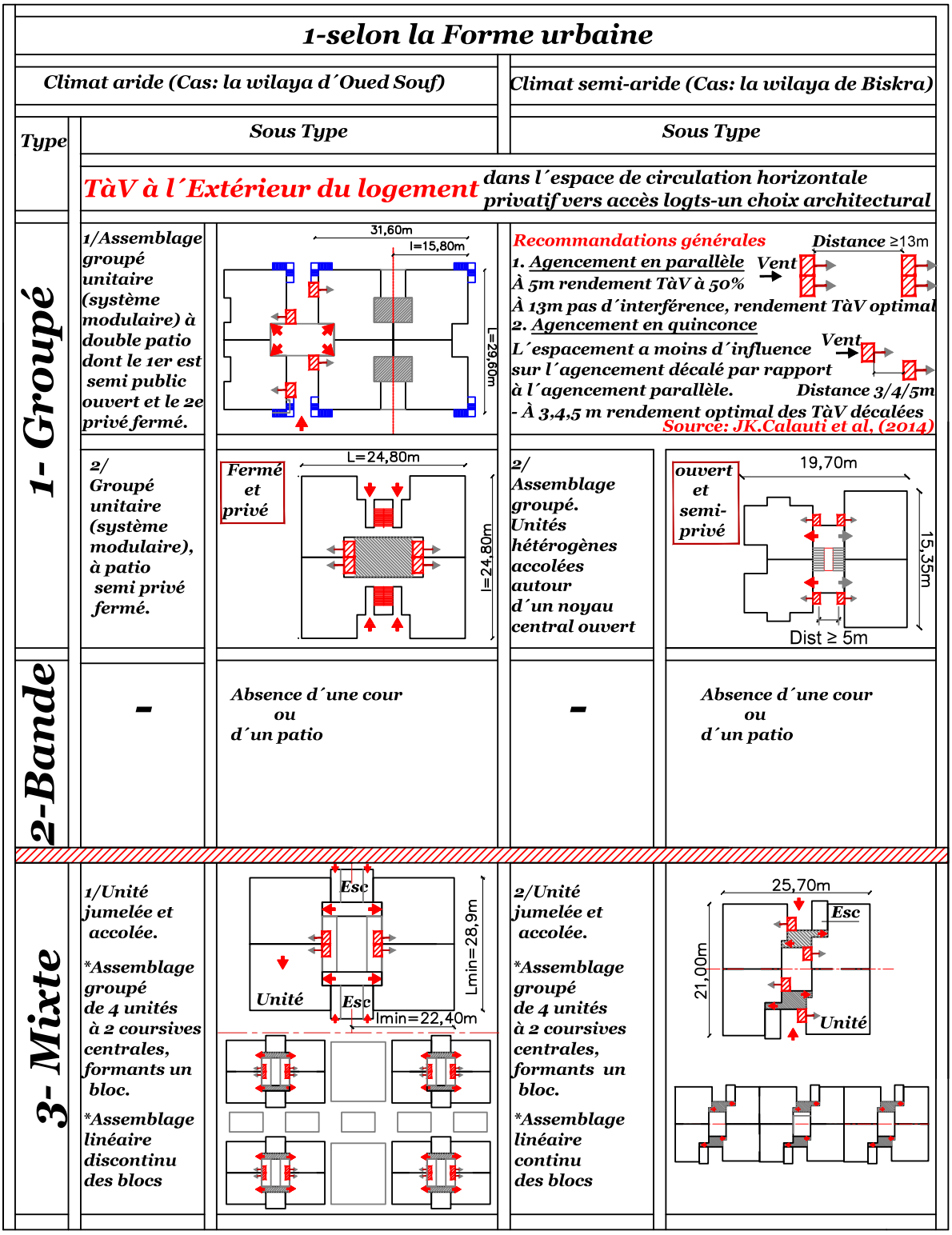


Tableau 8.5: *Typologie avec TàV à l'extérieur selon la forme urbaine /Circulation horizontale/ Assemblage groupé et mixte*

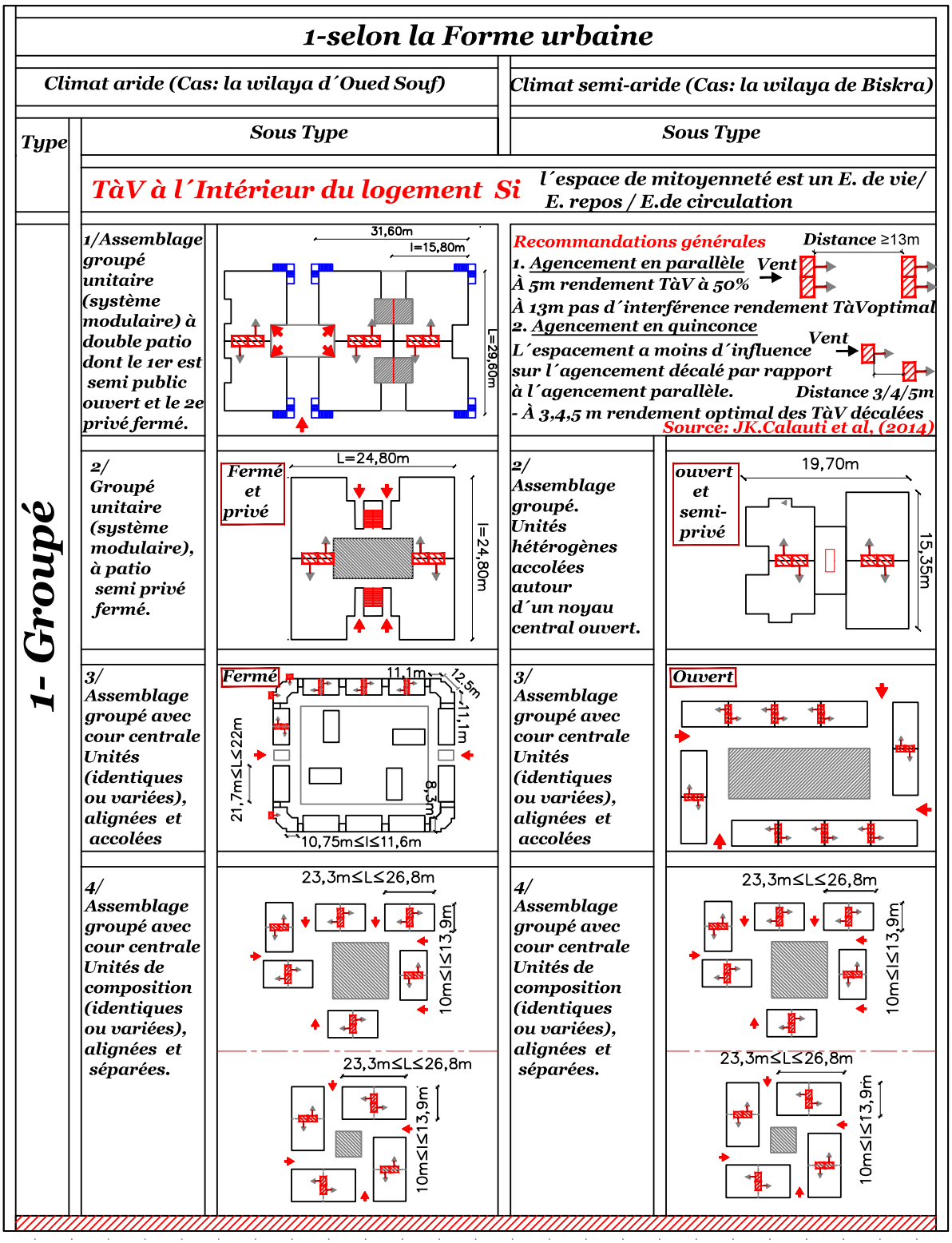


Tableau 8.6: *Typologie développée avec TàV à vent à l'intérieur selon la forme urbaine /Assemblage* groupé

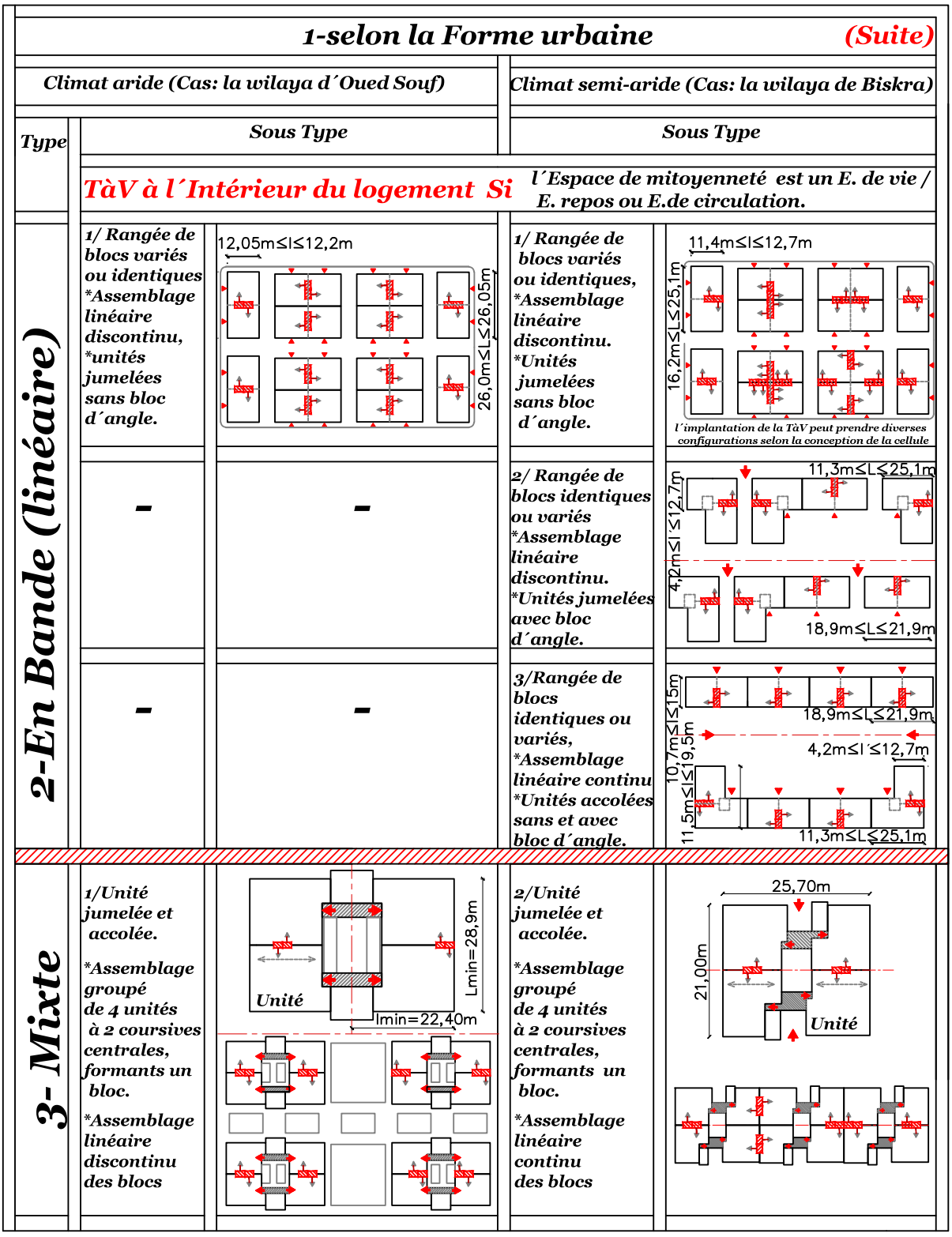


Tableau 8.7: *Typologie développée avec TàV à l'intérieur selon la forme urbaine /Assemblage* en barre et mixte

Recommandations

Avant toute implantation des tours à vent et pour avoir un rendement maximal, des recommandations ci-dessous sont à prendre en considération:

- Un espacement de 13 m serait nécessaire pour respecter les débits recommandés par la réglementation britannique du bâtiment de 2010 en taux de ventilation naturelle intérieure et des concentrations de dioxyde de carbone (10 l/s d'air par personne). C'est la longueur où l'influence en amont n'aura pas d'effet dans le cas d'un agencement en parallèle des tours à vents (SEPPÄNEN *et al*., 1999) et (JOHN KAISER *et al*., 2014).

- Le débit d'alimentation maximal pour l'agencement parallèle à une distance de 5m entre tours est un peu plus de 50% du taux de régulation de concentration en CO2 et 40% du taux d'alimentation d'une tour isolée.
- L'espacement a moins d'influence sur l'agencement décalé par rapport à l'agencement en parallèle (JOHN KAISER *et al*., 2014).
- L'espacement entre deux tours en quinconce soit 3m, 4m ou 5m est approprié pour fournir des taux de ventilation supérieurs au niveau de la réglementation de construction requise.
(JOHN KAISER *et al*., 2014).
- Le choix de l'implantation des tours au niveau du logement n'est pas définitif, il faut vérifier la disposition de l'ensemble des tours à vent au niveau de l'assemblage (plan de masse). Si les conditions ci-dessus ne sont pas respectées, il faut revoir la disposition au niveau de la cellule.

8.2.2 L'orientation

Comme il a été constaté lors de l'analyse que l'orientation des bâtiments était variable changeant d'un projet à un autre selon la forme urbaine du projet notamment le type d'assemblage des blocs (en barre, groupé ou mixte) et les caractéristiques physiques du terrain (la forme et la superficie).

8.2.2.1 Typologie selon l'orientation (conception initiale)

D'après les exemples analysés, l'orientation dépend en grande partie de la façon dont les unités de logement sont assemblées. Le mode d'assemblage suit le plus souvent la forme du terrain. Par conséquent l'orientation des bâtiments devient changeante ignorant dans la plupart du temps la direction préconisée par la réglementation algérienne en vigueur qui définit les spécifications architecturales et les techniques appliquées aux bâtiments dans les régions du sud (articles 12 et 16 du journal officiel n°6 du 12 février 2014).
On distingue trois types d'orientation par mode d'assemblage (groupé, linéaire et mixte) similaires pour les deux régions à climat aride et semi-aride. Ces types sont définis comme suit:

1- **Orientation du bâtiment suivant l'orientation de la forme du terrain**: cas de l'assemblage en barre.

2- **<u>Orientation réglementaire façades nord-sud sur le grand axe est-ouest</u> lorsque le terrain le permet**: cas de l'assemblage en barre.

3- **<u>Orientation du bloc suivant la direction de son emplacement dans la configuration de l'ensemble</u>**: cas de l'assemblage groupé et mixte (tableau 8.8).

2- Selon l´Orientation	
Conception initiale Sans tour à vent	
Climat aride (Oued Souf)	***Climat semi aride (Biskra)***
Orientation Similaire selon	
Forme urbaine et Caractéristiques du terrain	
Type d´orientation	***Type d´assemblage***
1. Orientation des blocs suit la forme du terrain.	***En barre (linéaire)***
2. Orientation réglementaire des blocs *Nord-Sud axe Est-Ouest, (Journal officiel Algérien N°6 du 12 février 2014 articles 12 et 14)*	***En barre si le terrain le permet***
3. Orientation du bloc suit la direction de son emplacement dans le plan de masse.	***Groupé et mixte***

<u>Tableau 8.8</u>: *Typologie selon l'orientation*

8.2.2.2 Typologie développée selon l'orientation

La direction du vent est un élément essentiel dans la conception de plusieurs systèmes de tours à vent, quels que soient leurs espacements et dispositions. La direction des vents dominants d'une région est un facteur majeur qui devrait être identifié par le concepteur. L'adoption d'une tête pivotante ou multidirectionnelle est indispensable d'autant plus que le vent change de vitesse et de direction d'heure en heure, de jour en jour et d'une saison à l'autre. Selon les études de JOHN KAISER et ses collaborateurs (2014), testées sur un prototype de référence quadri-directionnel (1,2m x 1,2m x 1,20m) pour une vitesse de vent entre 0.5m/s et 5m/s, la tête de la tour doit être orientée face aux vents dominants avec un angle de préférence de 0°/ 90° pour un captage meilleur d'air (figure 8.4) et (figure 8.5), un écoulement plus homogène d'air dans le cas d'agencement tours en parallèle et un taux de débit d'air pénétrant acceptable pour les deux cas d'assemblage en parallèle ou décalé. Il a également été constaté, que la performance en taux de débit d'air pénétrant atteint sa valeur maximale dans les deux types d'agencement tours à vents parallèles ou décalés lorsque l'angle du vent était de 45°, un

peu plus moins à 60°, moins à 30° et la valeur la plus basse à 0° et 90° par rapport aux autres directions. À 0°et 90° le rendement est pratiquement similaire.

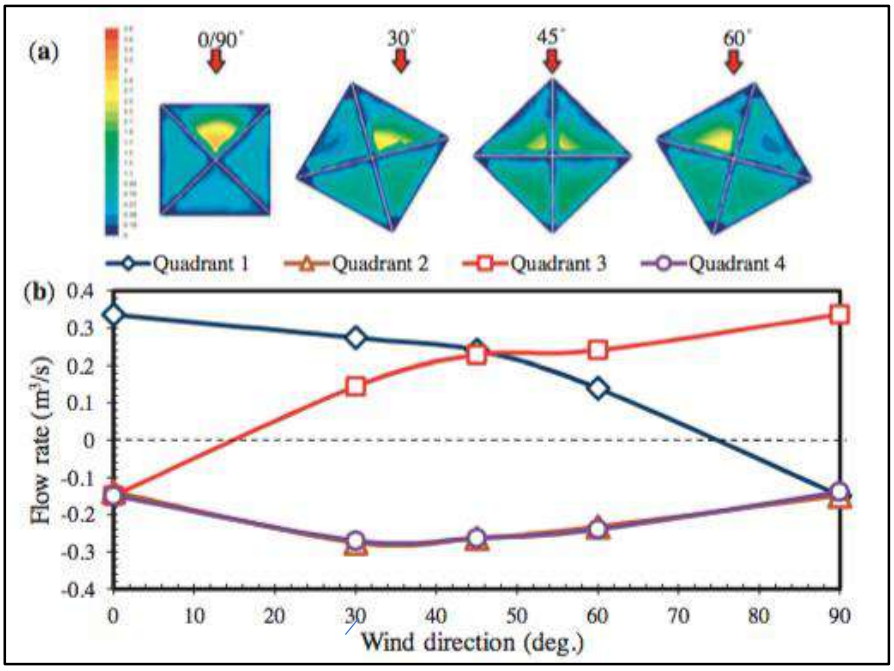


Figure 8.4: Effet de l'angle de la direction du vent sur le taux de débit d'air pénétrant pour V_{air}=3m/s
Source: *Calautit and Hughes (2014)*

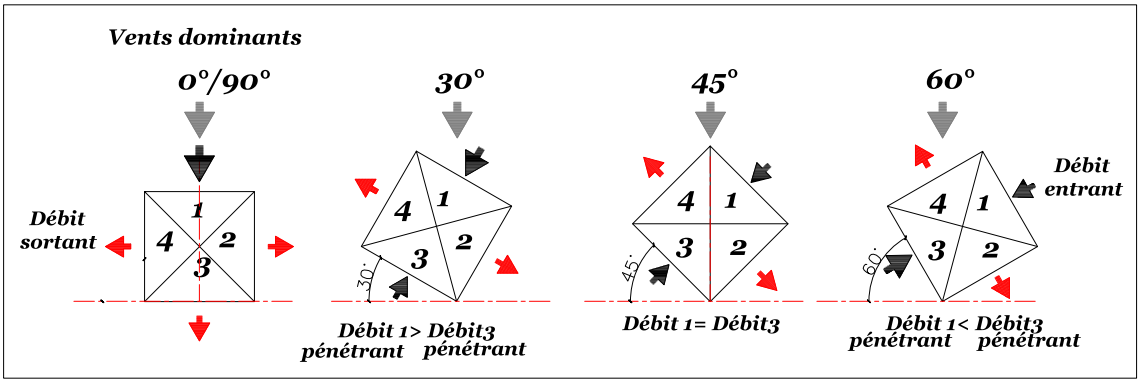


Figure 8.5: *Comportement des quadrants en fonction de l'angle du vent*
Source: *Calautit and Hughes (2014)*

Les quadrants composants les orifices d'entrée et sortie air de la tour se comportent différemment en fonction de l'angle de la direction du vent, comme il est représenté dans la (figure 8.5):

- Quelle que soit la direction du vent, les orifices 2 et 4 servent à évacuer l'air de l'intérieur du conduit vers l'extérieur,
- Pour les deux angles de 30° et 60°, le comportement est similaire, les orifices 1 et 3 servent à faire pénétrer l'air de l'extérieur vers l'intérieur, avec un taux de débit d'air faible par rapport aux autres configurations (dû aux tourbillons produits à l'intérieur) (CALAUTIT & HUGHES, 2014).

-Pour l'angle de 45°, la présence de deux orifices faisant face aux vents favorise un meilleur captage de vent.

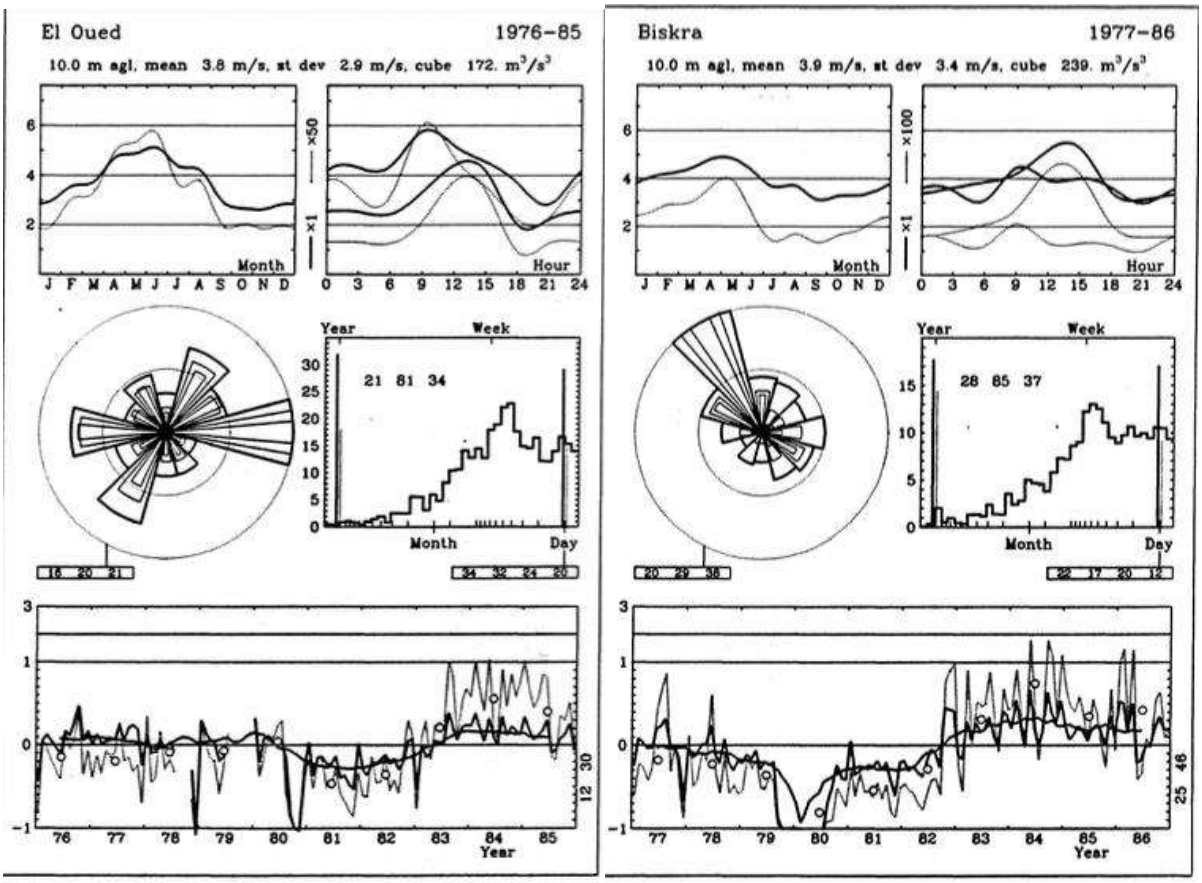
La performance est optimale lorsque la tête est inclinée de 45° par rapport à la direction des vents désirés, le plus faible rendement est obtenu lorsque la tête est orientée à 30° et 60° (tableau 8.9).

Direction du vent	0°	45°	30°	60°	90°
Débit d´air pénétrant	0,32m^3/s	0,47m^3/s	0,28m^3/s	0,28m^3/s	0,32m^3/s

Tableau 8.9*: Effet de l'angle du vent sur son rendement pour une vitesse de l'air de 3m/s*
Source: *Calautit and Hughes (2014)*

Cela montre l'importance de localiser correctement les ouvertures d'entrée et sortie air de ce système de ventilation par rapport à la direction dominante du vent sur le site.

D'après les cartes des vents de l'Algérie, le Sud se caractérise par des vitesses plus élevées que le nord, plus particulièrement dans le sud-est (cas d'étude), le printemps est la saison la plus active suivie par l'été au sud et l'hiver au nord, avec un vent stable (CHELLALI, 2011). Selon le premier atlas vent de l'Algérie établi en 1990 par HAMOUCHE pour les deux régions cas d'étude, les vitesses annuelles moyennes de l'air sur 10 ans de mesures et à 10 m de hauteur sont importantes et favorables pour l'utilisation d'un système fonctionnant avec le vent, elles sont de l'ordre de 3,8 m/s et 3,9m/s et localisées dans la région d'El Oued et Biskra respectivement (figure 8.6). La première ligne de la (figure 8.6) donne le nom de la station météorologique, le nom de la région et la période des données collectées, suivies par la hauteur des mesures effectuées (10m), la valeur moyenne de la vitesse de l'air, l'écart type et la valeur moyenne du cube des vitesses mesurées (172m^3/s^3 à Oued Souf et 239m^3/s^3 à Biskra).



Latitude 33° 30'N longitude 6° 47'E Altitude 62m // Latitude 34° 48'N Longitude 5° 44'E Altitude 86m

Figure 8.6: *Représentation de la climatologie du vent pour les régions d'El Oued et Biskra*
Source: Hamouche (1990)

Cette représentation graphique se compose de cinq graphes pour chaque région comme suit: la variation saisonnière moyenne de la vitesse du vent (ligne en trait plein) et du cube de la vitesse (ligne en tirettes) (graphe en haut et à gauche), la variation journalière moyenne de la vitesse du vent mesurée pour les mois de Janvier et de Juillet (graphe en haut et à droite), la variation horaire moyenne de 1a·vitesse du vent tracée en lignes pleines pour les mois de Janvier et Juillet et en tirettes pour le cube de cette valeur, la rose des vents (au milieu et à gauche), l'analyse spectrale (graphe au milieu et à droite), et la variation interannuelle représentée par 1'écart relatif mensuel par rapport aux mois moyens (graphe du bas).

8.2.2.2.1 Classification

Parmi les facteurs essentiels liés à l'orientation qui affectent le rendement et donc affecteront la typologie dotée de ce système sont: la direction des vents dominants, et le mode d'agencement des tours en parallèle ou en quinconce (espacement et degré d'inclinaison par rapport aux vents désirés). En s'appuyant sur les études de JOHN KAISER et ses collaborateurs

en 2014, la nouvelle typologie d'habitat semi-collectif doté de tours à vent relative à l'orientation comporte les cinq types suivants (tableau 8.10):

1- Bâtiment orienté à 0° par rapport aux vents dominants

2- Bâtiment orienté à 45° par rapport aux vents dominants

3- Bâtiment orienté à 30° par rapport aux vents dominants

4- Bâtiment orienté à 60° par rapport aux vents dominants

5- Bâtiment orienté à 90° par rapport aux vents dominants

La forme urbaine notamment les différents types d'assemblage bâtiments (groupé, en barre ou mixte) englobe toutes ces directions.

La mise en application de cette typologie sur les deux cas d'étude est indiquée dans les (tableaux 8.11 et 8.12) pour les régions d'Oued Souf et Biskra respectivement.

2.Typologie Développée Avec tour à vent Selon l´Orientation

Climat aride et semi-aride

Direction Vents dominants ..... Vmoy= .....m/s

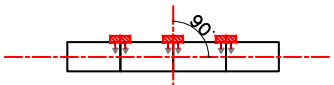
Type d´orientation Selon l´angle d´inclinaison du vent

Type d´orientation similaire pour tous les types d´assemblages

1.Orientation bloc/TàV .....

Angle 90°

Vents dominants

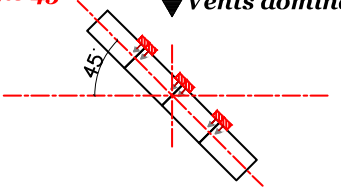


-Orientation bloc.....
-Rendement optimal de la TàV isolée en volume d´air évacué de l´intérieur vers l´extérieur et très favorable en taux de débit d´air pénétrant .
- Performance des tours en cas d´agencements parallèles ou décalés vis à vis le taux de débit d´air pénétrant est inférieure à celles de 30° et 60°.

2.Orientation bloc/TàV.....

Angle 45°

Vents dominants

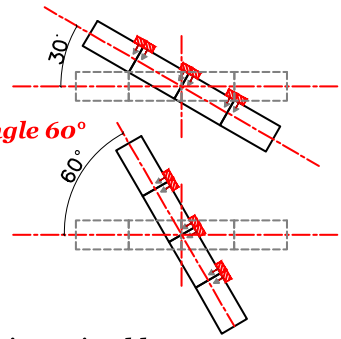


- Orientation bloc.....
- Performance Tàv isolée optimale en taux de débit d´air pénétrant et faible en volume d´air évacué par rapport à l´orientation 0°/90°
- Performance optimale en taux de débit d´air pénétrant pour l´assemblage des tours à vents en parallèles ou décalés .

3.Orientation bloc/TàV .....

Angle 30°

Vents dominants

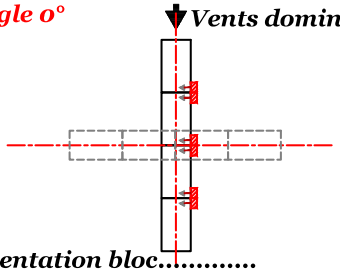


- Orientation bloc.....
-Rendement le moins favorable de la TàV isolée en taux de débit d´air pénétrant par rapport aux autres orientations.
- Performance favorable à 30° vis-à-vis le taux de débit d´air pénétrant pour l´agencement en parallèle et décalé et plus favorable à 60°.

4.Orientation bloc/TàV .....

Angle 0°

Vents dominants



- Orientation bloc.....
-Rendement très favorable de la TàV isolée en taux de débit d´air pénétrant et optimal en volume d´air évacué.
- Performance faible en taux de débit d´air pénétrant pour les TàV en agencements parallèles ou décalés par rapport aux directions à angles 30°, 45° et 60°.
- Performance la plus faible des TàV sous vent en taux de débit d´air pénétrant pour l´agencement en parallèle par rapport aux autres directions.

Source: J. C. Calauti et al, (2014)

***Tableau 8.10**: Typologie développée selon l'orientation*

2- Selon l´Orientation

Typologie Développée Avec tour à vent

Climat aride (Oued Souf)

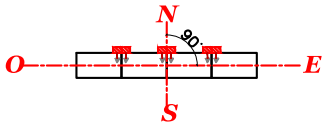
Direction Vent dominant Est-Ouest/ Vmoy= 3,8 m/s

Type d´orientation Selon l´angle d´inclinaison du vent

Type d´orientation similaire pour tous les types d´assemblages

1.Orientation bloc/TàV Nord-Sud

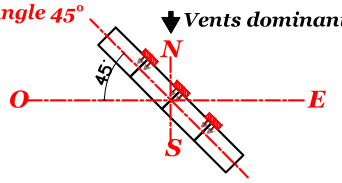
Angle 90° — Vents dominants



- Orientation bloc optimale selon la réglementation Algérienne et en bioclimatique.
-Rendement optimal de la TàV isolée en volume d´air évacué de l´intérieur vers l´extérieur et très favorable en taux de débit d´air pénétrant .
- Performance des tours en cas d´agencements parallèles ou décalés vis à vis le taux de débit d´air pénétrant est inférieure à celles de 30° et 60°.

2.Orientation bloc/TàV NE-SO

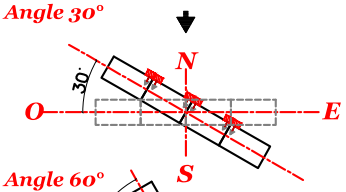
Angle 45° — Vents dominants



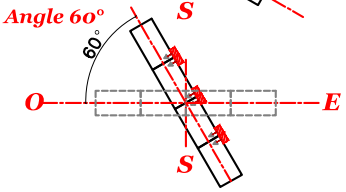
- Orientation bloc moins favorable en bioclimatique
- Performance Tàv isolée optimale en taux de débit d´air pénétrant et faible en volume d´air évacué par rapport à l´orientation 0°/90°
- Performance optimale en taux de débit d´air pénétrant pour l´assemblage des tours à vents en parallèles ou décalés .

3.Orientation bloc/TàV NO-SE

Angle 30°



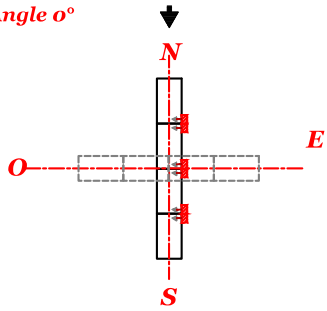
Angle 60°



- Orientation moins favorable selon la réglementation Algérienne et en bioclimatique .
-Rendement le moins favorable de la TàV isolée en taux de débit d´air pénétrant par rapport aux autres orientations.
- Performance favorable à 30° vis-à-vis le taux de débit d´air pénétrant pour l´agencement en parallèle et décalé et plus favorable à 60°.

4.Orientation bloc/TàV Est-Ouest

Angle 0°



- Orientation défavorable selon la réglementation Algérienne et en bioclimatique.
-Rendement très favorable de la TàV isolée en taux de débit d´air pénétrant et optimal en volume d´air évacué.
- Performance faible en taux de débit d´air pénétrant pour les TàV en agencements parallèles ou décalés par rapport aux directions à angles 30°, 45° et 60°.
- Performance la plus faible des TàV sous vent en taux de débit d´air pénétrant pour l´agencement en parallèle par rapport aux autres directions.

Source: J. C. Calauti et al, (2014) -Energy and building V84,PP367-377 -Building and Environment V82,pp274-287

***Tableau 8.11**: Typologie développée selon l'orientation pour la région d'Oued Souf*

2- Selon l´Orientation

Typologie Développée Avec tour à vent

Climat semi-aride (Biskra)

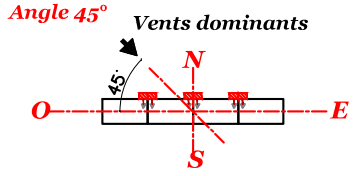
Direction Vent dominant NO-SE/ Vmoy= 3,9 m/s

Type d´orientation Selon l´angle d´inclinaison du vent

Type d´orientation similaire pour tous les types d´assemblages

1.Orientation bloc/TàV Nord-Sud

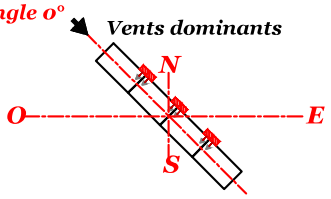
Angle 45°



- Orientation bloc optimale selon la réglementation Algérienne et en bioclimatique.
-Rendement optimal de la TàV isolée en taux de débit d´air pénétrant et faible en volume d´air évacué par rapport aux directions à angles 0° et 90°.
- Performance optimale en en taux de débit d´air pénétrant pour les types d´agencements en parallèles ou décalés.

2.Orientation bloc/TàV NE-SO

Angle 0°

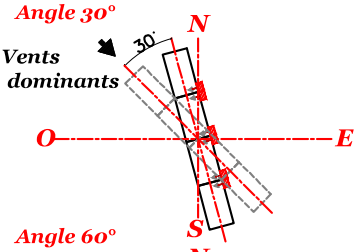


- Orientation moins favorable en bioclimatique
- Performance TàV isolée très favorable en taux de débit d´air pénétrant et optimale en volume d´air évacué vers l´extérieur.
- Performance la plus faible en agencement tours en parallèles sous vents et optimale en agencement tours décalés ou parallèles faisant faces aux vents vis à vis le taux de débit d´air pénétrant.

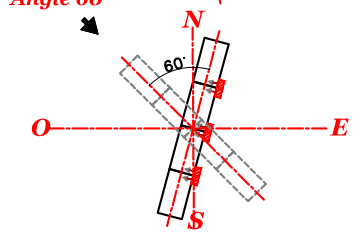
3.Orientation bloc/TàV NO-SE

Angle 30°

Vents dominants



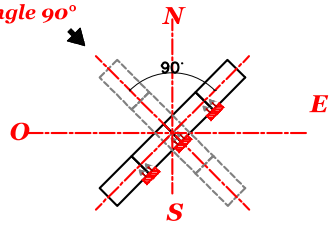
Angle 60°



- Orientation moins défavorable en réglementation Algérienne et bioclimatique pour 30° et 60°.
-Rendement le moins favorable de la TàV isolée en taux de débit d´air pénétrant par rapport aux autres orientations.
- Performance favorable à 30° pour l´agencement en parallèle et décalé vis-à-vis le taux de débit d´air pénétrant et plus favorable à 60°.

4.Orientation bloc/TàV NO-SE

Angle 90°



- Orientation moins favorable selon la réglementation Algérienne et en bioclimatique.
-Rendement très favorable de la TàV isolée en taux de débit d´air pénétrant et optimal en volume d´air évacué.
- Performance faible en taux de débit d´air pénétrant pour les TàV en agencements parallèles ou décalés par rapport aux directions à angles 30°, 45° et 60°.
- Performance la plus faible des TàV sous vent en taux de débit d´air pénétrant pour l´agencement en parallèle par rapport aux autres directions.

Source: J. C. Calauti et al, (2014)
-Energy and building V84,PP367-377
-Building and Environment V82,pp274-287

Tableau 8.12: *Typologie développée selon l'orientation pour la région de Biskra*

8.2.3 La hauteur (nombre d'étages)

8.2.3.1 Typologie selon la hauteur

La typologie de l'habitat semi-collectif des deux cas d'étude selon le nombre d'étages est présentée dans le (tableau 8.13).

8.2.3.2 Typologie développée selon la hauteur

La typologie de l'habitat semi-collectif des deux cas d'étude et la typologie développée sont similaires (tableau 8.13).

La typologie développée implique la vérification de la hauteur d'étage en fonction de la hauteur des conduits humides qui servent à augmenter la performance de la tour.

3. Selon le Nombre d´étage	
Climat aride (la wilaya d´Oued Souf)	Climat semi aride (la wilaya de Biskra)
R+1 2 Niveaux résidentiels	R+1 2 Niveaux résidentiels
R+2 Rez-de-chaussée à usage commercial)	R+2 Rez-de-chaussée à usage commercial
-	R+3 RDC à usage commercial Etages Logement duplex

***Tableau 8.13**: Typologie selon la hauteur (nombre d'étages)*

8.2.4 L'usage

On distingue deux types selon la présence ou l'absence de l'activité commerciale au rez-de-chaussée à savoir :

- Usage mixte
- Usage résidentiel.

8.2.4.1 Typologie selon l'usage

La typologie de l'habitat semi-collectif des deux cas d'étude selon l'usage est présentée dans le (tableau 8.14).

8.2.4.2 Typologie développée selon l'usage

La typologie de l'habitat semi-collectif des deux cas d'étude et la typologie développée sont similaires (tableau 8.14).

4. Selon l´Usage	
Climat aride (la wilaya d´Oued Souf)	***Climat semi aride (la wilaya de Biskra)***
1/Usage mixte ***Rez-de-chaussée Commerce*** ***Etage Habitation***	***Similaire***
2/Usage Résidentiel ***Rez-de-chaussée Habitation*** ***Etage Habitation***	***Similaire***

Tableau 8.14*: Typologie selon l'usage*

8.2.5 Le type de logement

En analysant les modèles d'habitat semi-collectif cas d'étude, il a été conclu que: lorsqu'il s'agit de logement de taille importante de type F5 et F6, le type de logement soit duplex, sinon pour le reste F4, F3 et F2 sont superposés.

8.2.5.1 Typologie selon le type de logement

La typologie de l'habitat semi-collectif des modèles analysés selon le type de logement est présentée dans le (tableau 8.15).

8.2.5.2 Typologie développée selon le type de logement

La typologie et la typologie développée sont similaires selon le critère type de logement. Voir (tableau 8.15).

5. Selon le Type de logement	
Climat aride (la wilaya d´Oued Souf)	***Climat semi aride (la wilaya de Biskra)***
1/ F2-F3-F4 Superposés	***Similaire***
2/ F5-F6 Duplex	***Similaire***

Tableau 8.15*: Typologie selon le type de logement*

8.2.6 La hauteur sous plafond

La hauteur sous plafond est un indice essentiel en ventilation naturelle dans les régions à climat chaud et sec parce qu'elle représente un facteur déterminant du volume d'air à ventiler

ou à rafraîchir. La hauteur sous plafond est plus importante dans les logements sis dans les régions à climat chaud et aride par rapport à ceux sis en climat semi-aride (tableau 8.16).

8.2.6.1 Typologie selon la hauteur sous plafond

La classification selon la hauteur sous plafond des modèles analysés est illustrée dans le (tableau 8.16).

8.2.6.1 Typologie développée selon la hauteur sous plafond

La typologie et la typologie développé sont similaires dans cette catégorie (tableau 8.16).

Selon Hauteur Sous Plafond				
Climat aride (la wilaya d´Oued Souf)				Climat semi aride (la wilaya de Biskra)
2,86m	3,00m	3,20m	3,28m	2,86m

Tableau 8.16*: Typologie selon la hauteur sous plafond*

8.2.7 La surface

Les surfaces non habitables telles que balcon, loggia et cour des modèles analysés ainsi que les surfaces habitables notamment celles des séjours et chambres, ont été calculées et regroupées en catégories selon le type de logement (F2; F3 ;F4 ; F5 et F6). Une fois classées, les surfaces ont été comparées aux normes nationales du ministère de l'habitat (MH, 2007) article 37/ 27.1.13 et internationales à la fois du code français de la construction et de l'habitat CCH et de la circulaire française du 9/8/1974.

8.2.7.1 Typologie selon la surface

La classification présentée en (tableau 8.17), a été faite en fonction de la surface habitable et non habitable des logements par rapport à leurs types dans les deux cas d'étude où la valeur inférieure et supérieure dans chaque cas a été mentionnée pour tous les modèles du même type lors de l'analyse. Par exemple la surface habitable du F3 à Oued Souf est mentionnée dans le tableau 8.15 comme suit: $61{,}6\ m^2 \leq S \leq 76{,}6\ m^2$ ou 61,6 m² représente la valeur minimale et 76,6 m² la valeur maximale dans l'échantillon.

Typologie Selon La Surface

Type Logement	Climat aride – Cas de la wilaya d´Oued Souf: Surface Habitable	Surface non Habitable	Surface Séjour	Surface Chambre	Climat semi aride – Cas de la wilaya de Biskra: Surface Habitable	Surface non Habitable	Surface Séjour	Surface Chambre	Conception initiale (sans TàV)
F2	52,6 m2	14,6 m2	14,00 m2	11,00 m2	42,7≤s≤50,2 m2	2,0≤s≤17,0 m2	14,3≤s≤18,3 m2	9,3≤s≤13,5 m2	
F3	61,6≤s≤76,6 m2	8,4≤s≤27,8 m2	11,7≤s≤20,0 m2	10,9≤s≤16,5 m2	61,4≤s≤68,8 m2	2,5≤s≤19,1 m2	11,8≤s≤19,5 m2	9,3≤s≤14,2 m2	
F4	72,0≤s≤90,1 m2	10,5≤s≤14,5 m2	11,1≤s≤18,4 m2	10,9≤s≤16,5 m2	76,2≤s≤90,3 m2	8,4≤s≤19,1 m2	11,8≤s≤25,3 m2	9,3≤s≤15,6 m2	
F5	-	-	-	-	87≤s≤116,9 m2	19,6≤s≤33,1 m2	11,8≤s≤27,0 m2	10,5≤s≤14,2 m2	
F6	-	-	-	-	128,8m2	9m2	18,6≤s≤26,6 m2	11,9≤s≤18,1 m2	
Norme* (MH,2007) Article 37/27.1.13	F2=51m2 F3=70m2 F4=82m2 F5=96m2 F6=103m2 ±3%	¼ Surface habitable*** (SH)	19 - 21 m2	12 - 13m2	F2=51m2 F3=70m2 F4=82m2 F5=96m2 F6=103m2 ±3%	¼ Surf.hab 16,75m2	19 - 21 m2	12 - 13m2	
Norme** CCH	54≤F2≤60m2 66≤F3≤73m2 79≤F4≤88m2 89≤F5≤99m2 103≤F6≤114m2	-	pas de norme	9 - 12m2	54≤F2≤60m2 66≤F3≤73m2 79≤F4≤88m2 89≤F5≤99m2 103≤F6≤114m2	-	pas de norme	9 - 12m2	
Norme*** Surface non habitable (SNH) logement (espace extérieur). Circulaire Française du 9/ 8/1974. ¼ de la surface habitable (SH)			13,50m2 ≤ F2 ≤ 15,00m2 16,50m2 ≤ F3 ≤ 18,25m2 19,75m2 ≤ F4 ≤ 22,00m2 22,25m2 ≤ F5 ≤ 24,75m2 25,75m2 ≤ F6 ≤ 28,50m2		IDEM		13,50m2 ≤ F2 ≤ 15,00m2 16,50m2 ≤ F3 ≤ 18,25m2 19,75m2 ≤ F4 ≤ 22,00m2 22,25m2 ≤ F5 ≤ 24,75m2 25,75m2 ≤ F6 ≤ 28,50m2		

Tableau 8.17: *Typologie de logement intermédiaire selon la surface*

Les surfaces habitables des types F2, F3 et F4 les plus répandues et adoptées par les autorités, sont au-dessous de la limite inférieure recommandée par la réglementation algérienne et française à l'exception du type F5 et F6 (le promotionnel) et cela pour les deux régions aux climats différents. Les surfaces étaient de:

- **Au climat chaud aride** (cas d'Oued Souf)

Surfaces des logements analysés minimales< Type de logement < Limites inférieures normes

(42,7 m^2; 61,4 m^2; 76,2m^2) < (**F2; F3; F4**) < (51 m^2; 70 m^2; 82m^2) ± 3% (Norme MH,2007)

(42,7 m^2; 61,4 m^2; 76,2m^2) < (**F2; F3; F4**) < 54 m^2; 66 m^2 ; 79m^2 (Norme CCH, 1974)

- **Au climat semi-aride** (cas de Biskra) :

Surfaces des logements analysés minimales < Type de logement < Limites inférieures normes

(52,6 m^2; 61,6 m^2; 72,0 m^2) < (**F2; F3; F4)** < (51 m^2; 70 m^2; 82 m^2) ± 3% (Norme MH,2007)

(52,6 m^2; 61,6 m^2; 72,0 m^2) < (**F2; F3; F4)** < (54 m^2; 66 m^2; 79 m^2) (Norme CCH, 1974)

(87,0 m^2; 128,8 m^2) < (**F5; F6)** < (96 m^2; 103 m^2) ± 3% (Norme MH, 2007)

(87,0 m^2; 128,8 m^2) < (**F5; F6)** < (89 m^2; 103 m^2) (Norme CCH, 1974)

Les surfaces non habitables des types F2, F3, F4, F5 et F6 sont tous au-dessous de la limite inférieure recommandée par la réglementation algérienne et française (1/4 de la surface du logement) et cela pour les deux régions aux climats différents. Les surfaces étaient de:

- **Au climat chaud aride** (cas d'Oued Souf)

Surfaces non habitables des logements analysés min < Type de logement < Limites inférieures normes

(14,6 m^2; 8,4 m^2; 10,5 m^2) < (**F2; F3; F4**) < 13,5 m^2; 16,5 m^2; 19,75 m^2 (Norme CCH, 1974)

- **Au climat semi-aride** (cas de Biskra) :

Surfaces des logements analysés minimales < Type de logement < Limites inférieures normes

(2,0 m^2; 2,5 m^2; 8,4 m^2) < (**F2; F3; F4)** < (13,5 m^2; 16,5 m^2; 19,75 m^2) (Norme CCH, 1974)

(19,6 m^2; 9,0 m^2) < (**F5; F6)** < (22,25 m^2; 25,75 m^2) (Norme CCH, 1974)

En conclusion, la majorité des logements analysés dans les deux wilayas cas d'étude sont étroits, ce qui a poussé l'habitant souvent à apporter des transformations constatées dans le vécu touchant l'intérieur ou l'extérieur du logement tels que l'appropriation des espaces privatifs et privés.

Le climat n'a pas été pris en charge lors de la programmation surfacique de ces logements intermédiaires aux climats chaud aride et semi-aride notamment au niveau de l'espace non habitable.

8.2.7.2 Typologie développée selon la surface

Selon les besoins du concepteur / promoteur ou bien les contraintes physiques du site, la surface du système de rafraîchissement peut être ajoutée dans les différents types de logements à quatre endroits à savoir (tableau 8.18):

- A l'intérieur du logement au niveau de la surface habitable réglementaire. La surface était calculée comme suit:

  SH/Type +$S_{TàV}$= S_{Tot} /Type où:

  SH: Surface habitable recommandée par la réglementation par type de logement

$S_{TàV}$: Surface système de rafraîchissement; S_{Tot}: Surface totale logement /type

- À l'intérieur du logement au niveau de la surface non habitable réglementaire. La surface était calculée comme suit:
  SNH / Type + $S_{TàV}$ = S_{Tot} / Type où:
  SNH: Surface non habitable recommandée par la réglementation par type de logement.
- Dans l'espace de circulation verticale (cage d'escalier). La surface était calculée comme suit:
  (Largeur règlementaire palier + largeur TàV) x Longueur palier ou coursive = S_{EC}
  Où:
  S_{EC}: Surface espace de circulation (palier d'escalier ou coursive).
- À l'extérieur, dans l'espace privatif de circulation et de distribution horizontale (cas de l'assemblage groupé et mixte) desservant les accès aux logements, la tour peut être implantée dont la surface est dépendante au choix du concepteur et aux recommandations générales citées auparavant.

Donc, s'il s'agit d'un nouveau projet, il faut inclure la surface de la tour dans la phase conception, l'emplacement sera un choix architectural. S'il s'agit d'un projet existant, c'est la surface de l'espace qui recevra la tour qui déterminera son emplacement.

Caractéristiques Tour à vent fraîche intégrée**** — Surface 1m x1m= 1M2 — Hauteur Min gaine fraîche 4m≤h_{min}≤6m — Nombre sous conduits humidifiés 50 S/Conduits — Surface sous conduit 10cm x 10cm= 100cm2

Surface TàV / Type Logt		Type Logt / Niveau	Logement du RDC	Logement du 1er Etage	Logement du 2ème Etage	Logement du 3ème Etage
	Norme* (MH,2007) Article 37/27.1.13	F2=51m2 F3=70m2 F4=82m2 F5=96m2 F6=103m2 ±3%	1,9% SH/Logt 1,4% SH/Logt 1,2% SH/Logt 1,0% SH/Logt 0,9% SH/Logt	3,8% SH/Logt 2,8% SH/Logt 2,4% SH/Logt 2,0% SH/Logt 1,8% SH/Logt	5,7% SH/Logt 4,2% SH/Logt 3,6% SH/Logt 3,0% SH/Logt 2,7% SH/Logt	7,6% SH/Logt 5,6% SH/Logt 4,8% SH/Logt 4,0% SH/Logt 3,6% SH/Logt
	Norme** CCH	54≤F2≤60m2 66≤F3≤73m2 79≤F4≤88m2 89≤F5≤99m2 103≤F6≤114	1,7%≤St≤1,9%SH/Lgt 1,4%≤St≤1,5%SH/Lgt 1,1%≤St≤1,3%SH/Lgt 1,0%≤St≤1,1%SH/Lgt 0,9%≤St≤1,0%SH/Lgt	3,4%≤St≤3,8%SH/Lgt 2,8%≤St≤3,0%SH/Lgt 2,2%≤St≤2,6%SH/Lgt 2,0%≤St≤2,2%SH/Lgt 1,8%≤St≤2,0%SH/Lgt	5,1%≤St≤5,7%SH/Lgt 4,2%≤St≤4,5%SH/Lgt 3,3%≤St≤3,9%SH/Lgt 3,0%≤St≤3,3%SH/Lgt 2,7%≤St≤3,0%SH/Lgt	6,8%≤St≤7,6%SH/Lgt 5,6%≤St≤6,0%SH/Lgt 4,4%≤St≤5,2%SH/Lgt 4,0%≤St≤4,4%SH/Lgt 3,6%≤St≤4,0%SH/Lgt

1/TàV intégrée à l´Intérieur du logt (SH)

Surface Habitable (SH) Logement doté de TàV						
	1TàV/ Logt/ Étage	F2 F3 F4 F5 F6	55≤SH≤61,1 m2 67≤SH≤74,1 m2 79≤SH≤89,2 m2 89,9≤SH≤100,1 m2 104≤SH≤115,2 m2	55,90≤SH≤62,30 m2 67,90≤SH≤75,20 m2 80,75≤SH≤90,30 m2 90,80≤SH≤101,2 m2 104,9≤SH≤116,3 m2	56,75≤SH≤63,4 m2 68,8≤SH≤76,3 m2 81,6≤SH≤91,45 m2 91,7≤SH≤102,3 m2 105,8≤SH≤117,4 m2	57,7≤SH≤64,6 m2 69,7≤SH≤77,4 m2 82,5≤SH≤92,6 m2 92,6≤SH≤103,35 m2 106,7≤SH≤118,6 m2
	1TàV/ 2Logt/ 2Étage	F2 F3 F4 F5 F6	55≤SH≤61,1 m2 67≤SH≤74,1 m2 79≤SH≤89,2 m2 89,9≤SH≤100,1 m2 104≤SH≤115,2 m2	55≤SH≤61,1 m2 67≤SH≤74,1 m2 79≤SH≤89,2 m2 89,9≤SH≤100,1 m2 104≤SH≤115,2 m2	55,90≤SH≤62,30 m2 67,90≤SH≤75,20 m2 80,75≤SH≤90,30 m2 90,80≤SH≤101,2 m2 104,9≤SH≤116,3 m2	55,90≤SH≤62,30 m2 67,90≤SH≤75,20 m2 80,75≤SH≤90,30 m2 90,80≤SH≤101,2 m2 104,9≤SH≤116,3 m2

2/TàV intégrée dans l´espace extérieur du logt (SNH)

Surface TàV (ST) /SNH Logt						
	Norme*** (Circulaire.F du 8/ 9 /1974	13,5≤F2≤15m2 16,5≤F3≤18,3 19,8≤F4≤22 22,3≤F5≤24,8 25,8≤F6≤28,5	7,4%≤St≤6,7%SNH/lgt 6,1%≤St≤5,5%SNH/lgt 5,1%≤St≤4,6%SNH/lgt 4,5%≤St≤4,1%SNH/lgt 3,9%≤St≤3,5%SNH/lgt	14,8%≤St≤13,4%SNH 12,2%≤St≤11,0%SNH 10,2%≤St≤9,2%SNH 9,0%≤St≤8,2%SNH 7,8%≤St≤7,0%SNH	7,4%≤St≤6,7%SNH/lgt 6,1%≤St≤5,5%SNH/lgt 5,1%≤St≤4,6%SNH/lgt 4,5%≤St≤4,1%SNH/lgt 3,9%≤St≤3,5%SNH/lgt	14,8%≤St≤13,4%SNH 12,2%≤St≤11,0%SNH 10,2%≤St≤9,2%SNH 9,0%≤St≤8,2%SNH 7,8%≤St≤7,0%SNH
SNH Logt doté de TàV en E.Ext	1TàV/ 2Logt/ 2Étage	F2 F3 F4 F5 F6	14,5≤SNH≤16,0 m2 17,5≤SNH≤19,3 m2 20,8≤SNH≤23,0 m2 23,5≤SNH≤25,8m2 26,8≤SNH≤29,5m2	14,5≤SNH≤16,0 m2 17,5≤SNH≤19,3 m2 20,3≤SNH≤23,0 m2 23,5≤SNH≤25,8 m2 26,8≤SNH≤29,5 m2	15,5≤SNH≤17,0 m2 18,5≤SNH≤20,3 m2 21,8≤SNH≤24,0 m2 24,5≤SNH≤26,8 m2 27,8≤SNH≤30,5 m2	15,5≤SNH≤17,0 m2 18,5≤SNH≤20,3 m2 21,8≤SNH≤24,0 m2 24,5≤SNH≤26,8 m2 27,8≤SNH≤30,5 m2
S.Totale Logement doté de TàV en espace habitable S_{TOT}= $SH_{avec\ tour}$+SNH_{norme}	1TàV/ Logt/ Étage	F2 F3 F4 F5 F6	68,5≤STOT≤76,1 m2 83,5≤STOT≤92,4 m2 98,8≤STOT≤111,2 m2 112,2≤STOT≤124,9 m2 129,8≤STOT≤143,7 m2	69,4≤STOT≤77,3 m2 84,4≤STOT≤93,5 m2 100,5≤STOT≤111,2 m2 113,1≤STOT≤126,0 m2 130,7≤STOT≤143,7m2	70,3≤STOT≤78,4 m2 85,3≤STOT≤94,6 m2 101,4≤STOT≤113,5m2 114,0≤STOT≤127,1m2 131,6≤STOT≤145,9m2	71,2≤STOT≤79,6 m2 86,2≤STOT≤95,7 m2 102,3≤STOT≤114,6m2 114,9≤STOT≤128,1m2 132,5≤STOT≤147,1m2
	1TàV/ 2Logt/ 2Étage	F2 F3 F4 F5 F6	68,5≤STOT≤76,1 m2 83,5≤STOT≤92,4 m2 98,8≤STOT≤111,2 m2 112,2≤STOT≤124,9m2 129,8≤STOT≤143,7m2	68,5≤STOT≤76,1 m2 83,5≤STOT≤92,4 m2 98,8≤STOT≤111,2 m2 112,2≤STOT≤124,9m2 129,2≤STOT≤143,7m2	69,4≤STOT≤77,3 m2 84,4≤STOT≤93,5m2 100,5≤STOT≤112,3m2 113,1≤SH≤126,0 m2 130,7≤SH≤143,7 m2	69,4≤STOT≤77,3 m2 84,4≤STOT≤93,5 m2 100,5≤STOT≤112,3m2 113,1≤STOT≤126,0m2 130,7≤STOT≤143,7m2
S.Tot Logt doté de TàV en E.Ext.NH S_{TOT}= SH_{norme}+$SNH_{avec\ tour}$	1TàV/ 2Logt/ 2Étage	F2 F3 F4 F5 F6	68,5≤STOT≤76,0 m2 83,5≤STOT≤92,3 m2 99,8≤STOT≤111,0 m2 112,5≤STOT≤124,8m2 129,8≤STOT≤143,5m2	68,5≤STOT≤76,0 m2 83,5≤STOT≤92,3 m2 99,8≤STOT≤111,0 m2 112,5≤STOT≤124,8m2 129,8≤STOT≤143,5m2	69,5≤STOT≤77,0 m2 84,5≤SNH≤93,3 m2 100,8≤STOT≤112,0m2 113,5≤STOT≤125,8m2 130,8≤STOT≤144,5m2	69,5≤STOT≤77,0 m2 84,5≤SNH≤93,3 m2 100,8≤STOT≤112 m2 113,5≤STOT≤125,8m2 130,8≤STOT≤144,5m2

3/TàV intégrée dans l´espace de circulation verticale

Surface Palier escalier ou coursive dotée de TàV=
(Largeur Palier selon les normes+Largeur TàV) X Longueur palier ou coursive.

Conception dotée de Tour à Vent

Typologie similaire pour les 2 types de climat aride et semi aride

SH: surface habitable; SNH: Surface non habitable; St: Surface tour à vent ; STOT: Surface totale; TàV: Tour à vent; Logt: Logement; E.Ext: Espace extérieur; E.Int: Espace intérieur

**Journal officiel de la république algérienne n° 6, 27 / 01 /2013, Article 31, 31 et 37*
***R 111-2 du CCH code de la construction et de l´habitation en France, surfaces minimales*
**** La circulaire française du 09/ 08 / 1974 .*

Tableau 8.18: *Typologie développée selon la superficie du logement /type de logement*

8.2.8 L'accessibilité aux logements

L'accessibilité est liée au cheminement emprunté par les résidents pour rejoindre leurs logements au rez-de-chaussée ou aux étages supérieurs. L'habitant suit le parcours le plus court qui le mène vers l'accès au bloc ou logement s'il est au RDC, ou vers la cage d'escalier s'il est à l'étage. D'après les modèles analysés de l'échantillon, il a été constaté que l'accessibilité aux logements dans les deux régions à climat aride et semi-aride suive le même principe. Par conséquent, la classification appliquée à Oued Souf conviendra à Biskra et vice versa.

8.2.8.1 Typologie selon l'accessibilité aux logements

La classification est faite selon deux critères (types):

1- **La disposition des accès au RDC:** où deux sous-types apparaissent

-Unilatéral

-Bilatéral.

2- Le parcours des habitants: où on distingue deux sous-types de circulation

2.1- Circulation horizontale pour rejoindre les accès du RDC: deux sous-types en ressort

2.1.1. Absence d'accès vers les logements au RDC dû à l'usage (RDC à usage commercial ou sur pilotis).

2.1.2. Présence d'accès vers les logements: les types d'accès suivants apparaissent

- Selon l'emplacement des accès par rapport au bloc: à l'extérieur, à l'intérieur ou mixte.
- Selon l'agencement des accès: séparés ou jumelés
- Selon l'emplacement des accès dans la façade: centrés ou latéraux

2.2- Circulation verticale pour rejoindre les étages supérieurs: un sous-type en ressort

2.2.1. Selon le nombre et la disposition de la cage d'escalier par rapport aux espaces liés au système de rafraîchissement, on distingue les cas suivants:

2.2.1.1 Une cage d'escalier commune sise à l'intérieur ou à l'extérieur.

2.2.1.2 Deux cages d'escaliers: dans ce cas les sous-types suivants apparaissent:

-Selon leurs emplacements par rapport au bloc: à l'extérieur ou à l'intérieur.

-Selon leurs agencements: séparés ou adjacents.

-Selon leurs emplacements dans la façade: centrés ou latéraux.

Le résultat obtenu à partir de cette classification est présenté dans le (tableau 8.19).

8.2.8.2 Typologie développée selon l'accessibilité aux logements

L'intégration du système de rafraîchissement selon la typologie de l'état des lieux des modèles analysés dont le nombre, l'emplacement et le type d'agencement tours ont été déterminés pour chaque cas si elle existe, a abouti aux résultats suivants (tableau 8.19):

Selon la répartition des accès

- La disposition des accès au RDC unilatéral ou bilatéral n'a pas d'effet sur le positionnement de ce système de ventilation et de rafraîchissement.

Selon le cheminement des habitants

- **La circulation horizontale**

  - Cas de l'absence d'accès vers logements au RDC, pas de système dans ce niveau.

  - Cas de présence d'accès vers logements au RDC, voir disposition cage d'escalier.

- **La circulation verticale**

- Cas de la cage d'escalier commune (à l'intérieur ou à l'extérieur): il existe deux possibilités d'intégration selon la nature de l'espace adjacent à cet escalier:

-**Si** la cage est le seul espace en mitoyenneté entre les deux logements adjacents, prévoir une seule tour par logement par étage avec deux emplacements possibles (voir détails tableau 8.19).

- **Si** la cage est en mitoyenneté également avec un espace de vie ou de repos entre les deux logements adjacents, prévoir une seule tour par logement et par étage (voir détails tableau 8.19) et (tableau 8.21) typologie espace en mitoyenneté / espace de vie et espace de repos.

- Cas des cages d'escaliers séparées (2 cages adjacentes): il existe deux possibilités d'intégration selon la nature de l'espace adjacent à cet escalier:

-**Si** les deux cages représentent l'espace en mitoyenneté unique entre les deux logements ou bien elles sont liées à un espace de service et/ou à un espace extérieur, aucune tour ne sera intégrée à l'extérieur (voir détails tableau 8.19).

- **Sinon**, il existe deux possibilités d'intégration: des tours séparées visibles de l'extérieur ou des tours séparées à l'intérieur du logement (voir détails tableau 8.19) et (tableaux 8.22, 8.23, 8.24, 8.25 et 8.26) typologie circulation mixte.

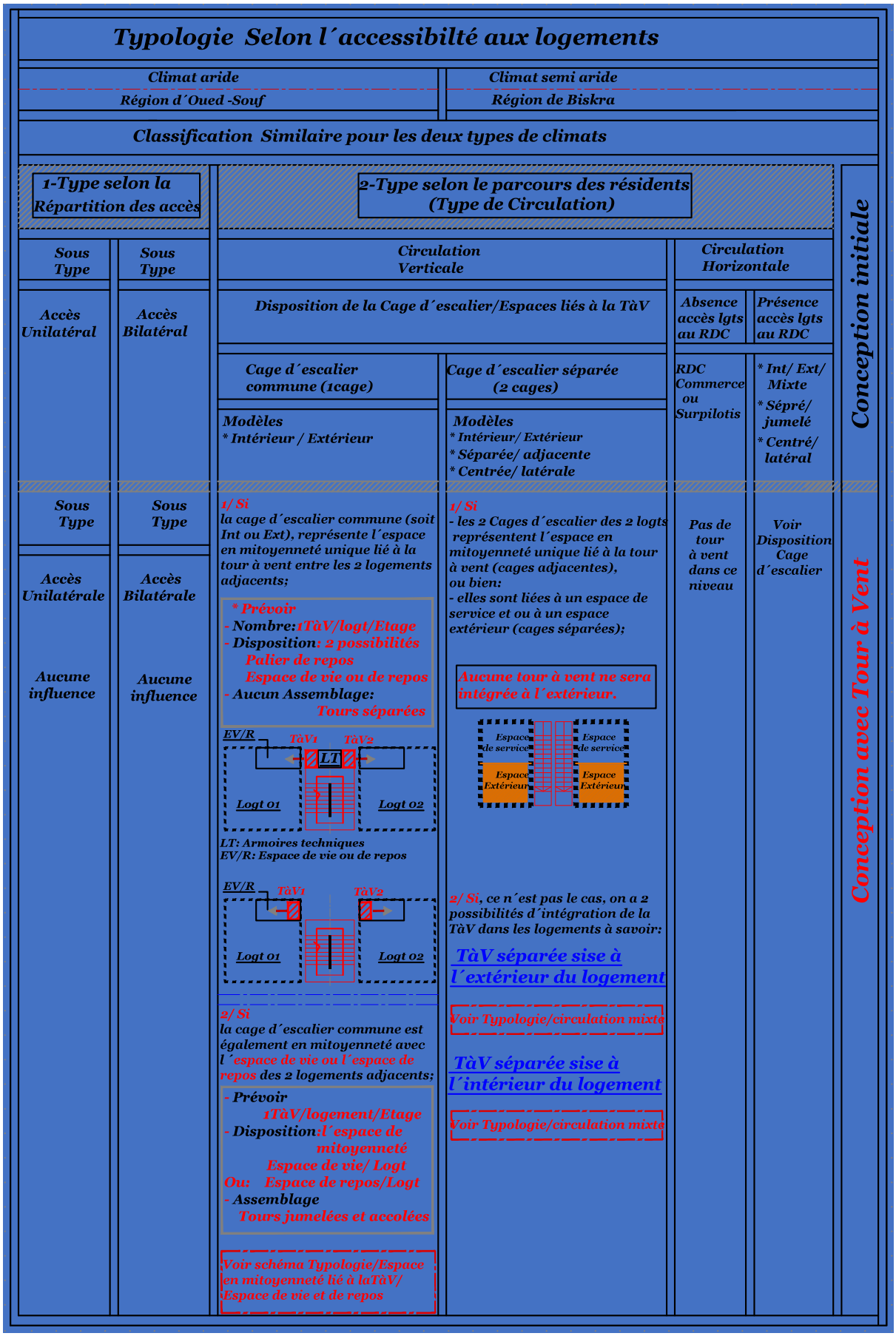


Tableau 8.19: *Typologie développée selon l'accessibilité aux logements /Répartition accès et circulation*

8.2.9 L'organisation spatiale

Le logement est une totalité composée d'espaces en interaction (hall, couloirs, cuisines, séjours, chambres...), il se définit par un aspect structural ou organisation dans l'espace et un aspect fonctionnel ou organisation dans le temps d'un espace. Tout bâtiment peut être abstraitement représenté en configurations spatiales. La variation des configurations de ces bâtiments dépend de la nature des relations mises en ordre par l'opération de construction. L'organisation intérieure du logement traduit les normes culturelles dominantes et le fruit d'une évolution historique.

8.2.9.1 Typologie selon l'organisation spatiale

Sur la base des modèles analysés (état des lieux), la classification établie pour le critère d'organisation spatiale prend en compte trois facteurs principaux: formel, conceptuel et sociologique qui l'influencent. Cette classification est effectuée selon:

a- La morphologie de la répartition des espaces: trois sous-types se distinguent (tableau, 8.20)

- Linéaire axiale
- Centrale
- Mixte.

b- La régulation socio-spatiale: deux sous-types se distinguent (tableau, 8.20)

b.1 Sans contrôle d'accès entre visiteur et résident: où un sous-type en ressort

- Dépourvu d'un espace d'entrée filtre.

b.2 Avec contrôle d'accès entre visiteur et résident: où deux sous-types émergent

- Via un espace d'entrée filtre
- Via plusieurs espaces filtres.

c- Les parties communes en mitoyenneté entre logements: où deux sous-types apparaissent:

c.1 Sans espace en mitoyenneté lié à la TàV: où un sous-type en ressort (tableau, 8.21)

c.1.1 Espaces de service (tels que SDB et cuisine)

c.2 Avec espace en mitoyenneté lié à la TàV: dans cette catégorie deux types se distinguent dont chacun, il en ressort des sous-types (tableau, 8.21). Ils sont comme suit:

c.2.1 Espace de vie et de repos: où trois sous-types se distinguent à savoir:

- Espace de vie
- Espace de repos
- Espace mixte

c.2.2 Espace de circulation: où trois sous-types se distinguent à savoir:

c.2.2.1 Horizontale: où les types suivants émergent (tableau 8.21):

- À l'extérieur du logement
- Commune ou séparée (telle que: passage semi-couvert, coursive ou hall d'étage)
- À l'intérieur du logement (comme hall et Wastdar)

c.2.2.2 Verticale: cas de la cage d'escalier (tableaux 8.20 et 8.19). Voir typologie selon accessibilité aux logements.

c.2.2.3 Mixte: selon la disposition de la cage d'escalier dans l'assemblage des blocs, trois types se distinguent à savoir:

-<u>Assemblage groupé</u> (tableau 8.22): selon la disposition de la cage, on distingue les sous-types suivants:

Cage d'escalier à l'extérieur:

- Séparée
- Commune

Cage d'escalier à l'intérieur:

- Séparée
- Commune

-<u>Assemblage linéaire</u> (tableau du 8.22 au 8.26): selon la disposition de la cage, on a:

Cage d'escalier à l'extérieur:

- Séparée
- Commune

Cage d'escalier à l'intérieur:

- Séparée
- Commune

8.2.9.2 Typologie développée selon l'organisation spatiale

L'intégration du système de rafraîchissement selon la typologie des modèles analysés dont le nombre, l'emplacement et le type d'agencement des tours ont été déterminés pour chaque cas s'il existe, a abouti aux résultats suivants récapitulés dans les tableaux du 8.20 au 8.26:

a- <u>La morphologie de la répartition des espaces</u>: les différentes formes de répartition des espaces (linéaire axiale, centrale et mixte) n'ont aucun effet sur l'implantation du système (tableau 8.20).

b- <u>La régulation socio-spatiale</u>: deux sous-types émergent à savoir (tableau 8.20):

b.1 <u>Sans contrôle d'accès entre visiteur et résident</u>

En absence d'un espace d'entrée filtre, l'implantation du dispositif dépend du type d'espace en mitoyenneté entre logements. Voir (tableau 8.21) et (figure 8.7) partie avec espace en mitoyenneté /espace de vie, espace de repos et espace mixte

b.2 <u>Avec contrôle d'accès entre visiteur et résident</u>

En présence d'un espace d'entrée filtre, la tour peut y être située à condition que cet espace soit adjacent à un espace de vie (séjour) et celui-ci soit étroit. Elle peut également être intégrée dans l'espace filtre en tant que choix conceptuel.

<u>c- Les parties communes en mitoyenneté entre logements</u>

Deux sous-types apparaissent à savoir (tableaux du 8.21 au 8.26):

c.1 <u>Sans espace en mitoyenneté lié à la TàV</u>

- Pas de TàV

c.2 <u>Avec espace en mitoyenneté lié à la TàV</u>: on distingue dans cette catégories trois sous-types à savoir (tableau 8.21) et (figure 8.7):

c.2.1 Espace de vie et de repos: trois sous-types émergent

c.2.1.1 Espace de vie familiale et sociale et son prolongement vers l'extérieur

c.2.1.2 Espace de repos et son prolongement vers l'extérieur

c.2.1.3 Espace mixte et son prolongement vers l'extérieur

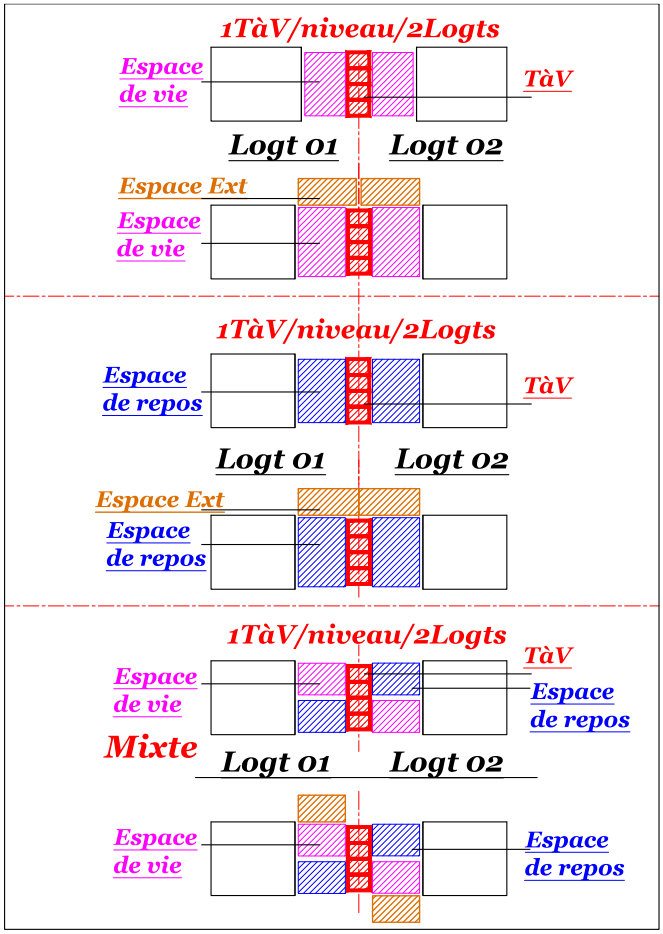


Figure 8.7*: Zoom1 sur la typologie selon l'espace en mitoyenneté lié à la TàV (espace de vie, de repos et mixte)*

c.2.2 Espace de circulation:

c.2.2.1 Verticale: dépendante de la cage d'escalier (voir typologie selon accessibilité aux logements tableau 8.19).

c.2.2.2 Horizontale: selon sa situation par rapport au logement (voir tableau 7.21).

c.2.2.3 Mixte: voir résultats (tableau 8.22, 8.23, 8.24, 8.25 et 8.26).

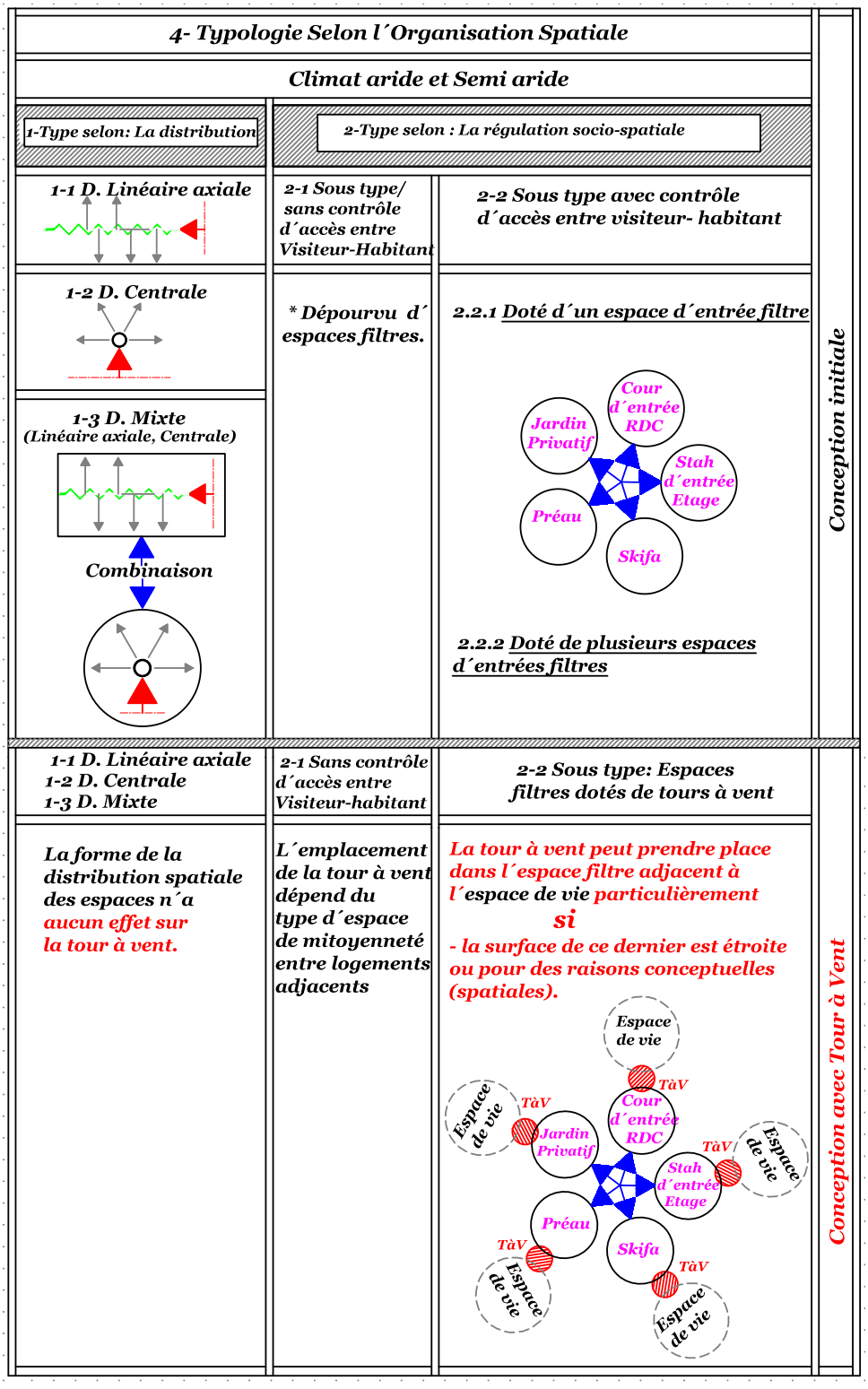


Tableau 8.20: *Typologie avec TàV selon l'organisation spatiale/ Distribution et régulation socio-spatiale*

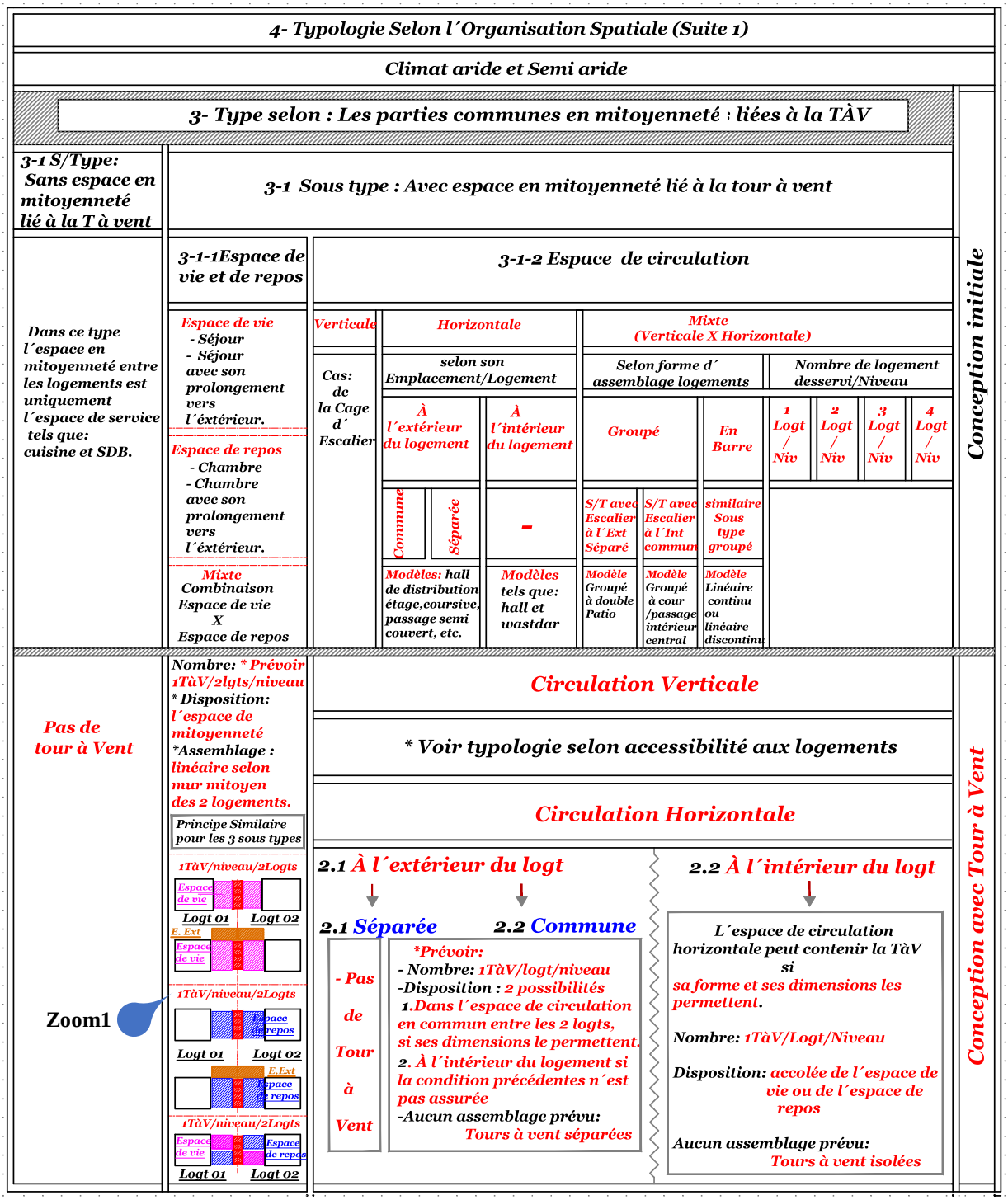


Tableau 8.21: *Typologie selon les parties communes entre logements (Espace de vie/ Espace de circulation)*

Circulation Mixte (Suite 1)

Selon l´emplacement de la cage d´escalier / la forme d´assemblage

1- Assemblage Groupé

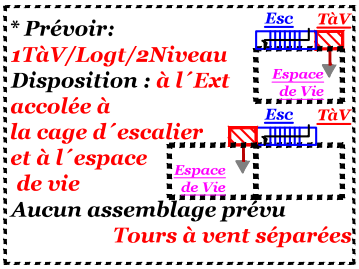
1-1 Avec C.d´escalier Extérieure

séparée | Commune

1-1 Avec C.d´escalier Extérieure séparée

Si
la cage d´escalier est accolée à un espace non lié à la tour à vent , pas de tour à vent intégré à l´extérieur.
Si , ce n´est pas le cas, on a 2 possibilité d´intégration à savoir:

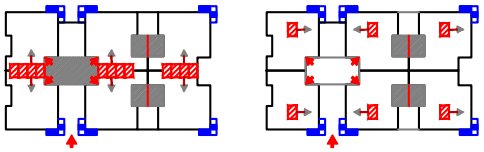
1-1-1 TàV sise à l´extérieur du logement
Pour des fins esthétiques et spatiales



* Prévoir:
1TàV/Logt/2Niveau
Disposition : à l´Ext accolée à la cage d´escalier et à l´espace de vie
Aucun assemblage prévu
Tours à vent séparées

1-1-2 TàV sise à l´intérieur du logement
Pour des fins thermiques (Badrane,2009)

* Prévoir:
- Nombre au choix:
1 TàV/Logt/Etage ou
1TàV/2 Logts/Etage
Disposition : à l´intérieur du logement
Assemblage prévu: choix Facultatif
1- TàV accolées (cas d´implantation dans les espaces en mitoyennetés liés à la TàV des 2logts.
2- TàV séparées (cas d´implantation dans un espace précis lié à la tour à vent et non en mitoyenneté.



TàV accolées | TàV séparées

1-1-2 Avec C.d´escalier Extérieure commune

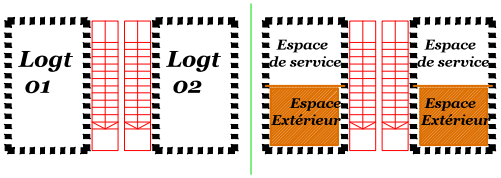
- Pas de TàV intégrée à l´extérieur des logts
* Prévoir:
TàV sise à l´intérieur du logement
* Typologie similaire à celle de la circulation mixte/assemblage groupé/ cage d´escalier séparée/TàV à l´intérieur du logement.

1-2 Avec C.d´escalier Intérieure

séparée | Commune

1-2-1 Avec C.d´escalier Intérieure séparée

On a 2 cas à savoir:

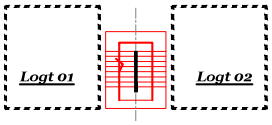


Aucune tour à vent ne sera intégrée à l´extérieur.

Principe Similaire au typologie selon accéssibilité aux logts cas escalier séparée

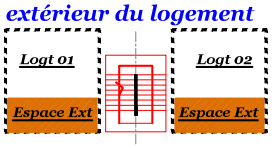
1-2-2 Avec C.d´escalier Intérieure commune

On a 2 cas à savoir:
Si
1-2-2-1 La cage d´esaclier Int est adjacente à l´espace intérieur du logement



Voir typologie accessibilité aux logements (Sous type cage d´escalier commune)

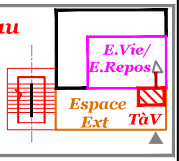
Si
1-2-2-2 La cage d´escalier Int est adjacente à l´espace extérieur du logement



On a 2 possibilité d´intégration de la TàV:

* Si l´espace extérieur privatif du logement est mitoyen avec l´espace de vie ou l´espace de repos, la TàV sera intégrée dans l´espace extérieur.

- Nombre: 1 TàV/2Logt/Niveau
-Disposition : à l´Ext accolée à l´espace de vie/repos
Aucun assemblage:
Tours à vent séparées



* Si Ce n´est pas le cas, la TàV sera intégrée à l´intérieur du logement.
* Typologie similaire à celle de la circulation mixte/ cage d´escalier séparée/ TàV à l´intérieur du logement.

Conception avec Tour à Vent (suite 1)

Tableau 8.22: *Typologie selon les parties communes entre logements (Circulation mixte/Assemblage groupé) suite1*

2- Assemblage en Barre (Suite 2)

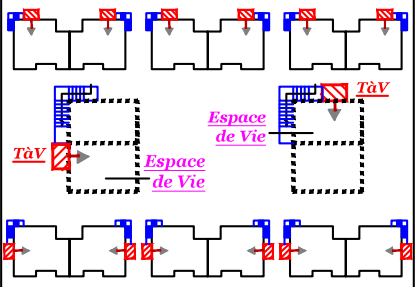
2-1 Avec C.d´escalier Extérieure

séparée

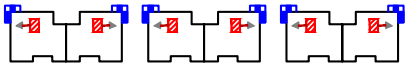
2-1 Avec C.d´escalier Extérieure séparée

* Typologie similaire à celle de la circulation mixte/assemblage groupé cage d´escalier Ext séparée/

1-1-1 TàV sise à l´extérieur du logement



1-1-2 TàV sise à l´intérieur du logement



Possibilité 1



Possibilité 2

Assemblage linéaire discontinu

Commune

2-2 Avec C.d´escalier Intérieure

séparée

2-2 Avec C.d´escalier Intérieure séparée

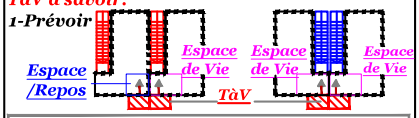
* Nombre d´étage desservi est R+1 (puisque la cage d´escalier est séparée).

** Si:

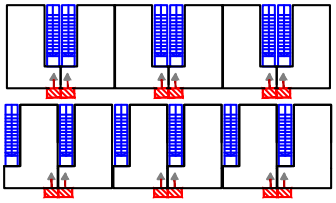
L´espace en mitoyenneté logements est un espace de vie et/ou de repos pour les 2 niveaux ,

On aura 2 possibilités d´intégration de la TàV à savoir:

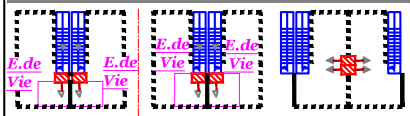
1-Prévoir

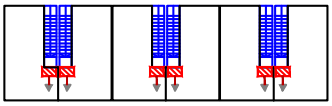


Nombre: 1TàV/2logts/2niveau
Disposition: à l´extérieur du logement, accolée à l´espace de vie ou à l´espace de repos/2logts superposés (du RDC et 1étage)
Assemblage prévu: TàV accolées à l´Ext



2- Prévoir
Nombre: 1TàV/2Logts/2Niveau
Disposition:
-le palier (si sa forme et ses dimensions les permettent)
- ou à l´intérieur du logement (si la condition précédente n´est pas assurée
Assemblage prévu:TàV accolées à l´Int

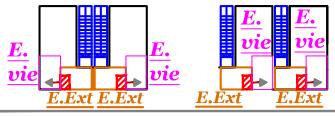




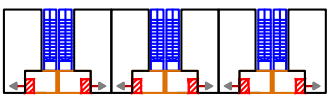
Assemblage linéaire Continu pour les 2 Cas

** Si:

L´espace en mitoyenneté logements est un espace extérieur ou espace ext/espace de vie



2- Prévoir
Nombre: 1TàV/2Logts/2Niveau
Disposition:
- L´espace extérieur privatif du logement et accolé à l´espace de vie.
Aucun Assemblage prévu: TàV isolées à l´intérieur de l´espace extérieur privatif



Assemblage linéaire Continu pour les 2 Cas

Commune

Conception avec Tour à Vent (Suite 2)

Tableau 8.23: *Typologie selon les parties communes entre logements (Circulation mixte / Assemblage en barre) suite 2*

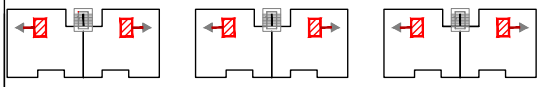
2-1 Avec C.d´escalier Extérieure commune

* Typologie similaire à celle de la circulation mixte/assemblage groupé cage d´escalier Ext commune/

Soit:

- 1ère Possibilité: Prévoir

Nombre: 1TàV/2logts/2niveau
Disposition: Dans l´espace de vie
Assemblage prévu: TàV séparées ou accolées

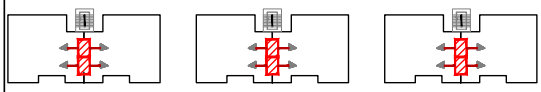


Possibilité 1

Soit:

- 2ème Possibilité: Prévoir

Nombre: 1TàV/2Logt/2 Niveau
Disposition: Dans l´espace en mitoyennté lié à la TàV des deux logements
Assemblage prévu: TàV accolées



Possibilité 2

Assemblage linéaire discontinu

(Suite 3)

1-2-2 Avec C.d´escalier Intérieure commune

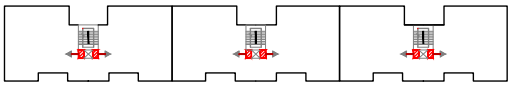
* Nombre d´ étage desservi est ≤R+3 (puisque la cage d´escalier est commune).

On a plusieurs possibilités d´intégration de la TàV à savoir:

- 1ère Possibilité: Prévoir

Nombre: 1TàV/2logts/2niveau
Disposition: Palier d´escalier si la forme et les dimensions les permettent
Assemblage prévu: TàV séparées ou accolées

* Voir Typologie selon l´accessibilité aux logements/Circulation verticale/Cage d´escalier commune.

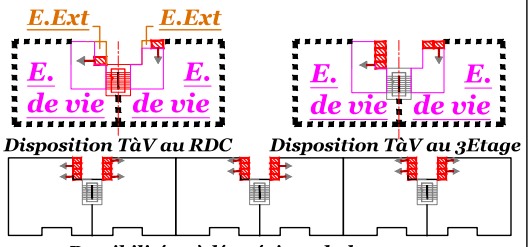


Possibilité 1: TàV intégrée dans palier cage d´escalier

Assemblage linéaire Continu

-2ème Possibilité: Dans l´espace extérieur privatif du logement.

Nombre: au choix 1TàV/Logt/Niveau
ou
1TàV/2Logt/2 Niveau
Disposition: Soit:
-Dans l´espace extérieur privatif accolée à l´espace de vie si ce dernier a double façade et la forme et les dimensions les permettent.
Assemblage prévu: TàV accolées



Disposition TàV au RDC — Disposition TàV au 3Etage

Possibilité 2: à l´extérieur du logement

Assemblage linéaire Continu

Conception avec Tour à Vent (suite 3)

1

Tableau 8.24: *Typologie selon les parties communes entre logements (Circulation mixte / Assemblage en barre) suite 3*

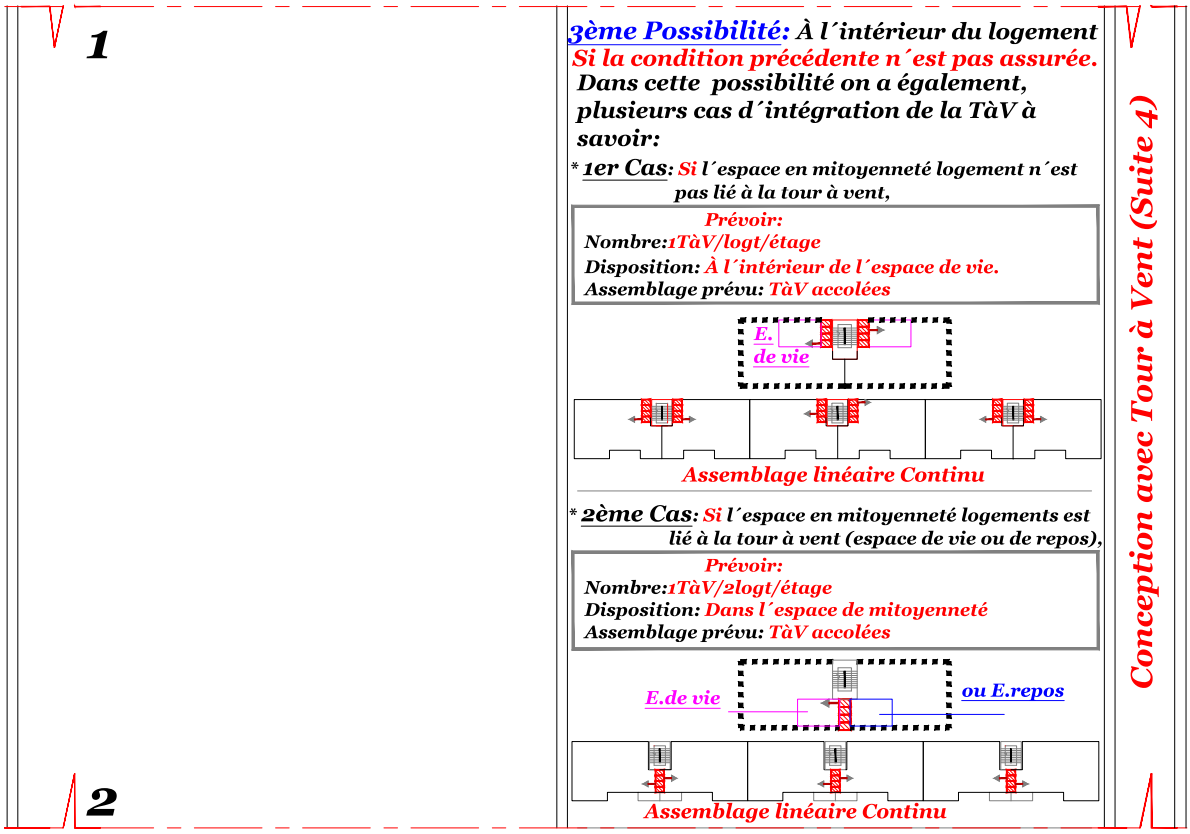


Tableau 8.25: Typologie selon les parties communes en mitoyenneté entre logements (Circulation mixte / Assemblage en barre) suite 4

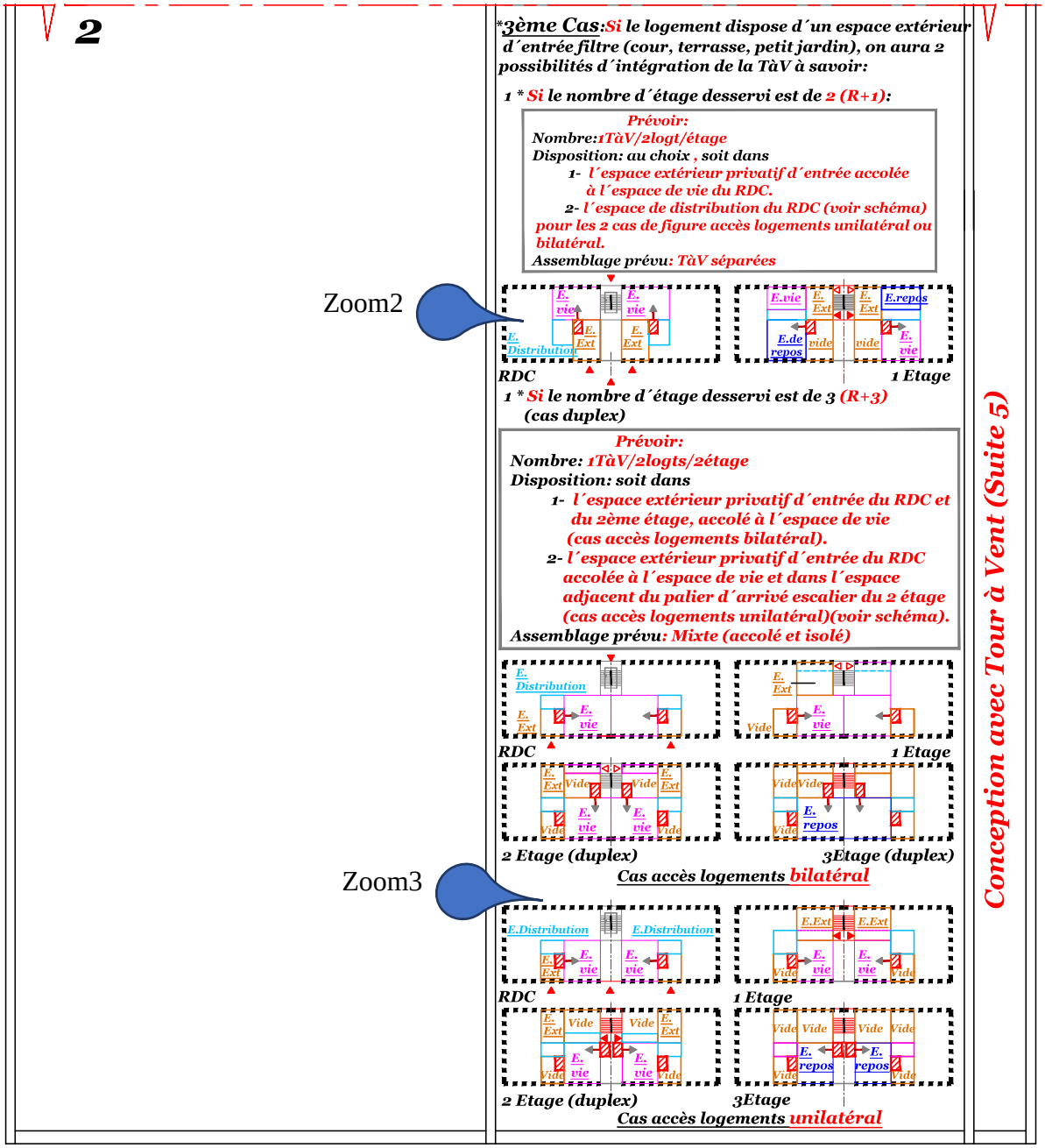


Tableau 8.26: *Typologie selon les parties communes en mitoyenneté entre logements (Circulation mixte /Assemblage en barre) suite 5*

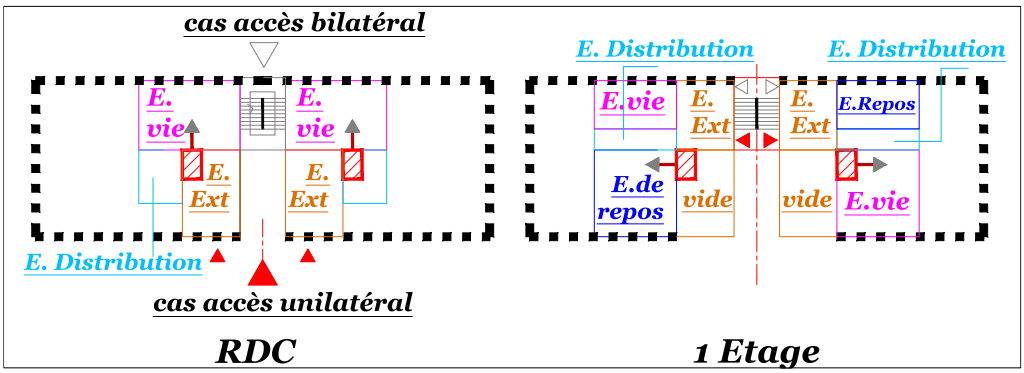


Figure 8.8: *Zoom 2 si le nombre d'étages desservis est de 2 (R+2) cas du duplex*

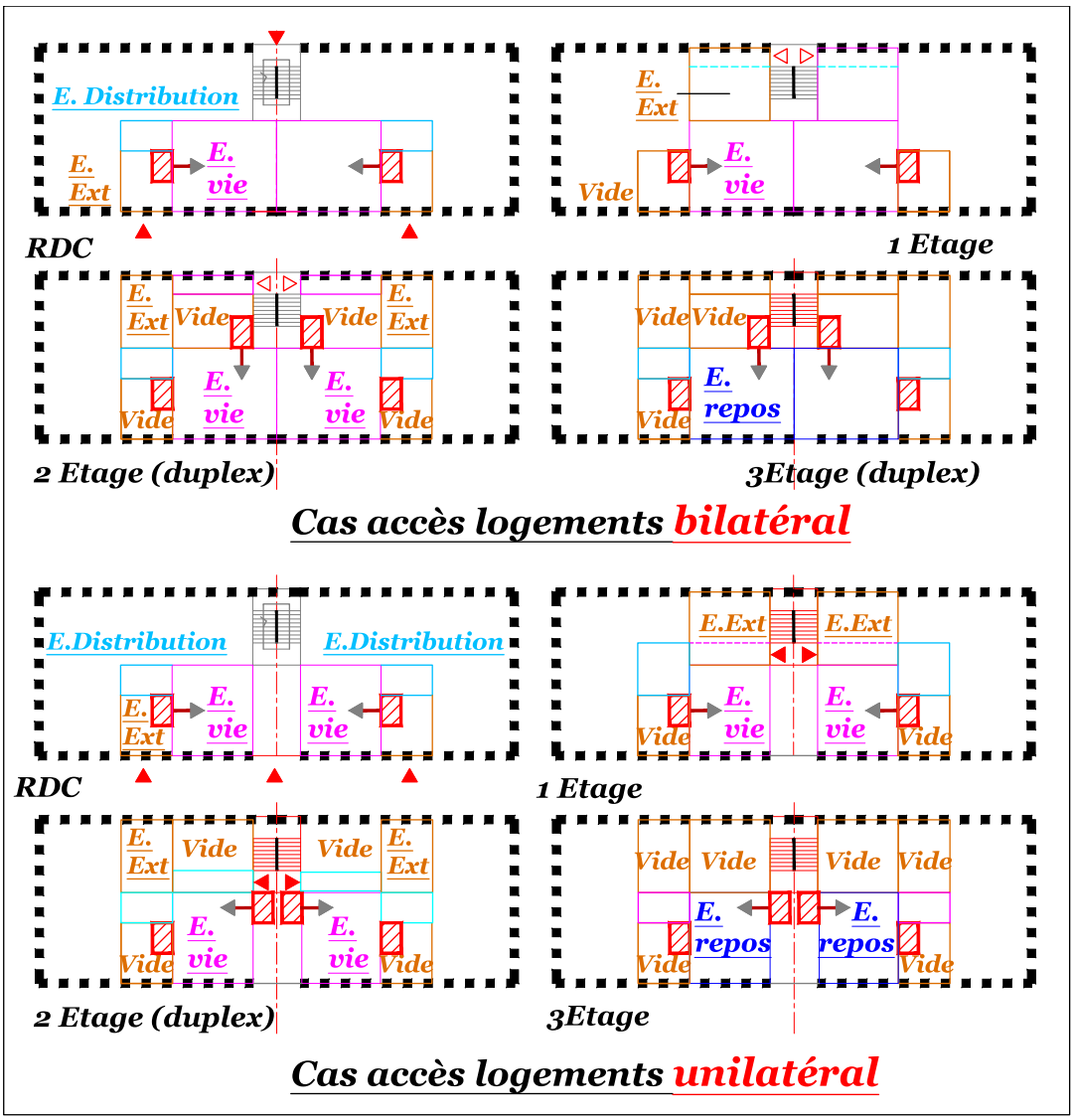


Figure 8.9: *Zoom 3 si le nombre d'étages desservis est de 3 (R+3) cas du duplex*

8.2.10 Le nombre de logements desservis

Le bloc de logements semi-collectifs est composé de plusieurs étages superposés. Le nombre, le type et la disposition des appartements par niveau a pris plusieurs formes dans les exemples analysés. Ces facteurs déterminent la nature, la forme et les dimensions des espaces intermédiaires en communs. Étant donné que les logements sont organisés autour de l'espace intermédiaire et que l'emplacement de ce dernier dépend de l'espace de transition verticale qui dessert tous les niveaux, la cage d'escalier a été considérée comme un facteur déterminant dans le classement en fonction du nombre de logements. En outre, la forme du bloc liée au type de regroupement d'unités de logement (qu'il soit en barre ou groupé compact) affecte le nombre d'appartements desservis à travers les caractéristiques physiques de l'espace intermédiaire.

La conciliation entre qualité et rationalité est un choix conceptuel lié au mode sociologique, à la forme de terrain et aux exigences du maître de l'ouvrage, elle apparaît à travers le nombre de

logements desservis par l'espace intermédiaire. Ce dernier peut-être un palier d'escalier, un couloir, un hall, une coursive, un patio, etc.

8.2.10.1 Typologie selon le nombre de logements desservis

La classification est indiquée dans le tableau 8.27 où les types sont classés selon le principe de regroupement des unités de logement (bloc), et selon le type de la circulation verticale (séparée ou commune) et l'emplacement des escaliers à l'intérieur ou à l'extérieur du bloc. Il est à noter que la typologie est similaire pour les deux régions cas d'études.

Typologie Selon le nombre de logements desservis par espace intermédiaire				
Climat aride et Semi aride (typologie similaire)				
1- Selon le type d´assemblage		***2- Selon La circulation verticale***		
Bloc en Barre	***Bloc compact (Groupé)***	***Cage d´escalier séparée (2 cages)***		***Cage d´escalier commune (1cage)***
01 logement ou plus /espace intermédiaire	***03 logements et plus / espace intermédiaire***	***01 logement / espace intermédiaire***		***02 logements et plus / espace intermédiaire***
1.Assemblage linéaire avec palier de distribution desservant 2 logements.	***1.Assemblage groupé compact à patio ou avec cour centrale - avec espace filtre à l´extérieur ou à l intérieur - sans espace filtre***	***1 logt/ palier inter-médiaire***	***1 logt/ palier d´arrivé***	***1.Assemblage linéaire avec coursive***
2.Assemblage linéaire avec coursive désservant 2 logements et plus.	***2.Assemblage groupé d´ angle palier desservant 3 logements.***			***2.Assemblage groupé compact à patio ou avec cour centrale - avec espace filtre extérieur intérieur - sans espace filtre***
				Conception initiale

Tableau 8.27: *Typologie selon le nombre d'étages desservis par espace intermédiaire*

8.2.10.2 Typologie développée selon le nombre de logements desservis

La classification selon le nombre de logements par espace intermédiaire est identique dans les deux typologies effectuées (tableau 8.28). Quel que soit le nombre de logements par espace intermédiaire, l'emplacement du système de rafraichissement ne dépend en aucun cas de ce dernier. La tour peut prendre place à l'extérieur, à l'intérieur ou bien dans l'espace intermédiaire desservant les accès, cela dépend aussi bien des choix architecturaux que de la disposition des espaces de vie et de repos dans la conception de la cellule et par rapport à son assemblage avec

d'autres cellules. Les différentes possibilités d'intégration de la tour par nombre de logements par niveau à savoir: 1logement/palier d'arrivée en R+1 (tableau 8.29); 01logement/palier intermédiaire en R+2 au maximum (tableau 8.30) et (figure 8.10) ; 02logements/palier en R+2 au maximum (tableau 8.31) et (figure 8.11); 03logements/ palier bloc d'angle en R+2 au maximum (tableau 8.32) et 03 logements et plus/palier en R+2 au maximum (tableau 8.33) dont les sous types de ce dernier avec ou sans présence d'un espace filtre d'entrée sont indiqués dans les figures (8.12), (8.13) et (8.14), sont présentés ci-dessous:

Typologie Selon le nombre de logements desservis par espace intermédiaire				
Climat aride et Semi aride (typologie similaire)				
1- Selon le type d´assemblage		***2- Selon La circulation verticale***		
Bloc en Barre	***Bloc compact (Groupé)***	***Cage d´escalier séparée (2 cages)***		***Cage d´escalier commune (1cage)***
01 logement ou plus /espace intermédiaire	***03 logements et plus / espace intermédiaire***	***01 logement / espace intermédiaire***		***02 logements et plus / espace intermédiaire***
1.Assemblage linéaire avec palier de distribution desservant 2 logements. ***(Tableau 8.31)***	***1.Assemblage groupé compact à patio ou avec cour centrale (Tableau 8.34) et (Figures 8.12, 8.13 et 8.14)*** ***- avec espace filtre à l´extérieur ou à l intérieur*** ***- sans espace filtre***	***1 logt/ palier inter-médiaire*** ***(Tableau 8.30) et (Fig8.10)***	***1 logt/ palier d´arrivé*** ***(Tableau 8.29)***	***1.Assemblage linéaire avec coursive (Tableau 8.33)*** ***2.Assemblage groupé avec palier de repos ou palier intermédiaire (Fig 8.11)*** ***3.Assemblage groupé compact à patio ou avec cour centrale (Tableau 8.34)*** ***- avec espace filtre extérieur (Fig 8.12) intérieur (Fig 8.13)*** ***- sans espace filtre (Fig 8.14)***
2.Assemblage linéaire avec coursive désservant 2 logements et plus. ***(Tableau 8.33)***	***2.Assemblage groupé d´ angle palier desservant 3 logements.*** ***(Tableau 8.32)***			

Conception avec Tour à Vent

Tableau 8.28*: Typologie développée selon le nombre d'étages desservis par espace intermédiaire*

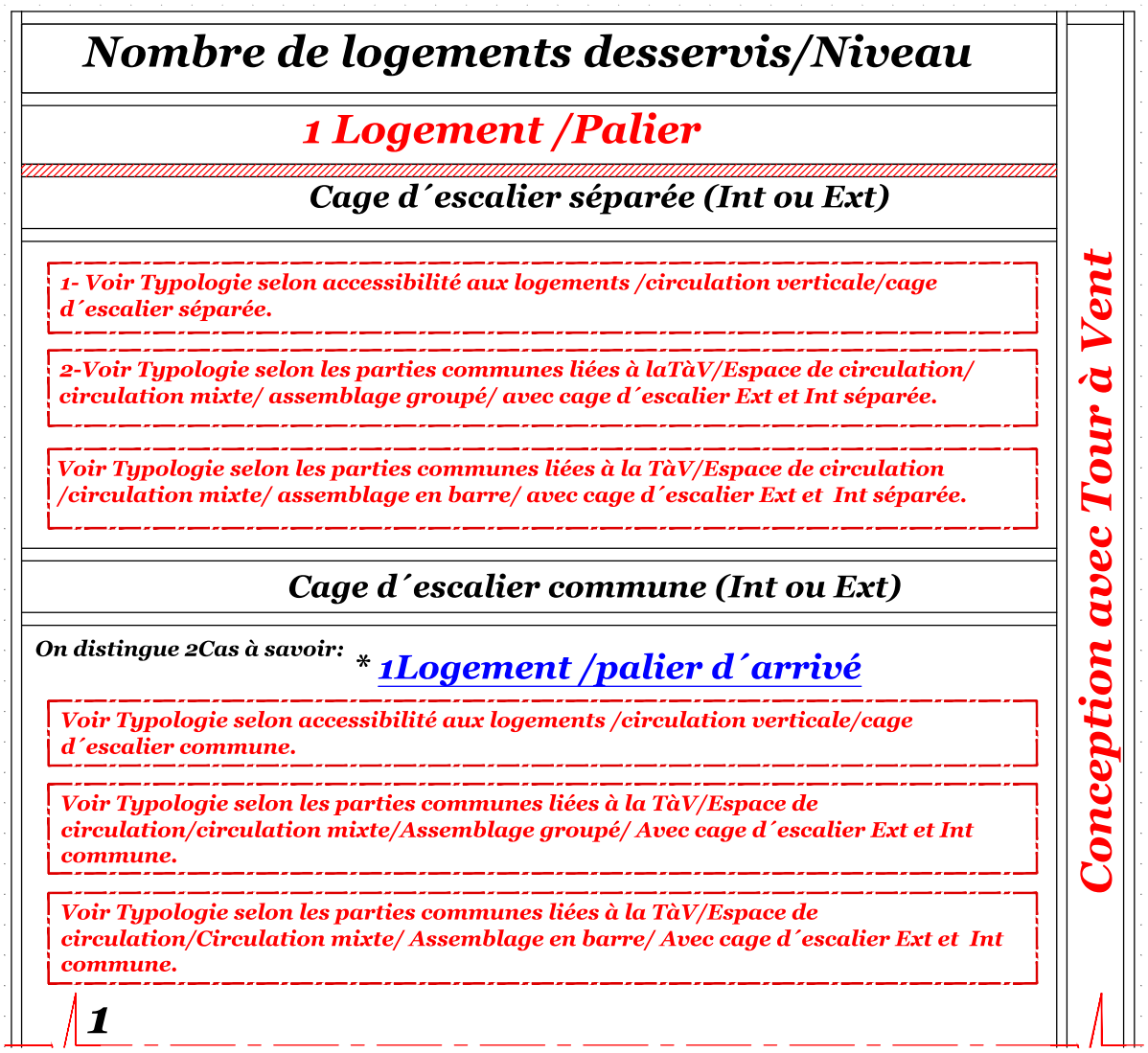


Tableau 8.29: *Typologie développée selon le nombre de logements desservis/ étage (cas d'un logement/palier d'arrivé)*

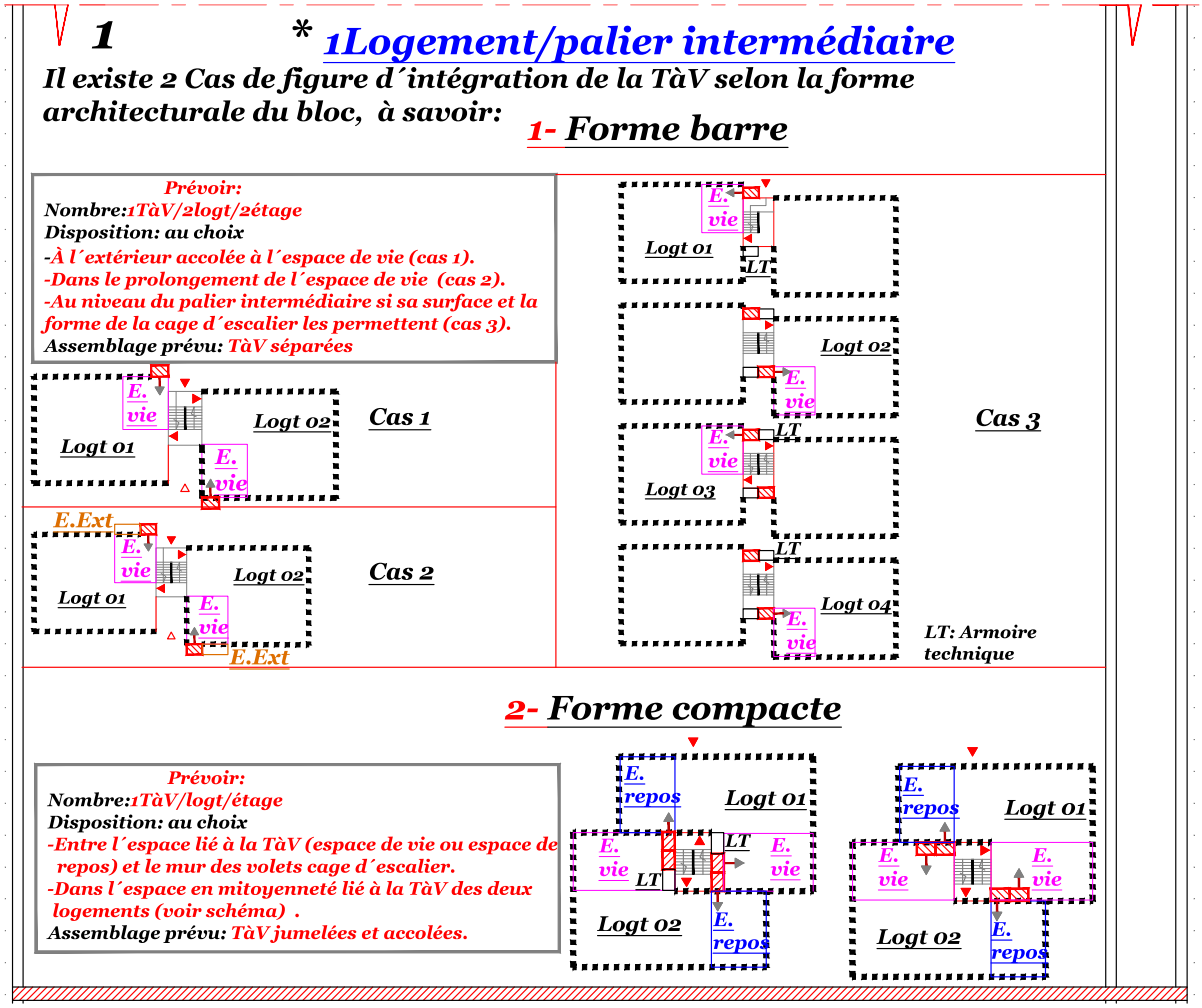


Tableau 8.30: *Typologie développée selon le nombre de logements desservis/étage (cas d'un logement/palier intermédiaire -suite1-)*

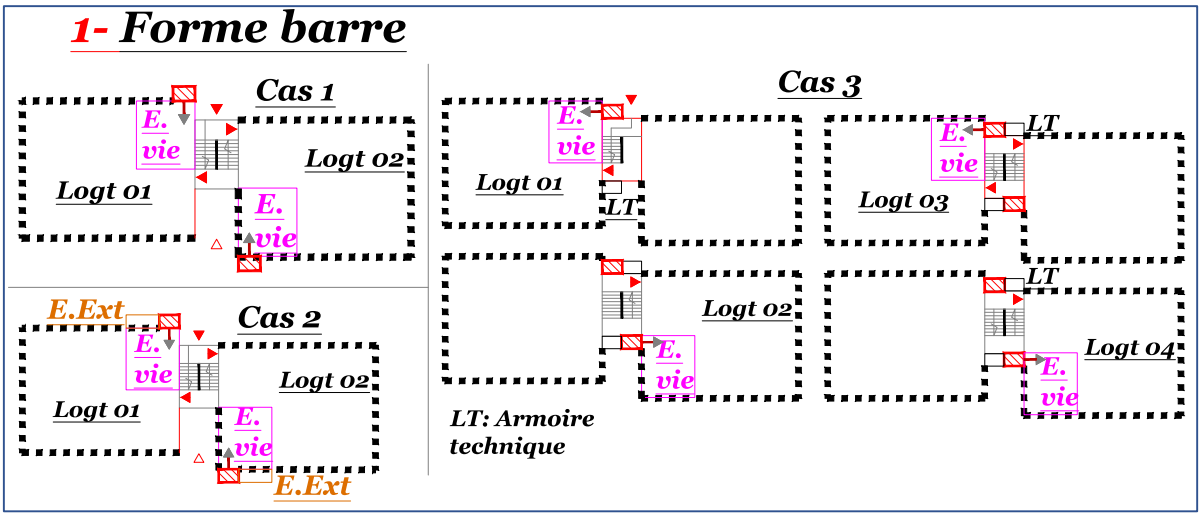


Figure 8.10: *Détails de la forme du bloc en barre / typologie selon le nombre de logements desservis/ étage (cas d'un logement/palier intermédiaire -suite1-)*

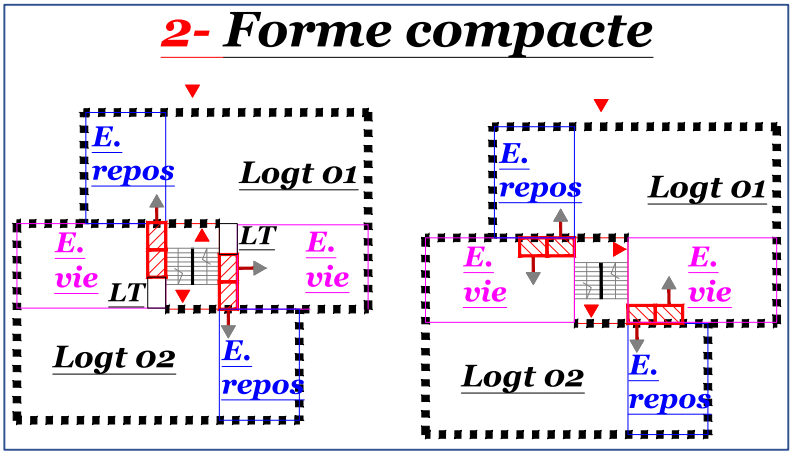


Figure 8.11: *Détails de la forme du bloc compact / typologie selon le nombre de logements desservis/ étage (cas de 2 logements/palier)*

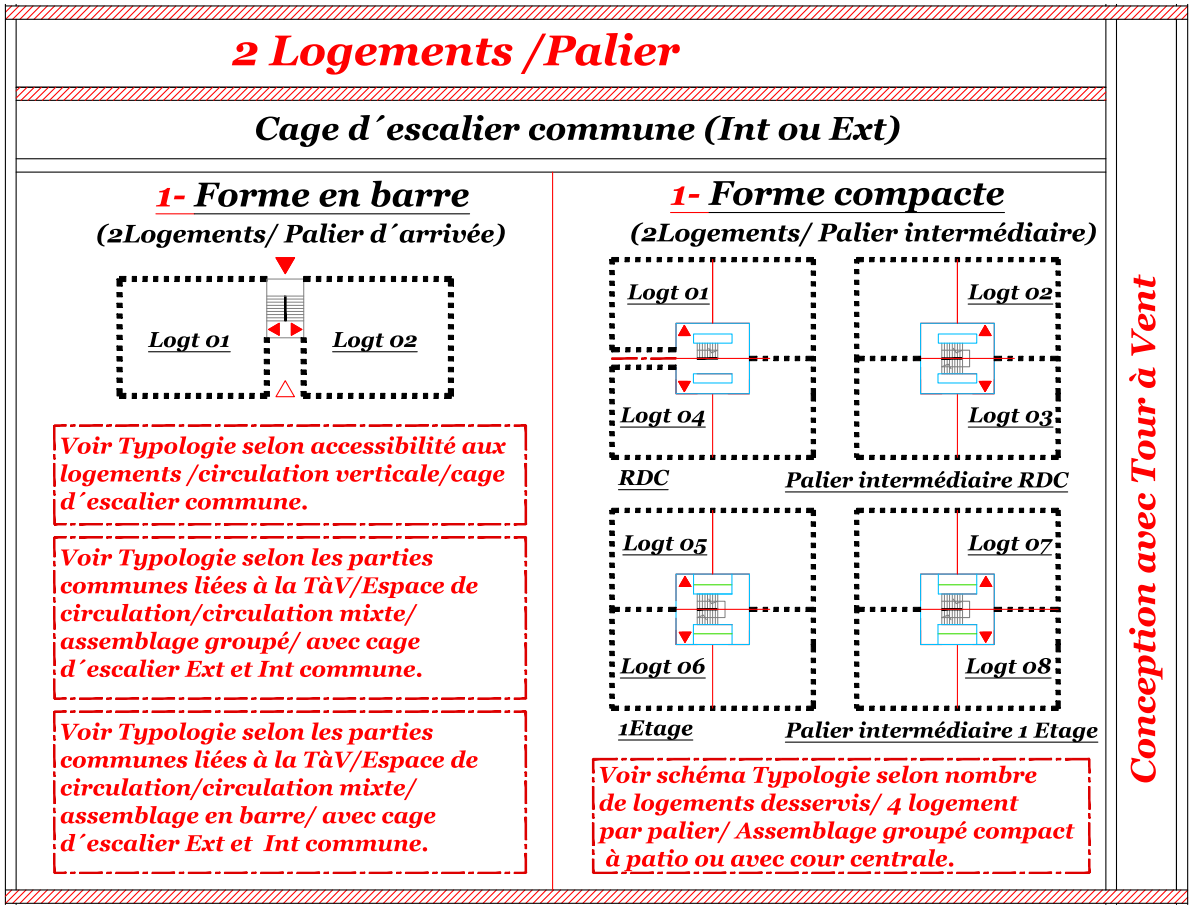


Tableau 8.31: *Typologie développée selon le nombre de logements desservis/ étage (cas de 2 logements/palier)*

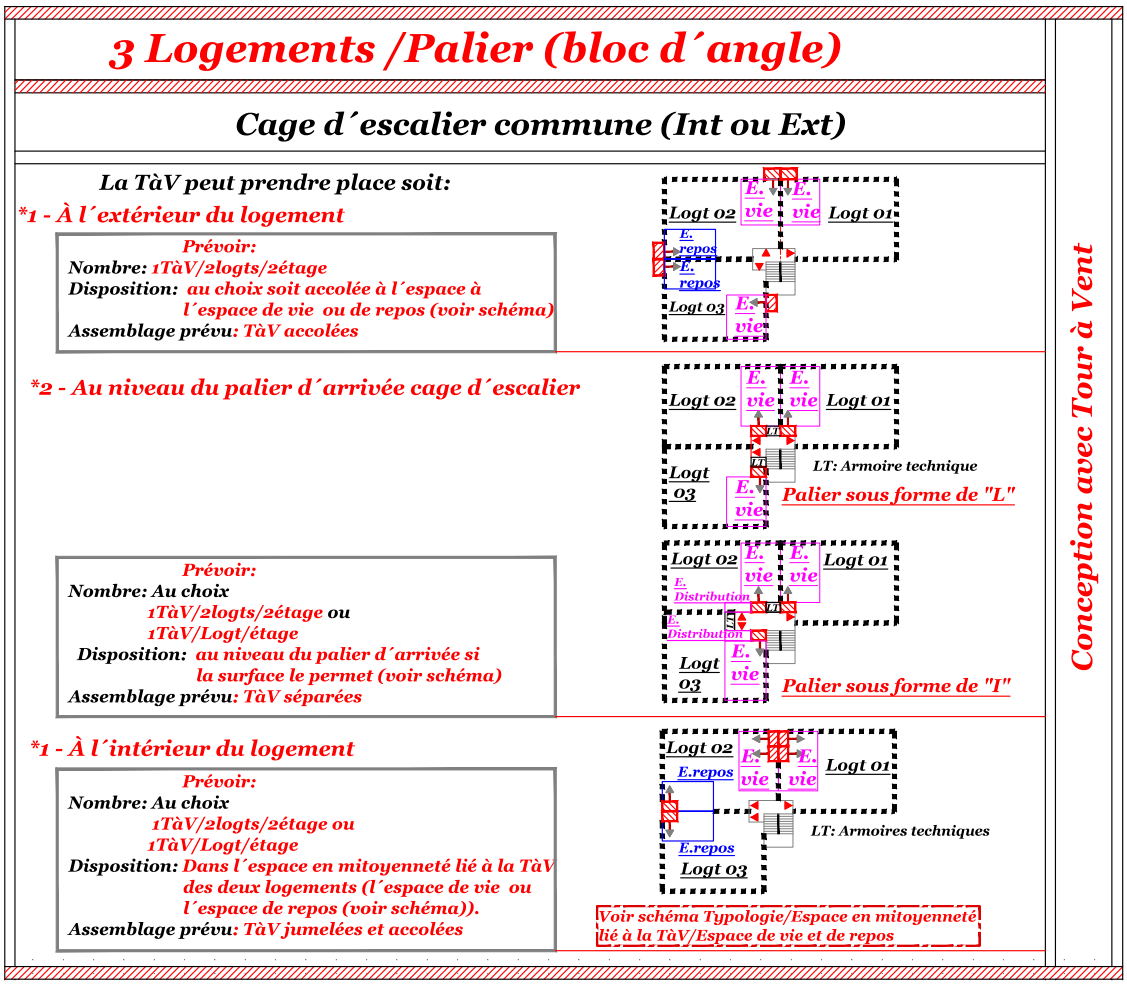


Tableau 8.32: *Typologie développée selon le nombre de logements desservis/ étages (cas de 3 logements/Palier) Bloc d'angle*

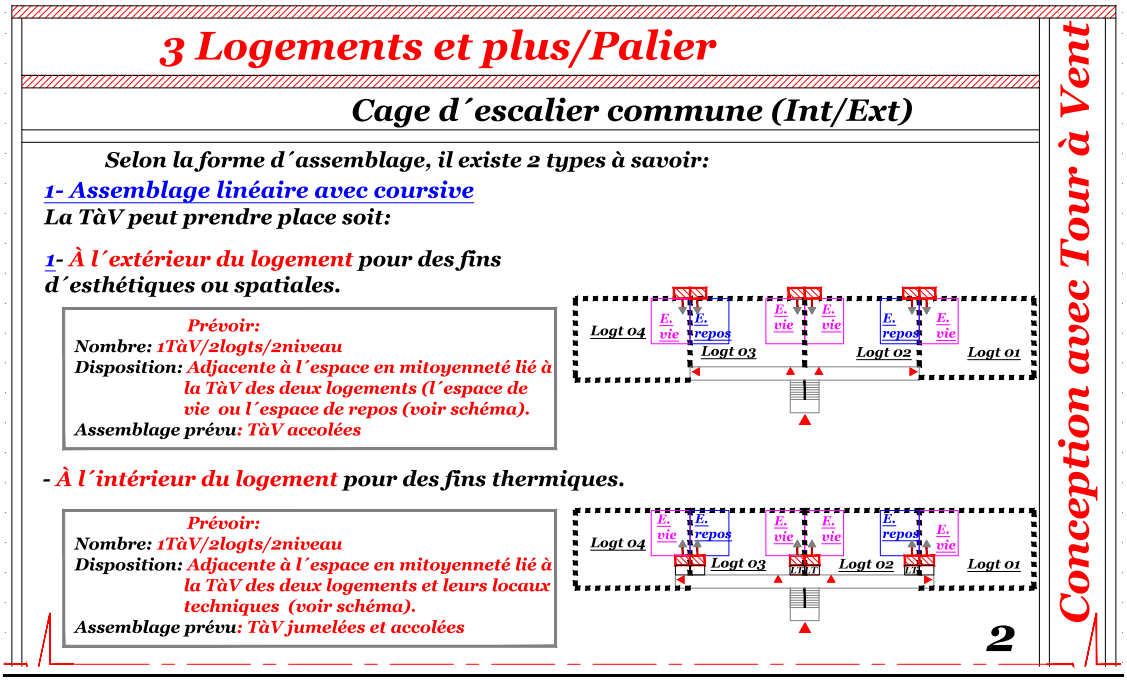


Tableau 8.33: ***Typologie développée selon le nombre de logements desservis/ étage (cas de 3 logements et plus/palier)***

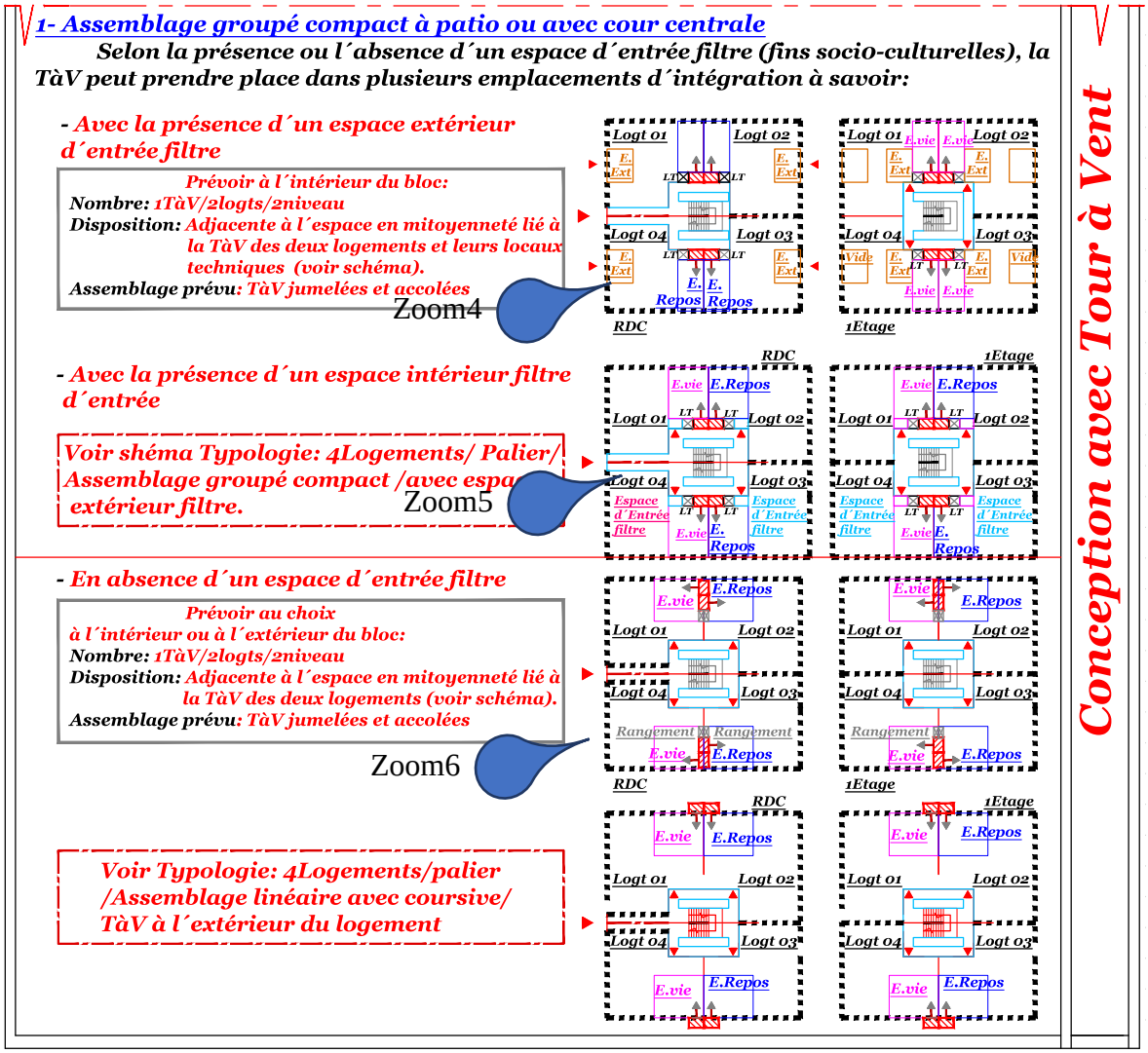


Tableau 8.34: *Typologie développée selon le nombre de logements desservis/ étage (cas de 3 logements et plus /palier)*

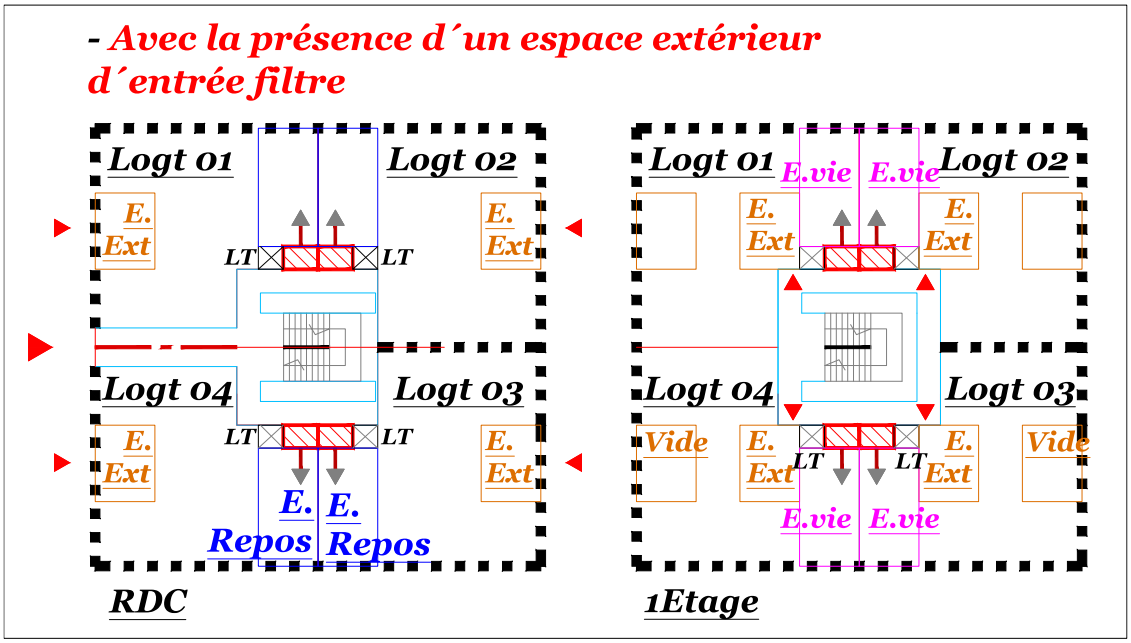


Figure 8.12: *Typologie développée cas de 3 logements et plus avec espaces d'entrée filtre à l'extérieur/espace intermédiaire (Zoom4)*

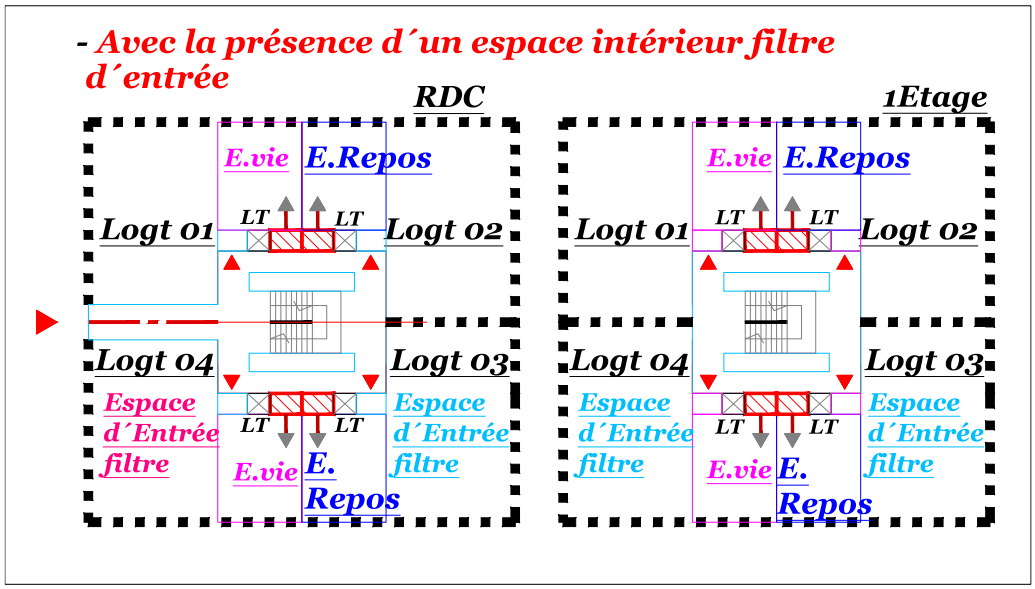


Figure 8.13: *Typologie développée cas de 3 logements et plus avec espaces d'entrée filtre à l'intérieur/espace intermédiaire (Zoom5)*

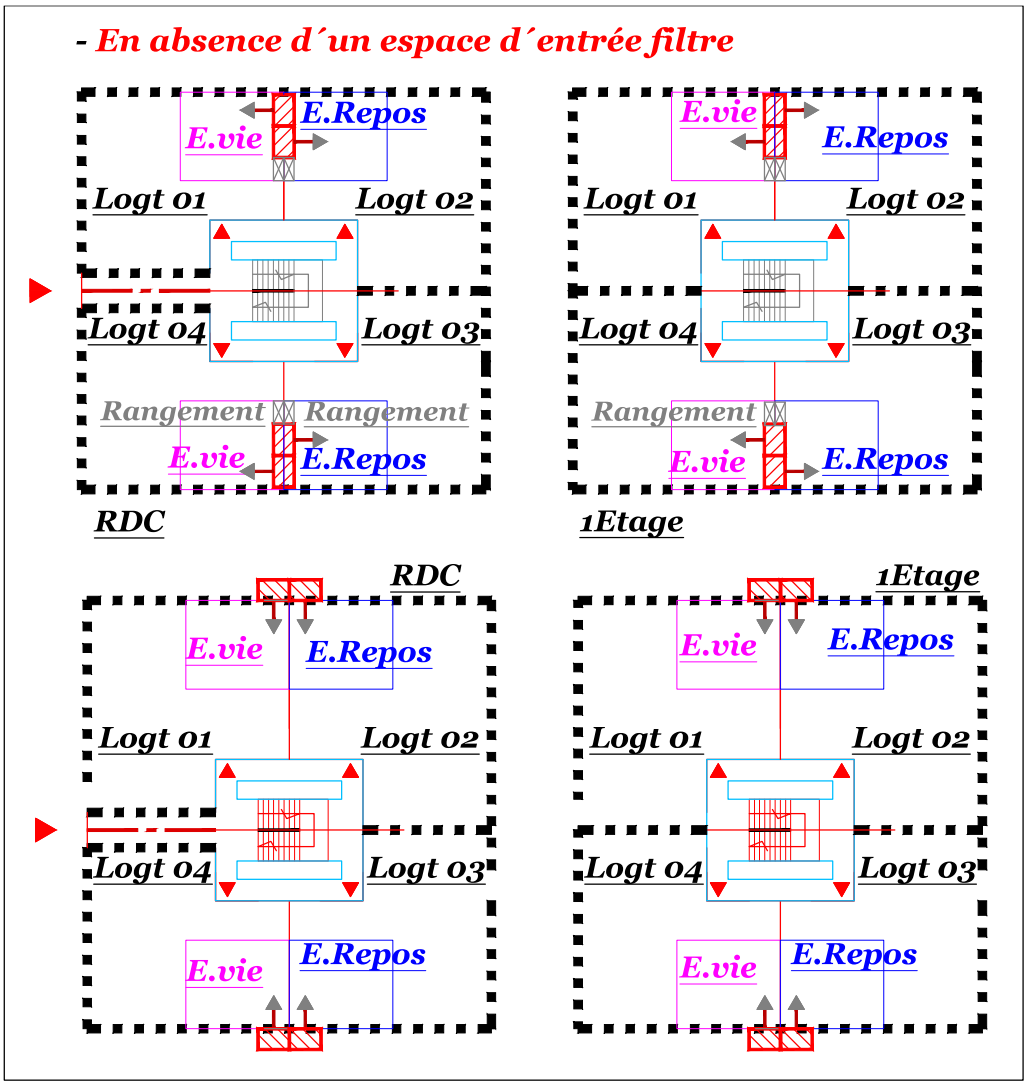


Figure 8.14: *Typologie cas de 3 logements et plus sans espaces filtre / espace intermédiaire (Zoom6)*

8.3 Prototype adopté et ses performances

8.3.1 Critères de choix

Le prototype intégré dans la typologie développée est porté sur le modèle réalisée à Hassi Messaoud. Ce choix était dicté principalement par les raisons suivantes:

- Un modèle réalisé, testé et développé au Sud algérien à climat chaud et sec;
- Un modèle techniquement simple, facile à réaliser, à contrôler et entretenir;
- Un prototype en perpétuel développement.

8.3.2 Caractéristiques techniques

Le prototype est une tour multidirectionnelle contient des ouvertures d'entrée air de 1x1m². Ces orifices sont équipés de trois grilles orientables. La tour sert à rafraîchir un local de dimensions 8,85x4,90x2,70m^3. Le tronc de ce modèle est partagé à l'intérieur en 49 conduits d'air de 10x10cm² de section chacune. La hauteur de la partie centrale humide qui comporte les conduits est de 6,5m. La partie basse de la tour est équipée d'un bassin d'eau où la vidange se fait par le dévissage de la partie supérieure du trop-plein de l'intérieur de l'espace. L'air frais est soufflé via une ouverture de 30x100cm² qui se trouve à 65cm de la base de la tour et à 5cm de la partie inférieure comprenant les conduits. L'orifice de soufflage est équipé d'une grille protectrice réglable en aluminium, il permet de contrôler le débit d'air pénétrant dans le local et de fermer complètement l'ouverture en hiver.

Un réservoir de 1500 litres en acier galvanisé alimente la tour en eau. Le système d'évaporation passif est constitué d'un réseau en tube polyuréthane. L'arrosage type goutte à goutte permet le contrôle du volume, la vitesse et l'humidification de toutes les facettes intérieures des canaux d'air. Il s'effectue d'une façon continue sans aucune utilisation d'énergie (par gravité: le réservoir est plus élevé que celui du réseau).

En cas de besoin, le réservoir peut être isolé du système via une vanne d'arrêt. L'excès en eau d'humidification peut être utilisé pour l'arrosage de l'espace vert ou bien être recyclé (DJOUIMA, 2008). Tous les détails techniques d'exécution concernant ce prototype sont présentés en (Annexe I).

8.3.3 Performance thermique

Sous le climat chaud et sec de Hassi Messaoud, le comportement thermique de l'espace refroidi par le prototype a été testé et validé pendant la période estivale de plusieurs années où le rendement a atteint sa valeur maximale en mois de juillet. La performance thermique du modèle de BOUCHAHM (2003) a été testée d'abord expérimentalement (effet de

rafraîchissement existant, mais pas important), puis numériquement via le logiciel *Capcool* (un dimensionnement optimal de10x10cm des sous-conduits composant le conduit principal a engendré un effet de rafraîchissement meilleur). L'effet de rafraîchissement du modèle de DJOUIMA (2019) en exploitant les résultats de la simulation de BOUCHAHM était approuvé par une réalisation et une prise de mesures (résultat meilleur que celui de la simulation).

Les mesures des températures, des humidités relatives et des vitesses de l'air prises au niveau des stations 1/3, 2/3 et 3/3 de la profondeur du local qui est de 11,35m (voir figure 8.15) ont permis:

- la vérification de la réponse thermique du prototype et son pouvoir de rafraîchissement à travers la diminution de la température à l'intérieur de l'espace durant la période estivale
- la détermination à quelle profondeur les paramètres mesurés restent dans les limites de confort.

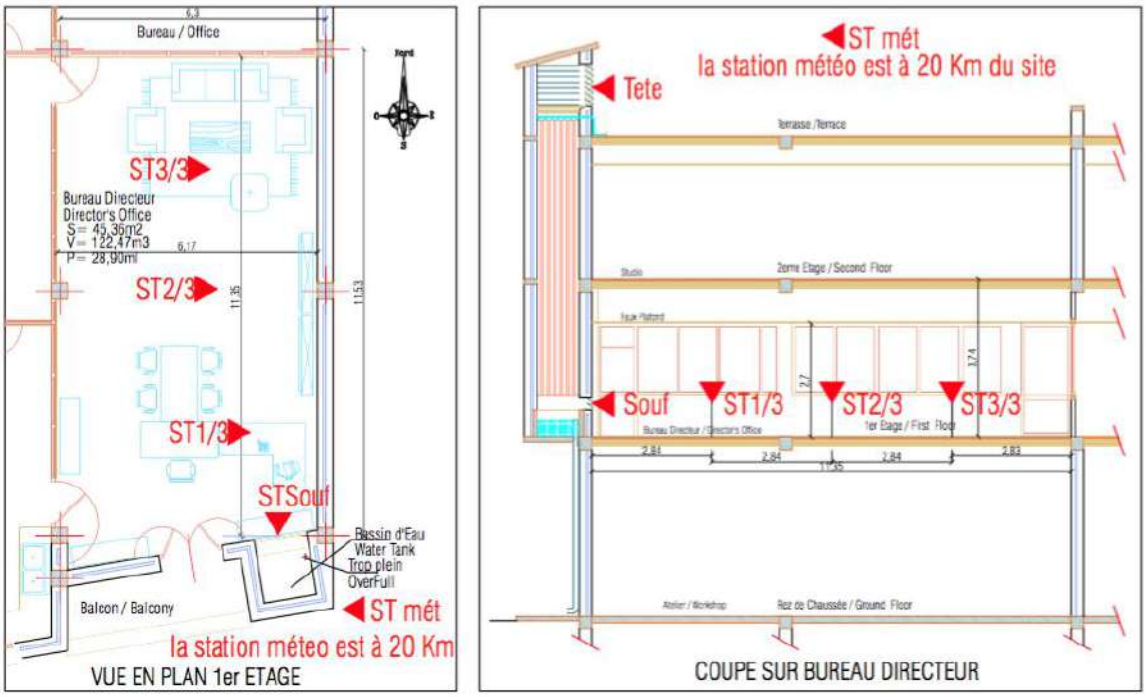


Figure 8.15*: Disposition des stations de mesures à l'intérieur et à l'extérieur du Bureau*
Source: *Djouima (2018)*

Le confort thermique obtenu pendant la période estivale était vérifié sur les ¾ de la profondeur du local par la comparaison des résultats aux normes de confort et l'utilisation du diagramme psychométrique de SZOCKOLAY.

Les limites de confort appliquées dans ce modèle sont:

- Pour la température

La température neutre définie par la formule de Nicol et Humphrey a été calculée pour la période d'investigation estivale en se basant sur les données climatiques de la ville (T confort= $T_{neutre} \pm 2°C$ et T_{neutre} (°C)= 11,9 + 0,534 $T_{ext\ moy}$).

Avec un courant d'air approprié, les limites supérieures de température peuvent être élevées de quelques degrés (jusqu'à 3°C) sans recourir à des installations techniques conséquentes (NICOLE, 2004).

Le résultat de la mise en application de ce paramètre est indiqué dans la (figure 8.16) où la majorité des températures rentrent dans la zone de confort.

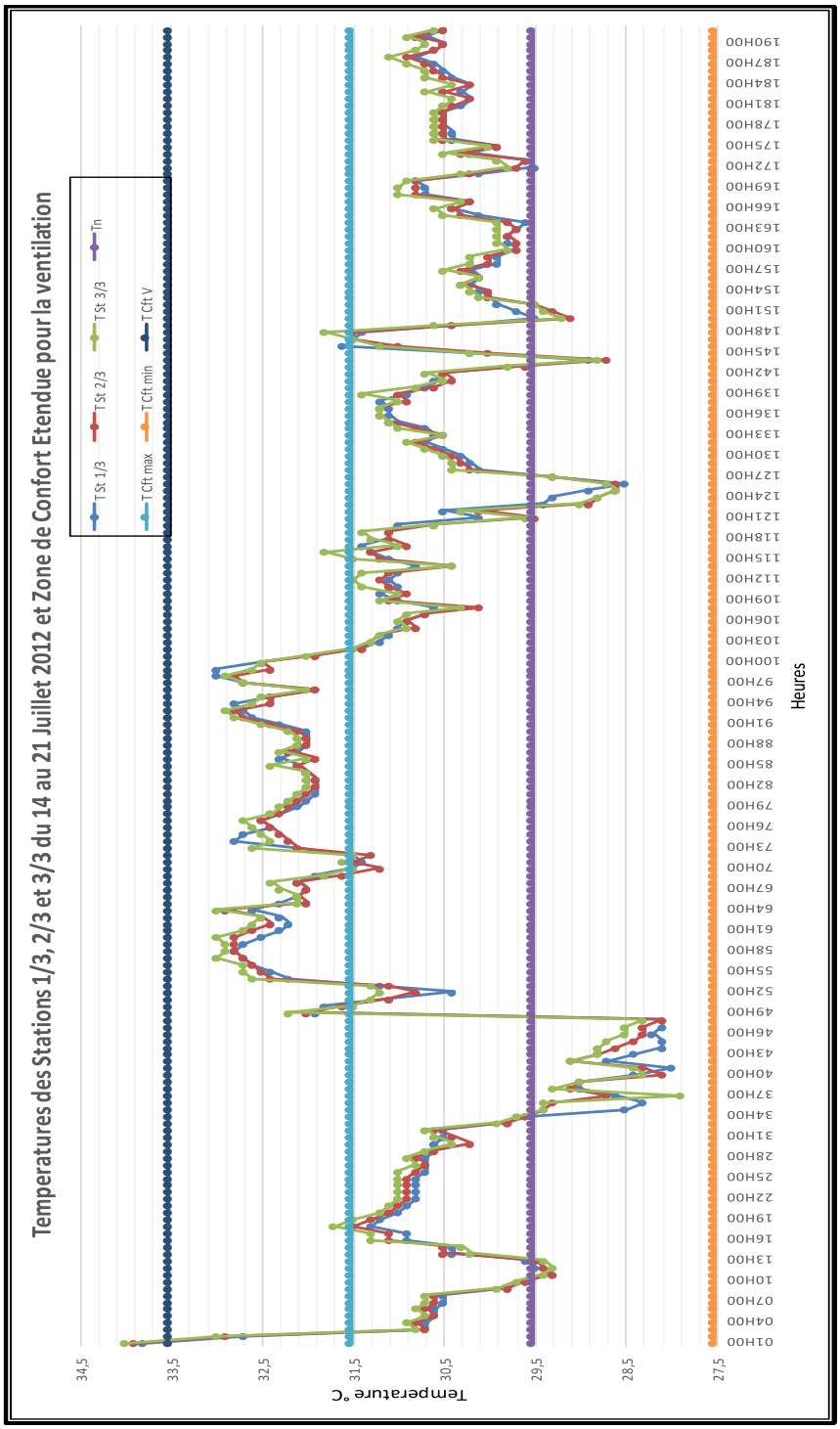


Figure 8.16: *Comparaison des températures du 14 au 21/7/2012 à la zone de confort étendue pour la ventilation*
Source: *Djouima (2019)*

Pour l'humidité relative

Les limites de confort données par les normes ASHRAE 55-2009 et ISO 7726 ont été appliquées. L'inconfort n'apparaît que lorsque l'humidité relative est inférieure à 30%, ou supérieure à 70%.

Le résultat de la mise en application de ce paramètre est indiqué dans la (figure 8.17) où la plupart des humidités relatives rentrent dans la zone de confort.

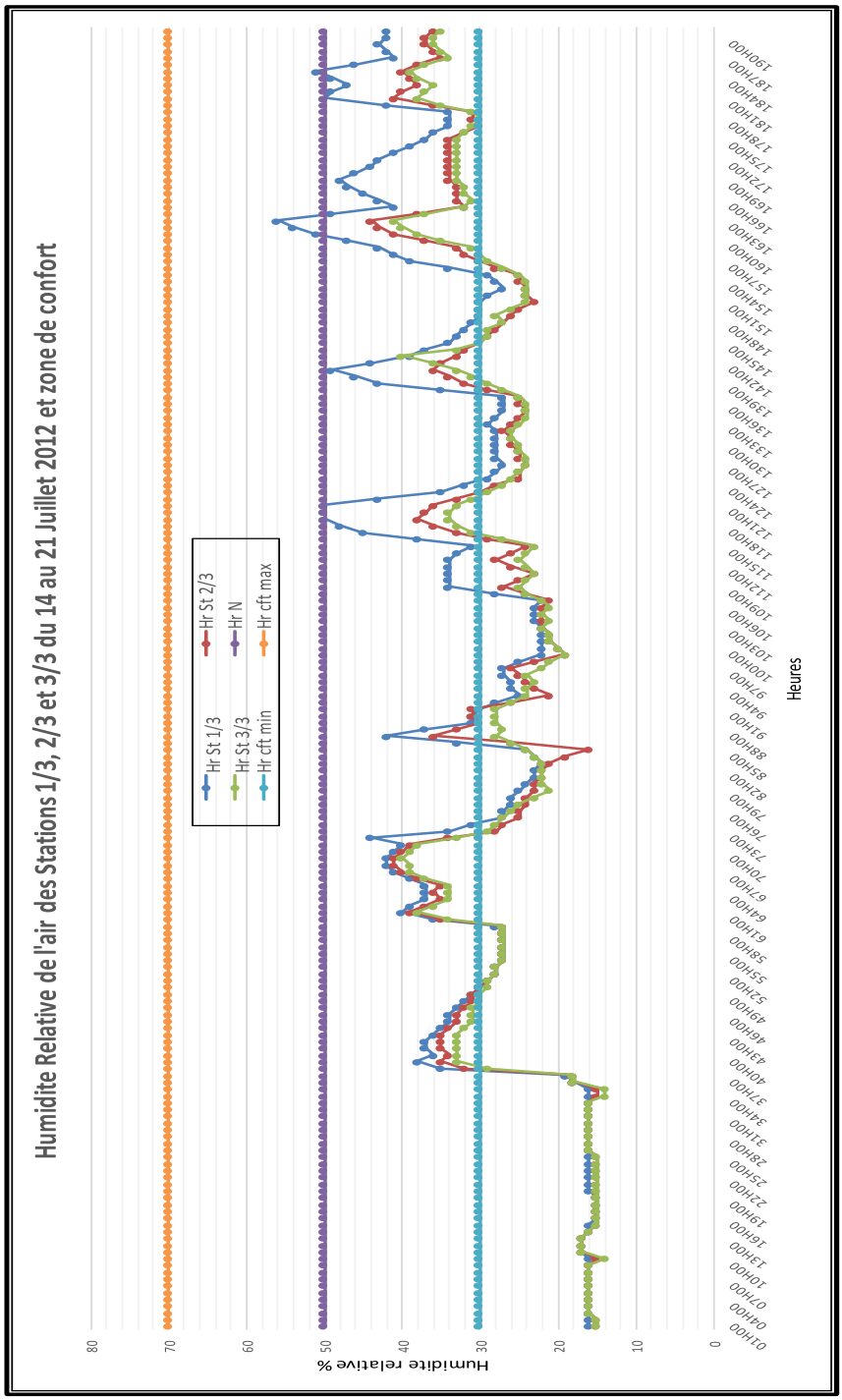


Figure 8.17*: Comparaison des humidités relatives des stations 1/3, 2/3 et 3/3 du 14 au 21/7/2012 à la zone de confort*
Source*: Djouima (2019)*

- Pour la vitesse de l'air

Selon GIVONI et ASHRAE, les vitesses de confort à l'intérieur en ventilation varient entre 0,2 et 0,8 m/s.

Le résultat de la mise en application de ce paramètre est indiqué dans la (figure 8.18) où la plupart des vitesses rentrent dans la zone de confort.

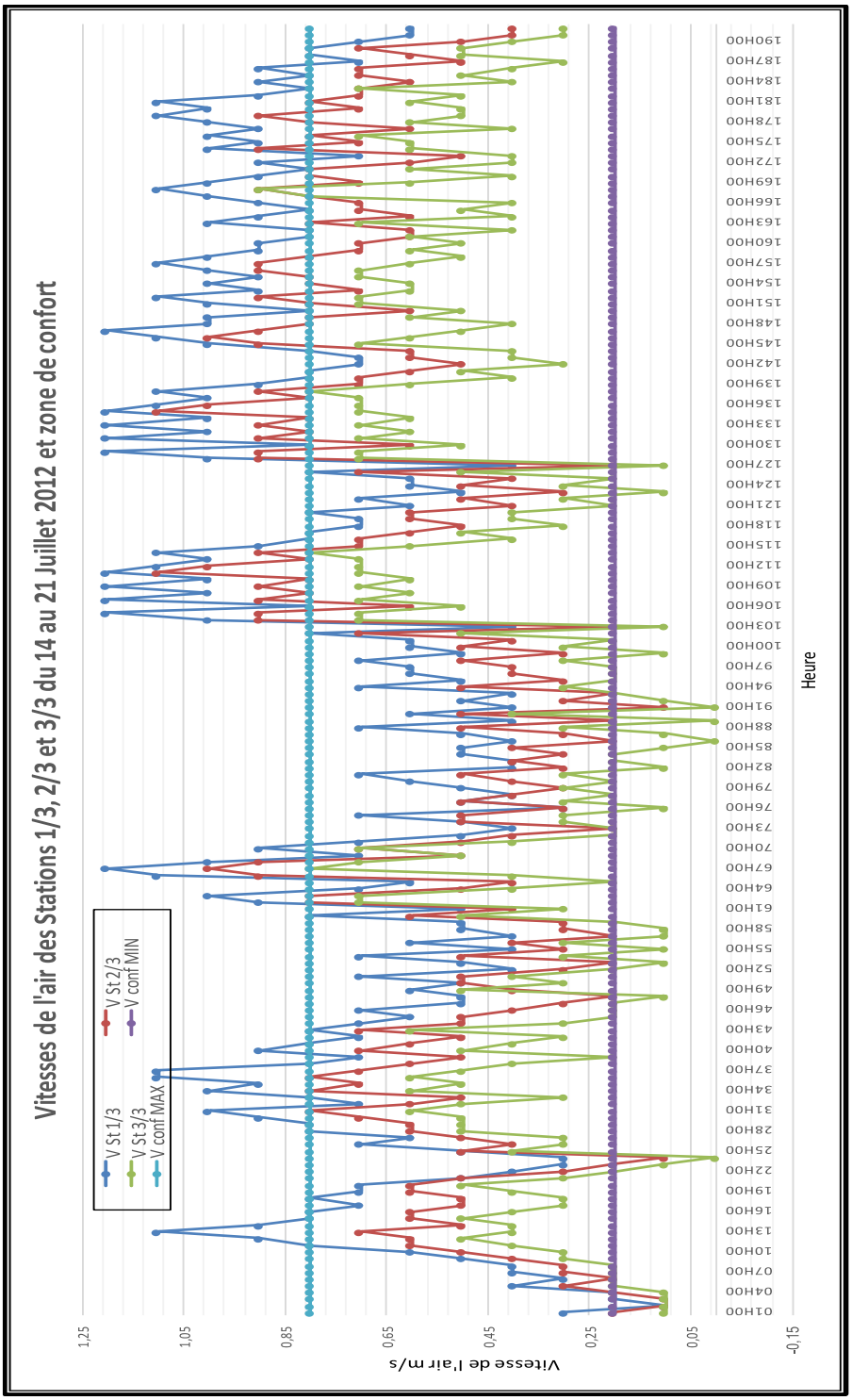


Figure 8.18*: Comparaison des vitesses de l'air des stations 1/3, 2/3 et 3/3 du 14 au 21/7/2012, à la zone de confort*

Source*: Djouima (2019)*

Une comparaison des mesures selon le diagramme psychométrique a été effectuée pour déterminer les limites du confort thermique en tenant compte des paramètres climatiques (T°C, HR% et Vm/s) et de leurs évaluations combinées. Les résultats mesurés et simulés dans l'espace rafraîchi ont été reportés sur le diagramme pour avoir une meilleure validation thermique du modèle. Chaque zone mesurée et simulée (de 1m à 9m) a été vérifiée par rapport à la zone de

confort établie pour la période estivale de la ville. Les résultats de l'efficacité thermique du modèle de chaque zone de 1m jusqu'à 7m de profondeur sont indiqués en annexe IV.

8.3.4 Étendue de la performance thermique

L'étendue de la performance thermique du modèle développé en 2018 a été validée à travers plusieurs simulations via le logiciel *TAS* à savoir:

- Tour à vent desservant un seul étage et une bouche de soufflage
- Tour à vent desservant deux étages et deux bouches de soufflage où deux cas de figure apparaissent:
    - Sans conduits intermédiaires entre les deux bouches de soufflage
    - Avec conduits intermédiaires entre les deux bouches de soufflage

Les résultats sont indiqués dans les figures 8.19 et 8.20.

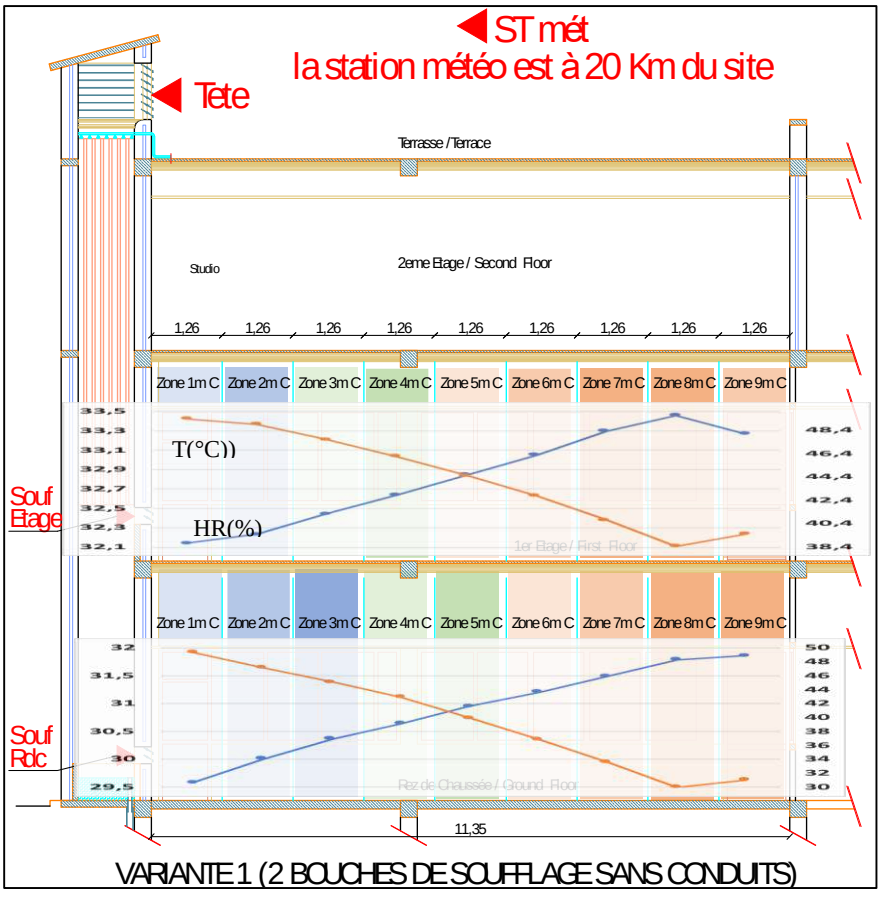


Figure 8.19: *Tmoy et HRmoy simulées au RDC et à l'étage et étendue de l'effet de rafraîchissement (V1)*
Source: *Djouima (2019)*

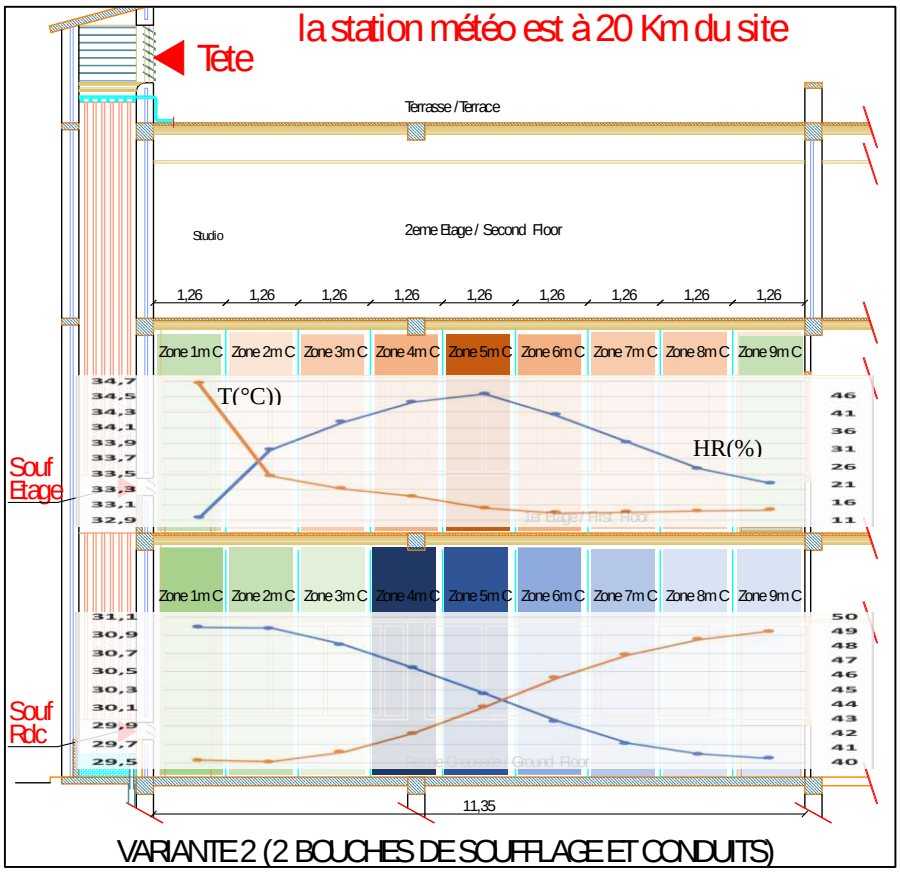


Figure 8.20*: Tmoy et HR moy simulées au RDC et à l'étage et étendue de l'effet de rafraîchissement (V2)*
Source*: Djouima (2019)*

Les résultats de la simulation des températures (figure 8.21) et des humidités relatives (figure 8.22) des zones 1m C à 7m C à l'intérieur du local correspondent aux limites de la plage de confort de la ville (27,53°C à 31,53°C). Les températures simulées dépassant la limite supérieure de confort rentrent dans la zone de confort étendue par la ventilation (température limite supérieure de confort +3°C), (figure 8.23). La ventilation naturelle assurée par le prototype contribue favorablement à fournir un confort thermo-hygrométrique intérieur. Le taux de renouvellement d'air ACH (air changes per hour) simulé est d'une valeur de 4fois par heure. Selon WANG (2000), l'ACH varie entre 3 et 20 fois / h. Le modèle peut assurer un taux de renouvellement d'air acceptable (DJOUIMA, 2019).

Le rafraîchissement évaporatif passif est assuré, mais son taux diffère selon la disposition en hauteur du local à refroidir (RDC ou étage) et la présence ou l'absence des conduits entre les bouches de soufflage. L'effet de rafraîchissement cas de deux bouches de soufflage desservant deux niveaux sans conduits intermédiaires (variante1) est assuré, mais la tour n'a pas d'effet en profondeur (figure 8.19) et par conséquent la sensation du confort thermique diminue en profondeur. La présence d'une série de conduits entre les deux bouches de soufflage (variante 2) donne un effet de rafraîchissement important au RDC et très limité à l'étage, (figure 8.20).

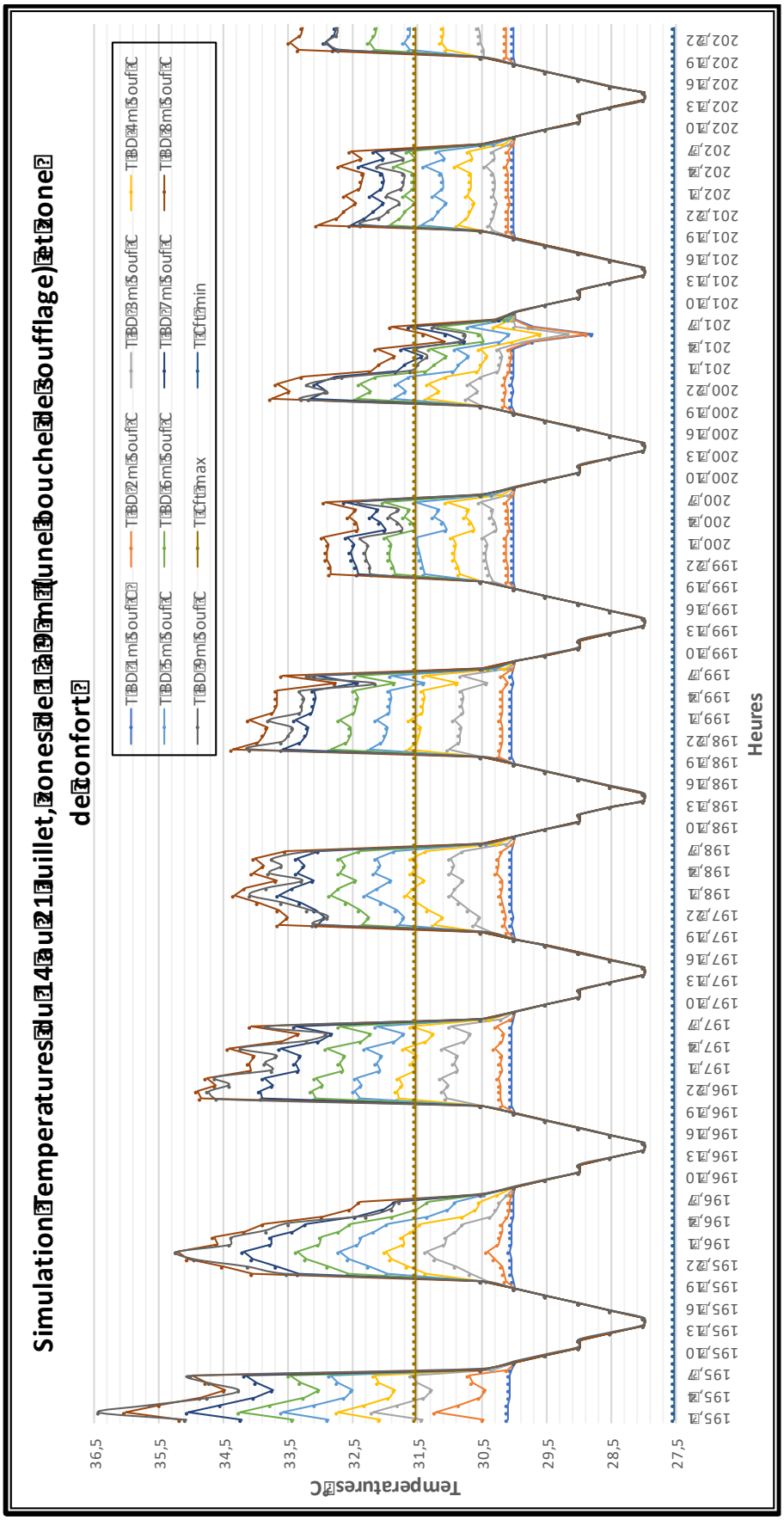


Figure 8.21: *Simulation des températures zones de 1 à 9 m du 14 au 21 juillet 2012, et zones de confort (une bouche de soufflage)*

Source: *Djouima (2019)*

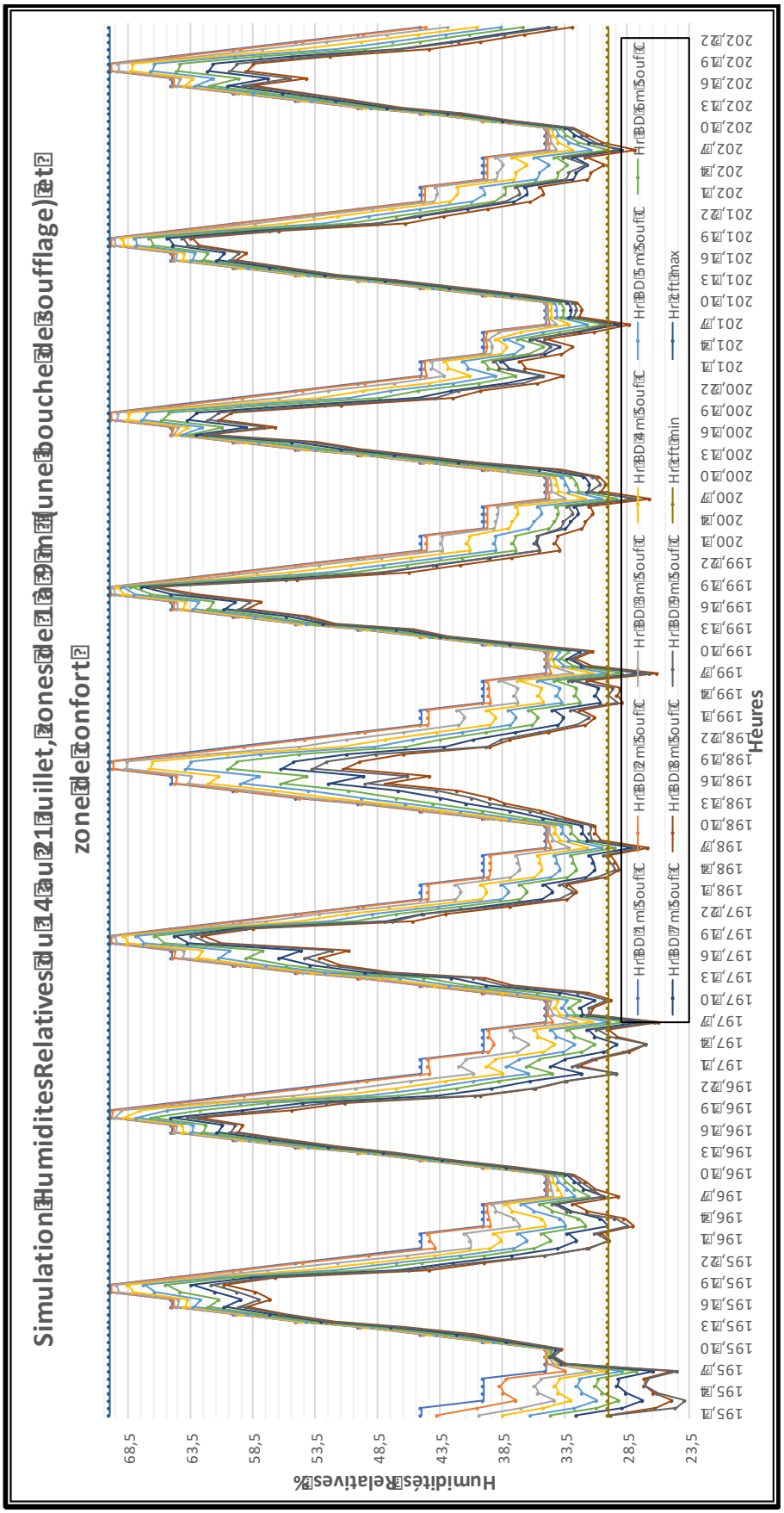


Figure 8.22*: simulation des humidités relatives du 14 au 21 juillet 2012, zones de 1 à 9 m et zones de confort (une bouche de soufflage)*

Source*: Djouima (2019)*

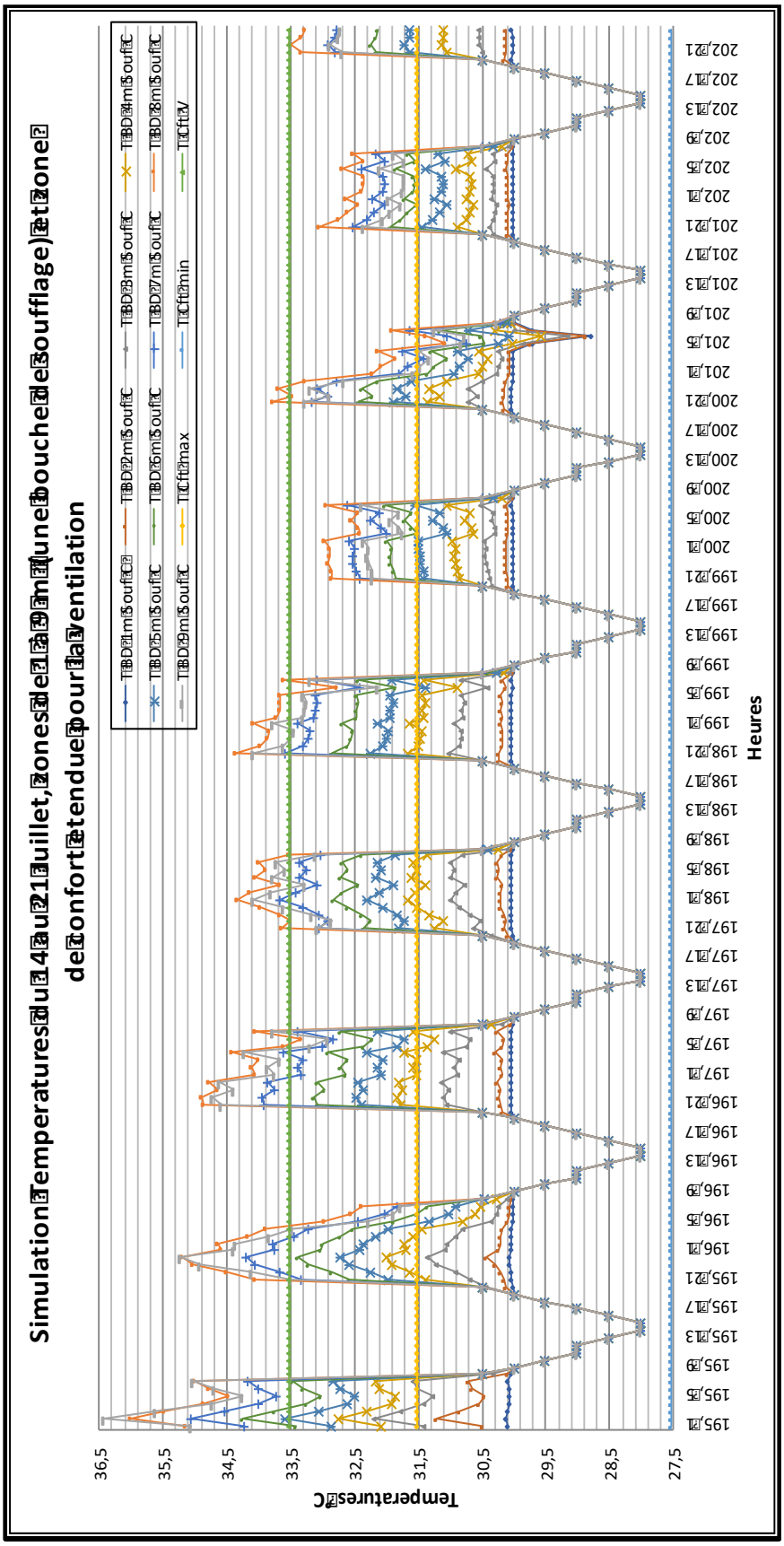


Figure 8.23*: simulation des températures du 14 au 21 juillet 2012, zones de 1à 9m (une bouche de soufflage) et la zone de confort étendue par ventilation*
Source*: Djouima (2019)*

Les résultats de tous les travaux effectués sur le prototype sont récapitulés dans le tableau 8.35:

Année	Expérimentation		Simulation Numérique		Limites De confort		Niveau	Étendu du rendement	Dim Espace (m)
	ΔT (°C)	ΔHR (%)	ΔT(°C)	ΔHR (%)	T_{intmoy}(°C)	HR_{intmoy}(%)			
2003	**6°C** ↘	**31%** ↗	**18,6°C** ↘	**62,6%** ↗		-	RDC	-	L=4m l= 4m h=3m
	Conduit humidifié		Conduit partagé en 49 S/ Conduits humidifiés		Dans les limites de confort		-	-	-
2009	**21,1°C** ↘	**65%** ↗	**Absence**	**Absence**	**26,75 °C**	**46,26 %**	Étage	-	L=11,35 l= 6,17m h=2.70m
	Conduit partagé en 49 sous conduits humides				Considérées confortables		-	-	-
2012	**22°C** ↘	**46,08%** ↗	**Absence**	**Absence**	Entre **27,53 °C** et **31,53 °C**	**49,4% à 1m** Alors que **HR_{ext} =8,1%**	Étage		L=11,35 l= 6,17m h=2.70m
	➢ T_{int} et HR_{int} correspondent aux limites de confort, aux normes ASHRAE 55-2009 et ISO7726 27,5°C≤T_{int}≤31,5°C; 30%≤HR≤70% ➢ Prototype assure le confort thermique sur toute la profondeur 8,82m où la T_{int} rentre dans la zone de confort étendue. La ventilation nocturne est indispensable ➢ Les vitesses de l'air sont comprises entre 0,2m/s et 0,8m/s. Elles sont très favorables à un rafraîchissement et un renouvèlement via un système passif.								
2018 **1reV** Sans conduits au 2 bouches de soufflage	-	-	-	-	Entre **27,53 °C** et **31,53 °C**	Entre **30%** et **70%**	**RDC**	29,58°C à 1m et 31,86°C à 9m	49,37% à 1m et 31,02% à 9m
	-	-	-	-	**IDEM**	**IDEM**	**Étage**	32,14°C à 1m et 33,46°C à 9m	49,37% à 1m et 39,53% à 9m
2e V Avec conduits humides entre bouches de soufflage	-	-	-	-	**IDEM**	**IDEM**	**RDC**	30,98°C à 1m et 29,54°C à 9m	40,06% à 1m et 49,01% à 9m
	-	-	-	-	**IDEM**	**IDEM**	**Étage**	32,93°C à 1m et 33,37°C à 9m	49,37% à 1m et 13,92% à 9m
	➢ Le taux de renouvellement d'air « ACH » simulé à l'intérieur de l'espace est de 4fois, reflétant une bonne ventilation naturelle favorable à l'assurance d'un confort thermohygrométrique. ➢ Le rafraîchissement évaporatif passif via le modèle développé diffère selon les deux variantes et la position du local RDC ou étage. Il est meilleur dans le cas de l'ajout d'une deuxième série de conduits humidifiés entre les deux bouches de soufflage. ➢ Le prototype offre un effet très appréciable au RDC dans le cas où elle est liée à deux espaces. ➢ Le prototype peut rafraîchir des espaces ayant des profondeurs et des volumes importants. ➢ L'association d'une deuxième solution passive telle que la ventilation nocturne est nécessaire afin d'évacuer l'excès de chaleur.								

Tableau 8.35*: L'étendue de la performance thermique du prototype adopté*
Source*: BOUCHAHM (2003) et DJOUIMA (2018)*

8.3.5 Performance énergétique

La performance énergétique due au prototype a été déterminée en calculant sa puissance frigorifique. En simulant le bâtiment avec et sans tour à vent, la puissance frigorifique liée au système est le résultat de la différence entre la puissance frigorifique avec et sans tour à vent. La puissance frigorifique a été convertie en puissance électrique équivalente. Le prototype était assimilé à un système de climatisation produisant la même puissance frigorifique que celle du prototype simulé.

Les résultats obtenus par le logiciel *Tas* de:

- la puissance frigorifique totale de la semaine simulée de la période estivale,
- la puissance moyenne mensuelle obtenue à travers le calcul de la moyenne horaire
- la puissance frigorifique moyenne pour toute la période estivale (la somme des trois puissances moyennes mensuelles relatives aux mois de juin à aout), sont indiqués dans le (tableau 8.36) ci-dessous:

Simulation Espace	Puissance frigorifique	Semaine KW	Moyenne horaire KW	Moyenne mensuelle
Sans Tour à Vent	Juin	4532,742	26,980	809,4
	Juillet	8486,199	44,198	1370,138
	Aout	5257,947	27,385	848,935
Avec Tour à Vent	Juin	8080,509	48,098	1442,94
	Juillet	13154,444	68,512	2123,872
	Aout	8395,885	43,728	1355,568

***Tableau 8.36**: Puissance frigorifique avec et sans tour à vent*
***Source**: Djouima (2019)*

Le résultat de la puissance frigorifique du prototype pour chaque mois est mentionné dans le (tableau 8.37) ci-dessous:

Puissance frigorifique		Semaine KW	Moyenne horaire KW	Moyenne mensuelle KW
Tour à Vent	Juin	3 547,767	21,118	15204,96
	Juillet	4 668,245	24,314	18089,616
	Aout	3 137,911	16,343	12159,192
	Moyenne période estivale		20,591	15151,256
	Total période estivale	**45453,768 KW**		

***Tableau 8.37**: Puissance frigorifique du prototype*
***Source**: Djouima (2019)*

8.3.5.1 Résultats de la puissance électrique équivalente

La puissance électrique équivalente du prototype a été calculée en fonction du coefficient de performance EER (Efficiency Efficacity Rate) en mode froid. Ce dernier varie d'une marque à une autre, généralement le EER est de 3 à 3,5. Donc la puissance restituée perd de 30 à 35 % de sa valeur. En calculant la moyenne des valeurs de EER des différentes marques installées en

Algérie (tableau 4.8), un EER moyen de 3 a été défini comme base de calcul de la puissance électrique équivalente du prototype. Les résultats des puissances électriques assimilées à la réduction de la température et l'effet de rafraîchissement sont de:

Puissance électrique moyenne horaire = Puissance calorifique /EER

Soit: 20,591/3= 6,86 KW.

Puissance électrique période estivale = Puissance calorifique /EER

Soit: 45453,768 /3=15151,256 KW.

	Marque	EER
Climatiseur	Thermocold	2,66
	Ciat	2,89
	Midea	3,01
	Carrier	3,03
	Toshiba	3,32
	Daiken	3,34
	FujiTsu General	3,66
	Haier	2,6
	Moyenne	**3,06**

Tableau 8.38*: EER des marques de climatiseurs en Algérie*
Source*: Djouima (2019)*

8.4 Estimation du coût et délais de réalisation

Le prototype adopté est composé de quatre murets de brique réalisés en double cloisons de 30cm d'épaisseur. La couverture de la tête est réalisée en béton armé, composée de morceaux de dalles préfabriquées en béton armé, facilitant ainsi sa réalisation et la mise en place des dalles, réduisant ainsi les délais de réalisation. Des linteaux préfabriqués sur place sont utilisés pour délimiter les ouvertures. Les conduits de la partie centrale tour (le tronc) sont réalisés en briques de dimensions15x30x20cm (à 12 trous) découpées en trois parties, pour obtenir des morceaux de briques de 05x10x20 (4 trous superposés). Le système d'évaporation passif est composé d'un maillage en tube polyuréthane PVC ø 15/21 plus accessoires (coude, T, vanne d'arrêt et système goutte-à-goutte).

En dernier lieu, afin d'avoir une estimation du coût de réalisation, un devis quantitatif et estimatif des travaux a été élaboré via son dossier d'exécution. Lors de la mise en œuvre en 2007, le prototype a couté 100.000,00DA (prix des matériaux de construction et de la main d'œuvre). Ce montant est dérisoire par rapport au coût global de la construction. Vu la consommation importante en énergie électrique en climatisation, ce prix sera amorti dans un délai très court. La réévaluation de ce montant devrait être effectuée en fonction de la variation des prix unitaires des matériaux et de la main d'œuvre (tableau 8.39).

Devis quantitatif et estimatif du prototype				
Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire	Montant en DA
Dalle en BA de dimensions 2x2x0,12m^3	**m^3**	**0,48**		
Linteau en BA de dimensions 1.2x0.3x0.1m^{3}pour bouche d´entrée air	**m^3**	**0.108**		
Briques de 08 trous pour mur de 10cm d'épaisseur	**Pièce**	**430 unités**		
Briques de 12 trous pour mur de 15cm d'épaisseur	**Pièce**	**1100**		
Ciment CPJ	**Sac**	**20 Sac de 50kg chacun**		
Camion de sable	**3, 5 tonnes**	**1 Camion**		
Barre de ø 12 en acier	**Barre**	**4 barres**		
Enduit extérieur en mortier de ciment épaisseur 2,5cm après finition.12	**m^2**	**20,2m^2**		
Peinture vinylique appliquée en 2 couches	**m^2**	**17,05m^2**		
Faïence	**m^2**	**4m^2**		
Revêtement en dalle de sol	**m^2**	**1m^2**		
Grille d'aération de l'entrée d'air de dimensions 1x1m^2	**Unité**	**3**		
Grille de sortie d'air (soufflage) de dimension 0.3x0,3m^2	**Unité**	**1**		
Conduite trop-plein en acier galvanisé	**Ensemble**	**Ø80 de 0.8ml**		
Conduite en PVC ø 15/21, plus accessoires : coude, T, vanne d'arrêt et système goutte à goutte	**ml**	**30 ml**		
Main d´œuvre	**01 Maçon et 01 Plombier**			

Tableau 8.39: *Devis quantitatifs et estimatifs du prototype adopté dans les logements.*

La durée de vie, les faibles frais de maintenance annuelle sont parmi les paramètres encourageants l'utilisation de cette technologie de rafraichissement passif en réduisant son coût. En outre, la production de masse du modèle et les améliorations apportées (tête et système de rafraîchissement) dans leurs fabrications vont contribuer à l'amélioration de cette technologie d'actualité, la réduction de son prix de sa mise en œuvre et par conséquent sa vulgarisation. La modélisation est un axe important qui contribue à la conduite d'études plus précises et adaptées à leurs sites d'implantation avant toute réalisation.

8.5 Suggestions d'amélioration de l'efficacité du prototype

Malgré les performances du prototype adopté, ce dernier reste dépendant de la vitesse et de la direction du vent. Pour pallier à ce problème, il est impératif de recourir à un système hybride. L'incorporation d'un ventilateur fonctionnant à l'énergie solaire permettra un débit d'air continu et constant toute au long de la journée. Cela rendra l'efficacité thermique meilleure. La combinaison de ce système à d'autres solutions passives telles que la cheminée solaire et le puits canadien (favoriser l'utilisation de la géothermie et l'énergie solaire) contribuera aussi à renforcer l'effet de tirage thermique et de la capture du vent. Penser et concevoir une construction écologique intégrant au maximum les principes et procédés bioclimatiques assureront un confort optimal à l'intérieur.

Conclusion

L'acte typologique effectué sur l'habitat intermédiaire à Oued Souf et Biskra à climat aride et semi-aride respectivement, a contribué à la définition, à partir des types a posteriori, des types a priori qui ont contribué à l'accomplissement de l'acte de conception de nouveaux types de logements. Les typologies réalisées sont classées selon plusieurs paramètres liés aussi bien à la conception qu'au mode de vie des habitants à savoir: la forme urbaine, l'orientation, la hauteur (nombre d'étages), l'usage, le type de logement (F2, F3, F4, F5 et F6) simple ou duplex, la hauteur sous plafond, la superficie du logement, l'accessibilité aux logements, l'organisation spatiale et le nombre de logements desservis par espace intermédiaire partagé.

Deux typologies premières en Algérie ont été faites dans ce chapitre et sont issues de la revue de la littérature, de l'analyse socioéconomique et environnementale, de l'analyse syntaxique et de l'analyse typologique effectuées dont la première est une classification de l'habitat intermédiaire largement répandu au Sud algérien et la deuxième basée sur la précédente vers une nouvelle typologie.

L'examen de différentes possibilités d'introduire la tour comme élément architectural de ventilation naturelle et de rafraîchissement passif permet d'offrir aux architectes et concepteurs chercheurs un guide de mode d'application de ce système en planning spatial. Et par conséquent, concevoir des logements semi-collectifs de nos jours, dotés de confort thermique, intégrés dans leurs régions et durables (ne consommant qu'un minimum d'énergie).
Le prototype adopté dans ce travail d'une conception simple, fiable, fonctionnelle avec un coût de réalisation et d'entretien faible, dotée de peu d'installation, présente une solution environnementale durable prometteuse et un choix approprié pour la réduction de la consommation de l'énergie électrique. Ce prototype peut être intégré aussi bien dans le secteur résidentiel que commercial.

La production et la fabrication en masse des tours à vent améliorées et bien intégrées dans le logement contribuent à la vulgarisation de cette technologie.

Ces éléments d'analyse sont une des clés aux données pertinentes de nos questions de recherche. Ils permettent d'orienter les inputs avant de se lancer dans l'exécution des projets. En illustrant un lien entre la recherche et le design, cette étude tente de créer de nouveaux horizons pour les professionnels de la pratique architecturale ainsi que les universitaires dans l'enseignement de l'architecture dans le domaine de ventilation et de rafraîchissement passif.

Conclusion générale et perspectives

Conclusion générale

Notre étude s'inscrit dans l'ensemble des recherches académiques qui aspirent à l'amélioration du confort intérieur des bâtiments dans les régions chaudes arides et semi-arides au Sud algérien. Elle est consacrée aussi bien à l'évaluation des systèmes de ventilation naturelle et de rafraîchissement passif qu'à la vérification s'ils sont réellement appropriés actuellement dans le secteur résidentiel. Ce travail se veut d'évaluer qualitativement l'impact de la tour à vent comme un système ingénieux et durable de ventilation naturelle et de rafraîchissement passif en habitat intermédiaire au sud à climat chaud et sec.
Aujourd'hui, éviter la climatisation est un enjeu majeur du développement durable urbain et architectural. Trouver des alternatives à la climatisation est devenu une nécessité.

De nombreuses technologies vernaculaires ancestrales sont efficaces énergétiquement et durables, bien que certaines d'entre elles soient actuellement plus fonctionnelles grâce aux situations de changement culturel et écologique. Elles peuvent être intégrées, en apportant des modifications simples à conception contemporaine, mais la majorité pourrait difficilement être appliquée sans effectuer de grands changements et les adapter aux besoins actuels de l'usager. Outre les raisons citées, avoir plus de liberté dans la conception des constructions, la disponibilité à faible coût et la facilité d'installation des climatiseurs, les constructeurs ont abandonné les systèmes de rafraîchissement passif au profit des installations de l'air conditionné. Aujourd'hui, ce n'est pas simple d'adopter des solutions venant du passé malgré les inconvénients qu'apporte le système de refroidissement actif.

La tour à vent comme remède architectural et environnemental aux contraintes climatiques a constitué à travers l'histoire un régulateur du microclimat à l'intérieur avec un investissement d'énergie propre. Elle a été délaissée et critiquée en nos jours particulièrement au Sud algérien. Son abandon s'est fait aussi bien au profit des modèles réputés plus urbains, mieux ancrés dans la tradition occidentale qu'à l'utilisation de l'air conditionné. Par ses qualités intrinsèques (saine, durable, économique, facile à entretenir et appropriée au climat désertique), elle mérite des applications plus étendues et un réajustement adapté en habitat.

Pour entamer cette recherche et mettre en valeur les raisons réelles qui ont conduit à la faillite de ce dispositif écologique en habitat au sud (Ouargla et Ouled Djellal) malgré son rendement thermique prouvé par BOUCHAHM (2003) et TORKIA (2009), nous avons exploré trois causes du refus d'ordres: socioculturel, conceptuel, lié à la tour et à l'habitation (étroitesse du

logement et mauvaise disposition de la tour) et économique (restriction du budget et prolongation des délais prévisionnels de réalisation). La validation des hypothèses est faite tout au long de ce travail où des techniques d'analyse sont appliquées et des évaluations qualitatives et quantitatives sont établies.

Le parcours de recherche a été divisé en deux parties: théorique et pratique qui ont mené le présent travail à ses objectifs tracés et de vérifier les hypothèses proposées. La 1ère partie consiste en une revue de la littérature récente pertinente sur la tour à vent traditionnelle et moderne dans le monde et en Algérie. La 2e est une combinaison des deux parties: théorique (revue de la littérature) et pratique (travail sur terrain).

Dans la 1re partie théorique, nous avons passé en revue, les champs théoriques liés à la tour à vent ainsi qui les concepts en jeu impliqués dans notre recherche.

Le premier chapitre a abordé quelques notions de base sur la tour à vent traditionnelle, ses caractéristiques que semblent essentielles pour comprendre, cerner et maitriser ce système. Comme les tours à vents étaient l'un des résultats des interactions culturelles, sociales, économiques et notamment environnementales des sociétés humaines depuis l'aube de l'histoire jusqu'à l'époque contemporaine, ses valeurs ont été évoquées par la suite. Il a été conclu que les tours à vent étaient parmi les moyens les plus importants par lesquels nos ancêtres refroidissaient leurs maisons en climat chaud et humide ou chaud et aride. Elles constituaient dans l'architecture traditionnelle du monde médiéval islamique l'élément principal dans la formation du caractère architectural, de la ligne de ciel et la cause de la diversité formelle dans la masse architecturale**.** Par la forme élancée de la tour et la ventilation ou la fraîcheur produite par ce système, ce dernier était une source d'inspiration pour les poètes et les voyageurs. La tour à vent a débuté comme un élément purement utilitaire qui répondait aux besoins climatiques, puis avec le temps son rôle a été transformé en élément visuel qui satisfaisait le besoin esthétique symbolique. Elle était un moyen exprimant par sa taille, son nombre et ses ornementations la classe sociale des propriétaires. Sur le plan moral et religieux, la tour à vent est conçue pour répondre aux aspirations morales et sociales telles que la préservation de la famille, le respect de la vie privée et le respect du voisin, et non seulement pour subvenir aux besoins climatiques environnementaux. Elle était considérée comme une ruse architecturale servant à garder la femme à l'intérieur dans des conditions favorables et à éviter le dommage de vis-à-vis que la fenêtre peut causer surtout lorsque les façades des habitations faisant face aux équipements. Quant à sa valeur environnementale, la tour à vent représente un système ingénieux durable, sain, non polluant de l'environnement,

contribuant à la réduction des émissions des gaz à effet de serre et à la fourniture d'un confort thermique à l'intérieur.

Le développement technologique et l'apparition des systèmes de refroidissement actifs et autonomes ont des retentissements néfastes sur la tour à vent. Cette dernière est considérée comme un symbole reflétant un mode de vie lent, sous-développé en déclin, elle fait rappeler aux gens la dureté de la vie vécue dans le passé. Son rendement est limité, car elle dépend de la vitesse et la direction du vent, elle n'est pas adaptée aux besoins contemporains. Par contre, le climatiseur a permis de modifier, contrôler et réguler les conditions climatiques à l'intérieur du local et par conséquent a augmenté d'une façon plus ou moins satisfaisante le confort thermique. Il a également permis plus de flexibilité dans la conception des bâtiments, et simultanément l'usage et les pratiques exercées dans l'espace, les habitudes et les modes de vie des individus ont changé.

Ces dernières années, avec la prise de conscience de l'épuisement rapide des ressources d'énergies non renouvelables et les incidences environnementales, il s'est avéré nécessaire de cesser de consommer d'une façon excessive de ces énergies polluantes grandes émettrices du CO2 dans le conditionnement d'air (nocif pour la santé), une nouvelle attention a été portée à ce système. Ce nouvel intérêt a beaucoup à apprendre du patrimoine, mais les solutions purement traditionnelles semblent assez dépassées, difficiles à appliquer et à être acceptées en nos jours.

Le 2^{e} chapitre a été consacré à la tour à vent contemporaine dans le monde et en Algérie comme remède aux défaillances de la tour à vent traditionnelle classique. Le nouveau design de la tour contemporaine équivalente de la tour conventionnelle est équipé de Louvers (lamelles métalliques mobiles) contre les intempéries, un écran anti-impureté et d'une série de Dampers régulateurs de débit d'air soufflé via une ou plusieurs bouches de sortie d'air au niveau du faux plafond. Son conduit est devenu plus court et esthétique, mais en contrepartie l'effet de transfert de chaleur a été réduit, chose qui est essentielle en climat chaud aride et semi-aride. Outre la variété de formes et la flexibilité du design, la tour à vent contemporaine offre un haut niveau de ventilation sans compromettre les performances et un refroidissement nocturne important grâce aux Dampers. Elle est devenue plus au moins acoustique, anti-incendie et totalement sans énergie dans son mode de fonctionnement et très peu de maintenance.

Les récentes recherches ont introduit un nouveau contexte à la tour à vent traditionnelle, elle est devenue vis-à-vis de sa performance plus qu'un système de ventilation naturelle et de

rafraîchissement passif, un dispositif d'éclairage naturel, de chauffage et de renouvellement d'air de qualité. La tour contemporaine est devenue opérationnelle hiver comme été.

Dans cette perspective, les études expérimentales ou numériques menées sur les tours à vent ont abouti à plusieurs modèles d'analyse proposés à travers le monde. Ces modèles ont prouvé des performances encourageantes de ce système.

Selon la performance en rafraîchissement passif**,** beaucoup d'insuffisances de la tour à vent conventionnelle ont été atténuées dans les modèles de BAHADORI et DEHGHANI-SANIJ (2014). La technique de refroidissement évaporatif a été discutée, révisée et développée. Les améliorations ont été apportées sur la tête par l'utilisation des Dampers ou Pads (des rideaux unilatéraux en matériaux légers tels que le plastique) et sur la colonne par l'augmentation du nombre de sous-conduits en terre cuite (pour une capacité de stockage chaleur plus importante). Pour le système de rafraîchissement, deux modèles de tour à vent ont été mis en exergues: avec colonnes mouillées et surfaces mouillées (avec pads de toile de jute humides placés au niveau de la tête). Les performances des deux prototypes proposés ont été comparées par rapport à un modèle traditionnel après construction. Les résultats validés analytiquement, numériquement et expérimentalement ont montré que la tour à vent avec colonnes humides est relativement plus performante en refroidissement évaporatif par rapport au modèle avec pads et que l'air sortant des Badgirs avec surfaces mouillées et colonnes mouillées a présenté une température plus basse et une humidité relative plus élevée que celles de la tour traditionnelle. Tandis que cette dernière a connu le taux de débit d'air le plus élevé en raison de la plus baisse pression. La tour à vent équipée de la toile de jute est plus avantageuse en refroidissement évaporatif par rapport aux autres modèles vu son coût faible. Selon Bahadori et Dehghani-sanij, la vulgarisation de ces deux modèles colonnes humides ou pads de toile de jute dans les régions chaudes et arides peut apporter d'importantes économies d'énergie électrique pendant les mois chauds.

Selon la ventilation naturelle, GOUDARZI et ses collaborateurs (2015) ont étudié théoriquement et expérimentalement une nouvelle conception de tour à vent productrice de l'énergie électrique via des turbines à tambours comme une alternative aux techniques conventionnelles. Après le développement d'un modèle mathématique basé sur les équations de Navier Stocks et la construction d'un prototype à échelle 1/8, de différentes configurations de tour à vent ont été testées en changeant le type de toit (plat, incliné et pointu à quatre quadrants) ainsi que le nombre et la section de tuyère (accélérateur de l'écoulement d'air par diminution de la section). Il a été conclu que la tour à vent à quatre quadrants ayant un toit

plat rotatif et une seule tuyère d'une section carrée à l'entrée et circulaire à la sortie d'air est constatée meilleure dans les régions où la vitesse du vent est faible, car elle permet de capturer l'air de toutes les directions malgré qu'elle soit coûteuse et nécessite un algorithme de contrôle pour assurer le mouvement d'air. La configuration de tour à quatre quadrants ayant un toit incliné pointu à deux versants et équipée d'une mono-tuyère d'une section carrée à l'entrée qui change progressivement à une section transversale circulaire à la sortie, présente une grande efficacité et un meilleur rendement en ventilation naturelle par rapport aux autres configurations multi-tuyères. Le coût de fabrication de ce prototype a été estimé avec une configuration à une ou deux turbines, et le montant a été très encourageant compte tenu des avantages qu'il offre (conception simple, fiable, maintenance peu coûteuse et peu d'installation). Ce modèle offre une solution environnementale durable prometteuse, un choix approprié pour la production de l'énergie électrique qui peut être applicable dans le secteur résidentiel et commercial.

Selon le système combiné (cheminée solaire, ventilation, renouvellement et rafraîchissement), les inconvénients dus à la grande hauteur, le taux d'humidité élevé et le dysfonctionnement du système en pleine canicule ou à faible vitesse du vent ont été pris en charge dans l'étude de BACHELOR JAZAYERI & BACHELOR GORGINPOUR (2011). Le prototype proposé est une tour à vent solaire dont les solutions d'améliorations apportées sont une toile protectrice en cellulose ou en jute mouillée comme premier humidificateur d'air et un ventilateur qui se nourrit de l'énergie produite par le panneau solaire placé avant les Dumpers comme deuxième technique de refroidissement. Des clapets mitigeurs (Dampers) sont installés entre le ventilateur et la bouche de soufflage pour contrôler automatiquement le débit d'air pénétré et son taux d'humidité, ce qui réduit à nouveau la température de l'air avant de le souffler dans la pièce. Ce modèle fonctionne comme capteur en présence du vent, mais lorsque le vent souffle à faible vitesse ou en pleine canicule où la température de l'air à l'extérieur atteigne des valeurs très élevées, le système hybride (ventilateur-Dampers) déclenche automatiquement. En s'appuyant aux résultats de certaines recherches antérieures très répandues dans ce domaine ayant des caractéristiques physiques similaires au modèle proposé, BACHELOR et al ont validé les performances de leur modèle en termes de taux de renouvellement d'air et de réduction de la température, de taux de dioxyde de carbone émis et de qualité de l'air intérieur. L'écart de température était de 1,5°C diurnes et de 3°C nocturnes. De plus, le niveau de CO2 a été plus faible dans la pièce ventilée par la tour à vent par rapport à la même pièce ventilée uniquement par des fenêtres.

Quant au modèle de DEHGHANI-SANIJ et ses collaborateurs (2015), l'étude a proposé

une nouvelle conception de tours à vent en ventilation naturelle avec tête pivotante et orifices entrée-sortie d'air mobiles. Les configurations proposées du modèle ont plusieurs propriétés importantes notamment: installation facile, faible coût de maintenance, fonctionnement selon une technologie simple, possibilité de faire pivoter et fixer la tête dans la direction des vents dominants. Les techniques de refroidissement utilisées dans ce modèle sont passives (sans aucune utilisation de l'énergie électrique) en combinant la tour soit avec une cheminée solaire, soit avec un dôme ou avec une deuxième tour placée côté sous vent. L'intégration des matériaux transparents dans la fabrication de ce modèle a permis la pénétration d'une grande quantité de lumière à l'intérieur du local.

Pour obtenir un modèle de tour à vent destiné au secteur résidentiel dans les régions à climat chaud et sec dont la configuration géométrique est optimale, une enquête a été réalisée par YAVARINASAB et MIRKHALILI en (2013) sur 50 cas de tours dans la province de Yazd. L'examen de la relation entre l'espace doté de tour à vent et les dimensions de cette dernière (longueur, largeur et hauteur) a été achevé par l'élaboration des graphes. L'évaluation du coefficient de corrélation en traitant ces graphes a permis la détermination d'une équation dans laquelle les dimensions de la tour à vent sont leurs variables. Les résultats de cette étude aident à mieux concevoir ce dispositif avec toutes ses dimensions.

L'effet de l'espacement entre les tours à vent quadri directionnelles commerciales de dimensions (1,2x1,2x1,2m^3) et le type d'agencement en parallèle ou en quinconce sur les taux de ventilation et sur la distribution de débit d'air intérieur dans les espaces intérieurs, ont été discutés par JOHN KAISER et ses collaborateurs en (2014). Des simulations CFD avec ANSYS Fluent 14 et des expérimentations ont été réalisées en soufflerie sur un prototype de tour à vent à échelle 1/10 ventilant une salle de classe de 5x5x3 m^3. Le taux de débit d'air pénétrant dans les tours en parallèles et décalées est maximal lorsque le vent souffle à un angle de 45°. Lorsque l'angle augmente de 90°, le modèle d'écoulement pour la disposition en parallèle devient plus homogène, ce qui augmente l'écoulement à travers la tour sous le vent. Les débits de ventilation pour les tours parallèles espacées de 3m, 4m et 5m, n'étaient pas suffisants pour fournir un débit régulé de 10 l/s par occupant pour une vitesse de vent de 3m/s en le comparant avec le règlement britannique de construction de 2010. Alors que les débits de ventilation pour les tours décalées de 1 mètre les uns des autres et qui sont espacés de 3m, 4m et 5m étaient tous plus élevés que les niveaux requis par la règlementation du bâtiment. La disposition en quinconce réduit efficacement la réintroduction de polluants par rapport à la disposition parallèle. Une plus grande propagation et circulation de l'air intérieur est produite à l'intérieur de la salle avec des tours à vent décalées.

Peu d'études ont été effectuées sur ce sujet en Algérie dont la majorité est focalisée au sud à climat aride et semi-aride. Les résultats obtenus des études analysées de BENAMARA (1987), BOUCHAHM (2003), DJOUIMA (2008), DERRADJ (2008) et TORKIA (2009) prouvent l'efficacité énergétique de ce système.

Les nouveaux modèles et les nouvelles conceptions des tours à vent contemporaines hybrides contribuent au développement de ce système vernaculaire pour subsister, être intégré de nouveau dans la conception d'une façon appropriée aux besoins actuels de la société. La tour contemporaine reste un champ ouvert d'expérimentation qui mérite d'être explorée et adapter.

Afin de réussir l'adoption de ce système en Algérie notamment dans le secteur de l'habitat tout en évitant ses défaillances perçues et en exploitant les résultats des recherches menées dans ce domaine, un modèle d'analyse systémique a été développé dans le dernier chapitre de la partie théorique. Dans le chapitre 3, les approches les plus pertinentes auxquelles nous faisons appel et dans lesquelles se situent nos contributions sont approchées. Le fondement épistémologique du modèle analytico-systémique adopté a été discuté à travers plusieurs niveaux de lecture: socioéconomique et environnementale, syntaxique spatiale et typologique conceptuelle.

L'approche typologique permet de définir les formes persistantes et de leurs représentations prégnantes dans une société spécifique, elle sert à effectuer un classement des variations typologiques des structures de l'habitat, selon deux dimensions diachronique (évolution dans le temps) et synchronique (évolution par rapport à la position). La typologie des bâtiments rafraîchis passivement a permis de comprendre l'impact des systèmes de rafraîchissement passifs sur l'architecture et de classer les bâtiments réalisés selon la volonté du concepteur de manifester la présence de ces systèmes de refroidissement sur cinq niveaux (allant de fournir de grands efforts pour dissimuler ces dispositifs à la volonté de les mettre en évidence). Malgré que le processus typologique rende possible l'analyse des différentes structures de l'habitat et leur évolution dans le temps suivant une certaine logique dans une continuité des relations, il reste critiqué sur plusieurs points dont les plus importants sont: la séparation entre le type et l'individu, le rapprochement plus de la standardisation et par conséquent le projet architectural devient un processus machinal.

La syntaxe spatiale a été empruntée pour définir les attributs indispensables à l'adaptation d'un tel système de rafraîchissement au caractère « confus et complexe » des phases préliminaires de la conception. Les types et les caractéristiques des espaces dans lesquels la tour peut être intégrée avec succès dans l'organisation spatiale de la maison dans le

passé et le présent sont déterminés via cette démarche. La syntaxe spatiale permet également d'évaluer qualitativement et quantitativement l'espace de la tour à vent ou bien l'espace doté de ce système. Malgré ses contributions importantes dans la mise de l'accent sur la reproduction sociale, la coprésence et l'incarnation de la pratique, son épistémologie hybride; son concept relationnel de l'espace, et la réaffirmation de l'espace comme dimension vivante, cette approche a été critiquée en quelques points relatifs aux relations entre société et espace tels que: la réduction de la pratique sociale en mouvement, l'interaction humaine en interfaces sociales et vice versa, et l'acteur en présence corporelle, la primauté de la syntaxe sur la sémantique et le problème du temps dans la structuration de l'espace.

L'approche socioéconomique et environnementale comme démarche analytique empirique a été adoptée dans l'élaboration de notre modèle. Elle repose sur quatre niveaux d'intégration des dimensions socioéconomiques et environnementales: le niveau conceptuel, le niveau de la démarche et des outils, le niveau de la mise en œuvre des dispositifs de surveillance dans les observatoires et niveau de l'accompagnement de la décision. Elle a été exploitée dans l'évaluation quantitative et qualitative des tours à vent réalisées au Sud algérien particulièrement à Ouled Djellal. Cette approche présente beaucoup de contraintes sur plusieurs points à savoir: la multiplicité des facettes de la relation environnement-société, la prise en compte insuffisante de la réalité environnementale, la généralisation (im)possible des niveaux de vie occidentaux à la planète, cette approche est généralement identifiée par l'expression « standards and prices » (normes et prix), la complexité de la réalité environnementale et le recours à l'approche systémique pour l'appréhender.

L'approche systémique est une méthodologie apte à évaluer le bâtiment et ses dispositifs architecturaux (la morphologie, la conception bioclimatique, l'usage, le système de rafraîchissement et l'éclairage naturel) comme s'ils étaient une machine ou un ensemble. L'évaluation des bâtiments rafraîchis passivement dans cette approche ne s'est pas limitée à une simple analyse cartésienne, mais a pris en considération diverses composantes telles que l'usage, le fonctionnement, l'ingénierie et la composante sociale. Elle s'appuie sur les caractéristiques du bâtiment afin de construire un bâtiment-système qui par son fonctionnement actif puisse réduire les surchauffes en été sans recourir à la climatisation et par conséquent assurer le confort thermique des usagers.

Concevoir un bâtiment économe en énergie est une démarche globale, qui prend en compte plusieurs facteurs: l'environnement, l'architecture, les changements sociaux, économiques et techniques, et bien évidemment l'homme. Concevoir un habitat semi-collectif

doté de tours à vent au Sud algérien à climat chaud et sec nécessite une maîtrise des aspects liés à la société, à la conception architecturale, à la performance énergétique, à l'économie et à l'environnement. À partir de cette vision, la complexité du sujet traité est la principale raison de l'adoption de l'approche analytico-systémique qui se construit sur une complémentarité assumée entre analytique et systémique. Le modèle d'analyse systémique développé a pris en compte la complexité des activités de conception bâtiment/ tour à vent, la nature complexe des connaissances à construire dans le modèle et la dépendance des connaissances des acteurs, du contexte de leurs développements et du contexte de leur utilisation. La complexité, le système, la globalité et l'interaction sont les concepts de base prises en compte dans la construction épistémologique d'un modèle d'analyse global et détaillé combinant les approches d'analyses suivantes socioéconomique et environnementale, syntaxique spatiale et typologique conceptuelle.

L'enquête sur l'expérience algérienne dans le domaine de la tour à vent au sud a été discutée largement dans le 1er chapitre de la partie pratique qui représente l'étape principale dans toute recherche scientifique. C'est à travers cette partie qu'on a pu affirmer ou infirmer nos hypothèses. La partie pratique a été divisée en cinq chapitres distincts: le premier est consacré à l'enquête socioéconomique et environnementale sur les tours à vent au Sud algérien cas d'Ouled Djellal, le deuxième à l'analyse syntaxique, le troisième à l'interprétation des résultats, le quatrième à l'analyse typologique de l'habitat intermédiaire à Biskra et Oued Souf et le dernier au développement des typologies et performances du prototype adopté.

Toutes les recherches effectuées sur la tour à vent en Algérie ont été focalisées sur la perception des académiques notamment sur l'aspect thermique, la question de la perception des usagers en termes de commodité, convenance, et acceptation culturelle est devenue impérative pour dévoiler les causes réelles du refus de ce système, objectif du quatrième chapitre. Les différents aspects de l'approche socioéconomique et environnementale liés à la tour à vent réalisée à Ouled Djellal ont été traités dans le chapitre 04 à savoir: la perception et l'acceptation socioculturelle (au moyen de l'enquête sociologique et l'observation directe non participative), le confort thermique et la performance énergétique et économique du système (via l'emploi de l'approche par base de connaissances).

Trois techniques d'investigation ont été adoptées pour s'interroger sur la question du confort thermique de l'usager et commodité du système à savoir: l'observation ouverte in situ, l'entrevue non participative et le formulaire de questions dont les résultats ont été traités par le

logiciel «*Sphinx Plus2*». La cité des 80 logements sociaux semi-collectifs à Ouled Djellal a été sélectionnée et analysée comme cas d'étude représentatif. Les résultats des trois techniques d'investigation ont confirmé le rejet de la tour à vent par les habitants. Ce rejet a pris plusieurs formes et types observés aussi bien à l'extérieur (surélévation importante de l'acrotère, fermeture de l'orifice d'entrée air, disparition totale dans certains logements, transformation en une cheminée pour l'évacuation des gaz carboniques et gaine pour passage câbles) qu'à l'intérieur (fermeture de l'orifice de soufflage, transformation en placard de rangement ou suppression totale de la gaine).

Concernant l'aspect du confort thermique de l'usager, l'étude de Torkia (2009) notamment la campagne de mesure et la simulation numérique ont confirmé le pouvoir rafraîchissant important de la tour d'Ouled Djellal, mais il est insuffisant. La sensation d'inconfort et d'étouffement était dominante à l'intérieur de Wastdar. Ce dernier reste toujours en dehors de la limite de confort de la température, l'humidité relative et la vitesse de l'air recommandée par la réglementation (ASHRAE 55 – 1992; DIN 1946 et NBN EN 13779-2004).

Concernant l'aspect de la performance énergétique et économique due à la tour à vent d'Ouled Djellal responsable de l'effet de rafraîchissement évaporatif passif et l'abaissement de la température à l'intérieur de Wastdar, aucune étude n'a encore été réalisée.

Tous les résultats des aspects analysés ont dévoilé les causes réelles de ce refus qui sont dues à des erreurs banales, des incompatibilités entre usage et système de contrôle de la tête, les modifications, les décisions administratives et politiques sans étude approfondie au préalable, la mauvaise réalisation ou à l'entretien du système. D'autre part, il a été conclu que ces problèmes sont plus évidents et ressentis quand la distance entre décideur, architecte-concepteur et utilisateurs est grande. Les rejets de la tour issus de cette analyse sont liés à:

- L'efficacité thermique limitée par rapport aux autres moyens de refroidissement contemporains (climatiseur);
- Le manquement de la maturation de la conception architecturale de la tour à vent;
- La connaissance mal approfondie de l'utilité d'un tel système ingénieux sain, rentable et durable intrus à notre mode de ventilation naturelle.
- Les tarifs subventionnés de l'énergie dans les zones sahariennes par l'état
- Le programme de logement doté de tour à vent à Ouled Djellal n'était pas conforme à la règlementation algérienne du point de vue programme surfacique, le type de logement proposé et la mauvaise répartition du nombre de logements par type.

Les résultats de l'enquête sociologique ont prouvé l'acceptation culturelle de ce nouvel élément en Algérie ancien dans son pays d'origine (taux d'acceptation par les habitants du système avec oui et oui sous réserve était de 56,82% enquêté dont 38,64% oui sans réserve). **La première hypothèse a été infirmée,** car la tour à vent n'est pas méconnue dans cette région, le refus est lié à d'autres déficiences d'ordre conceptuel et technique. La tour à vent telle qu'elle est conçue et réalisée dans les années 80 ne convient plus aux besoins de confort actuel de l'habitant (utilisation de la climatisation conventionnelle). De plus, les désirs de confort des usagers évoluent très vite et le confort est en grande partie culturel et dépend de paramètres sociaux et psychologiques. Toutes ces contraintes ont constitué un obstacle à franchir quant à sa généralisation dans la région.

Tous ces facteurs ont fait en sorte que cette expérience soit unique et abandonnée, malgré les avantages qu'elle offre. Quant à l**a 1re partie de la 2e hypothèse liée** à l'aspect **architectural conceptuel**: l'étroitesse des logements due à **une insuffisance de la surface habitable a été confirmée**. L'emplacement de l'espace d'implantation en organisation spatiale a été traité dans les chapitres suivants.

Afin de remédier à cet échec, en s'inspirant des enseignements tirés des modèles d'habitations dotées de tour à vent à travers le monde islamique, une analyse syntaxique a été adoptée dans le chapitre 5 sur un échantillon de 28 maisons. Les critères de choix quant à l'intégration de ce dispositif dans ces maisons étaient l'efficacité énergétique des tours, l'emplacement de la tour dans l'organisation spatiale de la maison, la période de réalisation (maison ancienne ou récente) et l'effet de la diversité culturelle (variété de pays islamiques (7 pays y compris l'Algérie)). Le cas algérien a été sélectionné pour faire surgir les défaillances conceptuelles spatiales algériennes. L'échantillon d'étude a montré que la tour à vent a tout d'abord existé dans les maisons des riches et des nobles (Bek, Emir, grands commerçants) auparavant comme mode de ventilation et de rafraîchissement. Elle s'est répandue après par le biais des échanges commerciaux aux deux rives du golfe persique, et par les échanges culturels aux deux rives de la mer rouge, allant jusqu'au grand Maghreb (Algérie). L'analyse a porté sur les trois aspects principaux suivants:

- L'aspect architectural spatial syntaxique de l'espace tour à vent ou l'espace doté de la tour à vent,
- L'aspect fonctionnel de cet espace lié au mode de vie socioculturel
- L'aspect environnemental (la performance thermique de la tour et de son principe de fonctionnement).

Les résultats ont été présentés dans le sixième chapitre où la syntaxe spatiale nous a permis de décoder les formations spatiales et leurs impacts sur l'activité humaine de l'espace tour à vent ou de l'espace doté de ce dispositif via la carte gamma (pour l'évaluation qualitative) et le logiciel «*Agraph*» (pour l'évaluation quantitative des propriétés syntaxiques).

1. Concernant l'aspect architectural spatial syntaxique, il a été conclu pour les maisons anciennes et contemporaines que:

- L'espace en question est un système introverti imperméable par rapport à l'extérieur, il se situe dans la profondeur moyenne du système global soit dans le même pas syntaxique que l'espace extérieur (cour, patio, sahn, etc) ou au maximum à deux pas syntaxiques au-dessous ou au-dessus de ce dernier (après un espace de transition verticale et ou de distribution horizontale).
- L'espace d'implantation de la tour à vent est isolé du système, fortement ségrégué, privé et plus contrôlé. L'extérieur est isolé de l'espace en question.
- La topologie apparente dominante dans l'échantillon de 53,60% (à l'exception de l'Iran) de l'espace en question, est de type « a » cul-de-sac par lequel aucun mouvement n'est possible à d'autres espaces. Il est accessible à partir d'un espace de transition qui le sépare davantage des autres espaces de la maison. Le lien qui unit cet espace au reste du graphe est un lien coupé, car son élimination couperait l'espace en question du reste de la structure spatiale.
- La topologie dominante en Iran est de type «d» qui fait partie des complexes, car il contient plus de deux anneaux qui disposant de plusieurs espaces en commun. Ce type présente un taux de 39,30% dans l'échantillon après le type «a». En additionnant ce taux avec celui du type «c», on obtiendra le taux de 64,3%. Donc, l'étude révèle que l'espace en question est du type «c» et «d» complexe, constituant des espaces sociaux et fonctionnels. Il constitue un anneau ou plus de mouvement avec l'espace extérieur (cour), l'espace semi-ouvert (iwan, maqaad) et les espaces couverts (séjour invités ou chambre). L'anneau rassemble des activités alliées et sépare l'espace en question des autres espaces pour conserver son identité.
- La configuration spatiale des maisons dotées de la tour à vent à Ouled Djellal n'est pas conforme aux propriétés syntaxiques par rapport aux exemples internationaux analysés. Ce qui remet en cause la disposition de la tour dans la conception de ces logements et justifie son rejet par les habitants. Dans le cas d'Ouargla, la majorité des résultats syntaxiques obtenus sont similaires à ceux des exemples analysés. Ce qui confirme l'hypothèse de l'ignorance de l'utilité du système comme cause principale de

leur fermeture, évoquée par BOUCHAHM, (2003).

2. Concernant l'aspect fonctionnel de l'espace doté de tour lié au mode de vie socioculturel, il a été conclu que: la tour à vent est liée à deux types d'espaces à savoir: l'espace de vie sociale (séjour, majlis, wastdar, Iwan, etc), l'espace de repos (chambre) et dans un cas particulier l'espace de transition et de distribution (cage d'escalier, hall ou couloir). **Une carte de différents positionnements de la tour** ou de l'espace lié à la tour a été développée.

3. Concernant l'aspect environnemental et la performance thermique de la tour à vent, il a été conclu que**:** le rendement thermique de la tour à vent dans les anciennes maisons a été assuré aussi bien par sa configuration géométrique (hauteur, sections orifices de l'entrée air et nombre de compartiments) que par des systèmes de rafraîchissement évaporatifs passifs combinés (air-sol; air-masse; air-eau). Le rendement était limité, malgré la position stratégique de la tour dans l'organisation spatiale de la maison. Elle agrémentait la vie sociologique à l'intérieur. Dans les maisons contemporaines, l'inverse est constaté, la performance thermique a été améliorée par des technologies récentes combinées, mais son positionnement en tant qu'élément architectural renforçant les liens sociaux a été marginalisé. Elle est devenue un élément purement technique.

Une typologie de la tour à vent **selon le principe de fonctionnement** a été réalisée pour les 28 maisons cas d'étude.

La syntaxe spatiale a fourni un outil complémentaire nécessaire à l'enquête sociologique (chapitre 04) pour mettre en exergue les défaillances configurationnelles du cas algérien et à l'analyse typologique (chapitre 07) pour faire surgir les qualités de l'espace équipé de la tour à vent en monde islamique. **La 2^{e} partie de l'hypothèse** liée **à la conception architecturale** vis-à-vis **le positionnement de la tour à vent** en organisatisation spatiale **a été confirmée**.

Pour une intégration qualitative appropriée sur le plan sociologique, conceptuel spatial, environnemental, thermique et économique de la tour à vent en habitat intermédiaire au Sud algérien, le septième chapitre est focalisé sur l'analyse typologique conceptuelle comme support de travail et base de données pour l'élaboration d'une typologie dotée de ce système. La classification a été axée sur des paramètres de trois contextes à savoir:

- Le contexte environnemental physique (climat et site)

  Deux sites de climats différents: les wilayas d'Oued Souf et Biskra, à climat chaud aride et semi-aride respectivement, ont été choisies. La tour à vent fraîche (avec humidification) représente la solution la plus adaptée pour assurer des microclimats

confortables ou plus au moins acceptables dans ce genre de climat (BAHADORI, 1986) (IZARD, 1993). Elle est fortement recommandée au Sud algérien (BOUCHAHM, 2003), (DJOUIMA, 2008), (TORKIA, 2009) et (DJOUIMA, 2018). L'accessibilité aux sources d'informations, la continuité du travail préalablement élaboré au chapitre 4 et la dominance du type d'habitat semi-collectif à Oued Souf étaient les critères principaux de ce choix.

- Le contexte architectural conceptuel: le type d'habitat intermédiaire adopté correspond le mieux au mode de vie dans ces régions (socialement et économiquement).
- Le contexte socioculturel: Un échantillon composé de 25 projets de 45 variantes de conceptions architecturales (24 à Oued Souf et 21 à Biskra) a été analysé. Le but est de rassembler un maximum de modèles de conception, quels que soient leurs types par mode d'acquisition ou de leur date de réalisation. Ce nombre nous a permis de traduire à travers la permanence de certains modèles existants une antériorité primaire qui domine. Cette dernière reflète le mode de vie projeté en conception.

Les éléments d'analyse de l'échantillonnage ont été classés en trois catégories relatifs à l'aspect morphologique, au planning spatial, à l'environnement socioculturel liés à la tour à vent ainsi qu'à l'aspect environnemental lié à la ventilation naturelle. L'aspect constructif et l'aspect esthétique n'ont pas été pris en considération dans cette analyse, ils doivent être traités séparément dans les recherches futures en raison de leur complexité.

Les résultats ont été traités dans le chapitre 8 où les différents types générateurs abstraits de séries de formes d'habitat intermédiaire dans les régions arides et semi-arides ont été dégagés. Ces séries se présentent comme des modèles concrets visitables. Des normes d'actions sur ce type d'habitat ont été définies et codifiées selon plusieurs paramètres en faisant appel au code français de la construction et de l'habitation (le R111-2 du CCH), la loi relative à la solidarité et au renouvellement urbain SRU n° 2000-1208 du 13/12/2000 et le journal officiel de la République algérienne n°6 du 27/1/ 2013 et du 12/2/2014 destiné aux spécifications architecturales et techniques appliquées aux bâtiments dans les wilayas du sud. L'apparente diversité des configurations spatiales et la lecture des régularités (constantes) qui structurent les paramètres de classement nous a permis d'élaborer une typologie développée d'habitat intermédiaire (dotée de tour à vent) issue de la typologie conventionnelle initiale établie. La nouvelle typologie est fondée sur des constantes qui sont l'expression d'un système culturel, d'un mode de vie local, des exigences des règlements techniques de la construction en vigueur et de la contrainte climatique de la région.

Les typologies réalisées sont classées selon plusieurs paramètres liés aux éléments d'analyse de l'échantillon. Le type de climat aride et semi-aride n'affecte pas la typologie de l'habitat semi-collectif dans les régions des cas d'étude.

Pour **la typologie de l'habitat semi-collectif élaborée**, les caractéristiques des critères de classement sont comme suit:

- La forme urbaine: selon la forme d'assemblage des unités de logement, trois types se distinguent à savoir: assemblage groupé, assemblage en barre et assemblage mixte, où chaque type dispose de variété de sous-types.
- L'orientation: selon la forme d'assemblage des unités et les caractéristiques du terrain, trois types se distinguent. Ces types sont: orientation des blocs suivant la forme du terrain (cas de l'assemblage en barre), orientation règlementaire des blocs façades nord-sud sur le grand axe est-ouest lorsque le terrain le permet (cas de l'assemblage en barre) et orientation du bloc suivant la direction de son emplacement dans la configuration de l'ensemble (cas de l'assemblage groupé et mixte).
- La hauteur (nombre d'étages): trois types se distinguent dont deux sont en communs pour les deux régions et le troisième ne concerne que la région de Biskra. Ces types sont: en R+1 (2 niveaux résidentiels), en R+2 (RDC à usage commercial et les étages à usage résidentiel) et en R+3 (cas de Biskra) où le rez-de-chaussée est à usage commercial et le reste des étages est à usage résidentiel en duplex.
- L'usage: deux types distincts apparaissent, à usage mixte et résidentiel pour les deux cas d'étude.
- Le type de logement: deux types se distinguent dont le premier est de type F2, F3 et F4 logements superposés et le deuxième F5 et F6 logements en duplex.
- La hauteur sous plafond: quatre différentes hauteurs sont constatées à Oued Souf (3,28m ; 3,0m ; 3,20m et 2,86m). La hauteur de 2,86m est la seule adoptée dans tous les modèles analysés à Biskra.
- La surface: La classification a été faite en fonction de la surface habitable et non habitable des logements par rapport à leurs types. Les surfaces habitables des types F2, F3 et F4 les plus répandues et adoptées par les autorités sont au-dessous de la limite inférieure recommandée par la règlementation algérienne et française, à l'exception du type F5 et F6 (le promotionnel) et cela pour les deux régions. La majorité des logements analysés dans les deux cas d'étude sont étroits, ce qui a poussé les occupants souvent à apporter des transformations constatées dans le vécu touchant l'intérieur et/ou l'extérieur du logement telles que l'appropriation des espaces privatifs

et privés.

- L'accessibilité aux logements: deux types se distinguent selon la répartition des accès au rez-de-chaussée (unilatéral/ bilatéral) et le cheminement des habitants (circulation horizontale/ circulation verticale) pour les deux cas d'étude.
- L'organisation spatiale: La typologie de l'état des lieux a été accomplie en fonction de trois critères d'ordre formel, social et conceptuel affectant l'organisation spatiale à savoir: la forme de la répartition des espaces (axial linéaire, centrale et mixte), la régulation sociospatiale (absence ou présence d'espaces filtres) et les parties communes en mitoyennetés entre logements.
- Le nombre de logements desservis: selon la forme d'assemblage des unités de logement (bloc) et la circulation verticale (la cage d'escalier types et dispositions), les types suivants se distinguent: 01logement/espace intermédiaire (1logement/palier et 1 logement/palier intermédiaire), 02logements/espace intermédiaire, 03logements et plus /espace intermédiaire.

La typologie développée sert à intégrer la tour à vent dans la classification précédente des deux régions. La typologie développée est caractérisée par:

- La forme urbaine: Afin de respecter les débits recommandés en 2010 par le Royaume-Uni en taux de ventilation naturelle et des concentrations de dioxyde de carbone dans le bâtiment, un espacement de 13m entre tours disposées en parallèle serait nécessaire. Cet espacement concerne tous les types d'assemblage (SEPPÄNEN *et al*., 1999) et (JOHN KAISER *et al*., 2014). Lorsque l'espacement entre tours disposées en parallèle est de 5m, le débit d'alimentation maximal est un peu plus de 50% du taux de régulation de concentration en CO2 et 40% du taux d'alimentation d'une tour isolée.

  L'espacement a moins d'influence sur l'agencement décalé par rapport à l'agencement en parallèle (JOHN KAISER *et al*., 2014). Les espacements de 3m, 4m ou 5m entre deux tours, décalés de 1m, sont tous appropriés pour fournir des taux de ventilation supérieurs au niveau de la réglementation de construction requise (JOHN KAISER *et al*., 2014). Le choix de l'implantation des tours au niveau du logement n'est pas définitif, il faut vérifier la disposition de l'ensemble des tours à vent au niveau de l'assemblage (plan de masse). Si les conditions ci-dessus ne sont pas respectées, il faut revoir la disposition au niveau de la cellule.

- L'orientation comporte les cinq types suivants: bâtiment orienté à 0°, 30°, 45°, 60° et 90° par rapport à la direction des vents dominants. Les différents types d'assemblage blocs incluent toutes ces orientations.

  À **45°**: la performance de la tour à vent isolée est optimale en taux de débit d'air pénétrant et minimale en volume d'air évacué relativement à l'orientation 0° et 90°. Le rendement des tours est optimal en taux de débit d'air pénétrant dans les deux cas d'agencements en parallèle ou décalé.

  À **90°**: la performance de la tour à vent isolée est optimale en volume d'air évacué de l'intérieur vers l'extérieur, et très favorable en taux de débit d'air pénétrant. Le rendement des tours est inférieur à celui des orientations 30° et 60° dans les deux cas d'agencements en parallèle ou en quinconce en taux de débit d'air pénétrant.

  À **30°** et **60°**: la performance de la tour à vent en taux de débit d'air pénétrant est moins favorable par rapport aux autres orientations. Le rendement est limité à 30° en taux de débit d'air pénétrant pour l'agencement en parallèle et décalé. Il est plus favorable à 60° qu'à 30°.

  À **0°**: la performance de la tour à vent isolée est optimale en volume d'air évacué de l'intérieur vers l'extérieur, elle est très favorable en taux de débit d'air pénétrant. Le rendement des tours parallèles ou décalées est faible par rapport aux orientations 30°, 45° et 60° en taux de débit d'air pénétrant. Lorsque l'espacement entre tours est inférieur à 13m, le rendement des tours parallèles est le plus faible en taux de débit d'air pénétrant par rapport aux autres orientations.

- La hauteur: La typologie développée implique la vérification de la hauteur d'étage en fonction de la hauteur des conduits humides qui servent à augmenter la performance de la tour.
- L'usage: typologie similaire à la classification initiale établie pour les deux régions.
- Le type de logement: typologie similaire à la classification initiale pour les deux régions.
- La hauteur sous plafond: typologie similaire à la classification initiale pour les deux régions.
- La surface: la typologie développée comporte quatre types. Ces derniers sont : tour à vent intégrée à l'intérieur du logement (au niveau de la surface habitable), tour à vent intégrée dans l'espace extérieur du logement (au niveau de la surface non habitable), tour à vent intégrée dans l'espace de circulation verticale et tour à vent intégrée à

l'extérieur dans l'espace privatif de circulation et de distribution horizontale (cas de l'assemblage groupé et mixte). S'il s'agit d'un nouveau projet, il faut inclure la surface de la tour dans la phase conception, l'emplacement sera un choix architectural. S'il s'agit d'un projet existant, c'est la surface de l'espace qui recevra la tour qui déterminera son emplacement. La surface de la tour a été calculée et ajoutée aux surfaces habitables ou non habitables pour chaque type de logement selon le mode d'intégration de ce dispositif.

- L'accessibilité aux logements: Les types dans la typologie développée sont similaires aux types de la typologie initiale. Ils sont valables pour les deux régions cas d'étude. Dans la typologie développée, la possibilité d'intégration, l'emplacement, le nombre et le mode d'agencement des tours ont été déterminés dans chaque type.
- L'organisation spatiale: Les types sont similaires aux types de la classification initiale. La possibilité d'intégration, l'emplacement, le nombre et le mode d'agencement des tours ont été déterminés pour chaque cas. La typologie établie est valable pour les deux régions.
- Le nombre de logements desservis: Les types sont similaires aux types de la classification initiale. La possibilité d'intégration, l'emplacement, le nombre et le mode d'agencement des tours ont été déterminés pour chaque cas. La typologie établie est valable pour les deux régions.

Ce travail permet d'offrir aux concepteurs un répertoire de différents types primaires de logements semi-collectifs aussi bien conventionnels que dotés de tour à vent au sud. Les types obtenus à caractère local, temporel qui se transforment sans changer d'identité, va nous servir de support de travail et de base de données pour développer des conceptions futures dotées de ce système en habitat intermédiaire, appropriés au mode de vie local et adaptés au climat de la région. **La typologie développée nous offre un éventail de solutions**.

En dernier lieu, les caractéristiques techniques et les performances du prototype adopté ont été évoquées. Le prototype réalisé à Hassi Messaoud, testé et validé par investigation et simulation numérique à l'aide de l'outils TAS dans les travaux de DJOUIMA en (2008) et (2018) a été adopté. Il est simple, fonctionnel, doté de peu d'installations et nécessite que peu d'entretien. Il a prouvé sa performance thermique en rafraîchissant deux pièces superposées de dimensions (11,35x6,17x2,7m) chacune sur une profondeur de 6,50m et 5m respectivement lorsqu'il s'agit d'un seul conduit disposant de deux bouches de soufflage au RDC et à l'étage, et sur une profondeur de 8,80m lorsqu'il s'agit uniquement d'un seul

conduit et une bouche de soufflage. Les résultats ont été validés par comparaison à la zone de confort thermique calculée pour la ville.

La performance énergétique due au prototype a été déterminée en calculant sa puissance frigorifique. Le prototype était assimilé à un système de climatisation produisant la même puissance frigorifique que celle du prototype simulé dont les résultats étaient très encourageants.

Pour l'estimation du coût de réalisation du prototype, un devis quantitatif a été élaboré. Sachant que lors de la mise en œuvre en 2007, le modèle a coûté 100.000,00Da (DJOUIMA, 2008). Ce montant est dérisoire par rapport au coût global de la construction. Vu la consommation importante en énergie électrique en climatisation, ce prix sera amorti dans un délai très court.

Par conséquent **la 3^{e} hypothèse** émise au début de notre recherche **concernant l'impact du coût de réalisation du modèle** sur le montant global du projet**, a été infirmée**. L'industrialisation du système diminuera les coûts et les délais d'exécution.

Donc on peut élargir son emploi pour qu'il soit un des constituants de notre culture architecturale environnementale dans le futur et par conséquent trouver une nouvelle dimension dans l'architecture du XXIe siècle grâce à la combinaison des connaissances traditionnelles héritées et des technologies de pointe développées dans le sud.

Malgré les nombreux avantages qu'offre ce système de rafraîchissement, il est souhaitable qu'il soit associé à d'autres systèmes passifs tels que le puit canadien et la cheminée solaire ou bien qu'il soit doté d'un ventilateur fonctionnant à l'énergie solaire (système hybride) afin d'être indépendant de la vitesse et la direction des vents. Pour avoir une performance thermique et énergétique optimale, il faut concevoir le bâtiment et son dispositif de rafraîchissement en tant que système complexe en interaction avec la société, l'environnement et l'économie principes de l'architecture durable.

Comme notre démarche s'appuie sur des échelles successives et complémentaires de lecture: socioéconomique et environnementale, syntaxique spatiale et typologique conceptuelle, le modèle d'analyse systémique développé peut-être une perspective importante sur les tours à vent en habitat ainsi qu'un outil de prévision des niveaux d'insertion de ce dispositif dans la conception architecturale.

Ce modèle permet ainsi d'ouvrir de nouveaux horizons pour les architectes dans le domaine de ventilation et de rafraîchissement passif.

Limites de la recherche

Les différents points qui n'ont pas été traités par la présente recherche et qui s'avèrent avoir un rôle crucial suivant la recherche pratique sont:

1- Une enquête sociologique sur le cas d'Ouargla (villa sise à la cité Sidi Amrane et dotée de tour à vent) traitant la perception des habitants envers ce dispositif.
2- Une détermination des propriétés syntaxiques de l'espace tour à vent ou doté de tour à vent selon les mesures du second ordre, ainsi que par l'utilisation du graphe de visibilité VGA.
3- Une analyse typologique qui prend en considération l'aspect constructif et l'aspect esthétique

Perspectives et futures recherches

Les limites et les contraintes rencontrées lors de cette étude nous ont permis de proposer quelques pistes pour les futures recherches. Nous suggérant ci-dessous quelques prolongements possibles de cette recherche suivant différentes perspectives:

Thermique: - Effet du type d'assemblage sur la performance énergétique de la tour à vent
- Impact des matériaux sur la performance énergétique de la tour à vent
- Impact du revêtement extérieur et sa couleur sur la performance énergétique de la tour à vent

Conceptuelle: -Typologie de l'habitat collectif et individuel doté de tours à vent en climat aride et semi-aride
- Impact de la tour à vent sur l'aspect esthétique de la façade.
-Conception de nouveaux designs de tours à vent en habitat au Sud algérien.
-Développement de la conception de la tour à vent dans les espaces intermédiaires en habitat collectif et semi-collectif au Sud algérien.
-Compléter la carte d'implantation de la tour à vent à travers le monde islamique.
-Compléter la typologie du système de fonctionnement de la tour à vent.

Syntaxique: - Vérification de la typologie proposée au moyen de l'analyse VGA.

Économique: Impact de la tour à vent sur la consommation énergétique en habitat.

Références bibliographiques

A

ABDELAZIZ, F., ABDELAZIZ, M. (2011). *An ecological residential buildings management* "*Renovation of Wardan Existing Staff Housing Unit*". A thesis submitted to AASTMT In partial fulfillment of the requirements for award of the degree of master of science in Architectural Engineering, p. 90-110

ABDELBAKI, M., HASSANIN, (2013) *محاكاة أداء المباني باستخدام التهويه الطبيعيه بأسلوب معاصر*
المؤتمر الأول لفرع الرابطة الدولية لمحاكاة أداء المباني في مصر، نحو بيئة مشيدة خضراء و مستدامة مجال جودة البيئة الداخلية، القاهرة 23، 24 يونيو 2013

ABDELJALIL, M. (2001) *العمران التقليدي بدولة الإمارات العربية المتحدة*
مركز زايد للتراث و التاريخ.

ABDIN, A. (2012). *Sustainable architecture and building technology*. **In**: The 2nd International workshop on bioclimatic architecture and passive strategies. The university of Mentouri Constantine Algeria BAPS 2012 on 9 and 10 April 2012.

ABHIJIT, P. (2011). *Axial Analysis: A Syntactic Approach to Movement Network Modelling*. Institute of Town Planners, India Journal 8 - 1, 29 - 40, January – March 2011.

ABOUEI, R. (2006). *Conservation of Badgirs and Qanats in Yazd, central Iran*. PLEA 2006. **In**: The 23rdConference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland, 6-8 September.

AFSHAR, **F**., CAIN, A., NORTON, J. (1975). *Indigenous building and the Third World*. Architectural Design, 4 (April), p. 207–218.

AHMAD, G. (2002). *Photovoltaic-powered rural zone family house in Egypt*. Renewable Energy 26 (3): 379-390. DOI: 10.1016/S0960-1481(01)00131-8

AHMADREZA, F., FERGUS, N. (2008). *Towards new approaches for integrating vernacular passive-cooling systems into modern buildings in warm-dry climates of Iran*. Proceedings of Conference: Air Conditioning and the Low Carbon Cooling Challenge, Cumberland Lodge, Windsor, UK, 27-29 July 2008.

AICHE, A. (2009). *Les espaces extérieurs intermédiaires dans les ensembles résidentiels collectifs entre conception et appropriation. Cas d'étude Batna*. Thèse de Magistère en architecture. Université Mohamed Kheider Biskra, Algérie.

AL-AJMI, F., LOVEDAY, D.L., HANBY, V.I. (2006). *The cooling potential of earth-air heat exchangers for domestic buildings in a desert climate*. Building and Environment, Vol. Mars, p. 235-244

AL BAGHDADI, A. (1983). *كتاب الإفادة و الاعتبار في الأمور المشاهدة و الحوادث المعاينة بأرض مصر.* دارقتيبة دمشق ص 430 سوريا.

ALDO, R., CONSOLASCIO, E., BOSSHAR, M. (1979). *La construzione del territorio nel Cantone Ticino* (traduction française). Fondazione Ticino Nastro, Venise, p. 9

ALEXANDER, C. (1964). *Synthesis of Form*. Harvard university press, Cambridge, Massachusetts.

ALEXANDER, C. (1971). *De la synthèse à la forme*. Paris, Éditions Dunod.

AL-HASSANI, S. (2009). *1000 Years Amnesia: Environment Tradition in Muslim Heritage*. **In**: the conference "Islam and the Environment: Muslim 7 Year Action Plan to deal with Climate Change" held in Istanbul 6-7 July.

ALLARD, F., ÁLVAREZ. S. (2002). *Natural ventilation of buildings*. A design handbook, London: James & James.

AL-SHAALI, R.K. (2002). *Maximizing natural ventilation by design in low rise residential buildings using wind catchers in the hot arid climate of UAE*. Master thesis option building science presented to the faculty of the school of architecture university of southern California, p.37

AL SULIMANE, A. (2014). *Wind Catchers and Sustainable Architecture in the Arab World*. Civil and Environmental Research. ISSN 2224-5790. ISSN 2225-0514 Vol.6, No.12

AL-SAYED, K., et al. (2013). *Space Syntax Methodology*. Londres, Barlett School of Architecture, UCL.

AL SAYED, K., TURNER, A., HILLIER, B., IIDA. S., PENN, A. (2014). *Space Syntax Methodology*. Bartlett School of Architecture, UCL, London (4th Edition). First edition of this textbook published September 30, 2013 Surveys.

AMIN, A.M. (2014). *La maison Sinnari*. Alexandria, Egypt: Bibliotheca Alexandrina, BP 138, Chatby 21526. Cataloging-in-Publication. ISBN 978-977-452-268-4

AMIRAT, M., EL HASSAR, S.M.K. (2005). *Économies d'Énergie dans le Secteur de l'Habitat. Consommation Électrique des Ménages -Cas d'un foyer algérien typique en période d'hiver-*. Énergies Renouvelables, Vol. 8 p. 27 - 37

APRUE. (2017). L'Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Énergie; *Consommation énergétique finale de l'Algérie chiffres clés année 2015*. Données et Indicateurs- Énergie. Édition 2017.

ARROUF, A. (2012). *Vers une théorie scientifique de la conception architecturale*. Edition Universities Europeans printed in Germany by Amazon distribution GmbH . Leipsig.

Article 64 du RGPT. (1946). Le Règlement général pour la protection au travail (RGPT)**,** titre II. (art 28 - 183). Art 64 section I: Dispositions relatives à l'hygiène des lieux de travail.

ASFOUR, G. (2006). *Effect of integrating wind catchers with curved roofs on natural ventilation performance in buildings*. Architectural Engineering and Design Management: p 289-304

ASHRAE 55 – 1992. *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy* (ANSI approved). American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers. Paragraph 2.1

ASHRAE-55, Standard 55 – 2013. *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers Inc.

ASQUITH, L., VELLINGA, M. (2006). *Vernacular architecture in the 21st century*. Theory, education and practice. 1st Edition Taylor & Francis, London.

ASPINALL, P. (1993). *Aspects of spatial experience and structure*. **In**: Farmer, B., Louw, H. (Eds.), Companion to Contemporary Architecture Thought. Rutledge, London, p. 337–345.

ATTIA, S., De Herde, A. (2009) *Designing the Malqaf for Summer Cooling in Low-Rise Housing, an Experimental Study*. PLEA 2009 - 26th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Quebec City, Canada, 22-24 June.

AZAMI, A.N. (2005). *Badgir in traditional Iranian architecture*. **In**: International Conference "*Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment*", May 2005, Santorini, Greece, p. 1021

AZAMI, A.N. (2009). *Analysis of Badger as a sustainable ventilation system in traditional Iranian Buildings*. JSES world congress proceeding, Vol 3, 2009, p. 1542-1546.

AZIMZADEH, M. (2003). *Evolving Urban Culture in Transforming Cities, Architectural and urban design in a fluid context.* Thesis for the degree of doctor of philosophy, Department of Urban Design and Planning, Chalmers university of technology, Göteborg.

AZIZIAN, R., MONTAZERI, F., MONTAZERI, H., (2014). *CFD simulation of cross-ventilation for a one-sided wind catcher system.* Proceedings of the 13th Conference of the Italian Association for Wind Engineering, IN-VENTO, 22-25 June 2014, Genova, Italy.

B

BACHELOR, J., BACHELOR, G. (2011). *Construction of wind catcher and necessity of enhancing the traditional windcatcher*. Magazine of Civil Engineering, N°6,.

BAHADORI, M.N. (1978). *Passive Cooling Systems in Iranian Architecture*. Scientific American Magazine 238 (2): 144–154. doi:10.1038/scientificamerican0278-144. Retrieved 17-07-2007

BAHADORI, M.N. (1985). *An improved design of wind towers of natural ventilation and passive*. Solar Energy. Solar Energy, vol. 35, issue 2, p. 119-129. DOI:10.1016/0038-092X(85)90002-7

BAHADORI, M.N. (1994). *Viability of wind towers in achieving summer comfort in the hot arid regions of the middle east*. Renewable Energy.5(5–8): 879–892. doi:10.1016/0960-1481(94)90108-2.

BAHADORI, M.N., Dehghani-Sanij, A.R. (2008). *Louver, Masterpiece of Iranian Engineering*. University Press, Iran.

BAHADORI, M.N., DEHGHANI-SANIJ, A.R. (2014). *Wind Towers: Architecture, Climate and Sustainability*. Edited by Ali Sayigh. First Edition. Springer International Publishing [online]. ISBN: Print ISBN: 978-3-319-05875-7, ISBN: 978-3-319-05876-4

BAHADORI, M.N., DEHGHANI, A.R. (2008). *Louver, Masterpiece of Iranian Engineering*. University Press, Iran.

BAHADORI, **M.N.,** MAZIDI, M., DEHGHANI-SANIJ, A. (2008). *Experimental investigation of new designs of wind towers*. Renewable Energy, Vol 33, p. 2273-2281

BAHADORI, M.N., YAGHUOBI, M.A. (2010). *Natural Ventilation and Cooling in Iranian Traditional Buildings.* Center of University Publishment, Tehran.

BAHARI, H., TADAYON, S. (2011). *Wind turbine with diffusers for the buildings or structures*. Patent US20110316279 A1, USA.

BAKER, N., STANDEVEN, M. (1995). *Adaptive opportunity as a comfort parameter*. **I**n Workplace Comfort Forum, proceedings of conference, (22–23 March), RIBA London.

BANSAL, N.K., MATHUR, R., BHANDARI, M. (1994). *A study of solar chimney assisted wind tower system for natural ventilation in buildings*. Centre of energy studies, Indian institute of technology. Building and environment. Vol 29. No. 4. p. 495- 500.

BAPS. (2012). 2nd International workshop on Bioclimatic Architecture and Passive Strategies. *Sustainable Architecture & Building technology*. *Maison Ahmed Abdine*. 9 and 10 April, University Mentouri, Constantine, Algérie.

BASSIONI, H., EL-MENCHAWY, A., ABDELAZIZ, F. (2012). *Ecological Design Principles in Egypt: Case Study Application and Economic Evaluation*. Semantic scholar. DOI:10.32738/ceppm.201209.0034 Corpus ID: 134827233

BATTLE MCCARTHY CONSULTING ENGINEERS. (1999). *Wind towers: Detail in Building*. Chichester: Academy. 1999: 6, p 25.

BATTLE MCCARTHY CONSULTING ENGINEERS. (2005). *Wind Towers*. Proceeding of Passive and Low Energy Cooling in Buildings Conference, Greece, p. 23-29, 2005.

BEHROUZ, S., MOHAMMAD, F. (2012). *Contemporary Architecture of Iran, Firouzmandan's house in Lars* Far [en ligne]. Disponible sur: http://caoi.ir/index.php

BELLAL, T. (2003). *Spatial analysis of domestic architecture in the M'Zab: spatial configuration and power relationships*. Doctorate thesis, Architecture, Setif University, Algeria, 2003.

BELLAL, T. (2007). *Spatial interface between inhabitants and visitors in M'Zab houses*. 6th international space syntax symposium, Istambul, p 61.1-61.13

BENABDELLAH, A. (2000). *مطالع البدور في منازل السرور*. مكتبة الثقافة الدينية بورسعيد ج1 ص 55-57

BENAMARA, Y. (1987). *Passive evaporative cooling by means of wind tower for summer comfort in Algeria*. Architecture option Bioclimatic. Glasgow: Mackintosh school of architecture university, p. 209

BENEDIKT, M. (1979). *To take hold of space: isovists and isovist fields*. Environment and Planning B6: p. 47-65.

BENZIOUCHE, W. (2014). *Conformation architecturale et orientation spatiale dans les grands équipements*. Mémoire de Magistère en architecture. Université de Mohamed Kheider Biskra, Algérie.

BJÖRN, K. (1991). *Manual för rumslig analys av städerochbyggnader*. Sacthr 1991:1. Stads-byggnad, CTH, Göteborg.

BJÖRN, K. (1993). *A Space Syntax Glossary*. [Online]. Nordisk arkitekturforskning 1993:2. available at: http://www.arkitekturforskning.net/na/article/download/778/722.

BOIDIN, B., ZUINDEAU, B. (2006). *Socio-économie de l'environnement et du développement durable: état des lieux et perspectives*. Revue Mondes en développement 2006/3 N° 135, p. 7-37

BONINE, M.E. (1980). *Aridity and structure: adaptations of indigenous housing in Central Iran*. In: K.N. Clark and P. Paylore, eds. Desert housing: balancing experience and technology for dwelling in hot arid zones. Tucson: University of Arizona, p. 193–219.

BOUCHAHM, Y. (2003). *La performance thermique du capteur à vent pour un rafraîchissement passif dans les régions chaudes et arides cas d'Ouargla*. Architecture option bioclimatique: Université frères Mentouri, Constantine I. p. 230.

BOUCHAHM, Y., DJOUIMA, A. (2008). *The experimentation of improved evaporative cooling wind tower in real office building*. In the 25thconference on passive and low energy architecture, 22nd to 24th October 2008, Dublin, United kingdom.

BOUCHAHM, Y., BOURBIA. F, BELHAMRI, A. (2011). *Performance analysis and improvement of the use of wind tower in hot dry climate*. Renewable Energy 36 (2011) p. 898-906

BOURJOIS, J.L., PELOS, C. (1983). *Spectacular vernacular: A New Appreciation of Traditional Desert Architecture*. Peregrino Gibbs Smith Books. Japan: Library of Congress.

BRAID, G. (2001). *The Architectural Expression of Environmental Control Systems*. London: Spon Press, p. 264. ISBN 0-419-24430-1.

BROADBENT, G. (1988). *Design in architecture: Architecture and the human sciences*. London: David Fulton Publishers. Bums,T. and Stalker.

BROADBENT, G. (1998). *Design in architecture*. London: David Fulton publishers.

BROSSIER, J. (1987). *Système et système de production*. *Note sur ces concepts*. Cahiers de Sciences Humaines, vol. 23, n. 3-4. p. 377-390

BROWN, G.Z., DEKAY, M.S. (2001). *Wind and light: Architectural Design Strategies*. New York: John Wiley & Sons. 2001, p. 189

BUILDING REGULATIONS. (2010). *Approved Document F1A: Means of Ventilation*. NBS: London

BULIŃSKA, A., POPIOŁEK, Z., BULIŃSKI, Z. (2014). *Experimentally validated CFD analysis on sampling region determination of average indoor carbon dioxide concentration in occupied space*. Building and Environment 2014;72:p. 319-331.

BUNN, R. (2006). *Queens Building* [online]. Available at:

http://www.bsria.co.uk/news/article/1906/ [Accessed 13 January 2014].

C

CALAUTIT, J., O'CONNOR, D., SHAHZAD, S., CALAUTIT, J., HUGHES, B. (2019). *Numerical and experimental analysis of a natural ventilation. Elsevier, Science direct,*Energey Procedia 158 (2019) 3125-3130. **In** 10th International Conference on Applied Energy (ICAE2018), 22-25 August 2018, Hong Kong, China .

CCH Code de la Construction et de l'Habitation, les normes minimales d'habitabilité. Extrait de l'article R111-2 du CCH. La taille des logements en France.

CHALABAYA, M. (2005) *إسلامية العمارة*. مذكرة ماجستير في التصميم و التخطيط. جامعة القاهرة

CHALABAYA, M. (2011); التهوية و التبريد في الحضارة العربية الإسلامية . دروب للنشر و التوزيع عمان الأردن ص 38-49.

CHELKOFF, G., et al. (2003). *Construire avec les sons: prototypes sonores architecturaux*. Catalogue raisonnée et expérimentations constructives, rap de recherche CRESSON.

CHELKOFF, G. (2004). *Écologie sensible des formes architecturales*. EURAU'2004 European Research in Architecture and Urbanism, June 2004, Marseille, France. 1-9 p. halshs-00378418

CHELLALI, F. (2011). *Étude du comportement stochastique et cyclique du vent en Algérie*. Thèse de Doctorat. École Nationale Polytechnique, Alger, p. 27

CIBSE (1997). *Natural ventilation in non-domestic buildings*. London: Chartered Institution of Building Services Engineers.

CLARAMUNT, **C**. (2005). *Syntaxe spatiale: vers de nouvelles formes de représentation d'une certaine logique de la cité*. Journées T'hioquant, Besançon, institut de recherche de l'école navale.

COLES, A., JACKSON, P. (1975). *A Wind tower in Dubai*. Art & Archeology research paper. London

COLES, A., JACKSON, P. (2007). *Wind tower: Houses of the Bastaki*. Hardcover 180P. Publisher: Stacey International. London

COSTE, A. (2014). *« Quel sens en architecture pour le polysémique terme de modèle?»*. Laboratoire Cultures constructives, ENSAG

COUSIN, J. (1980). *L'espace vivant*. Introduction à l'espace architectural premier. Le Moniteur, Paris, p.187

CUNHA, **V**. (2012). *Can Genotype patterns change over time?*. **In** Proceedings of eighth International Space Syntax Symposium: Santiago de Chile. pp: 8215.1-23.

Circulaire française, (1974). La circulaire française du 09/08/1974.

D

DAMLUJI, S.S. (1998). *The architecture of Oman*. ISBN 10: 1859640834/ ISBN: 9781859640838. Edition: Ithaca Press, 1998. Garnet Publishing, Reading.

DE ROZNAY, J. (1975). *Le macroscope. Vers une vision globale.* Paris : Edition du Seuil.

DEHGHAN, K.G.R. (2016). *Badgir. Persia. N Gulf* [online]. Thèse de doctorat. GSA, université Paris-Est. Disponible sur: http://www.badgir-persian-gulf-en.com

DEHGHAN, A.A., DEHGHAN, M., KAZEMI ESFEH, K. (2014). *Wind-catchers, creative buildings'elements for passive ventilation*. Advances in Energy Research and Development / ISBN 978-0-9895590-1-0 Editors: M.Chern, V. Lanin, M. Sarker, N. Vaziri.

DEHGHANI, A.R. (2001). *An experimental evaluation of two new designs of wind towers and a comparison with a conventional wind tower*. BS thesis. Yazd University, Yazd, Iran; 2001.

DEHGHANI, A.R. (2006). *Study of history and evolution of wind towers, this beauty and nice phenomena and desirable traditional air conditioning system*. J Air Cond Refrig 19:4-13

DEHGHANI, S.A.R., SOLTANI, M., RAAHEMIFAR, K. (2015). *A new design of wind tower for passive ventilation in buildings to reduce energy consumption in windy regions*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 42 (2015) 182-195.

DEHNAVI, M., GHADIRI, M.H., MOHAMMADI, H., GHADIRI, M. (2012). *Study of Wind Catchers with square plan: Influence of physical parameters*. International Journal of Modern Engineering Research (IJMER) www.ijmer.com Vol.2, Issue.1, Jan-Feb 2012 pp-559-564 ISSN: 2249-6645.

DERRADJ, M. (2008). *Conception et modélisation de dispositif de ventilation et de rafraichissement passif utilisant les cheminées solaires couplées à un échangeur de chaleur sol-air.* Thèse de doctorat, option architecture bioclimatique. Université de Constantine

DETTLAFF, W. (2014). *Space syntax analysis - Methodology of understanding the space*. PhD Interdisciplinary Journal. GIRLING, C. L. & HELPHAND, K. I. 1994.

DHALIWAL, A.S., GOSWAMI, D.Y. (1984). *Heat transfert analysis environment control using an underground air tunnel*. ASME Solar Energy Div. Las Vegas p.505-510

DIB, M. N. (1993). *Recommandations architecturales.* Alger: ENAG, pp 11.

DI BELLA, E., PERSICO, L., CORSI, M. (2011). *A Multivariate Analysis Of The Space Syntax Out- put For The Definition Of Strata In Street Security*. WP n. 5 September 2011. "DISEFIN Working Papers on line" series of economic working papers published online by Research Doctorate in Public Economics Ph.D. School in New technologies and Social Sciences University of Genoa.

DIMITROULOPOULOU, C. (2012). *Ventilation in European dwellings*. A review. Building and Environment 2012; 47:109-125.

DIN 1946-2. (1994). *Ventilation and air conditioning - technical health requirements* (vdi ventilation rules). Publisher: German Institute for Standardisation.

DJOUIMA, A. (2008). *Réalisation de vérification de la performance thermique d'une tour à vent pour un rafraichissement passif dans les régions chaudes arides cas de Hassi Messaoud*. Architecture option bioclimatique .Université Constantine 3, 264p.

DJOUIMA, A., BOUCHAHM, Y., BOURBIA, F., TORKIA, A. (2018). *Réalisation and experimentation of a wind tower for passive evaporative cooling in hot dry area: Hassi-Messaoud, Algeria* [online]. Journal of Fundamental and Applied Sciences. Disponible sur: http://dx.doi.org/10.4314/jfas.v10i1.25

DJOUIMA, A. (2019). *Application et adaptation de la tour à vent aux bâtiments (habitations et équipements à Hassi Messaoud*. Thèse de doctorat. Université de Constantine 3.

DONNADIEU, G,. DURAND, D., NEEL, D., NUNEZ, E., SAINT-PAUL, L. (2003). *L'Approche systémique: de quoi s'agit-il ?* Synthèse des travaux du Groupe AFSCET "*Diffusion de la pensée systémique*" [en ligne]. Disponible sur http://www.afscet.asso.fr/SystemicApproach.pdf

DRACH, C., KARAM, F. (2008). *An air circulation comparative study between the application of short and long wind catchers in a confined space: case of house VI of villa 37*. **In** 25th conference on passive and low energy architecture, 22nd to 24th October, 2008, Dublin, United kingdom.

DUAN, W. (2013). *Cartographier l'ambiance d'une promenade architecturale: simulation analytique sur le mode narrative des Thermes de Vals*. Augoyard, Jean-François. 1st International Congress on ambiances, grenoble 2008, sep 2008, Grenoble, France. À la Croisée, p. 275-286, 2011, Ambiances, Ambiance.<halshs-00833987>

DUBAI MUNICIPALITY, (2000). *The Historical Building Section. Elements of Traditional Architecture in Dubai*. Dubai: Dubai Municipality, 2000, pp A-(8-1)

DURSUN, P. (2007). *Space Syntax in Architectural Design*. In 6th International Space Syntax Symposium, edited by S. Kubat, Ö. Ertekin, Y. I. Güney, and E. Eyüboglu. Istanbul: ITU Faculty of Architecture. 056-1 - 056-12.

E

EL BANNA, K.S. (2004). *وثيقة دبي للحفاظ و الصيانة على المباني و المناطق التاريخية* , بلدية دبي مارس 2004

ELDIEN, H.H. (2010). *Conception architecturale: une approche environnementale d'auto-protection*. **In** the 5th International conference of the Arab Society for Computer Aided Architectural Design (ASCAAD). Fes, Morocco, 19- 21October, 2010.

EL MUALIM, A.A. (2003). *Evaluating the Performance of Wind-catchers for Natural Ventilation*. PhD thesis,. School of Construction Management and Engineering; Reading: University of Reading.

EL MUALIM, A.A., AWBI, A. (2002). *Wind tunnel and CFD investigation of the performance of wind catcher ventilation systems*. International Journal of Ventilation; 1:53–64.

EL MUALIM, A.A. (2006). *Effect of damper and heat source on windcatcher natural ventilation performance*. Energy and buildings, n°.38, p.939-948.

EL MUALIM, A.A. (2006). Verification of design calculations of a wind catcher/tower natural ventilation system with performance testing in a real building. Paper 8, 4, No. 4; March 2006.

EL MUALIM, A.A. (2009). *Integrated building management systems for sustainable technologies Design aspiration and operational shortcoming*. Sustainability in Energy and Buildings; p. 275-280. Springer Berlin Heidelberg.

EL-SHORBAGY, A. (2010). *Design with Nature: Windcatcher as a Paradigm of Natural Ventilation Device in Buildings*. International Journal of Civil & Environmental Engineering IJCEE-IJENS Vol:10 No:03

EL WAKIL, C.E., SIRAGE, M.A. (1989). *Climate and the architecture of hot regions*. 3ème édition, Cigèle El Arabe. Caire: Aalam Al-Koutoub, p. 152-160

EL ZAIDABI, A.A.M. (2008). *Low energy, wind catcher assisted indirect-evaporative cooling system for building applications*. PhD thesis, University of Nottingham. United Kingdom

EVANS, M. (1980). *Housing climate and comfort*. London, the architectural press, p. 82-162

F

FAEZEH, N., YAHAYA, A., GOH, A.T. (2012). *Daylight and Opening in Traditional Houses in Yazd, Iran*. PLEA 2012 - 28th Conference, Opportunities, Limits & Needs Towards an environmentally responsible architecture Lima, Peru 7-9 November.

FATHY, H. (1986). *Natural Energy and Vernacular Architecture: Principles and Examples with Reference to Hot Arid Climates*. Published for the United Nations University by the University of Chicago, Chicago London 1986, p. 128

FATHY, H. (1988). *Natural Energy and Vernacular Architecture*. 1st Edition. Beirut: Arabic edition published, p.101-114

FAUCHER, D., NIVET, M.L. (2000). *Playing with design intents: integrating physical and urban constraints in CAD*. Automation in Construction, p 93–105. FlashyDubai.com. 2008-2015 developed and powered by Webcots Inc.

FORUZANMEHR, A. (2012). *The wind-catcher: users' perception of a vernacular passive cooling system*. Taylor and Francis Group. Architectural Science Review Vol. 55, No. 4, 250–258

FORUZANMEHR, A. (2015). *People's perception of the loggia: A vernacular passive cooling system in Iranian architecture*. Elsevier. Sustainable Cities and Society 19 (2015) 61–67

FOOTE, T., AGARWAL, R. (2011). *Power generation from wind turbines in a solar chimney*. **In**: Proceedings of the ASME 2011 5th international conference on energy sustainability, Washington, DC, 7–10 August.

FORD, B. (2012). *Downdraught cooling: an overview of current research and practice*. Architectural Science Review, 55:4, 237-240, DOI: 10.1080/00038628.2012.724953

G

GAGE, S.A., GRAHAM, J.M.R. (2000). *Static split duct roof ventilators*. Building Research & Information, 28(4), p. 234–244

GALVEZ-CLOUTIER, R., GUESDON, G. (2011). *Évaluation des impacts Environnementaux (EIE). 4 Éléments méthodologiques d'analyse de l'évaluation de l'EIE* [en ligne]. Université Laval. Faculté des sciences et de génie. Institut de la Francophonie pour le développement durable. Disponible sur: http://www.gci.ulaval.ca

GEHL, J. (2001). *Life Between Buildings: Using Public Space*. Éditeur Arkitektens Forlag, Université du Michigan, 5ème édition; p.13:202

GEETHA, N.B., VELRAJ, R. (2012). *Passive cooling methods for energy efficient buildings with and without thermal energy storage* . A review. Energy Educ Sci Technol Part A Energy Sci Res 2012;29:913–46.

GHAEMMAGHAMI, M. (2005). *Wind tower a natural cooling system in Iranian traditional architecture*. **In** International Conference "Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment", May 2005, Santorini, Greece. p. 73

GHAMKHAR, M., GHAMKHAR, S.M. (2017). *Applying Zero Carbon Architecture Strategies to Mitigate Climate Change in the Middle East and North Africa (MENA)*. **In** International conference on climate change January 2017, Tehran, Iran.

GHOBADIAN, V. (2006). *Climatical investigation of traditional Iranian buildings Tehran*. Tehran University press.

GIANLUCA, C. (2012). *Les systèmes de rafraîchissement passifs dans l'architecture contemporaine et la conception bioclimatique du bâtiment. Méthodologie d'analyse et évaluation de réalisations à travers le monde*. Thèse de doctorat. École nationale supérieure d'architecture de Marseille. École Doctorale 355; Espaces, Cultures, Sociétés. Aix-Marseille Université.

GILLES, H. (2004). *Modèles et outils pour l'assistance à la conception. Application à la conception architecturale* [en ligne]. Institut National Polytechnique de Lorraine - INPL, 2004. Disponible sur: https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00101454 Submitted on 27 Sep 2006.

GIVONI, B. (1969). *Men, climate and architecture.* Applied science publisher Ltd. UK, p113.

GLENN, E. (2008). *An Exploration of Architectural Theory In Multi-Agent Simulation* [online]. Robotics 790, Fall 2008. Available at: http://slideplayer.com/slide/4608996/

GOLNAR, N. (2009). *Thermal performance of architectural features in traditional Persian dwellings*. Thesis of Master of Architecture. McGill University School of Architecture Montreal.

GOUDARZI, N., ZHU, W.D. (2013). *A review on the development of wind turbine generators across the world* [online] . International Journal of Dynamics and Control 1(2): 192–202. Available at: http://link.springer.com/article/10.1007/s40435-013-0016-y (accessed 30 October 2013).

GOUDARZI, N., ZHU, W.D., BAHARI, H. (2015). *An assessment of the potential of a novel ducted turbine for harvesting wind power* . Journal of Intelligent Material Systems and Structures

2015, Vol. 26(9) 1059–1070, Special Issue Article. DOI: 10.1177/1045389X14533438 jim.sagepub.com.

GRANT, A., Johnstone, C., Kelly, N. (2008). *Urban wind energy conversion: the potential of ducted turbines*. Renewable Energy 33(6): p. 1157–1163.

GUT, P., ACKERKNECHT, D. (1993). *Climate Responsive Building*. SKAT.

H

HAQ, S., CRAIG, Z. (2003). *Just down the Road a Piece: The Development of Topological Knowledge of Building Layout*s. Environment and Behavior 35 (1): 132–160.

HAMIDREZA, F., FARIBORZ, S.A, ASKARI, V., JAMILI, F. (2016). *Manifestation of Culture in Traditional Architecture of Iranian House Based on Old Houses in Kashan*. Modern Applied Science; Vol. 10, No. 2; 2016 ISSN 1913-1844 E-ISSN 1913-1852 Published by Canadian Center of Science and Education. doi:10.5539/mas.v10n2p185 http://dx.doi.org/10.5539/mas.v10n2p185.

HAMOUCHE, R. (1990). *Atlas Vent de l'Algérie*. Publication Interne de l'ONM, Office National de Météorologie ONM, Alger.BP 153, Dar El Beida.

HAMOUDA, B.A. (2013). *Mode d'évolution de l'habitat populaire rural dans les régions semi-arides et les forces participant à sa modification Cas d'El Kantara, Biskra*. Thèse de doctorat en sciences. Université Constantine III; Faculté d'architecture et d'Urbanisme; Département d'architecture.

HANROT, S. (1989). *Modélisation de la connaissance architecturale pour un outil de CAO intelligent*. PARIS : Plan Construction et Architecture, p. 246 . ISBN 2100 85419-7.

HANROT, S. (2009). *Évaluation relative de la qualité architecturale : une approche par le point de vue des acteurs*. Éditions De La Villette. Cahiers Ramau - La Qualité Architecturale - Acteurs Et Enjeux . 2009, 04 2005, 5.

HANSON, J., PEPONIS, J., WINEMAN, J., BAFNA, S. (2001). *Morphology and Design*. **I**n Proceedings, 3rd International Space Syntax Symposium, Georgia Institute of Technology, Atlanta, p.06.1-06.18.

HARWOOD, J.A. (1998). *An evaluation of wind-catcher ventilation performance in the British climate.* M. Sc. Thesis. Cardiff school of architecture. Cardiff: Cardiff University.

HAYATY, H., FOROUGH, Y.A., ABBASALI, M.M. (2016). *A Comparison of Traditional and Modern Louvers in Warm and Dry Climate*. Open Journal of Ecology, 2016, 6, 537-544

HDOUD, A. (2014). *Modélisation du comportement de piétons en milieu urbain*. Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de Magister en Informatique Option: Data Mining et Multimédia. Université Mohamed Kheider, Biskra.

HESHAM, A., BASSIONI. A.E., ABDELAZIZ., F. (2012). *Ecological Design Principles in Egypt: Case Study Application and Economic Evaluation*. Paper presented at the EPPM Conference, Brighton, UK.(proceeding) www.ppml.url.tw/EPPM/conferences/2012/.../34%20E153.pdf

HILLIER, B., HANSON, J., HUDSON, J., BURDETT, R. (1983). *A different urban perspective*. The architects journal, 178, pp 47-63.

HILLIER, B., HANSON, J. (1984). *The social logic of space*. Vol. 1. 1984: Cambridge University Press Cambridge.

HILLIER, B., HANSON, J. (1986). *The Social Logic of Space*. Cambridge University Press, Cambridge.

HILLIER, B., HANSON, J. (1987). *Introduction: un second paradigme, in Architecture and Behaviour*. Architecture et Comportment Vol. 3, N°3, p. 201 -203.

HILLIER, B., HANSON, J., PEPONIS, J.L. (1987). *Syntactic analysis of settlements*. Architecture and Comportement; Vol. 3, No 3, p. 217-231

HILLIER, B. (1987). *La morphologie de l'espace urbain, l'évolution de l'approche syntaxique*. Architecture and Behaviour; 3(3), p. 205-216.

HILLIER, B., HANSON, J., GRAHAM, H. (1987). *Ideas are in Things: An Application of the Space Syntax Method to Discovering House Genotypes*. Environment and Planning B: Planning and Design, 14, London, p. 363-385.

HILLIER, B., PENN, A., HANSON, J. (1993). *Natural movement: or, configuration and attraction in urban pedestrian movement*. Environment and Planning B, Vol. 20, p. 29 - 66

HILLIER, B. (1996). *Space is the Machine*. Cambridge University Press, Cambridge.

HILLIER, B. (1996). *Cities as movement economies*. Urban design international 1(1) p. 41-60.

HILLIER, B. (1998). *The common language of space: A way of looking at the social, economic and environmental functioning of cities on a common basis* [online]. Accessed from http:// www.spacesyntax.org/publications/commonlang.html on 12/01/2005.

HILLIER, B. (2005). *The art of place and the science of space*. World Architecture 11/2005 185, Beijing, Special Issue on Space Syntax, 96-102.

HILLIER, B., TZORTZI, K., (2006). *Space Syntax: The Language of Museum Space*. S. Macdonald (Ed.). A Companion to Museum Studies, Blackwell Publishing, London.

HILLIER, B. (2007). *Space is the machine: A configurational theory of architecture* [online]. Ed: electronic edition published by: Space Syntax, 4 Huguenot Place, Heneage Street London E1 5LN, United Kingdom. Available at: https:// www.spacesyntax.com

HILLIER, B., Vaughan, L. (2007). *The city as one thing*. Progress in Planning, 67 (3) p. 205-230.

HOMEIRAALSADAT, M.A. (2016). *Socio environmental frame work for integration of thermal mass windcatchers with light weight tensile structures in contemporary hot arid context of Tehran*. Thesis for the degree of master of science. The university of Arizona.

HOMEIRAALSADAT, M.A. (2017). *Socio-environmental frame work for integration of light weight tensile structure windcatchers in contemporary hot-arid urban context of Tehran***. I**n World Sustainable Built Environment Conference 2017 Hong Kong Transforming Our Built Environment through Innovation and Integration: Putting Ideas into Action 5-7 June.

HOSSEINI, S.E., USON, A.E.Y., ARMESTO, A. (2015). *Iranian courtyard housing: the role of social and cultural patterns to reach the spatial formation in the light of an accentuated privacy*. ACE: Architecture, City and Environment 10 (29): p. 11-30, 2015. DOI: 10.5821/ace.11.29.2653. ISSN: 1886-4805.

HUGHES, B.R., GHANI, S.A. (2008). *Investigation of a wind vent passive ventilation device against current fresh air supply recommendations*. Energy and Buildings, 40, p. 1651–1659

HUGHES, B.R., GHANI, S.A. (2009). *A numerical investigation into the effect of wind vent dampers on operating conditions*. Building and Environment, 44, p. 237–248

HUGHES, B.R., GHANI S.A. (2011). *A numerical investigation into the feasibility of a passive-assisted natural ventilation stack device*. International Journal of Sustainable Energy, Volume 30, Issue 4, 2011, p. 193-211, DOI: 10.1080/1478646X.2010.503275

HUGHES, B.R., CALAUTIT, J.K., GHANI, S.A. (2012). *The development of commercial wind towers for natural ventilation: a review*. Applied Energy, 92, p.606-627.

HUYNH, P. (2010). *A report on the windcatcher*. Report No. NSW 2042, For VIM Sustainability Pty Ltd., Newtown.

I

IKERD, J.E. (2005). *Sustainable Capitalism: A Matter of Common Sense* [online]. Kumarian Press, Inc., Bloomfield, CT. pp 211. (Holland HB501.I54). Available at: https://www.rienner.com/title/Sustainable_Capitalism_A_Matter_of_Common_Sens

IZARD, J.L. (1993). *Architecture d'été*. Edisud. La Calade Aixen provence: Charly–Yves Chardoreille, p. 59-67

J

JACOBY, K. (2006). *What is space syntax? Does the urban form of the city affect the level of burglary and crime?*. Séminaire de Master Architectures et villes face à la Mondialisation, Royal Institute of Architecture, Stockholm.

JAMAL, A. J. (2015). *Sustainable Design of Wind Catcher of an Earth- to- Air Heat Exchanger in Hot Dry Areas*. International Journal of Scientific and Engineering Research, volume 6. ISSN 2229-5518

JIANG, B., CLARAMUNT, C., KLARQVIST, B. (2000). *An integration of space syntax into GIS for modelling urban spaces*. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2, p. 161-171

JIANG, **B.,** CLARAMUNT, C. (2002). *Integration of Space Syntax into New GIS*. Transactions in GIS; Volume 6, Issue 3., p.295-309.

JOHANSSON, E. (2006). *Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot dry climate: A study in Fez, Morocco*. Building and Environment volume 41, Issue 10, October 2006, p. 1326-1338

JOHNS, B.M., KIRBY, R. (2010). *The Performance of Natural Ventilation Windcatchers in Schools*. *A Comparison between Prediction and Measurement*. International Journal of Ventilation 2010;9:p. 273-286.

JOHNSON, W. (1995). المحافظة على التبريد و التدفئة في العمارة الإسلامية ترجمة عبد القادر الفقي، ارامكو وورلد

JOHN KAISER, C., HUGHES, B.R., GHANI, S.A. (2013). *Integration and application of passive cooling within a wind tower*. First International Conference on Energy and Indoor Environment for Hot Climates, Doha, Qatar, 24 - 26 Feb.

JOHN KAISER, C., HUGHES, B.R., GHANI, S.A. (2013). *Numerical Investigation of the Integration of Heat Transfer Devices into Wind Towers*. Chemical engineering transactions Vol 34. DOI: 10.3303/CET1334008.

JOHN KAISER, C., HUGHES, B.R. (2014). *Measurement and prediction of the indoor airflow in a room ventilated with a commercial wind tower*. Energy and Buildings 84 (2014) 367–377.

JOHN KAISER, C., O'CONNOR, D., HUGHES, B.R. (2014). *Determining the optimum spacing and arrangement for commercial wind towers for ventilation performance*. Building and Environment, Volume 82, December 2014; p. 274-287

JOHN KAISER, C., HUGHES, B.R., O'CONNOR, D., SHAHZAD, S.S. (2015). *Performance Investigation of a Commercial Wind Catcher with Horizontally-arranged Heat Transfer Devices (HHTD)*. **In** Proceeding of the 3rd Annual conference on Architecture and civil Engineering (ACE 2015), 13-14 April 2015, Singapore.

JOMEHZADEH, F., NEJAT, P., CALAUTIT, J.K., et al. (2016). *A review on windcatcher for passive cooling and natural ventilation in buildings, Part 1: Indoor air quality and thermal comfort assessment*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 70. pp. 736-756. ISSN 1364-0321

JONES, B.M., KIRBY, R., KOLOKOTRONI, M., PAYNE, T. (2008). *Air quality measured in a classroom served by roof mounted natural ventilation windcatchers*. Proceedings of the 2008 Conference for the Engineering Doctorate in Environmental Technology, Brunel University, West London, UK. 2008. p. 3-5

JORA. (1999). Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire; La loi n°99-09 juillet 1999 relative à la maitrise de l´énergie.

JORA. (2000). Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire; Le décret exécutif n° 2000-90 du 24 avril 2000 portant règlementation thermique dans les bâtiments neufs.

JORA. (2002). Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire N° 8; la loi n° 02-01 du 05 février 2002 pour la promotion de la production d'électricité à partir des énergies renouvelables et son intégration au réseau.

JORA. (2004). Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire N° 52 relative à la promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable.

JORA. (2013). Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire N°6. 15Rabie El Aowel 1434 / 27 Janvier 2013. Section 2 de la conception architecturale art 33; Section 3 de l'organisation spatiale du logement art 31,32; Section 4 de l'organisation et la répartition des espaces art 37,38, 44.

JORA. (2014). Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire N°6. 11Rabie El Thani 1435/ 11 fevrier 2014 الخاص بالجريدة الرسمية للمواصفات العمرانية و المعمارية التقنية المطبقة على البنايات في ولايات الجنوب. المادة 12,16,17, الفرع الثاني توجيه المباني المادة16 و الفرع الثالث نوعية الفتحة المادة 20.

JOSEPH, D., BRAGA, D., ROCCIA, J.P., GENGEMBRE, E., THUILLIER, A. (2011). *Calcul des flux solaires pour le Bâtiment par méthode de Ray-Tracing*. Congrès français de Thermique, SFT 2011, Perpignan.

K

KASHANI, M.A.H. (2013). *Sustainability Indicators of Iranian Vernacular Architecture: The Case of Yazd*. Thesis of Master Science in Architecture. Eastern Mediterranean University March 2013 Gazimağusa, North Cyprus.

KAZEM, Y., ELAHE ALSADAT, M. (2013). *Investigation the wind catchers of residential houses in Yazd Province, Iran* [online]. Journal of American Science 2013;9 Vol 7 pp 276-285. ISSN: 1545-1003. Available at: https://www.jofamericanscience.org

KHAMOUSHIAN, N. (2011). *Modern Louvers*. Architect, p. 68 - 113.

KHAOULA, A. (2014). البراجيل «تكنولوجيا» الماضي للتغلب على قسوة البيئة المحلية صحيفة الإتحاد 15 فبراير على الموقع (http://www.alittihad.ae/details.php)

KATHAMI, N. (2009). *The wind catcher, a traditional solution for a modern problem*. Master´s Thesis of Philosophy. University of South Wales of Glamorgan Prifysgol de Cymru.

KHOSRO, M. (2016). *Badgir (Wind Catcher) an Example of Traditional Sustainable Architecture for Clean Energy*. Conference Paper· August 2016 DOI: 10.1109/SEGE.2016.7589504

KIM, Y.O. (1999). *Spatial configuration, spatial cognition and spatial behavior: The role of architectural intelligibility in shaping spatial experience*. Ph.D. thesis, University of London, London.

KIRK, S., KOLOKOTRONI, M. (2004). *Windcatchers in modern UK buildings: Experimental study*. International Journal of Ventilation. Vol. 3, p. 67-78

KONYA, A. (1980). *Design Primer for Hot Climates*. London: The Architectural Press.

L

LAAIBI, C. (2007). كتاب العمارة الدكورية – فن البناء و المعايير الاجتماعية و الأخلاقية في العالم العربي رياض الريس للكتب و النشر بيروت 11 فيفري، ص17 وص21

LAITHY, H. (2008). سوسيولوجية العمارة الفصل الثاني الباب الثالث ص 291 -288. جامعة القاهرة الإسلامية و نظرية الملائمة

LAMUNIÈRE, J.M. (1988). *Le classement typologique en architecture*. Habilitation: revue trimestrielle de la section romande de l'association suisse pour l'habilitation, p. 61

LARI, Y. (1989). *Traditional architecture of Thatta*. Pakistan, Karachi: Heritage Foundation.
LAWRENCE, R. (2005). *Methodologies in contemporary housing research: A critical review*. **In** D.U. Vestbro, Y. Hurol, & N. Wilkinson (Eds.). Methodologies in housing research. Gateshead: The Urban International Press.

LAYACHI, A. (2018). *Approches anthropo-morphologiques et éco-paysagères des cités sahariennes*. Polycopie de cours. Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf. Faculté d'Architecture et de Génie civil

LAZARUS, N. (2003). *A practical guide to producing affordable carbon neutral developments*. BedZED: Toolkit part II. Surrey, UK: Bio Régional Développent Group.

LE COGUIEC, É. (2012). *Pour une compréhension de la conception architecturale: étude réflexive de la conception du projet Mn.l2 et de ses références*. Thèse de doctorat en études et pratiques des arts. Université de Québec à Montréal.

LE NEVÉ, S. 2019. *Canicule: les gestes pour réduire la température chez soi sans clim.* [archive], sur lemonde.fr, 24 juin 2019 (consulté le 24 juin 2019).

LEOPOLD, L.B., CLARKE, F.E., HANSHAW, B,B., BALSLEY, J.R. (1971). *A Procedure for Evaluating Environmental Impact*. *Geological Survey Circular 645*. Washington, D.C

LETESSON, Q. (2009). *Du phénotype au génotype, analyse de la syntaxe spatiale en architecture monoene*. UCL Louvain Belgique, p. 12

LI, L., MAK, C.M. (2007). *The assessment of performance of a windcatcher system using computational fluid dynamics*. Building and Environment. Vol. 42, p. 1135-1141.

LIDDAMENT, M. (1996). *A Guide to Energy Efficient Ventilation*. International Energy Agency (IEA), Energy Conservation in Buildings and Community Systems Pro- gramme, Annex V Air Infiltration and Ventilation Centre, Coventry, England.

M

MAHNAZ, M.Z. (2009). *Analysis on Iranian Wind Catcher and Its Effect on Natural Ventilation as a Solution towards Sustainable Architecture (Case Study: Yazd)*. World Academy of Science, Engineering and Technology 54 2009. (Qazvin Islamic Azad University).

MAHYARI, A. (1996). *The wind catcher: a passive cooling device for hot arid climate*. Ph.D. Thesis, Dept. of Architectural and Design Science, University of Sydney, Sydney.

MALCURAT, O. (2001). *Modélisation d'un environnement logiciel d'assistance au travail collaboratif dans le secteur de l'architecture et du B.T.P*. Thèse de doctorat, discipline sciences pour l'architecture. Institut national polytechnique Lourraine. Nancy, France.

MALEKI, B.A. (2011). *Wind catcher: passive and low energy cooling system in Iranian vernacular architecture.* International Journal on "Technical and Physical Problems of Engineering" (IJTPE). Issue 8, Vol 3, N°3, pp 130-137

MALFROY, S., CANIGGIA, G. (1986). *L'approche morphologique de la ville et du territoire*. (Die morphologische Betrachtungsweise von Stadt und Territorium) Edition: Suisse, Eidgenössische Technische Hochschule allemand, p.36-37.

MALONE, A. (2018). *The wind catcher house.* Architectural Record: Building for Social Change.

MANSOURI, Y., ALLARD, F., MUSY, M. (2003). *Conception des enveloppes de bâtiments pour le renouvellement d'air par ventilation naturelle en climats tempérés: Proposition d'une méthodologie de conception*. Thèse de doctorat: discipline Science pour l'ingénieur, spécialité Architecture. Université de Nantes, École polytechnique; p. 320.

MASHUD, **M.,** Ali M.H, (2011). *High-performance wind turbine: a new approach*. **In**: Proceedings of the ASME 2011 5th international conference on energy sustainability, Washington, DC, 7–10 August

MAZOUZ, S. (2009). *La syntaxe spatiale*. Cours mastère en architecture. ENAU. Tunis

MAZOUZ, S. (2013). *Fabrique de la ville en Algérie et pérennisation d'un modèle: Le cas de la nouvelle ville Ali mendjeli a Constantine*. Courrier du Savoir – N°15, p.23-30.

MCCARTHY, B. (1999). *Wind Towers: Details in building*. Academy Edition, John Wiley & Sons, West Sussex, UK.

MCGRAW-HILL. (2012). *The Windcatcher House* [online]. Available at: http://archrecord.construction.com/features/humanitariandesign/united-states/The-Windcatcher-House.asp

MEMARIAN, G.H. (2005). *An Introduction to Iranian Residential Architecture, Introverted typology*. University of Science & Industry, Tehran, Iran.

MHU. (2009). Partenariat APRUE (Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de utilisation de l'énergie) - OPGI (Offices de Promotion et de Gestion Immobilière). *Intégrer l'économie d'énergie dans l'habitat*. Document d'information du Ministère de l'Habitat et de l'Urbanisme; La Revue de l'Habitat N°4 Septembre 2009, Alger, p. 74.

MHU. (2007). *Prescriptions techniques et fonctionnelles applicables aux logements sociaux*. Direction des programmes d'habitat et de promotion immobilière, octobre 2007.

MINKE, G. (2006). *Building with Earth*. Design and Technology of a Sustainable Architecture. Birkhauser Publishers for Architecture, Berlin, 18.

MOFIDI, S. (2008). *Analysis on typology and architecture of wind catcher and finding the best type*. Honarhayeziba journal. 2008. Vol 36. pp 29.

MOHAMMAD, A.H.K. (2013). *Sustainability Indicators of Iranian Vernacular Architecture: The Case of Yazd.* Master of Science in Architecture Eastern Mediterranean University March 2013 Gazimağusa, North Cyprus.

MOKRANE, Y. (2011). *Configuration spatiale et utilisation de l'espace dans les campus d'universités, cas du campus EL Hadj Lakhdar de Batna* . Mémoire présenté en vue de l'obtention Du diplôme de Magister.chapitre1.

MOLLA ZADEH, K. (2007). *The Historical Houses In Farsi*. Tehran: Milad Noor publisher.

MONODRAUGHT. (2003). The wind-catcher natural ventilation. Systems distributed by Monodraught Ltd in the UK.

MONODRAUGHT. (2006). Wind-catcher, natural ventilation systems. Buckinghamshire: Monodraught Ltd.

MONODRAUGHT, (2010). Monodraught San Francisco; 2010.

MONTAZERI, H., AZIZIAN, R. (2008). *Experimental study on naturel ventilation performance of one sided wind catcher*. Building and Environment 43 (12): 2193–2202.

MONTAZERI, H., MONTAZERI. F. (2010). *Two-sided wind catcher performance evaluation using experimental, numerical and analytical modeling*. Renewable Energy 35(7):1424-1435 DOI: 10.1016/j.renene.2009.12.003

MORIN, F. (2020). *La culture en partage*. Histoires d'architectures [online]. Available at: http://chambres-hotes-morin-salome.fr/Orient-Kritliyya.html

MUNICIPALITÉ DE DUBAÏ. (1996). *Traditional Architecture of Dubai*. Art and the Islamic World "special supplement".

MUNICIPALITÉ DE DUBAÏ. (2000). *The Historical Building Section. Elements of Traditional Architecture in Dubai.* Dubai: Dubai Municipality, 2000, p. C-(1).

MUNICIPALITÉ DE DUBAÏ. (2006). كتاب العمران التقليدي في دبي , بلدية دبي , إدارة العامة قسم المباني المشاريع التاريخية الطبعة الأولى 2006 , ص 5-8 و ص30-31

MUNSON, B.R., OKIISHI, T.H., YONG, D.F. (2009). *Fundamentals of Fluid Mechanics*. New Jersey: Wiley.

MUSHTAHA, E., ARAR, M.S., FAISAL, H. (2010). *Assessment tools :Mathematical factorial and adjacency distribution theory for housing typology in Gaza City*. Archinet IJAR, volume 4 Jssue 1-March 2010, PP 149-157

N

NÂDERI BENI, K. (2016). *Le concept de Andarouni/Birouni dans les maisons traditionnelles persanes* [en ligne]. La revue de Téhéran en langue Française, N° 122 Janvier 2016. Disponible sur: http://www.teheran.ir/spip.phparticle2187#gsc.tab

NAFEH, A.A. (2009). *Design and Economic Analysis of a Stand-alone PV System to Electrify a Remote Area Household in Egypt*. The Open Renewable Energy Journal, 2, pp 33-37.

NBN EN 13779. (2004). *Ventilation dans les bâtiments non résidentiels* - Spécifications des performances pour les systèmes de ventilation et de climatisation. 4.

NETTER, E. (2009). *Les tours des vents* [en ligne]. L'habitat écoresponsable, construction bois et développement durable au quotidien. Propulsé par WordPress Thème Eco-Res, publié le 16 septembre. Disponible sur: http://www.habitat-eco-responsable.fr/2009/09/les-tours-des-vents/

NETTO, V. (2015). *What is space syntax not?*' Reflections on space syntax as sociospatial theory. Urban Design International Journal, 4 November 2015.

NICOL, F. (2004). *Thermal Comfort*. A Handbook for Field Studies toward an Adaptive Model. London: University of East London.

NOSRATPOUR, D. (2012). *Evaluation of Traditional Iranian Houses and Match it with Modern Housing*. Journal of Basic and Applied Scientific Research, J. Basic. Appl. Sci. Res., 2(3)2204-2213, 2012 ISSN 2090-4304 Text Road Publication, 2012.

O

OHYA. **Y.,** KARASUDANI. T, (2010). *A shrouded wind turbine generating high output power with wind-lens technology*. Energies 3(4): 643–649.

P

PARRA-SALDIVAR, M.L., Batty**,** W. (2006). *Thermal behaviour of adobe constructions*. Building and Environment 41(12):1892-1904

PARAPARI, D.M. (2015). Investigating Adaptation and Mitigation Strategies for Kerman, Iran, Based on Traditional Urbanism and the German Experiences in the Ruhr. Thesis In fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Engineering. Faculty of Spatial Planning Dortmund University of Technology (TU Dortmund), pp. 120–123.

PATTON, M.Q. (1990). *Qualitative evaluation and research methods*. 2nd edition. Sage Publications, Beverly Hills. Designing Qualitative Studies. Inc. p. 169-186.

PAYAM, E. (2011). *Analysis of Traditional Iranian Houses of Kashan, Iran in Terms of Space Organization and Access Design*. Master's Thesis. Eastern Mediterranean University, Institute of Graduate Studies and Research, Dept. of Architecture, Famagusta: North Cyprus.

PENN, A., TURNER, A. (2002). *Space syntax based agent models*. **In** M. Schreckenberg and S Sharma (eds), Pedestrian and Evacuation Dynamics, Springer- Verlag, Heidelberg Germany, p. 99-114

PEPONIS, J. (1989). *A space syntax glossary*. Ekistics. Vol.56,No334/335 (1989). A theme issue on Space Syntax.

PEPONIS, **J.**, ZIMRING, C., CHOI,Y.K. (1990). *Finding the building in wayfinding*. Environment and Behaviour. Perspectives for Urban Morphology. Transactions in GIS', pp. 295-309.

PEPONIS, J., WINEMAN, J., BAFNA, S., RASHID. M., AND KIM, S. H, (1998); On the generation of linear representations of spatial configuration. Environment and Planning B: Planning and Design 25, p. 559-576.

PIRNIÂ, M.K. (2004). *Sabkshenâsie memârie Irân*i (Styles de l'architecture iranienne), ouvrage recueilli par Gholamhossein Me'mâriân, Téhéran, éd. Me'mâr, déc.

PYRNIA, M.K. (1981). *Acquaintance with Iran Islamic Architecture, Tehran*: Tehran University press.

Q

QUATREMÈRE DE QUINCY, A. (1976). *Architecture*. In Encyclopédie méthodique volume III, Paris 1788-1825. English Trans in oppositions 8, 1976 p148

R

RAFOONEH, M.S., PAYAM, M. (2013). *An Inquiry into Cultural Continuity and Change in Housing: An Iranian Perspective*. Sociology Mind 2013. Vol.3, No.3, 230-237

RAOUFI RAD, M. (2006). *Design of Solar Systems in Buildings in Iran*. Fadak Isatis Publications, Tehran.

RAPOPORT, A. (1972). *Pour une anthropologie de la maison*. Dunod Paris.

RAPOPORT, A. (1980). *Toward a Cross-Culturally Valid Definition of Housing*. **In** Stough, R.R., Wandersman, A., editors, Optimizing environments: Research, practice, and policy, Washington, DC: EDRA.

RAVÉREAU, A. (1989). *La Casbah d'Alger, et le site créa la ville*. La bibliothèque arabe collections éditées par Pierre Bernard. Sindbad 1 et 3 Feutrier Paris18.

RICHTER, J. (2003). Liberty Ship Photo.

ROAF, S. (1981). *Badgir*; *living with the desert*. Oxford press., p.57-77

ROAF, S. (1988). *The Wind catcher of Yazd*. Ph.D thesis; department of Architecture; Oxford polytechnic.

Roaf, S. (1997). *Wind-catchers: badgirs*. **In**: P. Oliver, ed. *Ency- clopaedia of vernacular architecture of the world*. Cam- bridge: Cambridge University Press, 473.

ROAF, S., CRICHTON, D., NICOL, F. (2009). *Adapting Buildings and Cities for Climate Change*. A 21st Century Survival Guide Book 2nd Edition.

ROAF, S. (2005). *Air-conditioning avoidance: lessons from the wind-catchers of Iran*. International Conference "Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment", May 2005, Santorini Greece, p.1053-1057

ROOPAL, D., RAJASHREE, K. (2015). *Dwellings then and now: A topological approach for privacy analysis of wada and modern houses*. Proceeding of the 10th space syntax symposium, London from 13-17 july.

R111-2 du CCH. Code de la construction et de l'habilitation en France.

S

SAFWAT, M. (2013). كتب هندسيه . *بيت العلوم والثقافة و الفنون*. متوفر على الموقع

https://safwatmohamed.files.wordpress.com/2013/02/d8b0_c3a8_d8b2-

SAKHRI, N. (2015). *Étude numérique d'un Système de ventilation naturelle de type tour à vent dans les régions arides (Cas de la ville de Béchar)*. Mémoire de Magistère Spécialité: Énergétique. Option : Dynamique Des Transfert. Université: Abou Backr Belkaid - Tlemcen.

SANTAMOURIS, M., KOLOKOTSA, D. (2012*). Passive cooling dissipation techniques for buildings and other structures: the state of the art*. Energy Build 2013;57:74–94. http:// dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.11.002.

SAUVÉ, L. (2002). *L'éducation relative à l'environnement: possibilités et contraintes*. Connexion, La revue d'éducation scientifique, technologique et environnementale de l'UNESCO, Vol. XXV11, 2002, no 1/2, p. 1-4 (version française).

SCHIANO-PHAN, R., BRIAN, F. (2008). *Post Occupancy Evaluation of non-domestic buildings using downdraught cooling: case studies in the US*. PLEA 2008 – 25th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Dublin, 22nd to 24th October.

SERAGELDIN, I. (2007). *Hassen Fathy, Criticism and Interpretation.* Bibliotheca Alexandrina cataloging in publication Data, ISBN 978-977-6163-98-0 Dar El Kuttub.

SERAGELDIN, I. (2007a). *Architecture, Islamic-Arab countries.* Bibliotheca Alexandrina cataloging in publication Data, ISBN 978-977-6163-98-0 Dar El Kuttub, p. 19

SERAGELDIN, I. (2007). *Hassen Fathy, Criticism and Interpretation.* Bibliotheca Alexandrina cataloging in publication Data, ISBN 978-977-6163-98-0 Dar El Kuttub.

SGHAIER, M., SANDRON, F. (2000). *L'approche des indicateurs dans l'étude de la relation population- environnement: le programme DYPEN*. **In** : Population rurale et environnement en contexte bioclimatique méditerranéen. Tome I. Tunis : Secrétatiat d'Etat à la Recherche

Scientifique et à la Technologie. 7 p. Séminaire International MEDENPOP, Jerba (Tunisie), 25-28/10/2000.

SGHAIER, M. (2012). *Analyse de l'interaction entre les données socio-économiques et écologiques*: *synthèse régionale*. Options méditerranéennes, Séries B. Études et Recherches ; n. 68, p. 71-94. Surveillance environnementale et développement.

SEMAHI .S., DJEBRI, B. (2013). *La conception des logements à haute performance énergétique (HPE) en Algérie - Proposition d'un outil d'aide à la conception dans les zones arides et semi-arides*. Revue des Energies Renouvelables Vol. 16 N°3 (2013) 551 – 568

SEPPÄNEN, O.A., FISK, W.J., MENDELL, M.J. (1999). *Association of ventilation rates and CO2 concentrations with health and other responses in commercial and institutional buildings*. Indoor Air 1999; 9:226-252.

SHARIAT, Z. (1966). *Baudgeers of Yazd and the construction methods of them*. Published in the book of Yazdnameh, vol 1, Jodaganeh, Tehran.

SHOUL, M. (1993). *The Spatial Arrangements of Ordinary English Houses*. Environment and Behavior, 25, Jan., pp 22-69

STEELE, J. (1989). *The Hassan Fathy Collection* [online]. A Catalogue of Visual Documents at the Aga Khan Award for Architecture. Bern, Switzerland: The Aga Khan Trust for Culture. Available at: http://archnet.org/sites/2559

STEELE, J. (1997). *An Architecture for People: The Complete Works of Hassan Fathy* [online]. London, United Kingdom: Thames and Hudson. Available at: http://archnet.org/sites/2678/media_contents/30723

SODHA, **M.S.,** BANSAL, N.K., KUMAR, A., MALIK, M.A.S. (1986). *Solar passive Building, Science and Design*. Pergamon press, Oxford.

SOURAT EL NOUR, VERSET (30,31). Le Saint Coran

SU, Y., RIFFAT, S.B., LIN, Y.L., KHAN, N. (2008). *Experimental and CFD study of ventilation flow rate of a Monodraught windcatcher*. Energy and Buildings. 2008. Vol. 40. pp. 1110-1116.

SU-FERN, T. (2007). *The "green" approaches and systems explored in Melbourne City Council's demonstration project, CH2*. Published [online]1jan 2007, Issue Architecture Australia Jan/Feb. Available at: https://architectureau.com/articles/practice-15/

SUNGUR, **C.A.,** ÇAĞDAŞ, G. (2003). *Effect of Housing Morphology on User Satisfaction*. Proceeding of the fourth International Space Syntax Symposium, London: University College London, p. 1-7

SUZAN, **N**. (2017). *Economical sustainability in Architecture during Muslim Civilization* [online]. University of Alberta, Civil and Environmental Engineering, Post-Doc. Available at: https://ualberta.academia.edu/Suzanihand

T

TALIB, K. (1983). *Review of climatic design concepts and details in traditional architecture in various climatic zones* . Saoudia Arabia: pb Programe press.

TAVASOLLI, M. (1981). Civil engineering and architecture in dry and arid land of Iran. Payam and Payvande No, Tehran, pp 82–92.

THELLIER, F., MONCHOUX,F. (2004). *Modélisation du confort thermique dans l'habitat*. **I**n GAT Habitat - Séminaire modélisation – 28-29 janvier. La rochelle.

THIERS, S. (2008). *Bilans énergétiques et environnementaux de bâtiments à énergie positive*. Thèse de doctorat spécialité énergétique. Sciences des Métiers de l'Ingénieur, Paris.

TOLBA, M. (2014). "*Wind Catchers" A Perfect Example of Sustainable Architecture in Egypt*. International Journal of Current Engineering and Technology Vol.4, No.1. E-ISSN 2277 – 4106, P-ISSN 2347 - 5161

TOLOUIE, R. (2006). *Architecture autrement*. Habiter le monde. AAM Édition, Bruxelles.

TOMPKINS, E.L., ADGER, W.N. (2004). *Does the Adaptive Management of Natural Resources Enhance Resilience to Climate Change*. Ecology and Society, Vol. 9, No. 2.

TORKIA, **A**. (2009). *Évaluation quantitative de la performance d'une tour à vent pour une ventilation naturelle et un rafraîchissement passif dans les régions chaudes et semi-arides cas d'Ouled Djellal*. Thèse de magistère, université Mohamed Kheider Biskra, Algérie p. 3

TURAN, M. (1990). *Vernacular architecture and environmental response*. **In**: M. Turan, ed. Vernacular architecture: paradigms of environmental response. Aldershot: Avebury, pp 133–136.

TURNER, J. (2005). *Depthmap 4 a researcher's handbook*. Unpublished handbook for the software, UCL, p. 14-17

TURNER, A., PENN, A., HILLIER, B. (2005). *An algorithmic definition of the axial map*. **In**: Environment and Planning B: Planning and Design 32 (in press).

TURNER, A. (2007). *From Axial to Road-Centre Lines: A New Representation for Space Syntax and a New Model of Route Choice for Transport Network Analysis*. Environment and Planning B: Planning and Design 34 (3): 539–555.

U

UNCHS/Habitat. (2006). State of the world's cities report 2006. United Nations Human Settlements Programme (UN-HABITAT), Nairobi, Kenya. Website: www.unhabitat.org

V

VAUGHAN, L. (2007). *The spatial syntax of urban segregation*. Whole issue. Progress in Planning, 67 (3) p. 205-294.

VELLINGA. M., Oliver, P., and Bridge, A., (2007); Atlas of vernacular architecture of the world. London: Routledge.

W

WANG, J., PIECHNA, J., MULLER, N. (2012). *Computational fluid dynamics investigation of a novel multi-blade wind turbine in a duct*. Journal of Solar Energy Engineering: Transactions of the ASME 135(1): 011008.

WEISSENSTEIN, C. (2012). *Éco-profil: un outil d'assistance à l'éco-conception architecturale*. Thèse de doctorat, spécialité science de l'architecture. Université de lorraine école doctorale: iaem

Lorraine Laboratoire MAP-CRAI (UMR n°3495/CNRS: Modèles et simulations pour l'Architecture, l'urbanisme et le Paysage) école Nationale Supérieure d'Architecture de Nancy.

WERONIKA, D. (2014). *Space Syntax Analysis: Methodology of Understanding the Space*. PhD interdisciplinary journal.

WIENER, J., FRANZ, G. (2008). *Isovists as a means to predict spatial experience and behavior*. Max-Planck-Institute for Biological Cybernetics, Germany.

WIPPLER, J-L., LUZEAUX, D. (2017). *L'architecture et la conception architecturale des systèmes complexes*. Les modes de raisonnement de l'architecte. Technique de l'ingénieur. L'expertise technique et scientifique de référence. Magasine Réf : S7302V1.Date de publication 10 novembre 2017.

X

Y

YAVARINASAB, K., MIRKHALILI, E.A. (2013). *Investigation the wind catchers of residential houses in Yazd Province, Iran*. Journal of American Science; 9(7): 276-285

YAGHOUBI, M.A., SABZEVARI, A., GOLNESHAN, A.A. (1991). *Wind towers: Measurement and performance*. Solar energy 47.2 (1991):97-106

YAHYAVI, S. (2016). *Les maisons traditionnelles iraniennes, initiations aux rapports entre l'homme et la nature*. La revue de Téhéran mensuel culturel iranien en langue française, n°122, Janvier 2016.

Z

ZABIHI, S. (2010). *Evaluating the Effects of Modern Movement on Contemporary Residential Buildings in Iran's Capital City- Tehran*. Master of Science in Architecture Eastern Mediterranean University July 2010 Gazimağusa, North Cyprus.

ZACCAI, E. (2002). *Approches territoriales du développement durable. De quelques visions mondiales des limites de l'environnement* [en ligne]. Disponible sur: https://doi.org/10.4000/developpementdurable.887

ZERANDI, M.M., MOFIDI, S. (2008). *An Investigation of Typology of Louvers Design in Yazd and Finding Optimum Functional Type*. Journal of Fine Arts, pp 27 - 36.

ZERANDI, M.M. (2009). *Louver, the Symbol of Iranian Architecture*. Yazd, Tehran.

ZHALEH, H., BELMANS,B., AYATOLLAHI, M.H., WOUTERS, I., FILIP, D. (2015). Performance assessment of ancient wind catchers - an experimental and analytical study. Energy Procedia 78 (2015) 2578-2583. 6th International Building Physics Conference, IBPC 2015. Available online at www.sciencedirect.com ScienceDirect

ZHU, W.D., GOUDARZI, N., WANG, X.F., KENDRICK, P. (2012). Development of a variable electromotive-force generator for a wind turbine. **In**: International Mechanical Engineering Congress & Exposition (IMECE2012) at Houston, Texas, USA, 9–15 November, volume 4, p. 1249–1256.

Sites Internet

- AGENCE DE PRESSE DE LA RÉPUBLIQUE ISLAMIQUE (IRNA). *L'Unesco inscrit Yazd sur sa liste du patrimoine mondial.* [en ligne]. (Date de création du site 1981). Disponible sur: <http://www.irna.ir/fr/News/82592097> (consulté le 19/07/2017)

- ALAMY. *Petite cour intérieure, maison historique Tabatabei, Kashan, Iran*. (17/10/2016). Disponible sur: <https://www.alamyimages.fr/photo-image-petite-cour-interieure-maison-historique-tabatabei-kashan-iran-133091775.html/> (consulté le 9/12/2017)

- ARCHITECTURAL DESIGN SCHOOL. *CH2 Melbourne City Council House 2* / DesignInc. [en ligne]. (2017). Disponible sur: <https://fre.architecturaldesignschool.com/ch2-melbourne-city-council-house-2-98126> (consulté le 12/7/2014)

- ARNAUD, J.L. *Éléments d'architecture ottomane au Caire*. Égypte/Monde arabe; Première série, 6 1991, (mis en ligne le 08 /07/ 2008). Disponible sur: <http://journals.openedition.org/ema/434>; DOI: https://doi.org/10.4000/ema.434 (consulté le 2/2/2016)

- BENDIK, M., ESPEN, R., PAUL, B. *AGRAPH, Software for Drawing and Calculating Space Syntax Graphs* . [en ligne]. (2002). Disponible sur:
<http://spacesyntax.tudelft.nl/media/Long%20papers%20I/agraph.pdf> (consulté le 23/6/2015)

- BIGSTOCK. Cairo, Egypt. *Zeinab Khatoun House*. [en ligne]. (25/2/2017). Disponible sur:
<https://static3.bigstockphoto.com/6/7/1/large1500/176631022.jpg/> (consulté le 2/2/2016)

- DAMLUJI, S.S. *The architecture of Oman.* [en ligne]. (1998). Disponible sur:
<http://www.egyptarch.com/egyptarchitect1/hasanfathi/hfprojects.htm> (consulté le 11/7/2014)

- DREAMSTIME. *Ville historique de Yazd, Iran.* [en ligne]. (Date de création du site 2000). Disponible sur:
<https://fr.dreamstime.com/photo-libre-de-droits-ville-de-yazd-image20740855> (consulté le 19/07/2017)

- ENERDATA. *L´avenir de la climatisation*. [en ligne]. (26/9/2019). Disponible sur:
<https://www.enerdata.fr/research/prevision-demande-energetique-enerfuture.html>(consulté le 19/12/2019)

- FLOORNATURE. Architecture et surface. *Urko Sanchez réalise un projet à Djibouti pour SOS Villages d'enfants*. [en ligne]. (7/3/2001). Disponible sur:
<http: //www.sos-childrensvillages.org> (consulté le 12/12/2017)

- FILIALE DU GROUPE HOMEADVISOR INTERNATIONAL. *Climatiser sans clim: c'est possible !* [en ligne]. (3/2/2020). Disponible sur:
<https://www.travaux.com/climatisation/articles/climatiser-sans-clim-c-est-possible> (consulté le 14/4/2020)

- GOUMBOOK. *« Barjeel » wind turbine tower*. [en ligne]. (14/4/2017). Article Disponible sur:
goumbook.com, 2juillet 2012. (consulté le 18/7/2017)

- HUBERT, E. *À la découverte du Vieux Dubaï.* [en ligne]. (6Mai 2015). Disponible sur:
<http: www.augoutdemma.be/27613> (consulté le 05/01/2017)

- KHAOULA ALI. 2014 *البراجيل .. «تكنولوجيا» الماضي للتغلب على قسوة البيئة المحلية*. . 15 فبراير
<http://www.alittihad.ae/details.php> (consulté le 08/07/2015)

- HISOUR. *Salle Qa'a.* [en ligne]. (2010). Disponible sur:
<https://www.hisour.com/fr/qaa-room-32242) >(consulté le 9/12/2017)

HISOUR. *Iwan.* [en ligne]. (2010). Disponible sur:
<https://www.hisour.com/fr/iwan-in-architecture-31920/> (consulté le 9/12/2017)

- L´ENCYCLOPÉDIE ÉCOLOGIQUE. *Climatiseur*. [en ligne] *(17/2/2014).* Disponible sur:
<https://www.encyclo-ecolo.com> (consulté le 9/12/2019)

- MAPS ALGERIA. *L'Algérie carte climatique* [en ligne]. Disponible sur:
<https://fr.maps-algeria.com/l%27algérie-carte-climatique/> (consulté le 21/05/2016)

- MIT. *Shadirwan or Salsabil* [en ligne]. Disponible sur:
<web.mit.edu > (consulté le 2/2/2016)

- MY ARCHITECTURAL MOLESKINE. *The other side of Dubaï: wind towers* [en ligne]. (23 Janvier 2010). Disponible sur:
<http://architecturalmoleskine.blogspot.com/2010> (consulté le 05/01/2017)

- NESSAHRA. Toute l'actualité touristique et culturelle en Algérie. *La palmeraie de Ouled Djellal comme vous ne l'avez jamais vue*. [en ligne]. Disponible sur:
<http://www.eden-algerie.com/> (consulté le 05/10/2015)

- ONLINE TRAINING PLATFORM. *UCL Space syntax* [en ligne]. (2010). Disponible sur:
<http://otp.spacesyntax.net/07/2012)> (consulté le 5/12/2017)

- ONLINE TRAINING PLATFORM. *UCL Space syntax.Entropy*. [en ligne]. (2010). Disponible sur:
<http://otp.spacesyntax.net/term/entropy/> (consulté le 5/12/2017)

- PATOWARY, K. *The wind catchers of Iran*. [en ligne]. Disponible sur:
<http://www.amusingplanet.com/2015/02/the-wind-catchers-of-iran.html> (consulté le 11/7/2014)

- PRESSES DE L'IFPO. Publications de l'Institut français du Proche-Orient. *Alep et ses territoires. L'espace domestique traditionnel et les pratiques quotidiennes, autrefois* [en ligne]. Disponible sur:
<https://books.openedition.org/ifpo/6711?lang=fr#tocfrom1n2/> (consulté le 23/11/2016)

- SCFP. Syndicat Canadien de la Fonction Publique. *Le stress thermique.* [en ligne].(28/04/2011). Disponible sur:
<https://scfp.ca/le-stress-thermique, 2011> (consulté le 25/05/2014)

- UNIVERSITÉ DE NICE SOPHIA ANTIPOLIS. Faculté Espaces et Cultures. Département Géographie, Aménagement et environnement durables. *Geolivret 2012/2017*. Disponible sur:

<http:// www.espaces-publics-places.fr> (consulté le 13/3/2017)

- URKO SANCHEZ Architects. *SOS Children's Village Tadjourah, Djibouti*. [en ligne]. (2017). Disponible sur:
<http://urkosanchez.com> (consulté le 2/12/2017)

- WIKIPEDIA. *Architecture résidentielle persane traditionnelle.* [en ligne]. Disponible sur:
<https://fr.wikipedia.org/wiki/Architecture_résidentielle_persane_traditionnelle> (consulté le 8/4/2017)

- WIKIPEDIA. *Climat désertique.* [en ligne]. Disponible sur:
<http://fr.wikipedia.org/wiki/Climat_désertique#Climat_désertique_chaud> (consulté le 11/09/2016)

- WIKIPEDIA. *Climatisation.* [en ligne]. Disponible sur:
<https://fr.wikipedia.org/wiki/Climatisation> (consulté le 21/03/2019)

- WIKIPEDIA. *Climat en Algérie.* [en ligne]. Disponible sur:
<http://fr.wikipedia.org/wiki/climat en Algérie> (consulté le 11/09/2016)

- WIKIPEDIA. *Iwan.* [en ligne]. Disponible sur:
<https://en.wikipedia.org/wiki/Iwan> (consulté le 8/4/2017)

- WIKIPEDIA. *Ouled Djellal.* [en ligne]. Disponible sur:
<http://fr.wikipedia.org/wiki/Ouled_Djellal

- WIKIPEDIA. *Qanat.* [en ligne]. Disponible sur:
<https://fr.wikipedia.org/wiki/Qanat> (consulté le 8/4/2017)

- WIKIPEDIA. *Salsabil.* [en ligne]. Disponible sur:
<https://en.wikipedia.org/wiki/Salsabil> (consulté le 8/4/2017)

- WIKIPEDIA. *Taille des logements en France.* [en ligne]. Disponible sur:
<https://fr.wikipedia.org/wiki/Taille_des_logements_en_France> (consulté le 14/10/2014)

- WIKIPEDIA. *Windcatcher*. [en ligne]. Disponible sur:
<https://en.wikipedia.org/wiki/Windcatcher> (consulté le 9/09/2014)

- ZEDFACTORY. *Projects/Mixed Use. BedZED* [en ligne]. (2002). Disponible sur:
<http://www.zedfactory.com> (consulté le 11/7/2014)

Logiciels

- Agraph

- Autocad R14

- Sphinx Plus 2

Annexes

Annexes

Annexe I :

- Dossier graphique et détails d’exécution du prototype adopté.

Annexe II :

- Formulaire de questions

Annexe III :

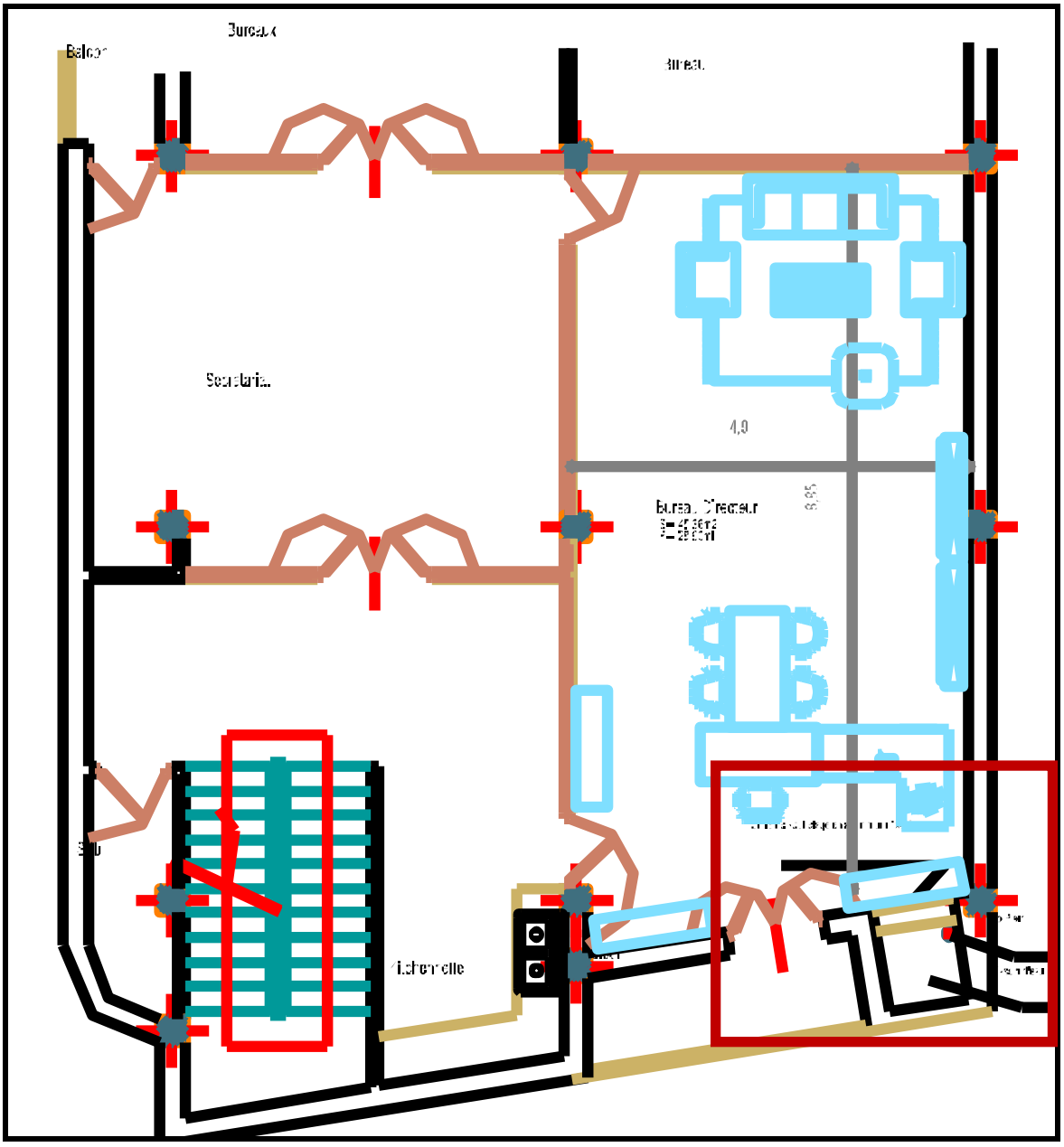
- Résultats de l’analyse syntaxique de l’échantillon

Annexe IV :

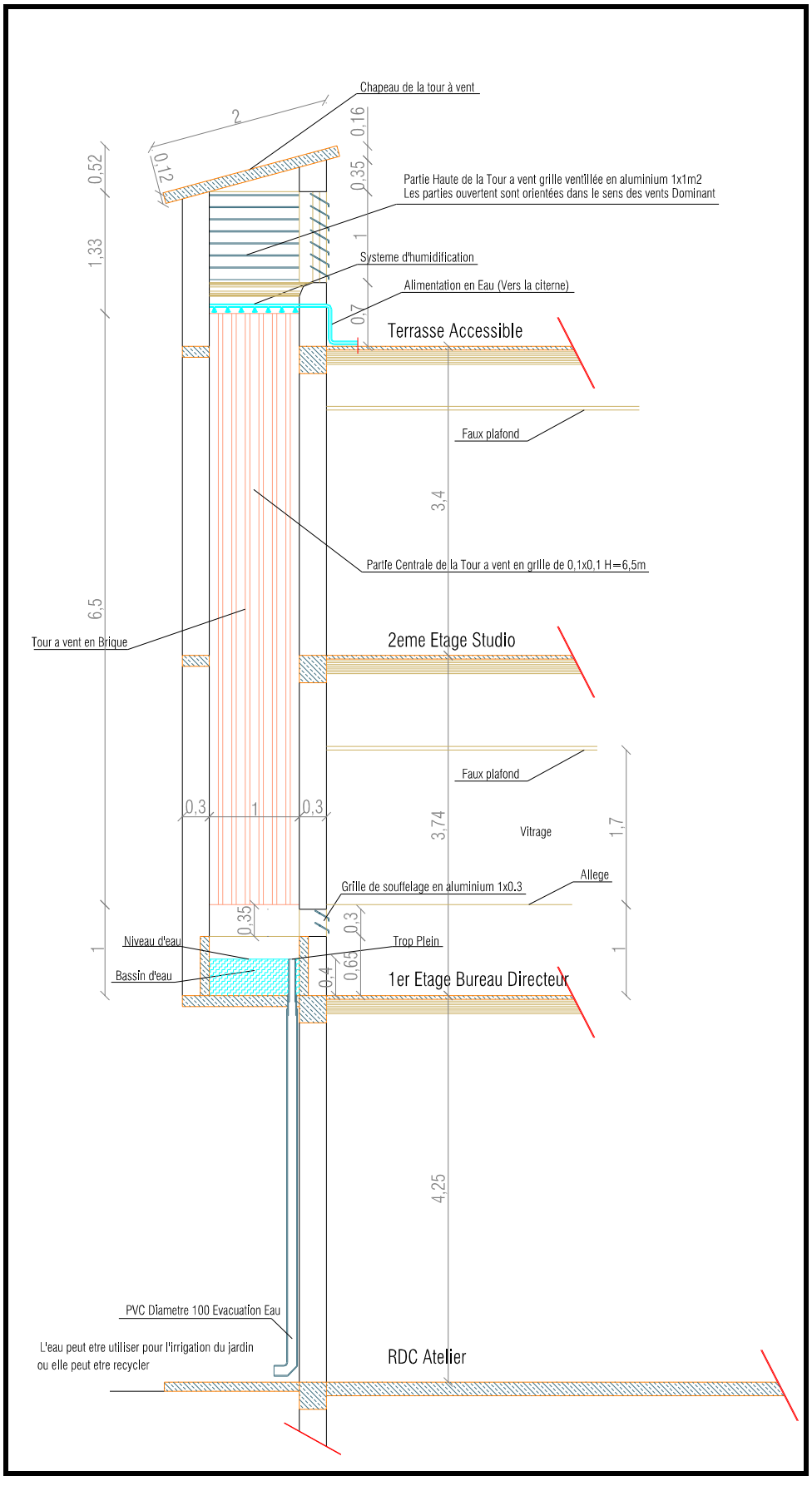
- Performance thermique du prototype adopté

Annexe I: Dossier graphique et détails d'exécution du prototype adopté

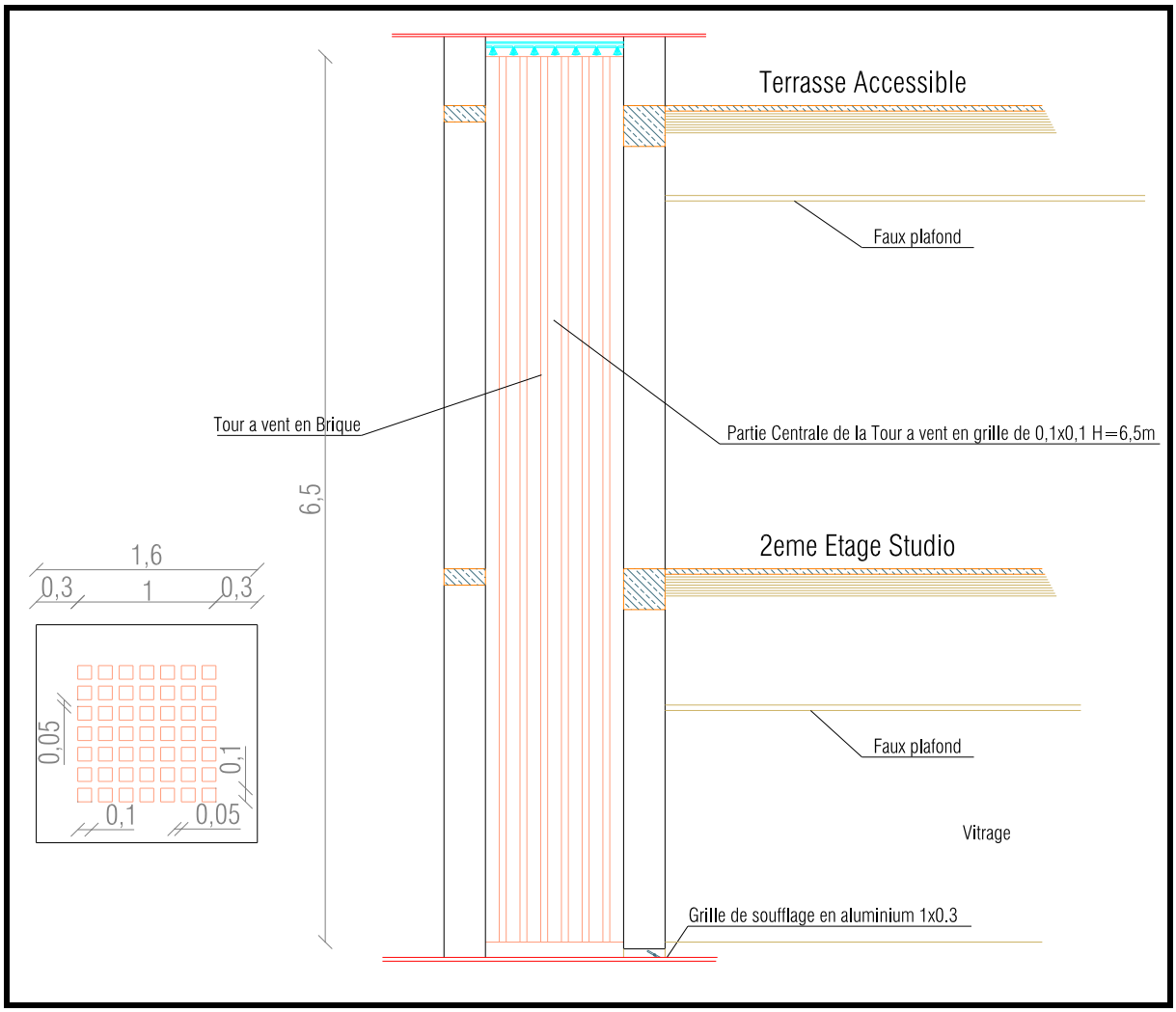
Les différents détails relatifs au modèle adopté et à sa réalisation sont indiqués dans les figures ci- dessous:

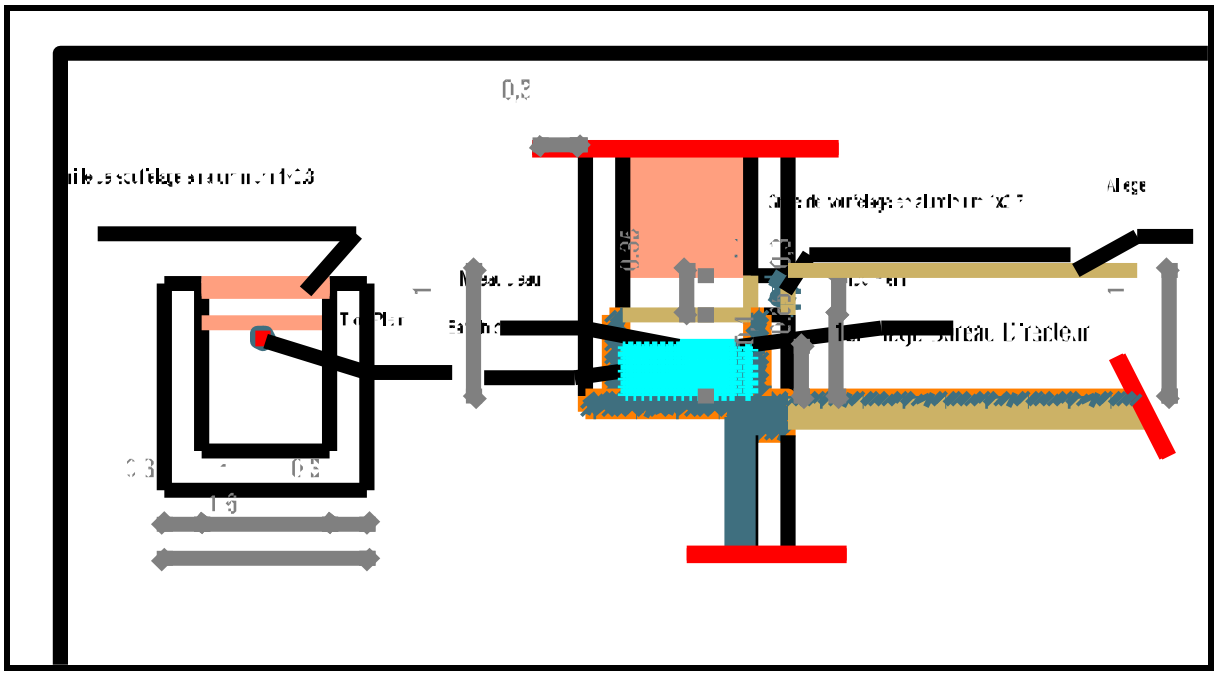


Vue en plan de l'espace d'intégration du modèle adopté (Djouima, 2008)

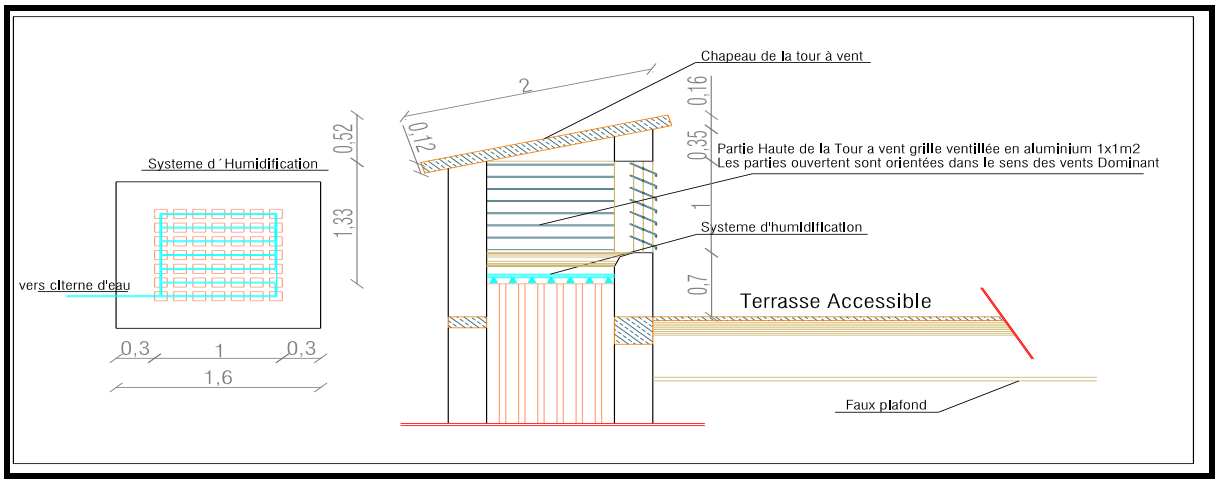


Coupe sur le modèle réalisé à Hassi Messaoud (Djouima, 2008)





Détails sur les partie centrale et la partie basse du prototype « conduit » (Djouima, 2008)





Détail tête tour à vent et système d'humidification (Djouima, 2008)

Annexe II: Formulaire de questions

FORMULAIRE DE QUESTIONS

Salem,

Je me présente Mme Assil Torkia architecte maitre-assistante à l'université de Batna faculté de l'ingénieur. Je suis doctorante à l'université Mohamed Kheidher à Biskra et je prépare ma thèse de doctorat sciences intitulée :

Évaluation qualitative de la performance thermique de la tour à vent pour une ventilation naturelle et un rafraîchissement passif cas d'Ouled Djellal.

J'ai besoin de votre collaboration pour accomplir et réussir mon travail de recherche. Je vous présente un formulaire de questions dont les réponses seront cochées dans les cases qui conviennent. C'est anonyme. Nous vous remercions de votre coopération.

I/ Informations personnelles :

1. Profession

|__| 1. 1a- Fonctionnaire |__| 2. 1b- Fonction libérale
|__| 3. 1c- Retraité. |__| 4. 1d- Sans.

2. Niveau d'étude

|__| 1. 2a- Sans niveau |__| 2. 2b- Primaire
|__| 3. 2c- Moyen |__| 4. 2d- Secondaire |__| 4. 2d- Universitaire

3. Situation familiale

|__| 1. 3a- Marié |__| 2. 3b- Célibataire |__| 3. 3c- Autre

4. Nombre d'enfants

|__| 1. 4a- Sans enfants
|__| 2. 4b- Moins de 3 enfants
|__| 3. 4c- Entre 3 et 5 enfants
|__| 4. 4d- Plus de 5 enfants

5. Etes vous:

|__| 1. 5a- Propriétaire
|__| 2. 5b- Locataire chez l'état
|__| 3. 5c- Locataire chez un particulier

6. Depuis quand habitez vous ce logement?

|__| 1. 6a- Depuis la distribution des logements par l'état en 1984
|__| 2. 6b- Depuis le désistement des logements en 1994
|__| 3. 6c- Autre (préciser la date) ……

7. Quel type de logement possédez-vous ?

|__| 1. 7a- F2 |__| 2. 7b- F3 |__| 3. 7c- F4 |__| 3. 7c- F5

8. À quel niveau habitez-vous ?

|__| 1. 8a- Au RDC |__| 2. 8b- Au 1er étage

II/ Identification du système de ventilation par gaine (Malqaf) :

9- Connaissez-vous l'élément vertical qui se trouve à Wastdar et qui ressort au niveau de la terrasse?
|__| 1. 9a- Oui |__| 2. 9b- Non

10. Si oui, que représente pour vous cet élément? (*Vous pouvez cocher 2 cases au maximum).*
|__| 1. 10a- Une simple gaine d'aération
|__| 2. 10b- Une cheminée pour le chauffage
|__| 3. 10c- Une cheminée pour la cuisson
|__| 4. 10d- Autres (préciser)……..

11. Connaissez-vous son origine?
|__| 1. 11a- Oui |__| 2. 11b- Non

12. Si oui précisez :
|__| 1. 12a- Local
|__| 2. 12b- Régional (sud Algérien)
|__| 3. 12b- Pays du Maghreb
|__| 4. 12d- Moyen Orient
|__| 5. 12d- Autres (préciser).

13. Pensez-vous qu'il est utile dans le logement?
|__| 1. 13a- Oui |__| 2. 12b- Non |__| 2. 12b- ne sais pas

14. Si oui, précisez son utilité :
……..

III/ État des lieux de système tour à vent et constations:

15. Dans votre logement, la gaine est :
|__| 1. 15a- Totalement ouverte (*Aller à 16 si partiellement ou totalement ouverte)*
|__| 2. 15b- Ouverte uniquement au niveau de la bouche d'entrée d'air (extérieur)
|__| 3. 15c- Ouverte uniquement au niveau de la bouche de sortie d'air (intérieur)
|__| 4. 15d- Totalement fermée (*Dans ce cas aller à 19)*

16. La gaine est restée ouverte : *(Vous pouvez cocher 2 cases au maximum)*
|__| 1. 16a- par conscience de son utilité
|__| 2. 16b- Par manque de moyens financiers
|__| 3. 16c- Parce que vous n'avez pas le droit de la modifier
|__| 4. 16d- Autres (préciser)……

17. L'ouverture de la gaine est utilisée pour
|__| 1. 17a- La ventilation naturelle
|__| 2. 17b- L'évacuation de la fumée (gaz carbonique)
|__| 3. 17c- Passage de différents types de câbles et tuyaux
|__| 4. 17d- Autres (préciser)…….

18. La gaine est ouverte :
|__| 1. 18a- Durant toute l'année

|__| 2. 18b- Saisonnièrement (préciser)……...
|__| 3. 18c- dans une durée bien déterminée (préciser)……...
|__| 4. 18d- Occasionnellement (préciser)……...

19. La gaine est condamnée pour : (*Vous pouvez cocher 2 cases au maximum)*
|__| 1. 19a- Empêcher la pénétration de toute impureté:sable, poussière, insectes et scorpions.
|__| 2. 19b- Éviter la pénétration de l'air froid en hiver
|__| 3. 19c- Éviter les nuisances dues au bruit amplifié des vents forts
|__| 4. 19d- Élargir les escaliers de Wastdar
|__| 5. 19e- Effectuer des transformations à l'intérieur de l'appartement (préciser)….....
|__| 6. 19f- N'a pas de rôle
|__| 7. 19g- Autres (préciser).....

IV/ Présentation du système tour à vent (El Malqaf) et avis:

La gaine verticale sis à Wastdar de votre appartement est une tour à vent (Malqaf). Elle sert à ventiler et rafraichir l'intérieur naturellement. Dans une étude antérieure, effectuée en 2008 sur lieux à Ouled Djellal, ces tours ont prouvé leur efficacité (vis-à-vis de la différence de la température entre l'intérieur et l'extérieur). Un écart de température très important atteignant 13°C au RDC et 10 °C à l'étage. Cette différence est associée d'un écoulement d'air sec au niveau de la bouche de sortie. Donc, la durée de la mise en service des climatiseurs va diminuer systématiquement. Et par conséquent, une santé meilleure et une consommation électrique moins couteuse.

20. Que pensez-vous de ce système de rafraîchissement et de ventilation naturelle?
|__| 1. 20a- Non convenable
|__| 2. 20b- Convenable
|__| 3. 20c- Convenable sous réserves
|__| 4. 20d- approuvé

21. Pensez-vous que ce système pourrait avoir une large utilisation dans les régions chaudes afin d'assurer un rafraichissement naturel ? (Justifier)
……
……
……

Fin du formulaire de questions.

استمـــــــارة استـــــــبيان

السلام عليكم ورحمة الله وبركاته؛

أنا السيدة أسيل تركية، أعمل أستاذة مساعدة بكلية الهندسة بجامعة الحاج لخضر باتنة وحاليا أعد رسالة الدكتوراه في التصميم المعماري و العمراني بالمناطق الجافة و الشبه الجافة بجامعة محمد خيضر بسكرة بعنوان : **التقييم الكيفي لتأثير ملقف الهواء على التهوئة والتبريد الطبيعيين في المنطقة الشبه الجافة بأولاد جلال.**
كخطوة أساسية، قمت بإعداد استمارة استبيان لسكان حي 94 مسكن نصف جماعي بمنطقتكم، أرجو منكم معاونتي في بحثي بتخصيص بعض الدقائق من وقتكم الثمين للإجابة عن أسئلته. إنني أرحب بجميع تعاليقكم، ردودكم و اقتراحاتكم الخاصة بالموضوع.
الاستمارة معدة باللغتين العربية و الفرنسية. الإجابة تكون بوضع علامة (X) في الخانة المناسبة فقط.
يرجى عدم التعريف بهويتكم عليها. أشكركم جزيلا على تفهمكم وتعاونكم المسبق.

I- معلومات شخصية:

1- المهنة
☐ 1.1- أ موظف ☐ 1.2- ب عمل حر ☐ 3- 1.ت متقاعد ☐ 1.4- ج دون وظيفة

2- المستوى الدراسي
☐ 2.1- أ بدون مستوى ☐ 2.2- ب ابتدائي ☐ 2.3-ت متوسط ☐ 2.4- ج ثانوي ☐ 2.5-د جامعي

3- الحالة العائلية
☐ 3.1- أ متزوج ☐ 3.2- ب أعزب ☐ 3.3-ت أخرى

4- عدد الأبناء
☐ 4.1- أ بدون أبناء ☐ 4.2- ب أقل من 3 ☐ 4.3-ت بين 3 و 5 ☐ 4.4- ج أكثر من 5

5- هل أنتم :
☐ 5.1- أ مالك ☐ 5.2- ب مستأجر لدى الدولة ☐ 5.3-ت مستأجر عند الخواص

6- منذ متى تقيمون بهذا المنزل؟
☐ 6.1 أ منذ استلامكم له من قبل السلطات سنة 1984
☐ 6.2 - ب بعد قرار تنازل السلطات عن السكنات سنة 1994
☐ 6.3- ت أخرى

7- أي نوع من الشقق تسكنون فيها؟
☐7.1- أ F2 ☐ 7.2- ب F3 ☐ 7.3- ت F4 ☐ 7.4- ج F5

8- في أي طابق تسكنون؟
☐ 8.1 - أ الطابق الأرضي ☐ 8.2- ب الطابق الأول

II- التعرف على نظام التهوئة عبر قناة (الملقف)

9- هل تعرفون ما هو العنصر العمودي المتواجد في وسط الدار و الذي يتجاوز مستوى السطح؟
☐ 9-1- أ نعم ☐ 9-2- ب لا

10- اذا كان نعم، فما هو هذا العنصر؟ يمكنك الإختياربتشطيب خانتين على الأكثر.
☐ 10.1- أ قناة للتهوئة ☐10.2- ب مدخنة للتدفئة ☐10. 3 -ت مدخنة للطهي ☐10. 4- ج أخرى(حدد)...

11- هل تعرفون أصله (موطنه)؟

☐ 11.1- أ نعم ☐2. 11- ب لا

12- إذا كان نعم، حدد أصله؟

☐ 1. 12- أ محلي خاص بالمنطقة ☐2. 12- ب جهوي خاص بالجنوب
☐ 3. 12 -ج مغاربي ☐4. 12-د شرق أوسطي ☐5. 12-ه أخرى (حدد)

13- هل له دور في المسكن؟

☐ 1. 13- أ نعم ☐2. 13- ب لا ☐3. 13-ج لا أعرف

14- إذا كان نعم ، حدد دوره؟

.....

III- الهيئة الحالية لقناة التهوئة وملاحظات

15- في مسكنكم ، الفتحة أو القناة هي:

☐ 1. 15-أ مفتوحة كليا (توجه إلى 16)
☐ 2. 15-ب مفتوحة فقط في مستوى السطح عند فتحة دخول الهواء من الخارج (توجه إلى 16)
☐ 3. 15-ت مفتوحة فقط في وسط الدار عند فتحة خروج الهواء إلى الداخل (توجه إلى 16)
☐ 4. 15-ج مغلقة كليا (توجه إلى 19)

16- الفتحة أو القناة بقيت مفتوحة لأسباب: (شطب خانتين على الأكثر)

☐ 1. 16-أ إدراكا لأهميتها ☐2. 16-ب نقص الموارد المالية لغلقها
☐ 3 . 16-ت ليس لديك الصلاحية لغلقها ☐4. 16-ج أخرى (حدد).....

17 فتحة القناة مستعملة كـ :

☐ 1 .17-أ للتهوئة الطبيعية ☐2. 17-ب مدخنة للمدفأة
☐ 3 .17-ت معبر لمختلف الكوابل و التوصيلات الكهربائية ☐4. 17-ج أخرى (حدد).....

18- القناة مفتوحة :

☐ 1. 18-أ طوال العام ☐2. 18-ب في فصل معين (حدده)
☐ 3. 18-ت في فترة معينة (حددها)..... ☐4. 18-ج عند الضرورة (حدد)

19- في مسكنكم، الفتحة أو القناة مغلقة كليا أو جزئيا لـ: (شطب خانتين على الأكثر)

☐ 1. 19-أ منع تسرب الغبار، العقارب ، الرمال و غيرها من الشوائب و الحشرات
☐ 2. *19-ب تجنب دخول الهواء البارد شتاءا*
☐ 3. 19-ت تفادي الإزعاج الناتج عن ارتداد و تضخيم صوت الرياح القوي
☐ 4. 19-ج الزيادة في عرض السلم أو الدرج
☐ 5. 19-د إحداث تغييرات في الشقة (حدد).....
☐ 6. 19-ه ليس لها دور
☐ 7. 19-و أخرى (حدد).....

VI- التعريف بملقف الهواء، أهميته و سبر الأراء عنه

إن القناة العمودية المتصلة بالخارج عبر السطح و المفتوحة من الداخل عبر الفتحة المتواجدة في السقف تسمى ملقف الهواء. في دراسة سابقة (سنة 2008) بأولاد جلال ، أثبتت هاته الأخيرة فعاليتها في التلطيف و التهوئة الطبيعيين، و ذلك بخفض درجة الحرارة بين الخارج و الداخل بفارق 13°م في الطابق الأرضي و 10°م في الطابق الأول مع

تواجد حركة للهواء على مستوى الفتحة المتواجدة في السقف. هذا ما سيؤثر مستقبلا إيجابا على إنقاص مدة استخدام مكيفات الهواء و بالتالي صحة أكثر و فاتورة كهرباء أقل تكلفة.

20- ما رأيكم في نظام التبريد هذا؟

□ 1. 20-أ غير مناسب
□2. 20-ب مناسب
□ 3. 20-ت مناسب مع بعض التحفظات
□4. 20-ج مناسب جدا

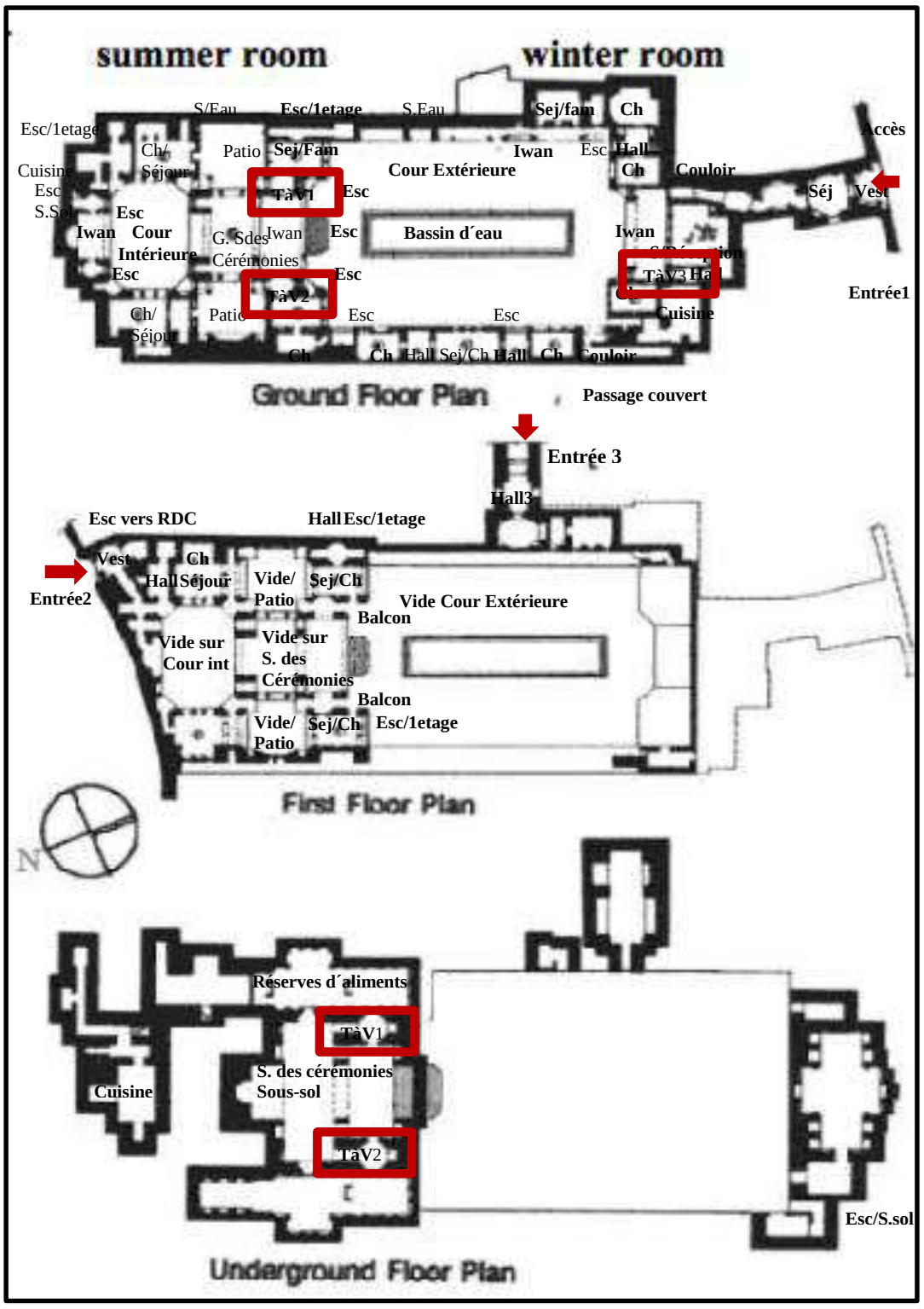
21- هل تعتقدون أن استعماله سيلقى رواجا كبيرا خاصة في المناطق الحارة و الجافة ؟ علل ذلك.

.....
.....
.....

نهاية الاستبيان

Annexe III: Résultats de l'analyse syntaxique de l'échantillon

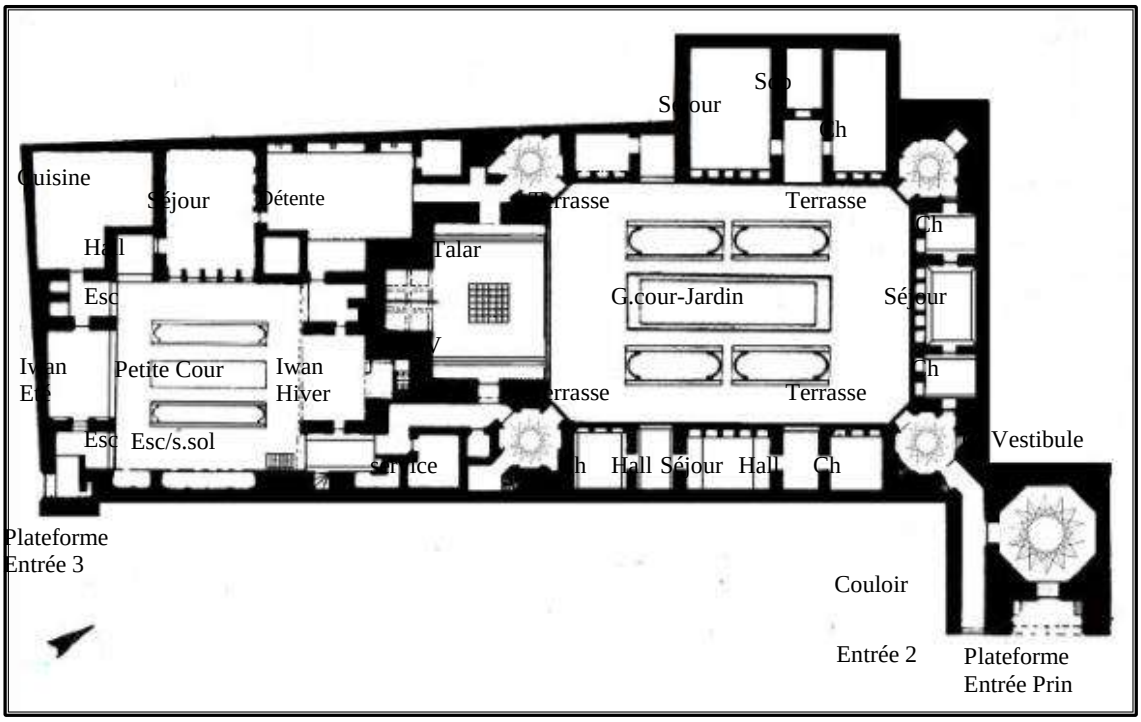
1. Maison des Boroudjerdi à Khashan



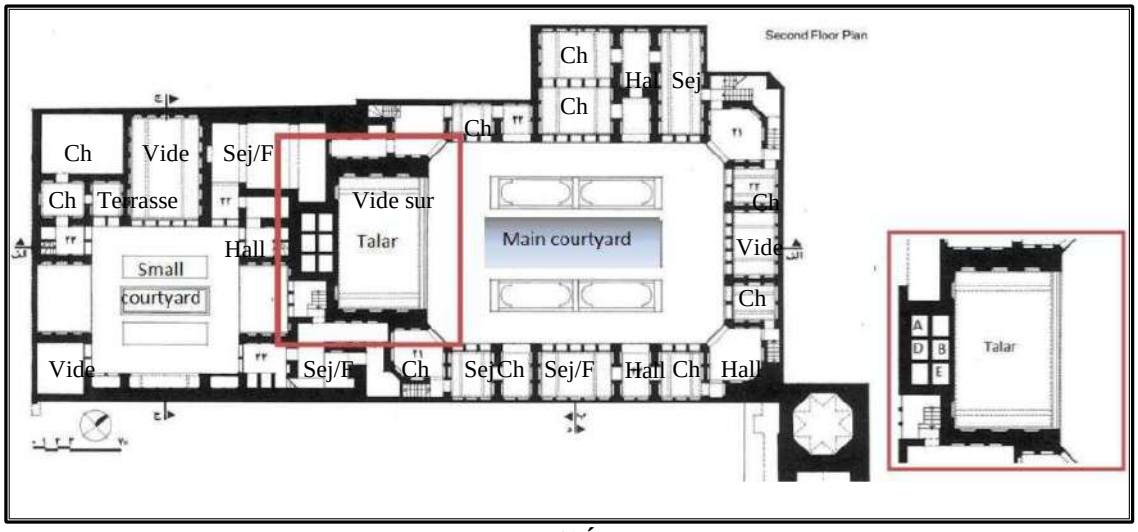
Les différentes vues en plan de la maison des Boroudjerdi à Khashan, Iran (Hamidreza.F et al, 2016)

2. Étude de Zhaleh Hedayat et al, (2015) sur Badgir maison Mortaz, Yazd, (1865)

Durée d'investigation: 03 mois (du 03 novembre 2014 au 03 février 2015)

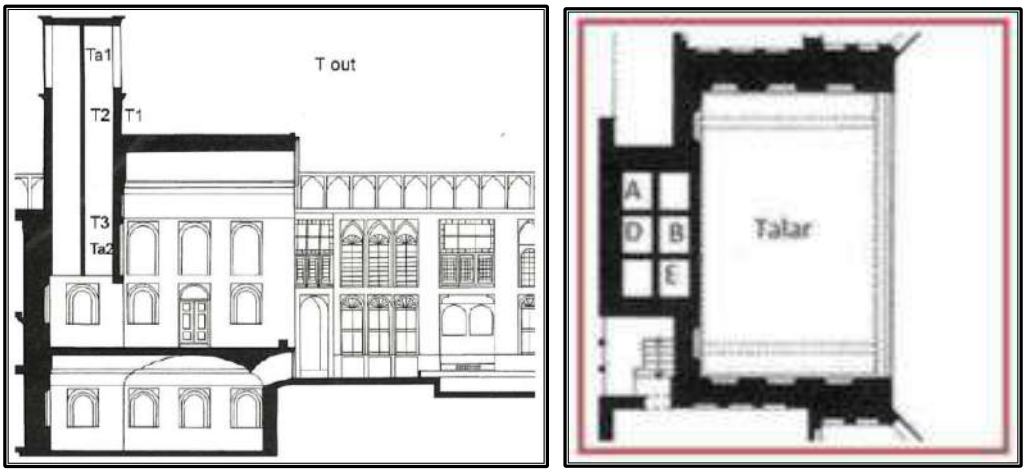


RDC



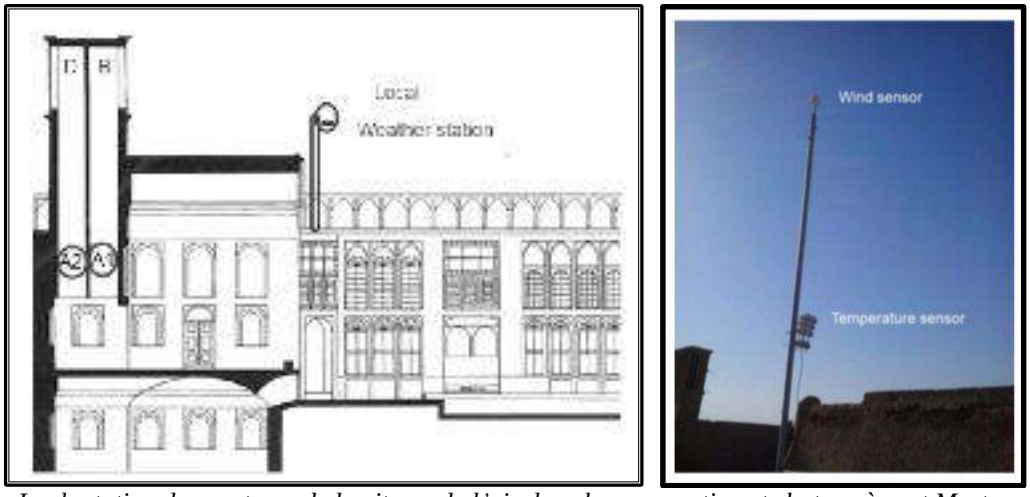
1er Étage

Vues en plan maison Mortaz à Yazd, (1865), (Memarian, 2005)



Coupe AA *vue en plan (04 sous-conduits de mesure)*

Implantation des capteurs de la température d'air dans les sous-conduits la tour à vent de Mortaz (Zhaleh Hedayat et al, 2015)



Implantation des capteurs de la vitesse de l'air dans les compartiments la tour à vent Mortaz (Zhaleh Hedayat et al, 2015)

T1: Capteur de température sur la surface externe à une hauteur de 10 m (H = 10 m)

T2: Capteur de température sur une paroi interne de la tour (H = 10 m)

T3: Capteur de température sur une paroi interne de la tour (H = 4 m)

Ta1: Capteur de température d'air (H = 10 m)

Ta2: Capteur de température d'air (H = 4 m)

Tout: Capteur de température extérieure

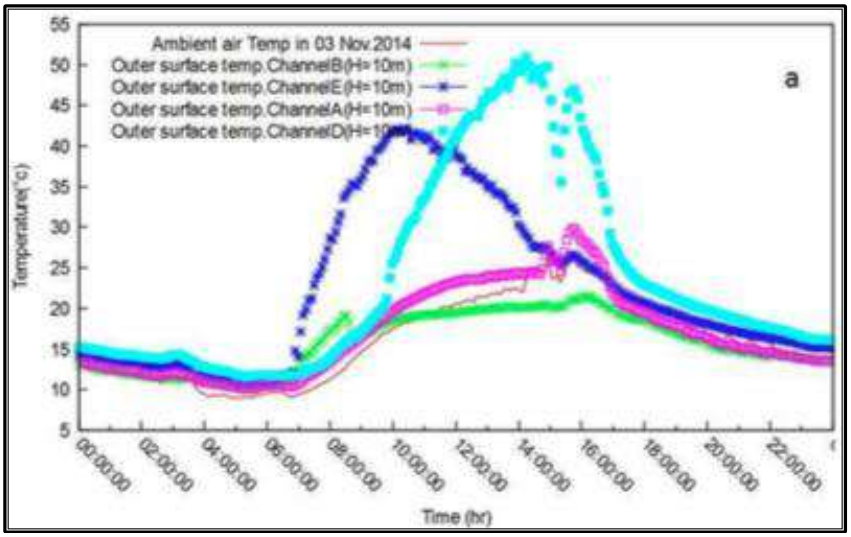
La vitesse moyenne du vent enregistrée par le capteur à une hauteur de 11 m était de 1,5m/s. La direction du vent était variable de 0 à 359° et les vents dominants provenait du nord.

A1 : Capteur de la vitesse d'air dans le compartiment B

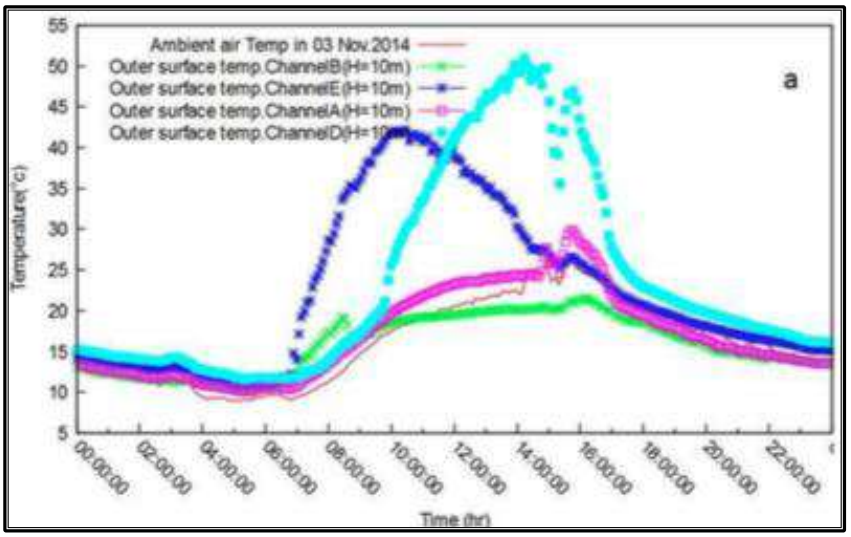
A2 : Capteur de la vitesse d'air dans le compartiment D

Les capteurs installés au milieu des sous conduits tour (A - E) sont à une de hauteur de 2,00 m au-dessus de la bouche de soufflage sortie air (5,35 m du niveau du sol).

Résultats expérimentaux des données de la température de l'air

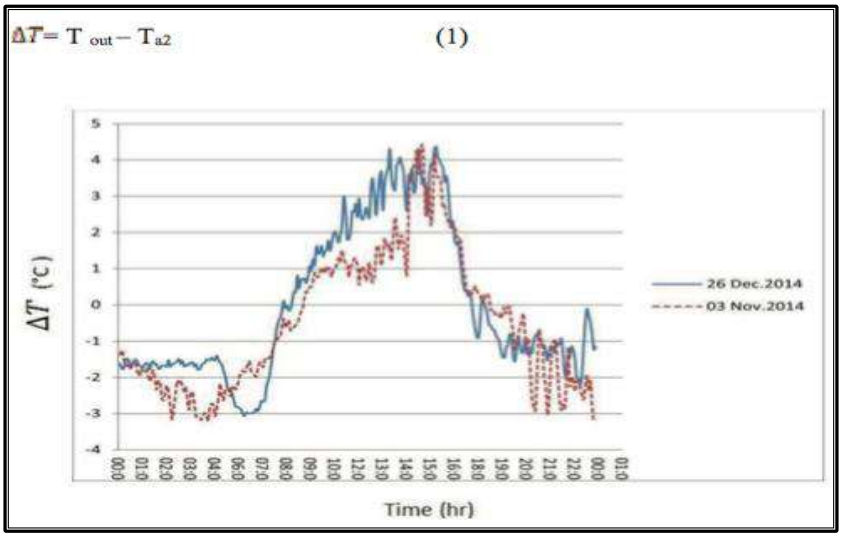


*(**a**) Le 03 novembre 2014; (journée en été)*



*(**b**) le 26 décembre 2014 (journée en hiver)*

Variations de température de la paroi de la tour dans les quatre sous-conduits (Zhaleh Hedayat et al, 2015)



Variation de l'écart de T°(C) de l´air pendant une journée chaude et une journée froide (Zhaleh et al, 2015)

Résultats expérimentaux des données de la vitesse de l'air

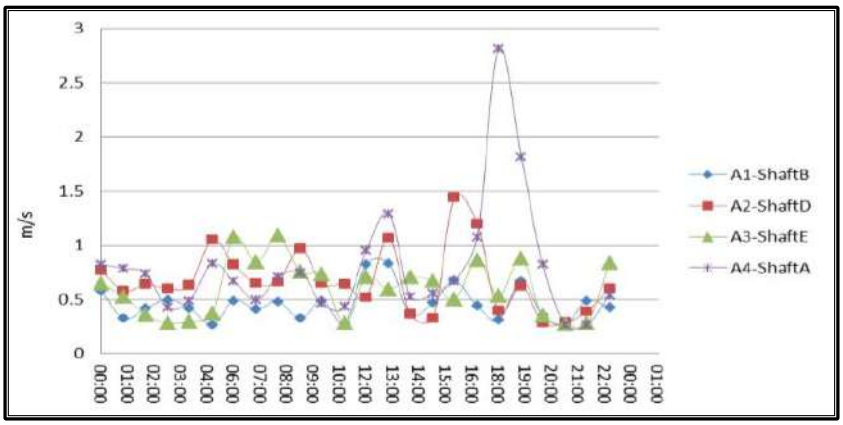
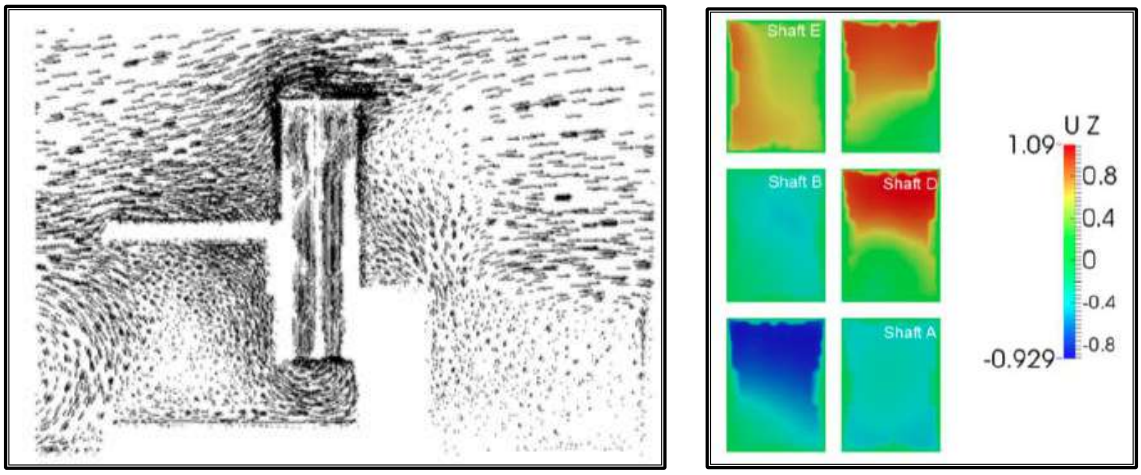
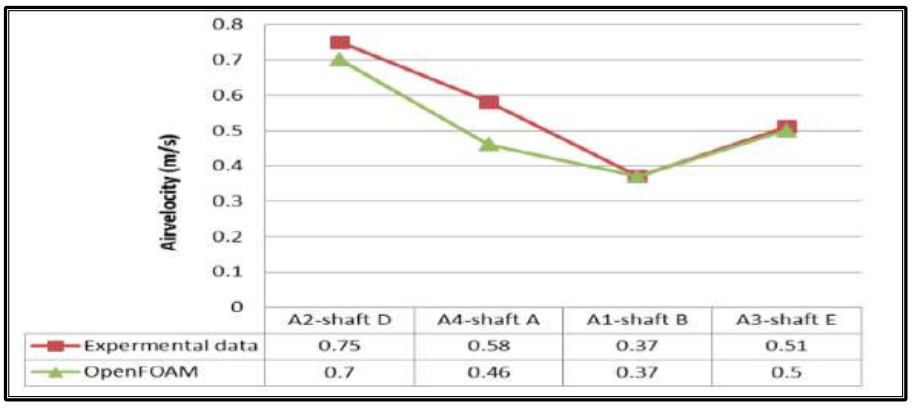


Figure 7*: La Variation de la vitesse de l´air dans les compartiments tour à vent le 3/11/2014*
Source*: Zhaleh Hedayat et al, (2015)*

Résultats de la simulation numérique de la vitesse de l'air via « *Open FOAM* »



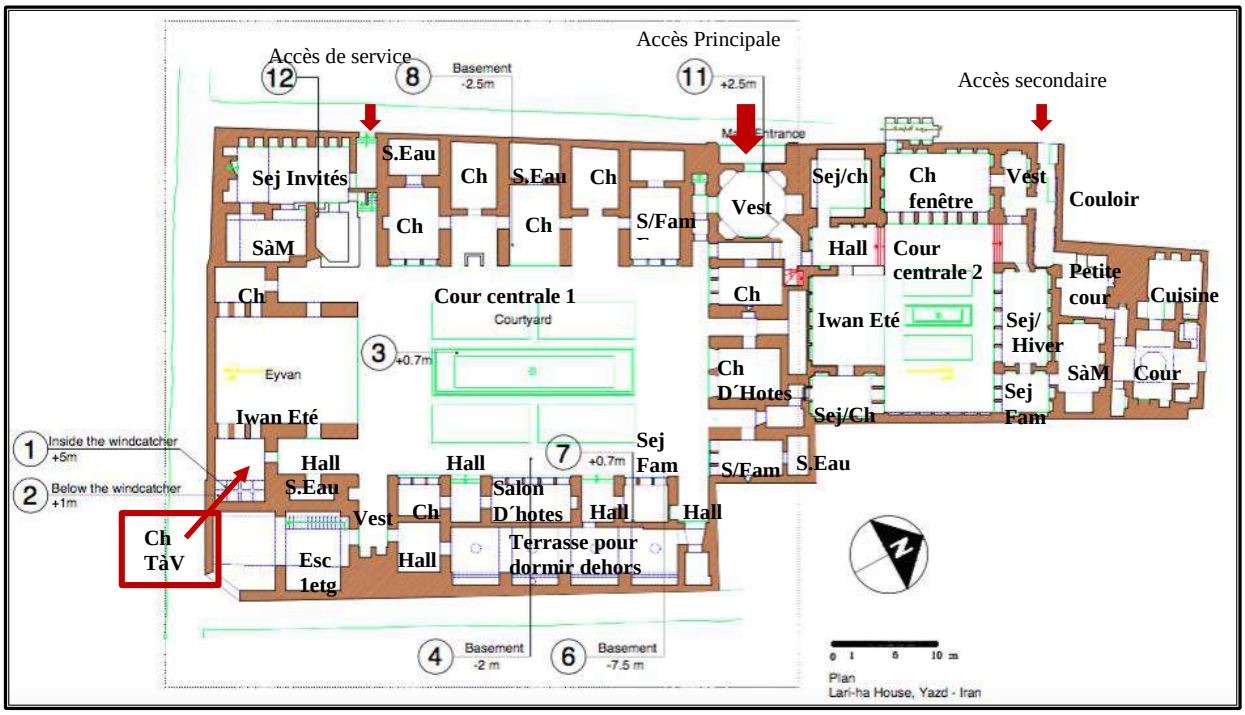
Contours du flux d'air autour et dans les compartiments de la tour à vent le 3/11/2014 pour Vext=1,5m/s (Zhaleh Hedayat et al, 2015)



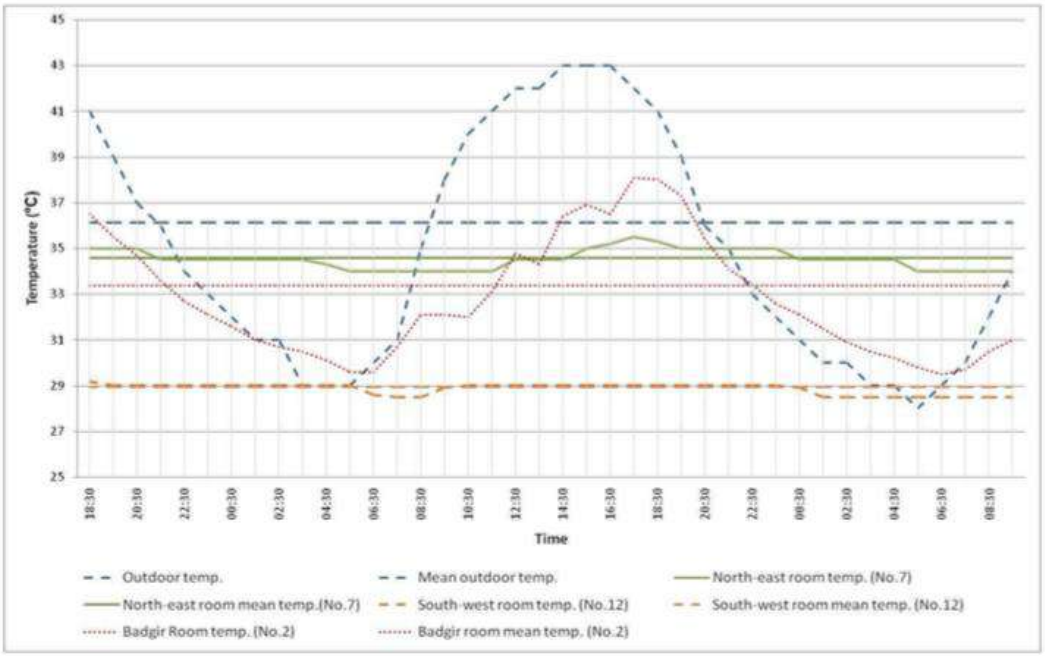
Vitesse de l'air simulée et mesurée dans les 04 compartiments de la tour à vent
(*Zhaleh Hedayat et al, 2015)*

3. Étude de Ahmadreza et al (2008) sur Badgir maison Lariha, Yazd, (1863/1864)

L'effet des cours et des Badgirs sur la performance thermique à l'intérieur a été analysé et vérifié en installant 12 sondes de température (i-Button) dans 12 espaces différents. Les sondes ont été réglées pour enregistrer les températures toutes les 5 minutes pendant 2280 minutes.



Vue en plan RDC Maison Lariha avec indications des espaces d´implantation des sondes, Fahadan, Yazd, (Ahmadreza et al, 2008)



La variation de la température de l'air dans 3 espaces différents (salle de Badgir, salle orientée nord-est et salle orientée sud-ouest) par rapport à la température extérieure le 20/062007(Ahmadreza et al, 2008)

- La salle du Badgir: une salle d'été directement ventilée par la tour à vent (sonde 2),
- La salle nord-est (NE): une pièce exposée au soleil de l'après-midi (sonde 7),
- La salle 3 sud-ouest (SO): une salle d'été donnant sur la cour sans éclairage directe (sonde12).

Diminution de 2,7°C à 7,2°C dans les chambres d'été, et de 3,3°C dans la chambre du Badgir , sachant que toutes les portes et fenêtres dans les salles NE et SO ont été fermées.

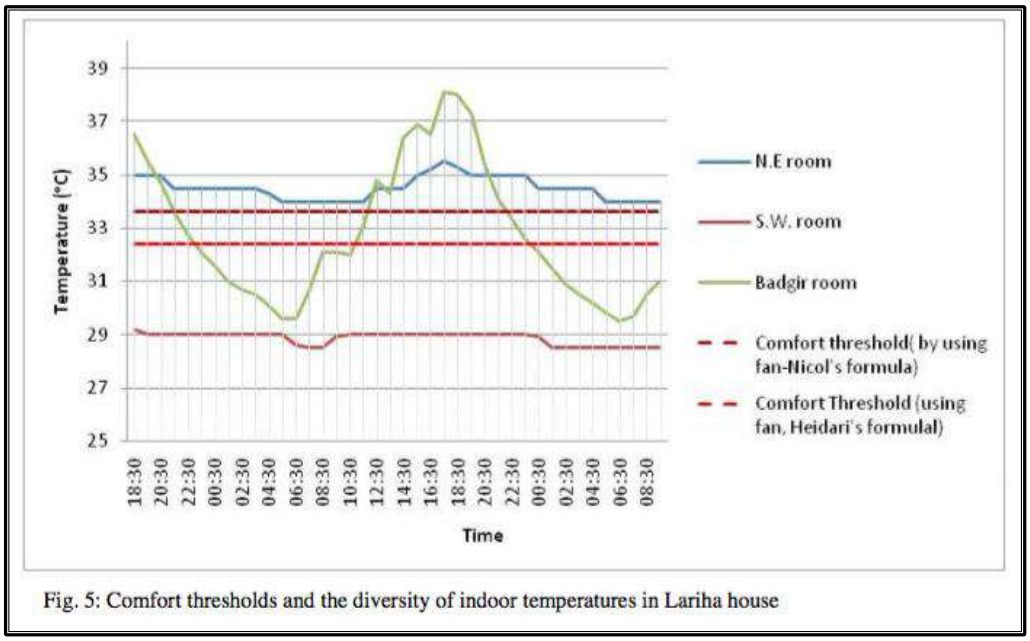


Fig. 5: Comfort thresholds and the diversity of indoor temperatures in Lariha house

Comparaison de la température de l´air mesurée par rapport aux zones de confort (Ahmadreza et al, 2008)

4. Étude de Bassioni *et al*. 2012 sur une maison durable à Wardan, Égypte

C'est une maison rénovée à Wardan zone rurale, soit environ 50 km au nord-ouest du Caire, où les principes de conception écologique ont été adoptées.

- Durée de l'investigation: du 1 au 15/7/2010; du 1 au 15/8/2010 à 5h, 7h, 8h, 9h et 11h.
- L'efficacité énergétique: l'électricité est produite par des panneaux photovoltaïques et la production de l'eau chaude sanitaire via des panneaux thermiques.

Comparaison des coûts de rénovation entre la conception conventionnelle et la conception écologique

Coûts du cycle de vie:

Les trois scénarios d'estimation du cycle de vie en termes de valeur actuelle nette (NPW)

- Le 1erscénario est le coût de rénovation de la conception conventionnelle en supposant que l'électricité est disponible à proximité.
- Le 2^{e} scénario suppose que l'électricité n'est pas disponible à proximité de la maison, par conséquent des surcoûts d'installation sont à prévoir.
- Le 3^{e}scénario est le cas de la rénovation écologique avec un système de ventilation naturelle et des systèmes solaires pour la production de l'électricité et de l'eau chaude.

Les équations de calcul de la valeur actuelle des coûts de remplacement, de la valeur actuelle annuelle des coûts et de la période d'amortissement:

$$PW = \frac{PC(1+i)^n}{(1+d)^n}$$

(équation 1) (AHMAD, 2002) et (NAFEH, 2009)

Où

PW: valeur actuelle, *PC*: coût d'achat, *i:* taux d'augmentation, *d*= taux d´actualisation, et n: nombre d'années. (Le taux d'inflation= 12%, et le taux d'actualisation= 8%, ces deux taux sont donnés pour le calcul de PW à Wardan).

$$PW = \frac{A(1+d)^n - 1}{i(1+d)^n}$$

(équation 2) (AHMAD, 2002) et (NAFEH, 2009)

Période d'amortissement=Valeur actuelle nette totale/ économies annuelles nettes actuelles

(équation 3) (BASSIONI et al., 2012)

Coûts de la rénovation de la conception conventionnelle (standard) et écologique (BASSIONI *et al*., 2012)

Article de travail	Design de rénovation standard	Frais standard (EGP)	Design de rénovation écologique	Frais de rénovation écologique
Démolition	Enlèvement de tous matériaux endommagés	5,000	Enlèvement de tous matériaux toxiques endommagés	10,000
Maintenance de la menuiserie en bois	Sols en parquets et placards	4,000	Portes, fenêtres, sol en parquets et placards	12,000
Hydro-isolation	Couche de caoutchouc de 5mm d'épaisseur	5,000	Couche de caoutchouc de 5mm d'épaisseur	5,000
Isolation thermique	-	-	Isolation murs et toitures en mousse expansée de 5mm d'épaisseur	12,000
Béton armé	-	-	Dalles Malqaf, panneaux photovlotaique et escaliers	5,000
Béton	Couche d'isolation	5,000	Couche d'isolation	5,000
Travaux de maçonnerie	Briques ordinaires	5,000	Malqaf et murs en briques en pailles de riz	7,000
Enduit	Enduit ciment	10,000	Plâtrage en adobe	5,000
Faïence	Carreaux de céramique locaux et importés	25,000	Carreaux céramiques locaux	15,000
Marbre	Marbre local	5,000	Marbre local pour les sols du séjour et de l'entrée	10,00
Peinture intérieure	Peinture écologique	15,000	Peinture écologique	15,000
Peinture extérieure	Enduit de ciment sec	15,000	Enduit en adobe	10,00
Fenêtres	Fenêtres en aluminium	15,000	Rénovation des fenêtres en bois existantes	1,000
Portes	Bois tendre avec couche de finition HPL	15,000	Rénovation des portes en bois existantes	1,000
Travaux d'électricité	Transformateurs, câbles, générateurs, panneaux principaux et panneaux de distribution	36,000	Panneaux de distribution et caractéristiques électrique	10,000
Système photovoltaïque	-	-	Panneaux photovoltaïques, onduleur batteries et installation	30,000
Plomberie	Puits, réservoirs, tuyauterie et accessoires	40,000	Puits, réservoirs, tuyauterie et accessoires	40,000
Réseaux souterrains	-	-	Pompe immergée dans le puits et réservoir d'eau	10,000
Système des eaux usées	-	-	Filtration eau grise, pompe et réservoir souterrain	5,000
Air- conditionné	Unités de climatisation, des compresseurs et branchements	25,000	-	-
Ventilateur			Ventilateurs de plafond et muraux	3,000
Total en EGP	**225,000**		**221,000**	
Total en USD	**37,500**		**36,830**	

Coût du cycle de vie de la conception conventionnelle et écologiques (BASSIONI *et al.*, 2012)

Coût de l'article		**Rénovation Conventionnelle 1er Scénario**	**Coût (USD)**	**Rénovation Conventionnelle 2e Scénario**	**Coût (USD)**	**Rénovation Écologique 3e Scénario**	**Coût (USD)**
Prix Initial	Installation électrique	Local électrique disponible	2,000	Local électrique Non disponible	14,40	Système photovoltaïque	5,000
	Système de ventilation	Air conditionné	5,000	Air conditionné	5,000	Malqafs + ventilateur	1,500
	Isolation thermique	-	-	-	-	Toiture et murs	2,000
	Prix Initial	7,000		19,400		8,500	
	Durée de vie	24 ans		24 ans		24 ans	
Frais de remplacement	Frais de remplacement	Unités de climatisation (12 ans) PW=7,090		Unités de climatisation (12 ans) PW=7,090		Unités de batteries (PC=1,000) 8ans: PW=1,337 12ans: PW=1,789	
Frais annuels	Frais de maintenance	Unités de climatisation	50$	Unités de climatisation	50$	Système photovoltaïque	50$
	Coût de fonctionnement	Facture d'électricité	250$	Facture d'électricité	250$	Facture d'électricité	0,0
	PW	3748		3748		623	
NPW	NPW	17,838		30,238		12,249	

5. Résultats numériques de l'analyse syntaxique de l'ensemble des exemples étudiés

Exemple TàV En Iraq

		Min	Mean	Max	MDn(T)	RA(T)	I(T)	CV(T)	NC(T)	Cve(T)	Disposition
1/Baghdad	Profondeur	3.23	4.92	8	4.96						
	RA	0.15	0.27	0.48		0.27					E,Esc 1Etg
	I	2.07	3.97	6.49			3.65				&
	CV	0.16	1	3.75				0.25	1	1	couloir

Exemple TàV En Arabie Saoudite

	P.Syntaxique	Min	Mean	Max	MDn(T)	RA(T)	I(T)	CV(T)	NC(T)	Cve(T)	Disposition
1/Djeddah	Profondeur	3.55	5.42	8.4	4.36						
A.Nassief	RA	0.11	0.19	0.32		0.14					Sej/Fam
	I	3.1	5.56	9			6.84				
	CV	0.2	1	3.7				0.53	2	0.5	

Exemple TàV Au Kuweit

		Min	Mean	Max	MDn(T)	RA(T)	I(T)	CV(T)	NC(T)	Cve(T)	Disposition
1/ Kuweit	Profondeur	4.31	7.24	13.16	6.12						
Nacer	RA	0.09	0.17	0.33		0.14					Majlis
Sobbah	I	2.95	6.18	10.85			7.02				(S/Invités)
	CV	0.16	1	2.86				0.33	1	1	

Exemples TàV en Eygpte

		Min	Mean	Max	MDn(T)	RA(T)	I(T)	CV(T)	NC(T)	Cve(T)	Disposition
1/El Menia	Profondeur	3.75	5.54	7.32	6.51						
Med Abdel	RA	0.15	0.25	0.35		0.3					Iwan
Razik	I	2.84	4.17	6.52			3.26				Chamali
	CV	0.16	1	4.5				0.5	1	1	(S/Invités)
2/El Fayoum	Profondeur	2.14	3.6	6.07	3						
El Dariya	RA	0.08	0.2	0.39		0.15					Maqaad
	I	2.56	5.49	11.32			6.5				(S/Invités)
	CV	0.12	1	5.11				1.53	3	0.33	
3/El Fayoum	Profondeur	2.39	3.84	5.64	3.35						
Med Sif El	RA	0.1	0.21	0.34		0.17					Maqaad
Nasr	I	2.9	5.12	9.69			5.72				(S/Invités)
	CV	0.14	1								
4/El Fayoum	Profondeur	3.79	5.54	7.22	5.18						
Med Taher	RA	0.11	0.19	0.26		0.17					Maqaad
El Umari TàV	I	3.77	5.4	8.41			5.61				(S/Invités)
a- El maqaad	CV	0.2	1	3.58				1	2	0.5	
	Profondeur				5.35						
b- TàV /Ch	RA					0.18					Chambre

	I						5.39				
	CV							1	2	0.5	
5/Caire	Profondeur	6.18	8.71	13.05	7.16						Balcon
El Sennary	RA	0.12	0.18	0.28		0.14					Mouchrabieh
	I	3.52	5.73	8.19			6.89				S/Invités F
	CV	0.16	1	3.5				1.83	4	0.25	

Exemples TàV en Emirates Arabes Unies

		Min	Mean	Max	MDn(T)	RA(T)	I(T)	CV(T)	NC(T)	Cve(T)	Disposition
1/Dubai,	Profondeur	2.21	3.6	5.26	3.08						
El Bastakia	RA	0.11	0.23	0.38		0.18					El Majlis
Med Salah	I	2.58	4.62	9.03			5.27				(S/Invités)
Fikree	CV	0.11	1	6.25				0.61	2	0.5	RDC
2/Dubai,	Profondeur	2.45	4.19	6.25	4.58						
El Bastakia	RA	0.09	0.21	0.35		0.23					Grande
Abdullah Med	I	2.85	5.06	10.33			4.18				Chambre
El Bastaki	CV	0.14	1	5.33				0.16	1	1	RDC
3/Dubai	Profondeur	3.15	4.89	7.73	6.31						
El Bastakia	RA	0.11	0.21	0.36		0.28					Sej/Fam
Mir Abdullah	I	2.74	5.07	8.57			3.48				RDC
Amiri	CV	0.14	1	4				0.83	2	0.5	
4/Dubai,	Profondeur	4.17	6.45	9.23	6.89						
El Bastakia	RA	0.1	0.17	0.26		0.18					Grande
M.S.S El Olama	I	3.82	6.06	9.93			5.34				Chambre
a- TàV1/Ch	CV	0.09	1	7				0.58	2	0.5	RDC
	Profondeur				6.79						
b- TàV2 /Ch	RA					0.18					Grande
	I						5.43				Chambre
	CV							0.53	2	0.5	RDC
5/Dubai,	Profondeur	3.17	5.05	8.72	5.58						
El Bastakia	RA	0.15	0.28	0.55		0.32					Grande
Mir Abdulwahid	I	1.81	3.75	6.44			3.05				Chambre
a- TàV1/Ch	CV	0.14	1	4				0.25	1	1	RDC
	Profondeur				7.75						
b- TàV2 /Ch	RA					0.48					Grande
	I						2.07				Chambre
	CV							1.5	2	0.5	1Etage
6/Dubai,	Profondeur	3.83	5.36	6.97	4.95						
El Bastakia	RA	0.13	0.21	0.29		0.19					Majlis
AbdulRahman,	I	3.43	4.92	7.23			5.18				RDC

a- TàV1	**CV**	0.2	**1**	3.03				**1.7**	**3**	**0.33**	
	Profondeur				**6.97**						
b- TàV2	**RA**					**0.29**					**Grande**
	I						**3.43**				**Chambre**
	CV							**0.25**	**1**	**0.25**	1Etage
7/Dubai,	**Profondeur**	3.45	**4.95**	7.45	**6**						
El Bastakia	**RA**	0.15	**0.24**	0.4		**0.31**					**Chambre**
Abdul Quader	**I**	2.47	**4.28**	6.51			**3.2**				RDC
Rashidi	**CV**	0.12	**1**	5.83				**0.25**	**1**	**1**	

Exemples TàV en Iran

		Min	**Mean**	**Max**	**MDn(T)**	**RA(T)**	**I(T)**	**CV(T)**	**NC(T)**	**Cve(T)**	**Disposition**
1/Yazd, Iran	**Profondeur**	5.78	**8.65**	13.65	**7.46**						
Mortaz	**RA**	0.08	**0.13**	0.22		**0.11**					**Salle TàV**
	I	4.46	**7.82**	11.81			**8.73**				(windcatcher Room)
	CV	0.2	**0.99**	4				**0.33**	**1**	**1**	RDC
2/Yazd, Iran	**Profondeur**	8.39	**12.26**	19.43	**13.44**						
M.Historique	**RA**	0.11	**0.17**	0.27		**0.18**					**Salle TàV**
modèle1	**I**	3.57	**6.12**	8.92			**5.3**				(windcatcher Room)
	CV	0.14	**1**	4.83				**0.83**	**2**	**0.5**	RDC
3/Fahadan,	**Profondeur**	4.23	**6.72**	12.17	**6.97**						
Yazd,	**RA**	0.06	**0.12**	0.23		**0.12**					**Salle TàV**
Lariha	**I**	4.24	**8.84**	14.66			**7.94**				(windcatcher Room)
	CV	0.25	**1**	5.5				**0.58**	**2**	**0.5**	RDC
4/Yazd, Iran	**Profondeur**	4.61	**7.07**	10.16	**7.08**						
Gerami	**RA**	0.07	**0.12**	0.18		**0.12**					**Salle TàV**
a- TàV2	**I**	5.5	**8.65**	13.95			**8.29**				(windcatcher Room)
	CV	0.14	**0.99**	4.5				**1**	**3**	**0.33**	RDC & S/Sol
	Profondeur				**7.06**						
b- TàV1	**RA**					**0.12**					**Salle TàV**
	I						**8.32**				
	CV							**1.83**	**5**	**0.2**	RDC
5/ Yazd,Iran	**Profondeur**	5.06	**7.81**	12.69	**7.37**						
Akhavan	**RA**	0.1	**0.16**	0.28		**0.15**					**Salle TàV**
Sigari	**I**	3.46	**6.26**	9.97			**6.34**				
TàV1 Eté	**CV**	0.16	**1**	3.5				**0.2**	**1**	**1**	RDC
	Profondeur				**6.92**						
TàV2 Printemps	**RA**					**0.14**					**Salle TàV**
	I						**6.83**				
	CV							**0.33**	**1**	**1**	RDC & S/Sol

6/Yazd, Iran	Profondeur	6.13	8.8	13.33	8.95						
M,Historique	RA	0.07	0.1	0.17		0.11					
Modèle2	I	5.75	9.38	13.83			8.92				
TàV1 Eté	CV	0.14	1	4.33				0.2	1	1	
	Profondeur				8.23						
TàV2	RA					0.1					
Printemps	I						9.81				
	CV							2.7	7	0.14	
7/Kashan,	Profondeur	4.56	7.27	11.13	7.31						
Iran	RA	0.07	0.13	0.21		0.13					Salle TàV
Broojerdiha	I	4.58	7.85	13.04			7.35				
TàV1Hiver	CV	0.11	1	4.33				0.7	2	0.5	RDC
	Profondeur				4.96						
TàV2 Eté	RA					0.08					Hall
	I						11.71				S/Sol
	CV							1.66	4	0.25	
TàV3 Eté	Profondeur				5.3						
	RA					0.09					Hall
	I						11.79				S/Sol
	CV							2.41	5	0.2	
8/ Yazd,	Profondeur	5.08	8.69	14.69	9.35						
Iran	RA	0.09	0.18	0.32		0.2					Bassin
Attarha	I	3.03	5.82	10.16			4.96				d'eau
TàV Eté	CV	0.25	1	4				0.33	1	1	

Exemples TàV Contemporains

		Min	Mean	Max	MDn(T)	RA(T)	I(T)	CV(T)	NC(T)	Cve(T)	Disposition
1/Lars, Fars	Profondeur	4.31	6.1	9.39	4.47						
Province Iran	RA	0.13	0.2	0.33		0.13					Sej/Fam d' Eté
Firouzmandan	I	2.97	5.19	7.54			7.2				S/Sol
TàV	CV	0.2	1	3.5				2	5	0.2	
	Profondeur				4.54						
	RA					0.14					Espace TàV
	I						7.04				RDC
	CV							1.28	4	0.25	
	Profondeur				6.7						
	RA					0.22					Chambre
	I						4.38				1Etage
	CV							0.53	2	0.5	
	Profondeur				7.47						
	RA					0.25					Pergolas

	I						3.86				1Etage
	CV							1.25	3	0.33	
2/Wardan,	Profondeur	3.38	5.02	6.45	4.29						
Eygpte	RA	0.15	0.26	0.36		0.21					Hall vers jardin
	I	2.75	3.92	6.28			4.55				
	CV	0.25	1	2.25				2.16	4	0.25	
3/Caire,	Profondeur	3.63	5.46	7.97	3.63						
Egypte	RA	0.14	0.24	0.37		0.14					Esc vers
Ahmed	I	2.65	4.41	7.03			7.03				1etage
Abdine	CV	0.2	1	3.5				0.4	2	0.5	

Exemples TàV en Algérie

		Min	Mean	Max	MDn(T)	RA(T)	I(T)	CV(T)	NC(T)	Cve(T)	Disposition
1/Ouargla	Profondeur	3.23	4.34	5.82	4.29						
Villa	RA	0.27	0.41	0.6		0.41					Sej/Invités
Razik	I	1.65	2.52	3.57			2.42				RDC
TàV1	CV	0.16	1	5.5				0.25	1	1	
	Profondeur				3.35						
TàV2	RA					0.29					Chambre
	I						3.4				Etage intermediaire (entre RDC Et 1Etg)
	CV							1	1	0.33	
2/Ouled	Profondeur	2.34	3.77	4.96	2.34						
Djellal,	RA	0.1	0.22	0.31		0.1					Hall
Cas d'étude	I	3.15	4.86	9.28			9.28				RDC
TàV1	CV	0.2	1	3.5				2.03	5	0.2	
	Profondeur				2.46						
TàV2	RA					0.11					Hall
	I						8.55				1Etage
	CV							2.45	5	0.2	

Tableau 3: *Tableau récapitulatif des mesures syntaxiques des 28 maisons analysées*

Abaque Valeur de K

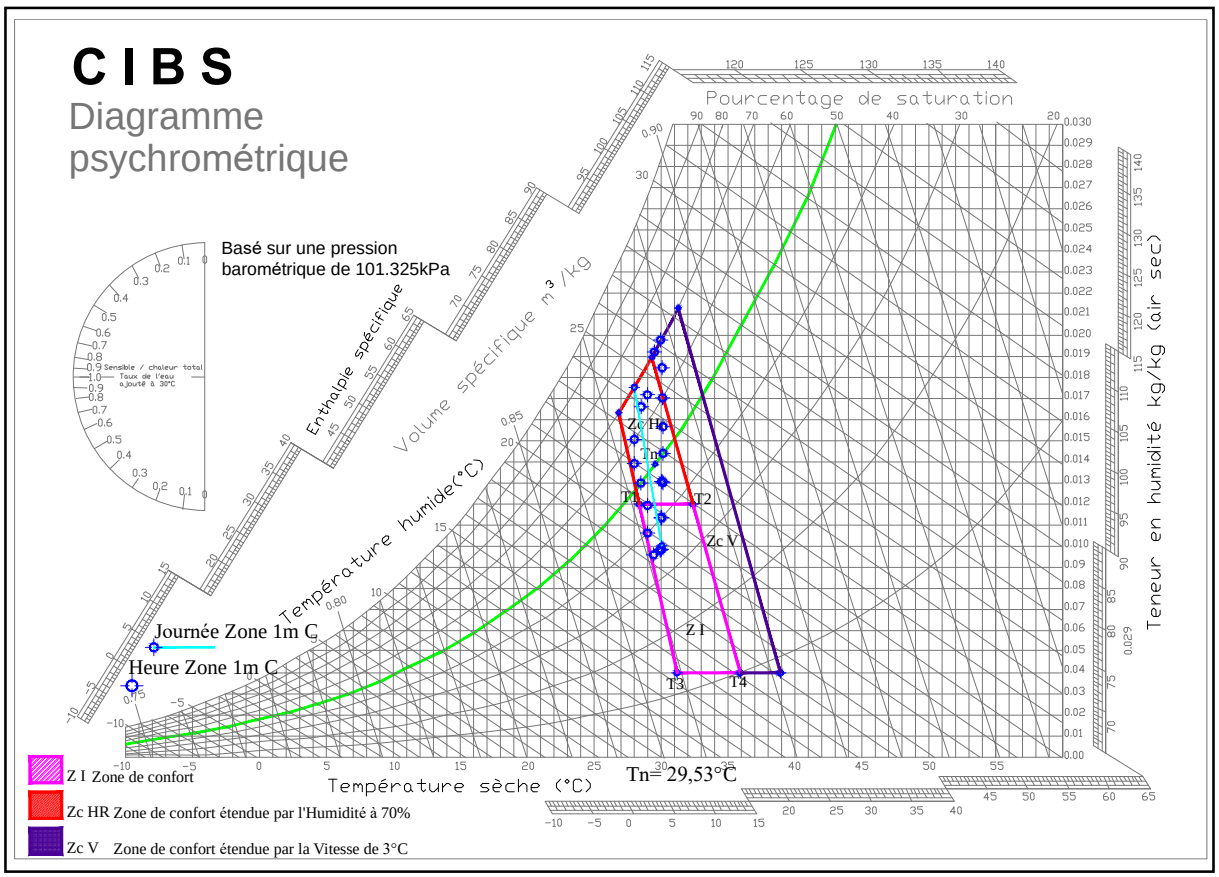
Tableau des listes des valeurs de k

1		51	0.132	101	0.084	151	0.063	201	0.051	251	0.044
2		52	0.130	102	0.083	152	0.063	202	0.051	252	0.043
3		53	0.12	103	0.083	153	0.063	203	0.051	253	0.043
4		54	0.127	104	0.082	154	0.062	204	0.051	254	0.043
5	0.352	55	0.126	105	0.082	155	0.062	205	0.051	255	0.043
6	0.349	56	0.124	106	0.081	156	0.062	206	0.050	256	0.043
7	0.34	57	0.123	107	0.081	157	0.061	207	0.050	257	0.043
8	0.328	58	0.121	108	0.080	158	0.061	208	0.050	258	0.043
9	0.317	59	0.120	109	0.080	159	0.061	209	0.050	259	0.043
10	0.306	60	0.119	110	0.079	160	0.061	210	0.050	260	0.042
11	0.295	61	0.117	111	0.070	161	0.060	211	0.050	261	0.042
12	0.285	62	0.116	112	0.078	162	0.060	212	0.049	262	0.042
13	0.276	63	0.115	113	0.078	163	0.060	213	0.049	263	0.042
14	0.267	64	0.114	114	0.077	164	0.060	214	0.049	264	0.042
15	0.259	65	0.113	115	0.077	165	0.059	215	0.049	265	0.042
16	0.251	66	0.112	116	0.076	166	0.059	216	0.049	266	0.048
17	0.244	67	0.111	117	0.076	167	0.259	217	0.049	267	0.042
18	0.237	68	0.109	118	0.075	168	0.059	218	0.048	268	0.041
19	0.231	69	0.108	119	0.075	169	0.058	219	0.048	269	0.041
20	0.225	70	0.107	120	0.074	170	0.058	220	0.048	270	0.041
21	0.22	71	0.106	121	0.074	171	0.058	221	0.048	271	0.041
22	0.214	72	0.105	122	0.074	172	0.058	222	0.048	272	0.041
23	0.209	73	0.104	123	0.073	173	0.057	223	0.048	273	0.041
24	0.205	74	0.104	124	0.073	174	0.057	224	0.047	274	0.041
25	0.200	75	0.103	125	0.072	175	0.057	225	0.047	275	0.041
26	0.196	76	0.102	126	0.072	176	0.057	226	0.047	276	0.041
27	0.192	77	0.101	127	0.072	177	0.056	227	0.047	277	0.040
28	0.188	78	0.100	128	0.071	178	0.056	228	0.047	278	0.040
29	0.184	79	0.099	129	0.071	179	0.056	229	0.047	279	0.040
30	0.181	80	0.098	130	0.070	180	0.056	230	0.046	280	0.040
31	0.178	81	0.097	131	0.070	181	0.055	231	0.046	281	0.040
32	0.174	82	0.097	132	0.070	182	0.055	232	0.046	282	0.040
33	0.171	83	0.096	133	0.069	183	0.055	233	0.046	283	0.040
34	0.168	84	0.095	134	0.069	184	0.055	234	0.046	284	0.040
35	0.166	85	0.094	135	0.068	185	0.055	235	0.046	285	0.040
36	0.163	86	0.094	136	0.068	186	0.054	236	0.046	286	0.039
37	0.160	87	0.093	137	0.068	187	0.054	237	0.045	287	0.039
38	0.158	88	0.092	138	0.067	188	0.054	238	0.045	288	0.039
39	0.155	89	0.091	139	0.067	189	0.054	239	0.045	289	0.039
40	0.153	90	0.091	140	0.067	190	0.054	240	0.045	290	0.039
41	0.151	91	0.09	141	0.066	191	0.053	241	0.045	291	0.039
42	0.148	92	0.089	142	0.066	192	0.053	242	0.045	292	0.039
43	0.146	93	0.089	143	0.066	193	0.053	243	0.045	293	0.039
44	0.144	94	0.088	144	0.065	194	0.053	244	0.044	294	0.039
45	0.142	95	0.087	145	0.065	195	0.053	245	0.044	295	0.039
46	0.140	96	0.087	146	0.065	196	0.052	246	0.044	296	0.038
47	0.139	97	0.086	147	0.064	197	0.052	247	0.044	297	0.038
48	0.137	98	0.086	148	0.064	198	0.052	248	0.044	298	0.038
49	0.135	99	0.085	149	0.064	199	0.052	249	0.044	299	0.038
50	0.133	100	0.084	150	0.064	200	0.052	250	0.044	300	0.038

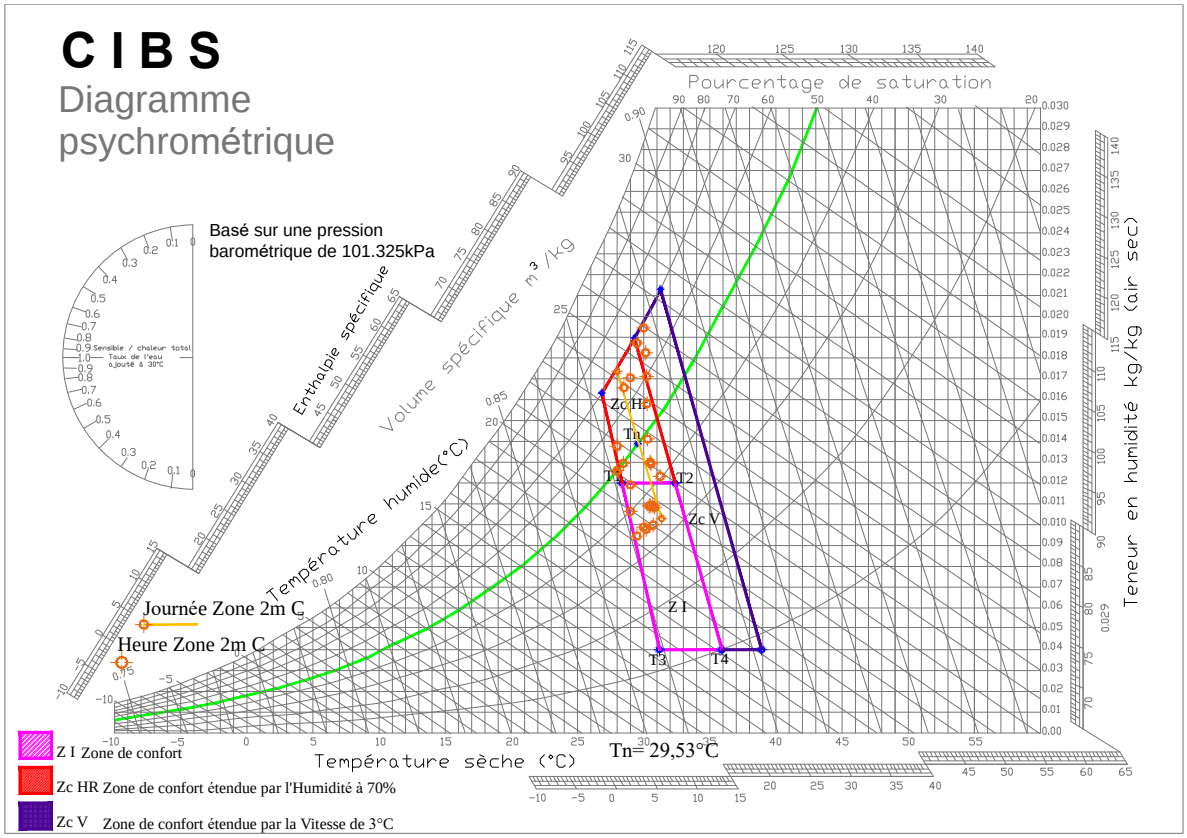
Abaque des valeurs de K (Hamouda , 2013).

Annexe IV: Performance thermique du modèle adopté

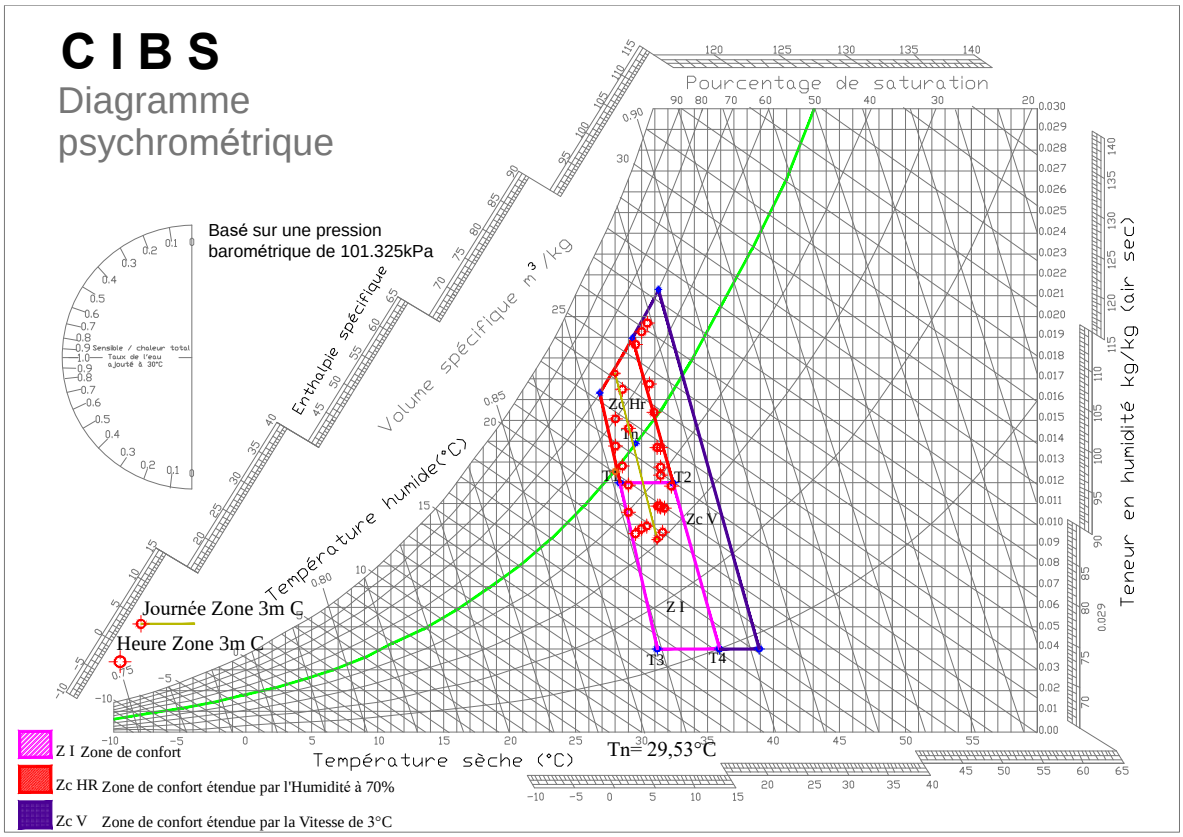
Les résultats de l'efficacité thermique du modèle adopté jusqu'à 7m de profondeur sont indiqués dans les diagrammes ci-dessous.



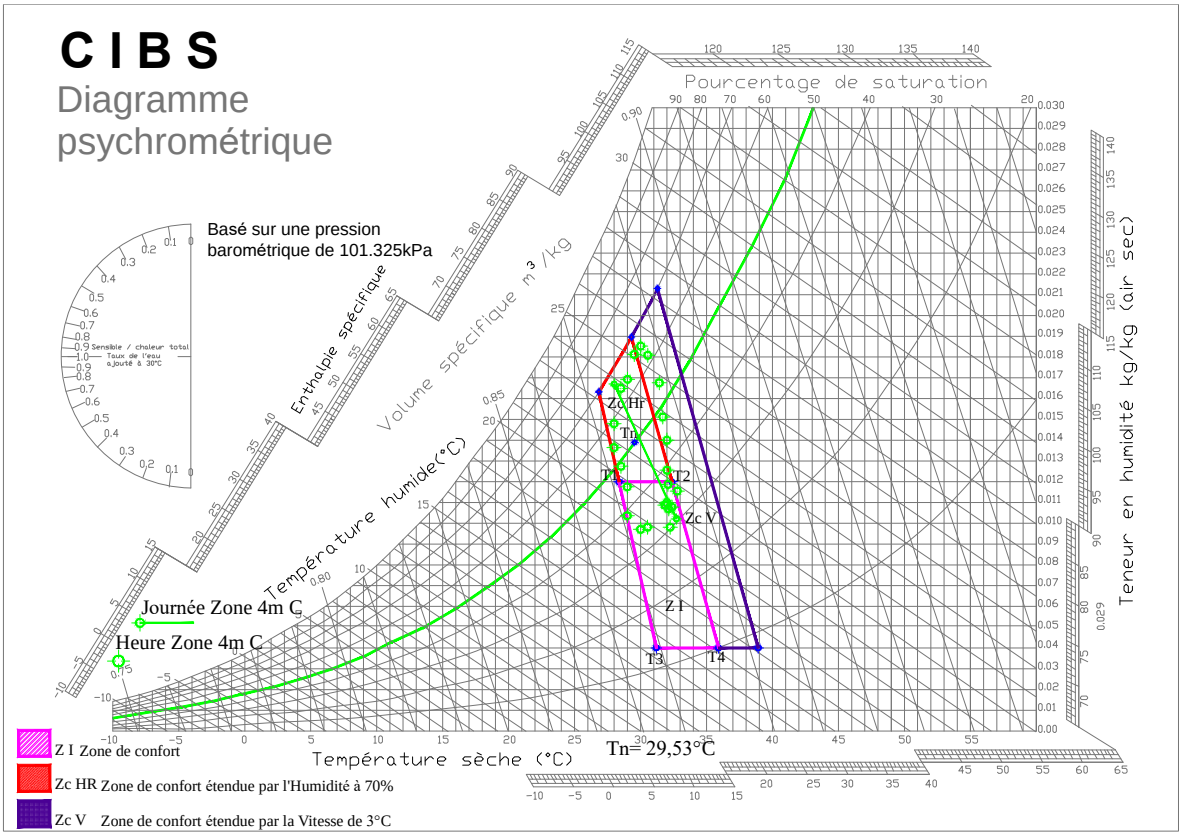
Simulation des résultats de la zone 1m C le 14 juillet 2012 (Djouima, 2019)



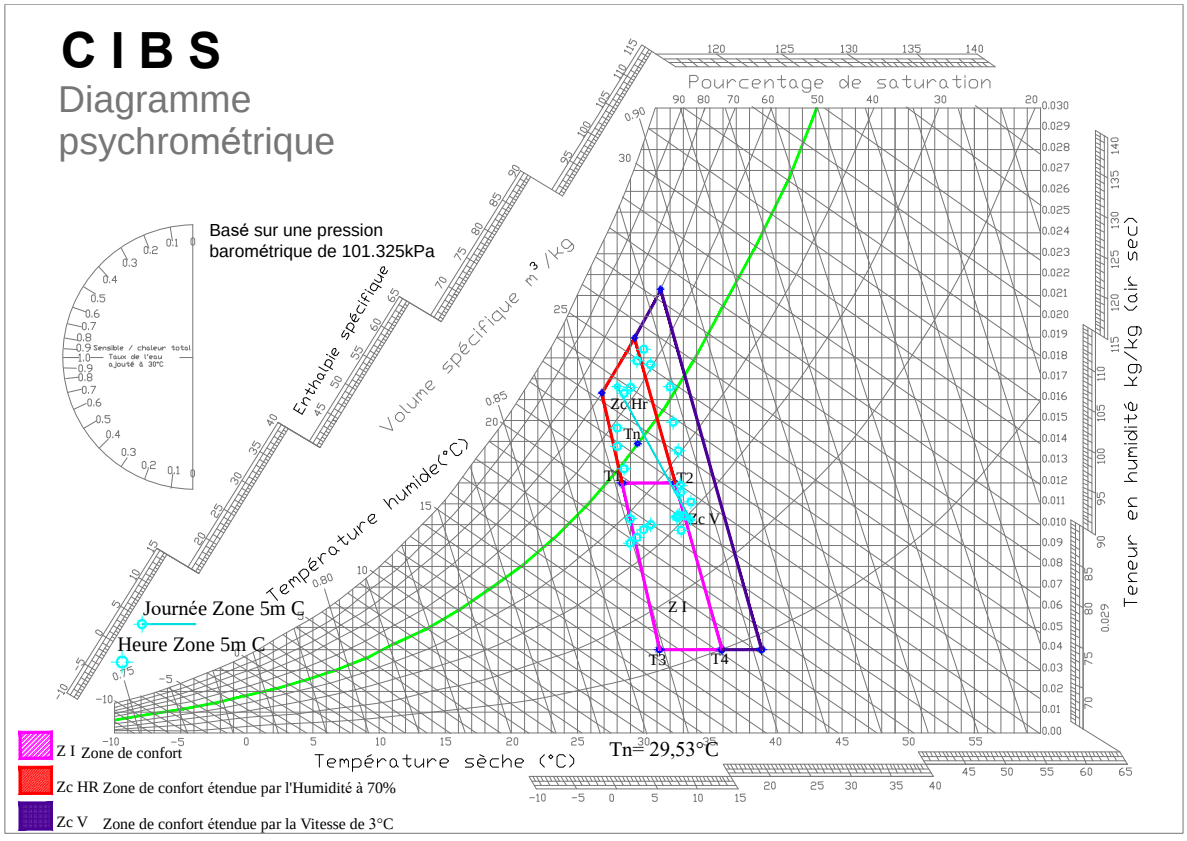
Simulation des résultats de la zone 2m C le 14 juillet 2012 (Djouima, 2019)



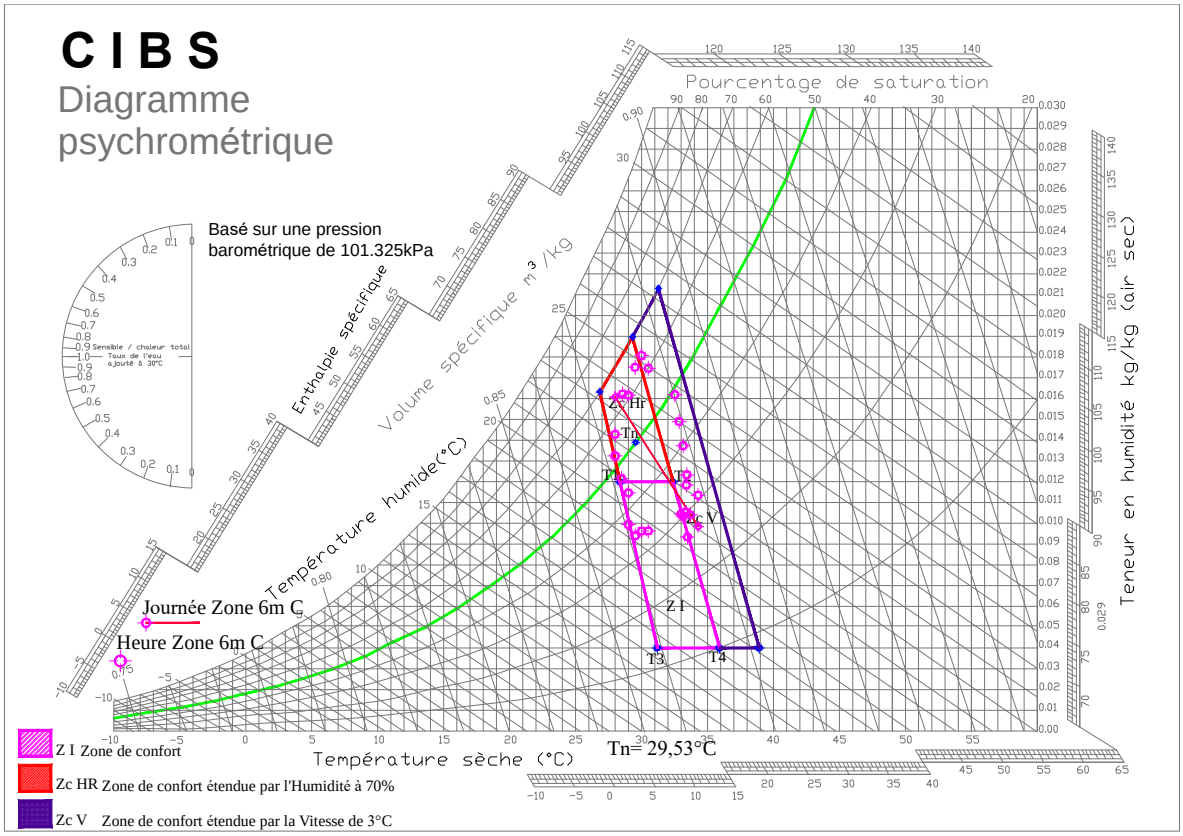
Simulation des résultats de la zone 3m C le 14 juillet 2012 (Djouima,2019)



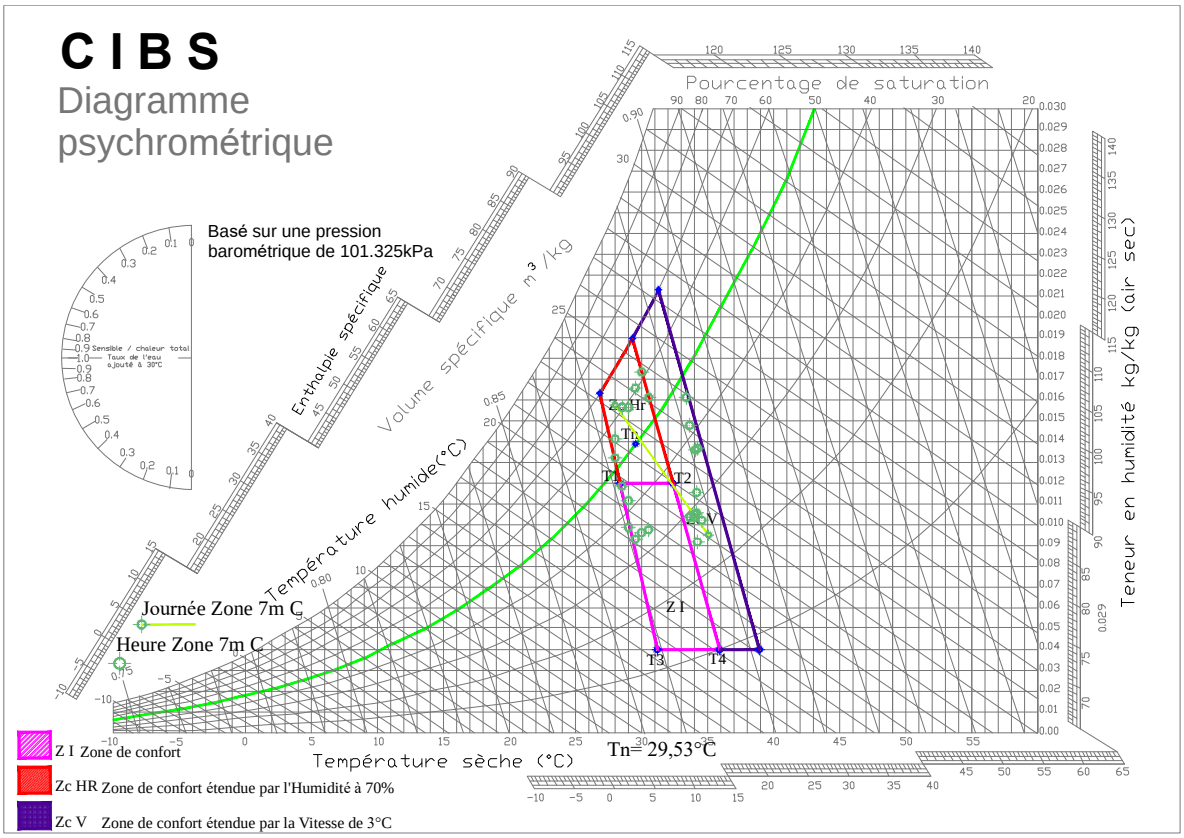
Simulation des résultats de la zone 4m C le 14 juillet 2012 (Djouima, 2019)



Simulation des résultats de la zone 5m C le 14 juillet 2012 (Djouima, 2019)



Simulation des résultats de la zone 6m C le 14 juillet 2012 (Djouima, (2019)



Simulation des résultats de la zone 7m C le 14 juillet 2012 (Djouima, 2019)