

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 8 Mai 1945 Guelma



Faculté des Sciences et de la Technologie
Département d'Architecture
Laboratoire de Génie Civil et Hydraulique

THÈSE

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE DOCTORAT LMD

Domaine : A.U.M.V (Architecture, Urbanisme et Métiers de la Ville)

Filière : Architecture

Spécialité : Habitat durable et savoirs constructifs

Présentée par

OULED DIAF Amira

Intitulée

**Evaluation des effets de la ventilation naturelle sur la qualité de l'air
intérieur. Ilot urbain-Cité Guehdour Tahar-Guelma**

Soutenue le :

Devant le Jury composé de :

Mr ALKAMA Djamel	Professeur	Univ. de Guelma	Président
Mme HARIDI Fatma-Zohra	Professeur	Univ. de Guelma	Encadreur
Mme KHELIL Sara	M.C.'A'	Univ. de Biskra	Co-encadreur
Mme HAMOUDA Abida	Professeur	Univ. de Batna	Examineur
Mr LAZRI Youcef	Professeur	Univ. de Guelma	Examineur
Mr ASSOULE Dechicha	M.C.'A'	Univ. de Guelma	Examineur

Année Universitaire : 2022 /2023

Remerciement

Au début de ce document de thèse qui résume un travail de 4 ans, j'adresse tout d'abord mes remerciements les plus distingués au dieu et aux toutes personnes qui ont participé à l'aboutissement de ce projet de thèse, en particulier mon directeur de thèse « **Professeur HARIDI Fatma-Zohra** » qui m'a accordé sa confiance, ses orientations et son aide.

Je remercie par la même le Co-encadreur de thèse « **Docteur KHELIL Sara** », ainsi que tous les membres du jury pour leur acceptation d'évaluation de ce travail et qui sont : Professeur ALKAMA Djamel, Professeur HAMOUDA Abida, Professeur LAZRI Youcef et Docteur ASSOULE Dechicha.

Je tiens à remercier plus généralement l'ensemble du personnel de l'université 8 Mai 1945 Guelma, en particulier tous mes collègues de la promotion doctorat LMD année 2018-2019.

J'adresse une mention particulière à mes chers parents, et à mon mari qui partagent avec moi les moments les plus difficiles, et qui ont supporté avec patience mes humeurs durant toute la période de l'élaboration de ce travail.

Sans oublier de remercier vivement certains habitants de la Cité Guehddour-Tahar d'avoir m'accueilli dans leur logements ce qui me facilite la tâche de la prise de mesure et la réalisation du travail de l'enquête sociale.

ملخص

تعتبر التهوية الطبيعية وسيلة لضمان جودة الهواء الداخلي حيث تساهم في خفض درجة الحرارة الداخلية وإنعاش الهواء وذلك بالتخلص من ملوثاته. تهدف هذه الدراسة إلى تقييم فعالية التهوية الطبيعية وتأثيرها على جودة الهواء الداخلي (IAQ) في المباني السكنية ذات الطابع الجماعي الواقع في منطقة الحي السكني غهدور الطاهر قالمة. تحتوي البيئة الداخلية في المباني المدروسة على أنواع مختلفة من الملوثات التي تهدد سلامة هذه المباني وكذلك رفاهية وصحة ساكنيها.

تعتمد المنهجية المتبعة في هذه الدراسة على إنشاء عمل ميداني مكون من جزئيين. الأول نوعي ويتساءل عن الإحساس الإدراكي لسكان التجمع السكني، والهدف منه هو تأهيل البيئة الداخلية للمساكن المدروسة من خلال تحديد مختلف المشاكل المرتبطة بالتلوث الداخلي (تركيزات ومصادر الملوثات الداخلية، وممارسات السكان فيما يتعلق بفتح وغلق النوافذ. . . إلخ).

والثاني كمي ويهدف الى القيام بحملات قياس داخل السكنات المراد دراستها، حيث تم قياس درجة الحرارة، الرطوبة، سرعة الهواء وتركيز ثاني أكسيد الكربون CO2. تضمن هذا الجزء من الدراسة تعيين خمسة (5) مساكن وتم تقسيم عملية القياس على ثلاث فترات في نفس اليوم: الصباح في الساعة 9 صباحاً، وبعد الظهر في الساعة 1 مساءً والمساء في الساعة 7 مساءً. تم تحديد أيام القياس النموذجية على أساس بيانات الأرصاد الجوية المسجلة خلال عدة سنوات حقيقية (2010-2021) لمنطقة قالمة وهي: 1 و 2 و 3.4 و 5 أغسطس 2021 للموسم الحار. و 15 و 16 و 17 و 18 و 19 يناير 2022 للفترة الباردة.

يضاف إلى هذا العمل الميداني إنجاز نموذج محاكاة CFD في بيئة حسابية (code butterfly plugin) في ظل الظروف المتروولوجية الصيفية والشتوية للمدينة المعنية، من أجل دراسة سلوك نظام التهوية الطبيعية وكفاءته.

في النتيجة، سمح لنا هذا العمل بدراسة تأثير نوعية الهواء الداخلي الرديء على الراحة الصحية عند الساكنين. وبالتالي فإننا نقدر أن رداءة الهواء الداخلي لها تأثيرات على المبنى من خلال التسبب في أضرار مادية وأثار رطوبة مثل العفن، ظهور شقوق، بقع سوداء، طلاء مقشر. . . إلخ، وكذلك على راحة الساكن من خلال تهديد صحته بدءاً من ظهور أمراض بسيطة (التعب والصداع والنعاس وتهيج العين والأنف والحنجرة) إلى تطور أمراض الجهاز التنفسي والحساسية الخطيرة (الربو).

الكلمات المفتاحية: تهوية طبيعية، جودة الهواء الداخلي (IAQ)، مبنى سكني جماعي، راحة صحية، مدينة غهدور الطاهر قالمة.

Résumé

La ventilation naturelle constitue la mesure passive permettant d'assurer une qualité d'air et un environnement intérieur sain et confortable en toute saison. Elle aboutit à abaisser la température interne, à évacuer l'excès d'humidité et à rafraîchir l'air en éliminant ses polluants.

L'environnement intérieur au niveau des bâtiments résidentiels collectifs situés à la cité Guehdour Tahar-Guelma contiennent divers types de contaminants qui menacent l'intégrité et la salubrité de ces bâtiments ainsi que le bien-être et la santé de leurs occupants.

En cela, notre contribution s'attèle à établir une analyse empirique recueillie notamment de la parole d'habitants qui est une approche subjective liée aux ressentis des occupants dont le but de qualifier l'environnement intérieur des logements étudiés en cernant les différents problèmes liée à la pollution intérieure (les concentrations de contaminants à l'intérieur, les pratiques de ventilation des résidents, les perceptions sensorielles de la qualité de l'air intérieur et du confort sanitaire).

Ainsi que des mesures Indoor In-situ des paramètres caractérisant la QAI (Température, Humidité relative, Vitesse de l'air, et la concentration en CO₂) à l'échelle des bâtiments résidentiels de la cité en question afin de faire ressortir les déterminants de la QAI. Cette phase d'étude impliquait le recrutement de cinq (5) logements. La partition du mesurage s'échelonne selon trois périodes dans une même journée : le matin à 9h, l'après-midi à 13h et le soir à 19h, dont la détermination des journées types « design days » a été faite sur la base des données météorologiques enregistrées sur plusieurs années réelles (2010-2021) pour la région de Guelma, et qui sont : Le 1, 2, 3,4 et le 5 Aout 2021 pour la saison chaude. Et le 15, 16, 17, 18 et le 19 janvier 2022 pour la période froide.

En ajoutant à cela la réalisation d'un travail de simulation numérique qui avait nécessité le développement dans un environnement algorithmique d'un modèle de simulation CFD (code butterfly plugin) sous les conditions météorologiques estivales et hivernales de la ville en question, afin d'étudier le comportement du système de ventilation naturelle existant et son efficacité.

Les résultats de cette étude montrent que la mauvaise QAI a des effets sur le bâtiment en lui causant des dégradations physiques, ainsi que sur le confort sanitaire et hygiénique de l'occupant en menaçant sa santé.

Mots-Clés : La ventilation naturelle, la qualité de l'air intérieur (QAI), le bâtiment résidentiel collectif, le confort sanitaire et hygiénique, la cité Guehdour Thar-Guelma.

Abstract

Natural ventilation is the passive measure to ensure air quality and comfortable indoor environment in all seasons. It results in lowering the internal temperature, evacuating excess humidity and refreshing the air by eliminating its pollutants .

This study evaluates the effects of natural ventilation on indoor air quality (IAQ) in residential buildings in the Gahdour Tahar neighborhood located in the city of Guelma (northeast of Algeria). Indeed, the indoor environment in the study buildings contains various types of contaminants that threaten the integrity and healthiness of these buildings as well as the health of their occupants.

Given this situation, it is necessary to using an empirical analysis collected the words of the inhabitants, it is a subjective approach linked to the feelings of the occupants, in order to qualify the interior environment of the dwellings studied. We will identify the various problems linked indoor pollution (indoor contaminant concentrations, resident's ventilation practices, sensory perceptions of indoor air quality and sanitary comfort)

This study is also based on measurements of (Temperature, Relative humidity, Air speed, and CO₂ concentration) during two periods (summer-winter) inside five (5) apartments studied.

Five days of the experimental design, "design days", were selected for the measurements. Their selection was based only on the daily averages of the temperature and humidity parameters given by the metrological station of the city and the site OGIMET (professional information about meteorological conditions in the world) during the period (2010-2020). Therefore, the selected day is 1, 2, 3.4 and 5 August (2021) for the warm period, and 15, 16, 17, 18 and 19 January (2022) for the cold period. Measurements were taken three times a day: 9 am, 1 pm, and 7 pm.

Adding to this, the realization of a numerical simulation work which requires the development in an algorithmic environment of a CFD simulation model (butterfly plugin code) under the summer and winter metrological conditions of Guelma, in order to study the behavior of the existing natural ventilation system and its efficiency.

Finally, this work has allowed us to study the impact of poor indoor air quality on sanitary and hygienic comfort in the residential buildings of the case study. We estimate that poor IAQ has effects on the building by causing physical damage, as well as on the comfort of the occupant by threatening his health.

Keywords: Natural ventilation, indoor air quality (IAQ), residential buildings, sanitary and hygienic comfort, Gahddour-Thar neighborhood

Table des matières

<i>ملخص</i>	III
<i>Résumé</i>	IV
<i>Abstract</i>	V
<i>Table des matières</i>	VI
<i>Listes des figures</i>	XIV
<i>Liste des tableaux</i>	XVIII
INTRODUCTION GENERALE	1
1. Présentation générale du sujet de recherche	1
2. Le contexte scientifique du cadre de la recherche	2
2.1. Les organismes et les acteurs.....	2
2.1.1. L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS)	3
2.1.2. L'observatoire de la qualité de l'air intérieur OQAI	3
2.1.3. L'association agréée de surveillance de la qualité de l'air (AASQA)	3
2.1.4. L'institut de veille sanitaire	3
2.1.5. Le réseau recherche santé environnement intérieur (RSEIN).....	4
2.1.6. Le laboratoire central de la surveillance de la qualité de l'air (LCSQA)	4
2.1.7. Le laboratoire des Sciences de l'Ingénieur pour l'Environnement (LaSIE).....	4
2.2. Les rencontres scientifiques	4
2.3. Les études internationales et nationales	5
3. Positionnement et contextualisation de sujet de recherche	10
4. Problématique	11
5. Hypothèse	12
6. Objectif	13
7. Méthodologie	13
7. Structure de la thèse	14
PARTIE 1 : ETAT DE CONNAISSANCES : Ventilation naturelle et qualité de l'air le bâtiment résidentiel collectif	16
CHAPITRE I : HABITAT ET CLIMAT : NOTIONS ET GENERALITE	17
I.1 Introduction	17
I.2. Habitat ; Fondement théorique	17
I.2.1. Habitat : Lieu marqué de faits géographiques	18
I.2.2. Habitat : Substance symbolique du contenu spatial	18
I.2.3. Habitat : fonction sociale.....	19
I.3. Habitation ou logement, une dimension fondamentale de l'habitat	19

I.4. Evolution contextuelle et conceptuelle des formes d’habitat	20
I.4.1. Habitat rural	20
I.4.1.1. Habitat des Aurès	21
I.4.1.2. Habitat Kabyle	21
I.4.1.3. Habitat du Souf.....	22
I.4.1.4. Habitat Mozabite.....	22
I.4.2. Habitat urbain traditionnel (maison à cour)	23
I.4.3. Habitat urbain moderne.....	25
I.4.3.1. Immeuble à plusieurs étages ou l’immeuble de Rapport	25
I.4.3.2. Pavillon (villa)	26
I.4.3.3. Habitat à loyer modéré (H.L.M.)	26
I.4.3.4. Zones d’habitat collectif moderne	27
I.4.4. Habitat semi-collectif	27
I.4.5. Nouvelles formes d’habitat : Habitat écologique, Habitat éco- futuriste	27
I.5. Habitat collectif	28
I.5.1. Essai de définition.....	28
I.5.2. Naissance et chronologie	29
I.5.3. Production de l’habitat collectif dans le contexte Algérien	30
I.5.3.1. Création du système des zones d’habitat collectif.....	31
I.5.3.2. Stratégie Nationale de l’Habitat.....	31
I.6. Habitat et environnement	33
I.6.1. Les variables du climat	34
I.6.1.1. Température.....	34
I.6.1.2. Humidité relative (HR).....	35
I.6.1.3. Vitesse de l’air	35
I.6.2. Classification du climat.....	36
I.6.3. Adaptation de l’habitat au climat environnant	37
I.6.3.1. Construire en climat tempéré	37
I.6.3.2. Construire en climat froid	37
I.6.3.3. Construire en climat chaud et humide.....	38
I.6.3.4. Construire en climat chaud et sec.....	38
I.6.4. Habitat et architecture bioclimatique.....	38
I.6.4.1. Stratégie d’une architecture bioclimatique	38
I.6.4.2. Principe d’une conception bioclimatique.....	40
I.6.4.2.1. L’implantation	40
I.6.4.2.2. La morphologie du bâtiment (la forme architecturale)	40

I.6.4.2.3. Les matériaux de construction	41
I.6.4.2.4. Le zoning climatique.....	42
I.6.5 La démarche HQE dans l'habitat	42
I.7. Conclusion	44
CHAPITRE II : LA VENTILATION : UN DETERMINANT PASSIF ET ACTIF DU CONFORT SANITAIRE.....	45
II.1. Introduction	45
II.2. Le paramètre vent	45
II.2.1. Les vents de vallée.....	46
II.2.2. Les vents de pentes	46
II.2.3. Effets des obstacles aérauliques	46
II.3. Le concept de ventilation	47
II.3.1. Définition du concept	47
II.3.2. Evolution du concept.....	48
II.4. Ventilation naturelle	49
II.4.1. Définition.....	49
II.4.2. Principe de fonctionnement.....	50
II.4.2.1. Différence de pression	50
II.4.2.2. Tirage thermique	51
II.4.3. Le rôle de La ventilation naturelle.....	52
II.4.3.1. Le rôle hygiénique	52
II.4.3.2. Le rôle de confort	53
II.4.3.3. Le rôle d'entretien.....	53
II.5. De la ventilation naturelle à la ventilation mécanique	54
II.5.1. Définition de la ventilation mécanique	54
II.5.2. Types d'installation de ventilation mécanique	54
II.5.2.1. Système à simple flux	55
II.5.2.2. Système à double flux ; installation à alimentation et extraction mécaniques (système d)	56
II.5.2.3. Système sans moteur	58
II.5.3. Efficacité de la ventilation mécanique	58
II.5.3.1. Concentration des polluants	58
II.5.3.2. Installation elle-même.....	58
II.5.4. Ventilation mécanique et consommation énergétique	59
II.6. La ventilation hybride.....	61
II.7. Ventilation et confort sanitaire	61

II.7.1. La dimension du confort dans l'habitat.....	61
II.7.1.1. Le Confort respiratoire	62
II.7.1.2. Le confort olfactif	62
II.7.1.3. Le confort sanitaire.....	63
II.7.2. Amélioration du confort sanitaire	63
II.7.2.1 Ventilation involontaire.....	63
II.7.2.2. Ventilation volontaire par l'ouverture de portes et fenêtres	64
II.7.2.3. Ventilation par dispositifs techniques.....	64
II.8. Techniques d'amélioration et de contrôle de la ventilation.....	64
II.8.1. Dispositifs intégrés aux fenêtres (vantelles, grilles réglables)	65
II.8.2. Moucharabieh	65
II.8.3. Conduit de ventilation (cheminée et tourelles à vent)	66
II.8.4. Façade double peau	68
II.8.5. Capteur à air en façade	69
II.8.6. Pilotis	70
II.8.7. Puits canadiens.....	70
II.8.8. Ventilation par atrium	71
II.8.9. Ventilation par patio.....	71
II.9. Règlements relatifs à la ventilation du bâtiment résidentiel	71
II.10. Conclusion.....	73
CHAPITRE III : LA QUALITE DE L'AIR INTERIEUR, UN ENJEU DE SANTE PUBLIQUE..	75
III.1. Introduction.....	75
III.2. Composition de l'air	75
III.3. Qu'est-ce qu'une bonne qualité d'air intérieur ?.....	76
III.4. Perception de la qualité de l'air.....	77
III.5. Méthodes d'investigation et techniques de mesure des polluants de l'air intérieur	78
III.5.1. Mesure direct in situ.....	79
III.5.2. Méthode d'échantillonnage	79
III.6. Facteurs influençant la qualité de l'air intérieur	80
III.6.1. Caractéristiques de l'environnement extérieur	80
III.6.2. Caractéristiques conceptuelles et structurelles du bâtiment résidentiel	80
III.6.3. Comportement et les activités des occupants	80
III.7. Sources polluantes extérieures.....	80
III.8. Sources de polluants intérieurs.....	81
III.8.1. Polluants anthropiques	82
III.8.2. Activités domestiques	82

III.8.3. Equipements et les matériaux de construction	83
III.9. Types de polluants	84
III.9.1. Polluants physiques.....	84
III.9.1.1. La poussière.....	84
III.9.1.2. L'Amiante.....	84
III.9.1.3. Le radon.....	85
III.9.2. Polluants chimiques.....	85
III.9.2.1. Le gaz carbonique.....	85
III.9.2.2. Le monoxyde de carbone	86
III.9.2.3. L'Oxyde d'azote	86
III.9.2.4. L'ozone	86
III.9.2.6. Les métaux.....	87
III.9.2.7. Les solvants.....	87
III.9.3. Polluants biologiques (bio-contaminants).....	88
III.9.3.1. Les allergènes domestiques	88
III.9.3.2. Les moisissures	88
III.10. Qualité de l'air intérieur et effets des polluants.....	89
III.10.1. Pathologies non spécifiques reliés aux bâtiments (syndrome de bâtiments malsains)...	89
III.10.2. Pathologies en lien avec la pollution biologique	89
III.10.3. Pathologies spécifiques dû à la pollution chimique	90
III.10.4. Pathologies spécifiques dues à la pollution physique (l'amiante)	90
III.11. Humidité résidentielle.....	91
III.11.1. Source d'humidité résidentielle	91
III.11.2. Effet de l'humidité résidentielle	92
III.11.2.1. Effet sur le bâtiment.....	92
III.11.2.2. Effet sur la santé humaine.....	92
III.12. Mesures de réduction de contaminants de l'air dans le bâtiment résidentiel	93
III.12.1. Réduction des polluants à la source.....	93
III.12.2. Ventilation des espaces intérieurs	94
III.12.3. La purification de l'air	94
III.12.4. Mesure applicable à l'environnement extérieur.....	95
III.13. Règlementation et stratégies de prévention de la pollution de l'air intérieur	95
III.13.1. Plans et programmes de prévention.....	95
III.13.1.1. Grenelle de l'environnement	96
III.13.1.2. Le 1er Plan national de santé environnement (PNSE)	96
III.13.1.3. Le 2ème Plan National Santé Environnement (2010-2014).....	96

III.13.1.4. Le 3ème Plan National Santé Environnement (2015-2019)	97
III.13.1.5. Le 4ème Plan National Santé Environnement : mon environnement, ma santé (2020-2024).....	97
III.13.2. Règlements sur les matériaux de construction et de décoration	97
III.13.2.1. Règlements relatifs à l'interdiction de l'Amiante.....	98
III.13.2.2. Règlements relatifs à la mousse isolante d'urée formol (MIUF).....	98
III.13.2.3. Règlements relatifs à l'interdiction du plomb.....	98
III.13.2.4. Règlements relatifs aux fibres minérales artificielles (FMA).....	98
III.13.3. Règlements relatifs aux mesures dans l'air intérieur	98
III.14. Conclusion	99
<i>PARTIE 2 : CONTEXTE ANALYTIQUE ET EXPERIMENTAL</i>	101
<i>CHAPITRE IV : PRESENTATION DU CONTEXTE D'ANALYSES.....</i>	102
IV.1. Introduction.....	102
IV.2. Situation de la ville de Guelma	102
IV.3. Le contexte historique de la ville	103
IV.3.1. Les Phéniciens	103
IV.3.2. Les Numides	103
IV.3.3. Les Romains.....	104
IV.3.4. Les vandales	104
IV.3.5. Les Byzantins	104
IV.3.6. Les ottomans	105
IV.4. Le contexte climatique de la ville.....	106
IV.4.1. Température	106
IV.4.2. Précipitation	107
IV.4.3. L'humidité	108
IV.4.4. La vitesse de l'air	108
IV.5. Typologie de l'habitat á Guelma.....	109
IV.5.1. L'habitat colonial.....	110
IV.5.2. L'habitat individuel.....	111
IV.5.3. L'habitat collectif.....	111
IV.6. Cas d'étude : La cité Guehdour-Tahar.....	112
IV.6.1. Création de la cité	112
IV.6.2. Situation par rapport à la ville.....	113
IV.6.3. Analyse de l'environnement extérieur.....	114
IV.6.4. Genèse de la conception architecturale des bâtiments résidentiels collectifs.....	115
IV.6.4.1. Etat extérieur des bâtiments étudiés.....	116

IV.6.4.2. Distribution spatiale des logements	116
IV.6.4.3. Descriptif des dispositifs techniques dans les logements	117
IV.7. Conclusion	117
<i>CHAPITRE V : ETUDE EMPIRIQUE : RECHERCHE DES DETERMINANTS DE LA QUALITE DE L'AIR INTERIEUR (QAI)</i>	118
V.1. Introduction	118
V.2. Etude qualitative : Enquête in-situ	118
V.2.1. Structure du questionnaire	118
V.2.2. Détermination de l'échantillon (le corpus)	120
V.2.3. Classification et interprétation des résultats du questionnaire.....	120
V.2.3.1. Identification des familles enquêtées	120
V.2.3.2. Activités journalières des familles enquêtées.....	121
V.2.3.3. Descriptif de la méthode de ventilation	122
V.2.3.4. Perception sensorielle du confort sanitaire existant	123
V.2.3.4.1. Perception de la qualité de l'air intérieur	124
V.2.3.4.2. Perception olfactive	124
V.2.3.4.3. Perception du mouvement d'air (courant d'air)	125
V.2.3.4.4. Perception de température	125
V.2.3.4.5. Perception de l'humidité.....	126
V.2.3.5. Observation des pathologies physiques	126
V.2.3.5.1. Présence du vapeur d'eau.....	127
V.2.3.5.2. Présence des traces d'humidité	127
V.2.3.6. Descriptif de l'état de santé des occupants	129
V.3. Etude quantitative (mesure in situ).....	129
V.3.1. Technique et protocole de mesure	129
V.3.2. Détermination des journées-types « Design-day » pour la prise des mesures	130
V.3.3. Les Bâtiments sélectionnés pour la prise de mesures In-situ	131
V.3.4. Interprétation et discussion des résultats de mesures indoor In-situ	132
V.3.4.1. Les mesures en été.....	132
V.3.4.2. Les mesures de l'hiver	137
V.3.4.3. Discussion.....	142
V.4. Conclusion	145
<i>CHAPITRE VI : EVALUATION NUMERIQUE DES PERFORMANCES DE LA VENTILATION NATURELLE DANS LES LOGEMENTS ETUDIES</i>	146
VI.2. Aperçu sur la dynamique des fluides computationnelle (CFD)	146
VI.3. Rôle du CFD	147

VI.4. Présentation du code Butterfly plugin	147
VI.5. Protocole de simulation	150
VI.5.1. Description des logements simulés.....	151
VI.6. Discussion des résultats de la simulation	153
VI.7. Conclusion	155
<i>CONCLUSION GENERALE</i>	157
1. Limites de recherche	160
2. Perspectives de recherche	161

Bibliographie

Annexes

Annexe A : Questionnaire

Annexe B : Donnée métrologiques de la ville de Guelma

Annexe C : Photo du travail de l'investigation In-situ (Observation et prise des mesures)

Annexe D : Tableau de protocole de mesure

Annexe E : Tableau des conditions de mesures dans les différents logements sélectionnés pour la prise de mesure.

Listes des figures

Figure 01 : Schématisation du travail de l'investigation scientifique.....	14
Figure I.01 : L'habitat Chaoui.....	21
Figure I.02 : L'habitat Kabyle.	22
Figure I.03 : Plan d'une maison de Ghardaïa.	22
Figure I.04 : Vue en plan d'une maison traditionnelle à Alger.....	25
Figure I.05 : La citadelle d'Alger.....	25
Figure I.06 : Immeuble à de rapport (Alger).	26
Figure I.07 : L'Aéro-habitat (Alger).	26
Figure I.08 : Cité radieuse de Le Corbusier.	29
Figure I.09 : Ensemble d'habitation « Bel Air ».....	30
Figure I.10 : Grand ensemble « CILOC » 1959.....	30
Figure I.11 : Classification du climat mondiale.....	37
Figure I.12 : Stratégies à entreprendre au cours des saisons.	39
Figure I.13 : Les variables qui influencent l'implantation du bâtiment.	40
Figure I.14 : la forme optimale selon la direction des rayons solaires.	41
Figure I.15 : Schéma du principe du zoning climatique en fonction de l'orientation.....	42
Figure I.16 : Les 14 Cibles de la Haute Qualité Environnementale des bâtiments.	43
Figure II.1 : Les vents de vallée.....	46
Figure II.2 : Les vents de pentes.....	46
Figure II.3 : Les obstacles aérauliques.....	47
Figure II.4 : Effet des obstacles aérauliques.....	47
Figure II.5 : Evolution de la ventilation.....	49
Figure II.6 : Effet du vent sur le bâtiment.....	50
Figure II.7 : ventilation transversale.....	51
Figure II.8 : ventilation à simple exposition.....	51
Figure II.9 : Ventilation par tirage thermique.....	52
Figure II.10 : Circulation de l'air par la ventilation mécanique.....	54
Figure II.11 : Systèmes de ventilation mécanique à simple flux.....	55

Figure II.12 : Systèmes de ventilation mécanique à double flux.....	56
Figure II.13 : Ventilation double flux avec attraction mécanique.....	57
Figure II.14 : Débit du vent et l'effet de chaleur perdue.....	59
Figure II.15 : Ventilation double flux et effet du vent produit.....	60
Figure II.16 : Consommation des ventilateurs.....	60
Figure II.17 : Consommation énergétique et déperdition de chaleur.....	60
Figure II. 18 : La qualité de l'air intérieur et l'effet des polluants.....	62
Figure II.19 : Grille de ventilation. Lycée Maryse Bastié.....	65
Figure II.20 : Moucharabieh.....	66
Figure II.21 : Ventilation par cheminée.....	66
Figure II.22 : Mode d'installation des conduites de ventilation naturelle dans le bâtiment....	67
Figure II.23 : Tour à vent. Source : Guide CIBSE, 2005.....	67
Figure II.24 : Processus des tours à vent.....	67
Figure II.25 : Cheminée solaire dans un bâtiment dans le Quartier BEDZED en Grande Bretagne (Londres).....	68
Figure II. 26 : Processus de ventilation d'une façade double peau.....	69
Figure II.27 : Schéma de principe de la façade double peau.....	69
Figure II.28 : Stratégies passive et active pour le capteur-fenêtre.....	70
Figure II.29 : Schéma de principe d'un puits canadien.....	70
Figure II.30 : Schéma de principe d'un Atrium.....	71
Figure III.1 : Composition d'un mélange d'air humide.....	75
Figure III.2 : Modification de la composition de l'air après l'expiration et les besoin physiologique en air.....	76
Figure III.3 : Les différents polluants atmosphériques lies aux activités de l'homme.....	81
Figure III.4 : Sources d'impuretés de l'air intérieur.....	82
Figure IV. 1-2 : vue sur la ville de Guelma.....	102
Figure IV.3-4 : Situation et limite de la ville.....	103
Figure IV.5-6 : Tthéâtre romain de guelma.....	104
Figure IV.7 : les zones climatiques en Algérie.....	106

Figure IV.8 : Température moyenne maximale et minimale à Guelma, période : 2010-2021.....	106
Figure IV.9 : Température horaire moyenne à Guelma, période : 2010-2021.....	107
Figure IV.10 : Précipitation à Guelma, période : 2010-2021.....	107
Figure IV.11 : Pluviométrie mensuelle moyenne à Guelma. période : 2010-2021.	107
Figure IV.12 : Les valeurs d'humidité relative à Guelma, période : 2010-2021.	108
Figure IV.13 : Les vitesses moyennes du vent à Guelma, période : 2010-2021.	108
Figure IV.14 : La direction du vent à Guelma, période : 2010-2021.....	109
Figure IV.15 : La maison pavillonnaire de l'époque colonial à Guelma (cité Bon accueil)...	110
Figure IV.16 : Immeubles colonial d'habitat collectif au centre-ville de Guelma.....	110
Figure IV.17 : Les HLM (Immeuble «septième») à Guelma.....	110
Figure IV.18 : Habitat spontané à Guelma.....	111
Figures IV.19-20-21 : Les ZHUN de Guelma (citée Ain defla, cité Champ de manœuvre, cité Guehdour-Tahar).....	111
Figures IV.22-23 : Cité Amir Abdelkader (LSP) à Guelma. AADL à la nouvelle ville de Guelma.....	112
Figure IV.24 : Vue panoramique de la citée Gahdour Tahar.....	112
Figure IV.25 : Le monument qui rappelle les massacres de 08 Mai 45.....	113
Figure IV.26 : POS U.A7/2.	113
Figure IV.27. POS U.A7/3.....	113
Figure IV.28 : Plan de limite et d'accessibilité au quartier.....	113
Figure IV.29 : Axes structurants	114
Figure IV.30 : Forme des ilots.....	114
Figure IV.31-32 : Vue de la citée Gahdour-Tahar.....	114
Figure IV.33 : L'espace libre dans le quartier.....	115
Figure IV.34 : a) Carte de la Cité Gahdour » Source Google EARTH ; b) Typologies des bâtiments. Source : auteure 2019.....	115
Figure IV.35 : Façade prinipale du bâtiment.	116
Figure IV.36 : Façade latérale du bâtiment.....	116
Figure IV.37 : Distribution spatiale des logements.	116
Figure V.01 : Structure du questionnaire.	119

Figure V.02 : Désignation des logements enquêtés.	120
Figure V.03 : Fréquence d'occupation des différents espaces du logement	121
Figure V.04 : Activités journalières des habitants.	121
Figure V.05 : Niveau de satisfaction des habitants de la ventilation de leurs logements.....	122
Figure V.6-7 : Calendrier d'ouverture et de fermeture des fenêtres (été/hiver).	123
Figure V.08 : Niveau de perception de la qualité de l'air intérieur.	124
Figure V.09 : Sensation du corps humain envers les odeurs désagréables à l'intérieur du logement.	125
Figure V.10-11 : Sensation du corps humain envers le courant d'air à l'intérieur du logement.....	125
Figure V.12-13 : Sensation du corps humain envers la température (été/hiver) à l'intérieur du logement.	126
Figure V.14 : Perception de l'humidité de l'air intérieur.	126
Figure V.15 : Degré de présence du vapeur d'eau dans les logements enquêtés.	127
Figure V.16 : Présence de fissures et des traces d'humidité à l'intérieur des logements enquêtés.	127
Figure V.17 : Maladies et problèmes de santé qui gênent les occupants.	129
Figure V.18 : Désignation des bâtiments étudiés.	131
Figure VI.01 : L'utilisation de Butterfly plugin pour l'étude du Flux d'air intérieur.....	148
Figure VI.02 : L'utilisation de Butterfly plugin pour l'étude du Flux d'air extérieur.	148
Figure VI.03 : L'utilisation de Butterfly plugin pour l'étude de Flottabilité.	149
Figure VI.04 : L'utilisation de Butterfly plugin pour l'étude du confort intérieur.	149
Figure VI.05 : L'utilisation de Butterfly plugin pour l'étude du confort extérieur.	149
Figure VI.06 : L'utilisation de Butterfly plugin pour l'étude des courants d'air générés par le CVC.	150
Figure VI.7-8 : Les logements (1 et 2) sélectionnés pour la simulation numérique.	151
Figure VI.9-10 : Modélisation de la configuration 3D du bâtiment pour la simulation.....	152
Figure VI.11 : Définition paramétrique pour l'analyse de la ventilation naturelle.	152
Figure VI.12 : Le maillage créé avec le bâtiment étudié apparaissant au centre.	152

Liste des tableaux

Tableau I.1. Les catégories du climat selon la température et l'humidité.....	36
Tableau I.2 : Stratégies d'une conception bioclimatique pour améliorer le confort thermique intérieur.	39
Tableau II.1 : Types d'installation de ventilateur d'extraction dans le système « c ».	56
Tableau II.2 : Les normes ASHRAE.	72
Tableau III.1 : Classification de la qualité de l'air intérieur.	77
Tableau III. 2 : Protocole de mesure des paramètres polluants.	78
Tableau III.3 : Types d'Allergènes domestiques et leurs sources.	88
Tableau IV.1. Calcul de l'indice d'aridité pour la ville de Guelma.	109
Tableau V.01 : Les dégradations physiques observées dans les logements enquêtée.....	128
Tableau V.02 : Instrumentation et paramètres mesurés.	130
Tableau V.03 : Localisation des logements étudiés.	132
Tableau V.04 : Résultats de mesure en été dans les différents espaces du logement 01 (Graphe a, b, et c).	133
Tableau V.05 : Résultats de mesure en été dans les différents espaces du logement 02 (Graphe a, b et c).	134
Tableau V.06 : Résultats de mesure en été dans les différents espaces du logement 03 (Graphe a, b, et c).	135
Tableau V.07 : Résultats de mesure en été dans les différents espaces du logement 04 (Graphe a, b et c).	136
Tableau V.08 : Résultats de mesure en été dans les différents espaces du logement 05 (Graphe a, b et c).	137
Tableau V.09 : Résultats de mesure de l'hiver dans les différents espaces du logement 01 (Graphe a, b, et c)	138
Tableau V.10 : Résultats de mesure de l'hiver dans les différents espaces du logement 02 (Graphe a, b et c).	139

Tableau V.11 : Résultats de mesure de l’hiver dans les différents espaces du logement 03 (Graphe a, b et c).	140
Tableau V.12 : Résultats de mesure de l’hiver dans les différents espaces du logement 04 (Graphe a, b, et c).	141
Tableau V.13 : Résultats de mesure de l’hiver dans les différents espaces du logement 05 (Graphe a, b, et c).	142
Tableau VI.01 : Sélection de la semaine type « Design Week 1 » pour la simulation numérique.	151
Tableau VI.02 : Sélection de la semaine type « Design Week 2 » pour la simulation numérique.	151
Tableau VI.03 : Résultats de la simulation dans les deux logements et dans le design week « 1 » et « 2 ».....	153

INTRODUCTION GENERALE

1. Présentation générale du sujet de recherche

Prendre l'habitat et particulièrement le bâtiment résidentiel collectif comme objet de recherche, en se concentrant sur l'évaluation des effets de la ventilation naturelle sur la qualité de l'air intérieur en rapport à la relation entre l'habitant et l'espace qu'il occupe, est un travail ample et complexe. Il fut motivé par un questionnement sur les besoins en ventilation naturelle utilisés pour aider la constance de la qualité de l'air intérieur à se maintenir.

Partir également de l'idée que l'habitat est conçu comme « une interface transformatrice des forces de la nature (vent, soleil...etc.), c'est contribuer à offrir à ses utilisateurs bien-être et confort psychologique, visuel, olfactif, acoustique et thermique » (Harcouet, 2018). L'entretien de la qualité de l'air intérieur en ventilant fortement de manière naturelle objectivement permet à la fois d'assainir l'ambiance intérieure, et de garantir la bonne santé aux occupants.

Dès lors, la ventilation naturelle de l'habitat de par l'apport en air frais et pur entrant pour remplacer rapidement l'air chaud et vicié dénué des différents polluants interne, permet de diminuer les gênes olfactifs et l'excès d'humidité. Ces derniers provoquent le développement et la condensation de moisissures en nuisant la durabilité et l'intégrité du bâtiment ainsi que la santé des occupants.

De ce fait, on constate que la ventilation naturelle assure l'hygiène, le confort et la préservation de la structure sanitaire de l'habitation. Certes, il ne s'agit pas là de montrer que « l'absence de ventilation entraîne le confinement du lieu de vie, qui peut avoir des conséquences sur la qualité de l'environnement intérieur et sur le bâtiment lui-même » (Adrien, 2012, P. 23). Mais d'une problématique qui recadre les effets de l'aération du bâtiment influant principalement sur la qualité de l'air intérieur.

En 1972, Rapoport dans ses différentes recherches et études défendait avec rigueur l'intérêt de concevoir un habitat sans omettre aucune de ses dimensions (sociales, économiques et politiques) basées surtout sur le sens symbolique. Pour ainsi, on dire que l'habitat-abri « est d'une importance suprême pour l'homme, il tient la première place dans son combat incessant pour la vie » (P.27). Ce qu'il disait rejoint les théories fondamentales qui affirment que « la préoccupation première de l'homme primitif est de s'abriter des bêtes et des intempéries » (Chanal, 2015, p. 15).

Le long de ces travaux, on souligne que toutes ces théories à l'aide des pratiques d'analyses montrent que l'habitat outre son sens symbolique et naturel, il doit être réalisé « dans un contexte respectueux de l'environnement et de la santé de ses habitants » (groupe de travail « Habitat et Santé », 2011)¹. D'ailleurs, au XIXe siècle, la question de qualité sanitaire dans

¹ Le groupe de travail « Habitat et Santé » du RFVS a organisé le colloque « Villes, Habitat et Santé, pour une politique sanitaire et environnementale », qui s'est tenu le 6 octobre 2011 à Nantes,

l'habitat exigea la disponibilité de l'eau potable, d'un système d'évacuation des eaux usées et des déchets afin d'assurer l'hygiène nécessaire pour permettre à l'habitant de vivre décemment.

Tandis qu'au XXI^e siècle, les travaux d'analyses sur l'habitat dépassent les champs d'exigences primaires de l'habitat décent et s'orientent vers « la prévention de différentes nuisances (sonores, lumineuses...) et la diminution du risque d'exposition aux pollutions (air intérieur et extérieur, ondes électromagnétiques...) » (Dominique, 2017, P.76). En effet, la problématique conceptuelle de l'habitat actuelle en se prévalant de la durabilité comme véritable voie vers laquelle s'oriente le débat engendrant un rapport au mode de vie sain. Puisque l'intégration du confort écologique et du bien-être dans l'habitat, tend à devenir l'approche-clé de la conception architecturale actuelle.

A travers cette recherche en essayant de réfléchir sur les nouvelles tendances conceptuelles de l'habitat en Algérie et particulièrement à Guelma, on constate que les conceptions architecturales manquent de confort adéquat. C'est-à-dire, il on ait demandé à penser une conception architecturale dans le cadre de garantir un environnement intérieur sain en ventilant correctement. C'est pourquoi, il s'agit là d'offrir un habitat hygiénique adaptable aux besoins et au bien-être de ses occupants.

2. Le contexte scientifique du cadre de la recherche

Depuis plusieurs années la communauté scientifique (chercheurs, organismes...) s'intéresse à la thématique de la qualité de l'air intérieur et de la ventilation naturelle dans le bâtiment résidentiel. Cela s'est marquée à travers de nombreuses études internationales et nationales, des rencontres scientifiques, des projets de recherche et de multiples programmes et actions, qui ont donné davantage de poids à la prise en compte combinée des enjeux, qualité de l'air intérieur, ventilation naturelle et élimination des polluants toxiques aptes à gêner le confort des occupants.

2.1. Les organismes et les acteurs

Le contexte de la recherche sur les effets de la ventilation naturelle sur la qualité de l'air intérieur continue à évoluer dans l'ensemble des pays, mais la portée des organismes et des acteurs concernés par l'amélioration de la qualité de l'air intérieur dans le bâtiment résidentiel reste relativement modeste. Car, les organismes et les acteurs de la recherche scientifique sont souvent liés à la gestion des dispositions politiques, normes et législation nationale et conventions internationales.

On constate tout de même que la recherche axée sur la qualité de l'air intérieur est en augmentation très nette. En conséquence, les organismes qui ont pour but notamment de fournir des programmes et plans d'actions qui alignent les grands enjeux du bien-être des occupant (par exemple dans le domaine de la santé publique) et les priorités données aux projets de recherche appliqués pour l'amélioration de l'air intérieur marquent le début d'une reconnaissance internationale de la gestion environnementale de l'habitat.

Parmi ces organismes, on peut citer l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur (OQAI), l'Association Agréée de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA), l'Institut de Veille Sanitaire, le Réseau Recherche Santé Environnement Intérieur (RSEIN), le Laboratoire Central de la Surveillance de la Qualité de l'Air (LCSQA) et le Laboratoire des Sciences de l'Ingénieur pour l'Environnement (LaSIE) - UMR CNRS 7356.

2.1.1. L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS)

L'OMS (*World Health Organization / WHO*) est une organisation intergouvernementale spécialisée. Elle a été créée en avril 1948 dans le cadre des Nations unies. Le préambule de sa constitution propose une définition novatrice de la santé comme « un état de bien-être physique, mental et social et pas seulement l'absence de maladies et d'infirmité »². Elle est chargée de diriger l'action sanitaire mondiale, de définir les programmes de recherche en santé, de fixer des normes et des critères, de conseiller, d'assister voire même soutenir les États en matière de santé publique.

L'OMS est engagée dans un travail dédié à la gestion des problèmes de moisissures et d'humidité dans les logements, puis en juillet 2009 elle a publié les premières lignes directrices sur la qualité de l'air intérieur concernant l'humidité et les moisissures.

2.1.2. L'observatoire de la qualité de l'air intérieur OQAI

C'est un outil d'évaluation et de gestion des risques liés à la pollution de l'air dans les bâtiments. Il a été lancé le 10 juillet 2001 par Marie-Noelle Lienman. Cet organisme a pour mission de « contribuer à l'évaluation et à la gestion des risques sanitaires liés aux polluants présents dans les espaces clos, d'identifier les substances, agents et situation qui, affectant la qualité de l'air, présente un risque pour la santé de la population, et de formuler en conséquence toutes les recommandations utiles à la conception et à l'utilisation des bâtiments » (Schriver, 2009, P.2).

2.1.3. L'association agréée de surveillance de la qualité de l'air (AASQA)

Dès 2008, les associations agréées pour la surveillance de la qualité de l'air (AASQA) ont décidé de s'investir dans la thématique de la qualité de l'air intérieur dans les lieux recevant du public et notamment des personnes sensibles comme les enfants.

Les associations agréées pour la surveillance de la qualité de l'air (AASQA) s'intéressent également à la qualité de l'air dans les infrastructures de transport, spécifiquement dans le métro Lillois.

2.1.4. L'institut de veille sanitaire

Il est créé en juillet 1998, pour mission de mettre en place le nouveau dispositif de surveillance aux intoxications dues au monoxyde de carbone, et d'estimer l'exposition des occupants aux polluants de l'air intérieur. L'InVS a publié en 2006 une étude estimant le nombre de cancer du poumon attribuable au radon résidentiel ainsi que des investigations épidémiologiques associées au syndrome des bâtiments malsains (Schriver, P.232).

² Extrait du glossaire de l'Organisation Mondiale de la santé, 2012, Publié dans Ressources de géographie pour enseignants, eduscol. Lien : <http://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/organisation-mondiale-de-la-sante-oms>.

2.1.5. Le réseau recherche santé environnement intérieur (RSEIN)

Le réseau RSEIN, en relation avec l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur (OQAI), rassemble des scientifiques français chercheurs, ingénieurs, médecins, consultants en santé environnementale de différents instituts publics, laboratoires de recherche, hôpitaux, sociétés d'études et de conseils et associations.

Créé en 2001, il constitue un groupe d'experts français, dont les activités sont liées à la thématique de l'environnement intérieur. Il développe des programmes de recherches et d'études afin d'élargir les connaissances sur les relations santé-environnement et d'assurer l'évaluation des risques sanitaires liés à l'environnement intérieur.

2.1.6. Le laboratoire central de la surveillance de la qualité de l'air (LCSQA)

Le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air est constitué de laboratoires de l'Ecole des Mines de Douai. Il mène depuis 1991 des études et des recherches finalisées à la demande du Ministère chargé de l'environnement. Ces travaux en matière de pollution atmosphérique supportés financièrement par la Direction Générale de l'Energie et du Climat du Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer sont réalisés avec le souci constant d'améliorer le dispositif de surveillance de la qualité de l'air en France. L'objectif principal du LCSQA est de participer à l'amélioration de la qualité des mesures effectuées dans l'air ambiant, depuis le prélèvement des échantillons jusqu'au traitement des données issues des mesures. Cette action est menée dans le cadre des réglementations nationales et européennes.

2.1.7. Le laboratoire des Sciences de l'Ingénieur pour l'Environnement (LaSIE)

Ses travaux sont centrés sur l'énergétique du bâtiment et la maîtrise de la qualité des ambiances habitées. Ils viennent répondre aux enjeux sociétaux sur le développement durable, l'habitat sain et économe en énergie, l'autosuffisance énergétique et le microclimat urbain. Ils concernent plus particulièrement les problématiques de transferts de chaleur et de masse, d'efficacité énergétique des bâtiments et des systèmes de conditionnement d'ambiance, de maîtrise de la qualité de l'air intérieur et extérieur et du confort dans les espaces habités. Les activités qui sont menées dans cet axe sont regroupées sous deux opérations celle de la Qualité des Environnements Intérieurs/Extérieurs et celle de l'Énergétique du Bâtiment, qui sont traitées à différentes échelles temporelles et spatiales.

2.2. Les rencontres scientifiques

Plusieurs congrès et conférences ont traité la thématique de la qualité de l'air intérieur. Tel que ; La conférence **INDOOR AIR** qui s'est déroulée en 2008 sous le thème « la Qualité de l'air intérieur et le changement climatique : quelles interactions ? ». Cette conférence a traité la thématique de la qualité de l'air de divers environnements intérieurs, dont certaines sessions ont plus spécifiquement ciblé la qualité des environnements intérieurs et les effets sur la santé des enfants. Le dernier axe traité c'était, les études sur les effets des bio-contaminants sur la santé chez l'enfant.

Également, l'influence de l'humidité dans toutes les habitations augmente les pathologies allergiques et asthmatiques. Ainsi que la conférence internationale « **Habitat-Santé** » [**Healthy housing**], organisée à l'université de warwick, coventry, du 17 au 19 mars 2008 » qui a eu pour thème l'évaluation de l'impact sur la santé d'interventions et sur l'habitat, dévoile des résultats en termes sanitaire de travaux s'inscrivant dans des programmes conduits en Nouvelle Zélande et au Royaume-Uni.

En Nouvelle-Zélande, la température à l'intérieur des logements est bien inférieure aux recommandations de l'OMS. Les résultats d'une étude randomisée, the Housing, Insulation and Health Study (Howden-Chapman P., et al.; 2007) montrent notamment que l'amélioration de l'isolation de près de 1 400 logements occupés par des personnes souffrant de pathologies respiratoires chroniques, a eu un impact favorable sur la santé et sur la qualité de vie des résidents avec une diminution significative des hospitalisations.

En conclusion, la conférence de Warwick 2008 a contribué à donner une vision claire et actualisée des programmes de recherche consacrés à l'évaluation des liens entre l'habitat et la santé. Elle a permis des échanges fructueux interdisciplinaires, ainsi que l'initiation de projets de recherche internationaux, en particulier sur les effets sanitaires de la précarité énergétique. Le congrès international « **healthy buildings** » qui s'est déroulé à Syracuse (USA), en 2009. Il a abordé les principales thématiques qui sont notamment la Qualité Environnementale des Bâtiments Durables (QAI) et les performances humaines en tant que productivité, le confort thermique et systèmes de ventilation, la modélisation – simulation l'approche CFD (Computational Fluid Dynamics ou Mécanique des Fluides Numérique) et les émissions chimiques des matériaux.

2.3. Les études internationales et nationales

A partir de notre état de l'art et nos lectures sur l'amélioration de la qualité de l'air intérieur, on a constaté que les espaces fréquentés tels que les habitations sont les lieux les plus étudiés. On note par-là que de nombreux travaux étaient ciblés sur le bâtiment résidentiel. Ci-après on essaye de donner une synthèse exhaustive des études réalisées autour de cette thématique dans de nombreux pays.

La France, très en avance sur les questions de la qualité de l'air extérieur, a pris du retard dans le domaine de l'environnement intérieur jusqu'en 2000, où elle a pu publier un inventaire des données françaises sur la qualité de l'air à l'intérieur des bâtiments durant l'année 1990 et l'année 2001, limitées aux habitations, immeuble de bureaux et établissement scolaires sous la direction de Luc Mosquier et Vincent Nedellec.

Les autorités françaises ont créé aussi un outil d'évaluation et de gestion des risques liés à la pollution de l'air dans les bâtiments. En 2001, l'observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI), réalisa une première campagne de mesure (campagne pilote) sur une centaine de sites de 90 logements, choisis dans le Nord-Pas-de-Calais, à Strasbourg et à Aix-Marseille. De plus il y avait eu une deuxième campagne de mesure entre octobre 2003 et décembre 2005 sur 567 bâtiments repartis sur 55 départements et 74 communes.

Cette campagne comprend la mesure des composés chimiques (composés organiques volatils, aldéhydes, monoxyde de carbone), des bio-contaminants (allergènes de chiens et des chats, acariens), par rapport aux paramètres de confort (température, humidité relative, dioxyde de carbone, débit d'air extrait). Dans cette campagne un recueil descriptif sur le logement et son environnement, ainsi que des données sur les occupants et leurs activités a été établi. (Schriver, Op, Cit, p. 2-3)

La mesure de ces paramètres fut complétée par la recherche des sources et des déterminants de ces polluants. Pour cela, trois questionnaires furent élaborés et remplis à l'aide de 12 équipes de techniciens-enquêteurs.

— Le premier questionnaire a permis de saisir sur un agenda électronique les données descriptives sur les ménages, leurs activités, leurs modes de vie et sur les caractéristiques des logements et des bâtiments.

— Le second questionnaire est un carnet journalier établi par les habitants eux-mêmes concernant leurs activités journalières et les produits qu'ils utilisent selon chaque pièce dans chaque logement.

— Le troisième questionnaire examine le recueil d'éléments sur la santé allergique et respiratoire des enquêtés. (Schriver, Op, Cité, P 17),

L'OQAI a poursuivi, entre 2007 et 2009, l'exploitation des nombreuses données acquises lors de la « campagne logement ». Il a réalisé un descriptif de l'état de la ventilation dans les logements français à partir des différents paramètres mesurés tel que la concentration en CO₂. Encore un descriptif des typologies d'habitudes (répartition des foyers en 9 classes selon la fréquence des activités de bricolage et de nettoyage, le tabagisme, l'utilisation de cosmétiques et de désodorisants, la présence de plantes et d'animaux domestiques).

De même un descriptif du comportement des occupants au travers les stratégies d'ouverture des fenêtres et des portes, a été établi afin de comprendre et d'évaluer les disparités entre les logements en termes de niveaux de pollution de l'air intérieur. (Larbre et al., 2009, p.13).

Ce champ d'études s'est élargi depuis la publication des travaux initiaux qui ciblent la qualité des environnements intérieurs et les effets de la ventilation naturelle sur la santé, spécifiquement la santé respiratoire (allergie aigüe, asthme). A cet égard, ces études publiées telles les recherches-actions de Platts-Mills et al., (1997) qui déclarent que « L'air que nous respirons, si essentiel à la vie, est également une source de contaminants qui peut porter atteinte à la santé, notamment la santé respiratoire. Une bonne façon d'illustrer ceci est l'augmentation de la prévalence de l'asthme observée ».

Dans ce sens, Pierre Lajoie et al., (2006, p.9) ont retenu plusieurs études qui ont été publiées au cours des dix dernières années (75 études dans les bâtiments d'habitation, 13 études dans les bâtiments publics et les édifices à bureaux), elles sont répertoriées dans les banques électroniques MEDLINE et EMBASE, ainsi que dans le répertoire de la Library Cochrane et de divers centres documentaires.

Pour ces mêmes auteurs, « mesurer l'association entre la ventilation et la santé respiratoire », revient à étudier l'influence de la ventilation sur trois contaminants intérieurs, soit les acariens, les moisissures et les composés organiques volatils (COV). Également, ils ont comparé la fréquence des symptômes en fonction de la présence de ventilation mécanique et naturelle et en fonction du taux de ventilation mesuré en renouvellement d'air à l'heure (RAH).

Chez des asthmatiques adultes, Kirsch et Harving (1994) ont montré dans une étude quasi-expérimentale que la ventilation mécanique avait un impact positif durable significatif sur le l'augmentation de maladies respiratoire. Ainsi l'étude d'intervention réalisée par Lajoie (2004) au Canada, a montré une amélioration statistiquement significative des symptômes respiratoires reliée à l'installation de la ventilation mécanique dans les maisons R-2000, dans la population en général. Cette étude a montré aussi qu'un taux de ventilation inférieur à 0,5 rah, conjointement à une humidité excessive, était associé à un risque de bronchite près de 10 fois plus élevé chez les occupants.

La question de santé, en particulier la santé des enfants, continue à faire l'objet de plusieurs études et publications. Par exemple lors du congrès international HEALTHY BUILDINGS en 2009, en sa session plénière intitulée « Expositions et pathologies modernes », Carl-Gustav Bornehag et al., (2009) ont présenté deux projets épidémiologiques réalisés dans les pays scandinaves axés sur la relation entre exposition intérieure et impacts chez les enfants.

La première étude « Dampness in Buildings and Health » (DBH) réalisée entre 2000 et 2010 se reporte principalement sur moisissures et asthme chez les enfants. Tandis que la deuxième étude a traité le thème « Indoor Environnement and Children's Health ».

D'autres études s'intéressent notamment, au phénomène de développement de moisissure à l'intérieur des habitations, telles que les études présentées lors de la conférence « INDOOR AIR » en 2008, qui montraient comment entreprendre la sensibilisation des professionnels du bâtiment aux effets des moisissures sur la santé et aux « bonnes pratiques » à adopter.

Aussi, on retrouve les études de Charpin (2018) sur la présence de moisissures dans les logements d'après les résultats de l'« Enquête logement » menée par l'Insee en 2002. Cette enquête concernait un échantillon de 40.000 logements, représentatif du parc national de logements. Les conclusions de l'enquête faisaient apparaître que la présence de moisissure était notée dans 23% des logements dont 76 % des patients ayant des symptômes respiratoires habitent des logements présentant des moisissures.

C'est pourquoi d'après les ligne directives de l'OMS (2009), les études menées dans différents pays et dans différentes conditions climatiques apportent des témoignages épidémiologiques suffisants pour démontrer que les occupants de bâtiments humides et dans lesquels des moisissures sont présentes, sont exposés à un risque accru de symptômes respiratoires, d'infections respiratoires et d'asthme aggravé. Dans certains cas, les observations faites pointent vers un risque accru de rhinite allergique et d'asthme.

Ce risque pour la santé est signalé comme le résultat d'un enchaînement complexe de circonstances tel que l'excès d'humidité et la dégradation physique et chimique du bâtiment.

Également, le rapport de l'OMS de 2018 sur la qualité de l'air et la santé environnementale, estime qu'à peu près 90% des habitants de la planète respirent un air pollué et qu'« Une mauvaise qualité de l'air va avoir des répercussions sur l'état de santé des populations. Ainsi, des pathologies telles que l'asthme et les maladies cardio-vasculaires vont voir leur nombre augmenter suite à une exposition accrue à ces polluants.

De même, une évaluation du Comité Scientifique des Risques Sanitaires et Environnementaux (CSRSE)³ en 2008, montre qu'un risque accru de rhinite allergique et d'asthme est dû à l'humidité résidentielle. Les résultats de ces études ont montré que l'exposition aux moisissures est évaluée soit par l'observation de surfaces moisies, soit par des analyses microbiologiques à partir d'échantillons d'air ou de poussière.

De plus, une synthèse d'études de cas d'actions menées contre la gestion des problèmes de moisissures et d'humidité dans les logements été réalisée par l'OMS. Cette organisation propose des recommandations pratiques pour mener des interventions réussies (enquête, protection, nettoyage, actions vis-à-vis des occupants, suivi), ainsi que des recommandations techniques, à l'adresse des professionnels du bâtiment et des occupants, pour éviter le développement de moisissures dans les logements.

Le 16 juillet 2009, le bureau Europe de l'OMS a publié les premières lignes directrices sur la qualité de l'air intérieur concernant l'humidité et les moisissures. Encore, il est noté que de nombreux travaux universitaires ont ciblé la thématique de ventilation et de qualité d'air intérieur tel que ; le travail de thèse de (Koffi. J, 2009), dans lequel le chercheur a proposé d'examiner les performances de différents systèmes de ventilation utilisés dans les bâtiments résidentiels et en particulier dans les maisons individuelles. Cet examen se subdivise en une partie expérimentale et une autre partie numérique.

Des scénarios de pollution réalisés dans une maison expérimentale à l'aide de la méthode des gaz traceurs ont permis d'évaluer en situation réelle les conditions de fonctionnement du principe de balayage des logements. Ainsi, avec la ventilation mécanique contrôlée double flux, l'air issu des chambres et du séjour est convenablement drainé vers les pièces humides pour y être extrait. La ventilation mécanique contrôlée (VMC) simple flux et la ventilation naturelle permettent également d'obtenir des résultats assez satisfaisants.

Au niveau numérique, l'évaluation des performances de la ventilation a nécessité le développement d'environnements avec Matlab et Simulink pour la fabrication d'un outil de simulation thermo-aéraulique des bâtiments multizones. La maison expérimentale a ainsi été modélisée avec les caractéristiques aérauliques et thermiques de son enveloppe et les différents réseaux de ventilation qui y sont installés.

³ Le Comité scientifique des risques sanitaires et environnementaux créé en 2004, constitue l'un des trois comités scientifiques indépendants chargés de conseiller la Commission européenne sur des questions de sécurité de santé publique et d'environnement.

Des comparaisons ont été effectuées entre le modèle aéraulique et l'étude expérimentale du transfert de polluant entre les différentes pièces de la maison expérimentée. Les résultats ont donné une dynamique similaire en ce qui concerne l'évolution des concentrations en gaz traceur.

Dans l'étude menée par Offermann (2009) sur les maisons unifamiliales californiennes, recherche effectuée à l'Université de Californie à Berkeley. Les équipes sur le terrain ont mesuré la ventilation à domicile et les caractéristiques des sources de contaminants à l'intérieur, y compris la quantité de bois composite, les concentrations de contaminants à l'intérieur, les pratiques de ventilation des résidents, les perceptions de la qualité de l'air à l'intérieur et les facteurs de décision concernant les mesures liées à la ventilation et à la qualité de l'air intérieur.

Des mesures de la qualité de l'air intérieur et extérieur et des paramètres de ventilation ont été réalisées en été et à l'automne 2007, puis à l'hiver 2007 et l'hiver 2008. Ils ont découvert une concentration dans l'air intérieur de 22 composés organiques volatils, de formaldéhyde, d'acétaldéhyde, de particules de PM₂, de dioxyde d'azote, de monoxyde de carbone, de dioxyde de carbone. La température et l'humidité relative ont été mesurées sur une période de 24 heures.

L'étude de Batagoda (2010) sur l'évaluation de la qualité de l'air et la ventilation, est une analyse des concentrations de CO₂ dans le bâtiment. Les aspects de planification des bâtiments tels que les emplacements des ouvertures et leur orientation ont également été observés. Pour la réalisation de cette étude un questionnaire a été soumis auprès 200 habitants d'un quartier d'habitat collectif afin de voir s'ils présentaient des problèmes de santé liés à l'environnement intérieur dominant.

Dans ce travail, à chaque emplacement, ont été effectuées des mesures ponctuelles pour déceler tous les paramètres y compris la concentration du CO₂ en utilisant ZG106⁴ et la surveillance de température et l'humidité, avec un thermomètre à bulbe sec et humide. Les mesures ponctuelles prises de la teneur en CO (monoxyde de carbone) montrent qu'un environnement climatisé en intervalles de 10 minutes sur une période de 8 heures donne des différences remarquables entre la période lorsque les fenêtres sont ouvertes et durant la période de fermetures des fenêtres.

Également, le travail de thèse de Matthieu (2012) qui traite la problématique d'humidité dans le bâtiment. Cette étude s'est appuyée sur une cellule expérimentale construite sur la technologie des maisons à ossature bois et soumise aux conditions climatiques réelles de Grenoble. Cette expérimentation, a permis de suivre l'évolution en température et en humidité dans les différentes couches de l'enveloppe, C'est ce qui a conduit de définir les séquences nécessaires à la validation de modèles numériques.

Ce système numérisé s'appuie sur les simulations CFD (Computational Fluid Dynamics), en utilisant le logiciel commercial Star-CCM. Les performances du modèle sont discutées à partir

⁴ ZG106 : C'est un instrument détecteur du CO₂.

des mesures locales, c'est-à-dire dans les parois, puis globales. La bonne concordance entre mesures et résultats de simulation leur a permis de conclure que la généricité de la démarche mise en œuvre et les hypothèses de simulation sont correctes.

Plus particulièrement, l'outil de modélisation a donc prédit correctement le comportement moyen des parois en humidité et en température. Il est donc envisageable de l'utiliser pour simuler et estimer l'impact des constituants des parois en termes de durabilité, de performances énergétiques et de confort de l'occupant.

Le travail de thèse de Rahmeh, (2014) a cherché à évaluer les performances d'une ventilation mécanique par insufflation (VMI) au sein d'une ambiance habitable, dans le but d'assurer un équilibre entre la qualité de l'air intérieur d'un côté et le confort thermique et l'efficacité énergétique d'un autre côté. Le chercheur a mené une étude expérimentale où il s'agissait d'une simulation dans une ambiance contrôlée (cellule Test au LaSIE), pour mieux appréhender la position optimale et le taux d'insufflation dans une pièce de vie.

Puis une étude numérique a été réalisée en utilisant un modèle aérodynamique et de transfert de masse multizone. Les résultats ont montré un bon accord avec l'expérience et sont prometteurs pour l'avenir, une étude paramétrique permettant d'améliorer la performance de la VMI vient parachever ce travail.

Dans le contexte national, l'étude de la thématique de ventilation et de qualité d'air intérieur a été limitée aux travaux de master tel que le mémoire de master de Bentahar (2020) qui vise à améliorer la qualité de l'air intérieur et l'efficacité énergétique dans les logements mono-orientés de la ville nouvelle Ali Mendjli à travers la proposition des solutions et systèmes de ventilation. Ainsi que le mémoire de Chebbah (2019) sur l'impact des matériaux de construction sur la qualité de l'air intérieur dans les bâtiments publics en Algérie.

3. Positionnement et contextualisation de sujet de recherche

Ce travail de thèse est une production de connaissances nouvelles en matière de ventilation et de qualité d'air dans le bâtiment résidentiel, partant de l'état de l'art, pour pouvoir se situer dans une contextualisation de perspectives clés. Celle-ci constitue le soubassement de cette recherche. Ces perspectives de travail s'établissent sur un système expérimental qui part d'une enquête In-situ et des mesures manuelles Indoor In-situ de la qualité de l'air à l'intérieur de l'habitat collectif pour arriver à un système de simulation numérique.

Positionnement

Ce travail de recherche se situe globalement dans la problématique de ventilation et de qualité de l'air intérieur par rapport à deux échelles. La première concerne l'impact de la mauvaise qualité d'air sur le bâtiment, son hygiène, sa sécurité et sa pérennité dans le temps. La deuxième s'intéresse à l'occupant, sa santé, son confort et son bien-être.

La première phase de ce travail est empirique, elle se base sur les conclusions du travail de l'observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI) lors des « campagnes logements »

réalisées entre 2003 et 2005, et entre 2007 et 2009. Ainsi que sur le travail de Offermann (2009) cité précédemment. La seconde partie est numérique, elle s'est inspirée d'une partie des travaux de Matthieu. (2012) et celui de Koffi (2009) dans lesquels les chercheurs en adoptant la mécanique des fluide dynamique (CFD), ils ont développé, à l'aide de la simulation numérique, des modèles aéraulique pour étudier la ventilation dans le bâtiment.

Contextualisation

La contextualisation de ce projet de recherche dans un premier temps, vise d'abord la détermination essentielle des options méthodologiques générales suivies de distinctions spécifiques en se situant dans un ilot urbain à la cité Guehdour-Tahar au sud-est de la ville de Guelma. C'est aussi en sachant que la perspective de l'émergence dans l'existant allie action et réflexion, techniques et théories.

4. Problématique

Ces dernières années et suite à l'évolution du mode de vie, l'homme devient de plus en plus installé dans des espaces fermés (habitat, bureau, école, transport...etc) qu'ils seront plus ou moins confinés. Or, la plupart des gens passent environ 80 à 90 % de leur temps à l'intérieur (Batagoda et Jayasinghe, p.2). Schriver (2009, p.01) a signalé à cet égard, qu' « *un adulte passe soit environ par jours 12 à 14 heures dans son habitat, ...* ». Ce qui augmente le besoin d'air intérieur frais, sain et respirable.

Si la problématique de la qualité de l'air intérieur dans le bâtiment résidentiel est apparue dans les années 70 suite à la politique d'économie d'énergie qui s'est traduite par une meilleure isolation des locaux (Méheust, 2012). Celle-ci a conduit à la réduction du taux de renouvellement d'air et par conséquent au confinement du bâtiment de par l'accumulation et la concentration des différents polluants.

L'interaction de certains polluants avec les matériaux de construction peut causer des dommages à la structure du bâtiment. De plus, l'exposition des occupants à ces polluants internes a eu des effets néfastes sur leur santé. Car on subit au quotidien les impacts néfastes causés par la mauvaise qualité de l'air intérieur sur la santé de chacun de on (Thévenet, 2016, P.1). A cet égard, l'OMS (2021) estime « *que chaque année, 3,8 millions de personnes meurent prématurément de maladies imputables à la pollution de l'air à l'intérieur des habitations* ». Ainsi le rapport de l'OMS de 2018 sur la qualité de l'air et la santé environnementale, mentionne qu' « *Une mauvaise qualité de l'air va avoir des répercussions sur l'état de santé des populations* ».

De cette situation, la qualité de l'air intérieur (QAI ou IAQ, *Indoor air quality*) est devenue une préoccupation majeure de santé publique (Céline Roda, 2012, P.5). Elle est devenue à la fois un critère de base pour le confort sanitaire et un enjeu majeur de la qualité de cadre de vie des occupants et des politiques de l'habitat sain.

Néanmoins, le besoin d'une ventilation naturelle du bâtiment résidentiel est obligatoire, il se déploie dans le maintien d'un débit d'air hygiénique apte à favoriser une bonne qualité de l'air

intérieur à travers le remplacement d'air vicié de par l'air dit « neuf nécessaire à la respiration et à la bonne santé des occupants » (Wullens, 2015, p. 1). De ce fait, celle-ci peut assurer l'hygiène, le confort et la préservation de la qualité de l'air intérieur, C'est pour cela qu'elle est aujourd'hui incontournable car son absence provoque la détérioration progressive de la qualité des ambiances intérieurs et du bâtiment lui-même.

Par ailleurs, on constate au niveau de la cité Guehdour Tahar à Guelma (ville de l'est algérien) que les logements souffrent de multiples problèmes d'aération. Les moisissures se développent sur les murs et les plafonds de ces logements, ce qui les dégrade et menace leur durabilité dans le temps. Ces agents microbiens constituent ainsi un problème d'ordres esthétique qui mettent en péril la salubrité et l'intégrité du bâtiment.

Conjointement, la pratique de ventilation, l'absence d'ouvertures au niveau des sanitaires de ces logements, le chauffage domestique et les différentes activités domestiques au quotidien (respiration humaine, cuisson, nettoyage, odeurs corporelle...etc) contribuent directement à l'accumulation des différents contaminants intérieurs,

Ces éléments nuisibles incrustés dans les logements de la cité en question engendrent des gênes olfactives de par une mauvaise odeur, une élévation des températures internes, une augmentation du taux d'humidité, une concentration de gaz carbonique. Par conséquent un air intérieur infecté concoure progressivement à une mauvaise qualité de l'air intérieur susceptible d'entraîner des maladies et malaise à tous les occupants du logement.

De cette situation d'inconfort sont survenus chez les habitants du quartier d'étude des problèmes de santé depuis la simple gêne (une irritation des muqueuses des yeux, du nez et de la gorge, des maux de tête, les gens peuvent devenir somnolents...) jusqu' à l'apparition de sérieux réactions allergiques, respiratoires, cardio-vasculaire et cancéreux. De ce fait, si l'accès à une bonne qualité de l'air intérieur dans le bâtiment résidentiel collectif reste exigible et problématique. Dès lors il s'agit de savoir :

— **Comment la ventilation naturelle pourra-elle influencer sur la qualité de l'air intérieur dans les bâtiments résidentiels collectifs de la cité Guehdour Tahar à Guelma ?**

— **Quel est l'impact de la mauvaise qualité de l'air intérieur sur le confort sanitaire et hygiénique dans le bâtiment résidentiel collectif de la cité Guehdour Tahar à Guelma ?**

5. Hypothèse

1. La ventilation inadéquate engendre une mauvaise qualité de l'air dans les bâtiments résidentiels collectifs de la cité Guehdour Tahar à Guelma.
2. La mauvaise qualité de l'air intérieur dans les bâtiments résidentiels de la cité Guehdour Tahar à Guelma cause des dégradations physiques pour ces bâtiments, en faisant subir aux habitants des conditions sanitaires de plus en plus insupportables.

6. Objectif

L'objectif principal de cette recherche est d'évaluer l'impact de la ventilation naturelle sur la qualité de l'air intérieur (QAI) dans le bâtiment résidentiel collectif de la cité Guehdour Tahar-Guelma en toute saison, et par rapport à deux échelles : celle qui se fonde sur l'étude de l'impact sur la salubrité et l'intégrité du bâtiment. Et l'autre vise à étudier l'impact sur le bien-être et le confort sanitaire des occupants. En cela, ce travail de thèse cherche principalement à :

— Étudier l'influence des pratiques d'habitants par rapport aux sources de polluants intérieurs et au mode d'ouverture et de fermeture des fenêtres sur la qualité de l'air dans les logements étudiés.

— Examiner les perceptions sensoriels (jugement subjectif) des occupants à l'égard de la QAI dans leurs logements.

— Mesurer la QAI, à travers la surveillance en toute saison (été et hiver) des niveaux intérieurs de CO₂, de température (Tem) d'humidité relative (HR) et de la vitesse de l'air.

— Valider, à travers la simulation numérique sur l'existant, l'impact du système de ventilation naturelle existant sur la qualité de l'air intérieur dans les logements étudiés, ainsi que la relation entre Les caractéristiques de ventilation domestique existante (ouverture, orientation...etc), la QAI mesurée et perçue et le comportement et les activités journalières des occupants.

7. Méthodologie

Selon Claude Bernard (1865, p. 24), la méthode se définit comme « *l'ensemble de moyens mis rationnellement en œuvre pour l'obtention d'un résultat déterminé..., on admet qu'elle comprend trois moments : l'observation des faits, la formation d'une hypothèse, et sa vérification* ».

On remarque par-là que la méthode à suivre doit répondre à un questionnement suite à une observation d'un fait réel. C'est le moyen et l'outil d'atteindre un but.

Afin d'affirmer ou infirmer nos hypothèses et d'atteindre nos objectifs, la méthodologie qui guidera l'élaboration de notre recherche se scinde en deux parties à savoir :

1- La réalisation d'un travail empirique : ce travail part d'une analyse qualitative par questionnaire selon lequel s'établissent les résultats sous d'histogrammes explicatifs de l'effet de la ventilation naturelle sur la qualité de l'air intérieur recueillie par la parole d'habitants. Aussi la réalisation d'une analyse quantitative à l'aide des mesures Indoor In-situ.

Phase d'enquête sociale : établir le pré-diagnostic

L'enquête sociale constitue une façon d'aborder un objet de recherche suivant des procédures d'investigation auprès d'une population donnée. Elle on permet d'analyser et de déterminer le degré d'appréciation et de satisfaction des habitants du quartier Guehdour-Tahar à Guelma du point de vue de la ventilation de leurs logements ; ainsi que cerner les différents problèmes qui gênent les occupants. Toute en se basant sur la technique du questionnaire.

Celle-ci est une technique directe d'investigation scientifique utilisée auprès d'individu, dont le but de les interroger de façon directe, en vue de repérer au final des relations mathématiques et de faire des comparaisons chiffrées. Cette phase de travail passe par les étapes suivantes : la

préparation du questionnaire, choix de l'échantillon, la passation du questionnaire, analyse du recueil des données, classification et interprétation des résultats obtenus.

Phase de mesures manuelles Indoor In-situ : établir le diagnostic

L'utilisation des mesures manuelles In-situ est une approche qui se faisant à on aider, en utilisant d'instruments de pointe « Air Quality tester JD-3002 » et « Anémomètre BA16 », à étudier l'environnement intérieur des logements de notre cas d'étude. Nous intéressons ici par la réalisation des campagnes de mesure (été / hiver) des paramètres caractérisant la qualité de l'air intérieur (les contaminants) à savoir ; le contrôle et la surveillance de la concentration en gaz carbonique (CO2), de l'humidité relative (HR), de la température (Tem), et de la vitesse de l'air (m/s).

2- La réalisation d'un travail de simulation numérique : L'étude expérimentale ci-dessus présente une difficulté à étudier et comprendre l'écoulement de flux d'air dans les logements étudiés, cela on a mené à exécuter la phase de la simulation numérique en utilisant les outils CFD (dynamique des fluides computationnelle) qui on aide à modéliser la dispersion du flux d'air dans les géométries architecturales. Cette phase de travail on a permet de valider les données recueillies par la parole d'habitants et les mesures effectuées.

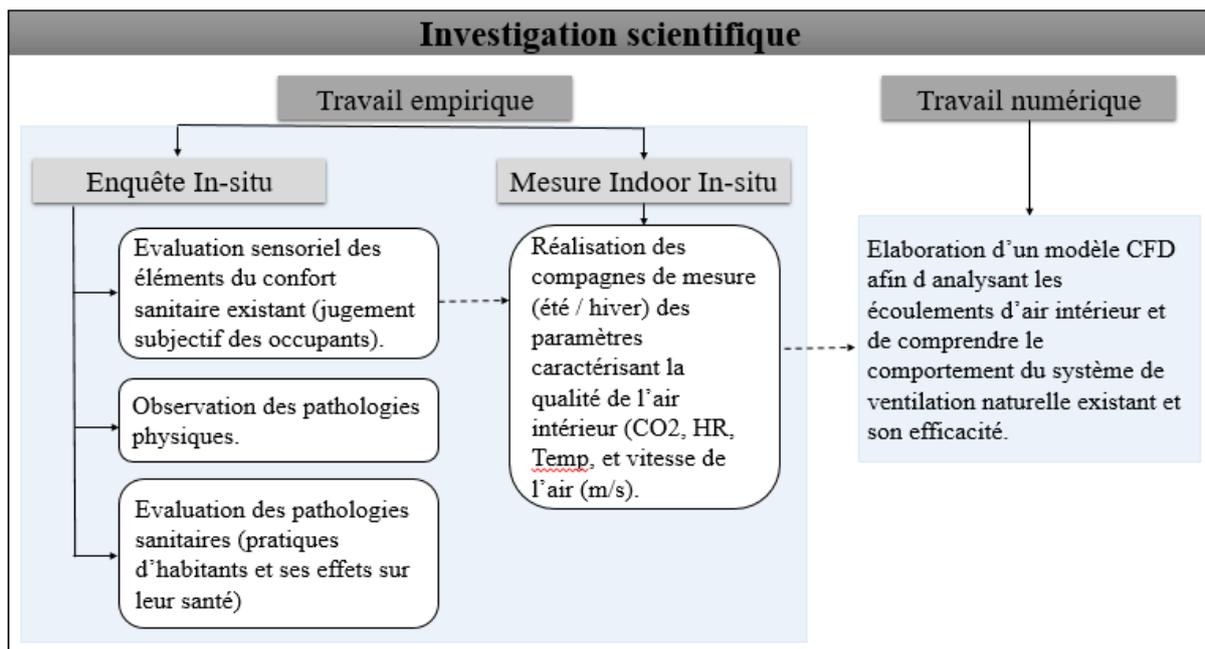


Figure 1 : Schématisation du travail de l'investigation scientifique. Source : auteure 2022.

7. Structure de la thèse

Ce manuscrit de thèse s'articule autour de six chapitres, en plus du chapitre introductif. Ce dernier donne en premier lieu une prospection générale autour de notre sujet de recherche en focalisant le contexte scientifique et les différents études et travaux internationales et nationales qui traitent le sujet auparavant pour positionner notre contribution par rapport à notre contexte d'étude. Ensuite on dresse notre problématique de recherche à travers laquelle on essaie d'expliquer la faille et la pertinence du sujet sur toutes ses dimensions, de poser les questions de recherche et de formuler les hypothèses de travail. De même, ce chapitre développe les

objectifs à atteindre et la méthodologie à suivre pour orienter et guider notre démarche scientifique dont le but de répondre à nos questions de départ. Et il sera fini par l'explication des différents points qui structure la thèse.

La première partie est une partie théorique qui regroupe trois chapitres autour des connaissances évolutives des notions de base (Habitat, bâtiment résidentiel collectif, confort sanitaire, ventilation naturelle et qualité de l'air intérieur), ils présentent une analyse conceptuelle des notions clés à travers l'emploi de définitions conventionnelles. Ce qui permet de se familiariser avec notre thème de recherche.

Le chapitre I fait un état de l'art autour du concept d'habitat en particulier l'habitat collectif sa genèse et son évolution toute en se concentrera sur le contexte algérien. Puis il traite la relation de l'habitat avec l'environnement climatique en expliquant la démarche bioclimatique et la haute qualité environnementale. Le chapitre II traite le concept de ventilation avec tous ses types (naturelle, mécanique et hybride) pour arriver à mettre en place le rôle de la ventilation dans l'amélioration du confort sanitaire. Et finalement on essaie dans ce chapitre à situer le contexte réglementaire de la ventilation du bâtiment résidentiel. Le chapitre III s'intéresse aux critères de la qualité de l'air intérieur (QAI) dans le bâtiment résidentiel et son impact sur la santé publique. Il consiste également à mettre la lumière sur les différents polluants intérieurs et leurs sources, ainsi que sur les éléments de réglementation, les programmes et labels en matière de QAI.

La deuxième partie représente le contexte expérimental et regroupe aussi trois chapitres. Le chapitre IV est consacré notamment au discours analytique du contexte d'étude, en commençant par la présentation de la ville de Guelma, de son histoire et de son contexte climatique, pour arriver à une analyse descriptive de l'environnement de l'îlot urbain « Guehdour-Tahar ». Le chapitre V de l'investigation scientifique qui développe la phase empirique englobant la collecte des données par l'enquête en s'intéressant au ressenti et au comportement des occupants, ainsi que la description du protocole expérimental mis en place pour évaluer et mesurer les polluants de l'air intérieur. Ce qui permet de déterminer les principaux facteurs liés à la dégradation de la qualité de l'environnement intérieur des logements étudiés. Le chapitre VI présente le travail numérique qui consiste à simuler le comportement du système de ventilation naturelle existant pour évaluer sa performance à l'aide d'un modèle CFD (dynamique des fluides computationnelle).

En somme, c'est d'arriver à préparer au final une conclusion générale par laquelle on effectue un rappel des grandes lignes de travail en donnant une explication concise des résultats obtenus pour vérifier nos hypothèses et répondre à nos questions. Puis on essaie, à travers une série de perspectives d'ouvrir d'autres champs de recherche future en continuité avec notre travail.

PARTIE 1 : ETAT DE CONNAISSANCES : Ventilation naturelle et qualité de l'air le bâtiment résidentiel collectif

Cette première partie va traiter le cadre conceptuel et théorique de notre objet d'étude dans le but de construire une analyse conceptuelle des notions de base à l'aide d'une recherche bibliographique basée sur la collecte et l'analyse des différents documents (livres, thèses, articles scientifiques...etc). C'est aussi en vue d'expliquer l'interrelation complémentaire entre les concepts clés qui constituent le soubassement théorique de notre recherche.

L'emploi de définitions conventionnelles de ces concepts et qui sont notamment ; la ventilation naturelle, la qualité de l'air intérieur QAI, l'habitat et sa relation avec le confort sanitaire et hygiénique, et leurs représentations épistémologiques sont une nécessité de fait. Car elles servent comme base de connaissances générales à cette recherche.

Cette étude théorique, s'organise en trois chapitres, qui permettent de cerner un état de l'art et un Background scientifique sur notre sujet de thèse.

Le premier chapitre traite le concept d'habitat en tant qu'une fonction sociale, économique et culturelle. Également, il met l'accent sur la nécessité de la prise en compte du facteur climatique pour réaliser un environnement intérieur sain et confortable toute l'année et par conséquent atteindre le niveau de confort souhaité.

Dans le deuxième chapitre on va expliquer le concept de ventilation en tant qu'une mesure passive et active permettant de diluer les contaminants générés à l'intérieur des espaces habités, à travers le maintien d'un débit d'air hygiénique nécessaire à la respiration et à la bonne santé de l'occupant.

Tandis que dans le troisième chapitre on va traiter la qualité de l'air intérieur qui résulte d'une bonne ventilation du bâtiment et qui constitue en effet les garanties d'un meilleur confort sanitaire et hygiénique. Car la mauvaise qualité de l'air intérieur qui résulte de l'accumulation des agents microbiens, est susceptible d'affecter le confort de l'occupant dans son habitation.

CHAPITRE I : HABITAT ET CLIMAT : NOTIONS ET GENERALITE

I.1 Introduction

La préoccupation première de l'homme est de s'abriter afin de se protéger des variations du temps et du changement des saisons. C'est pour cette raison, la construction de l'habitat doit donc respecter les contraintes physiques de l'environnement dans le but de conserver une ambiance confortable à l'intérieur de chaque habitation, et de satisfaire les conditions de confort nécessaires.

Dans cette optique, le présent chapitre se focalise sur la genèse de l'habitat, qui réside dans un progrès report dans l'explicitation des manières dont le concept d'habitat est conçu et évolué à travers le temps et le lieu.

On essaie également de saisir dans un premier temps l'entière signification des notions de base qui sont l'habitat, l'habitation, et l'habitat collectif. On souhaite à propos du dernier concept de contribuer à la réflexion de sa naissance et sa chronologie, toute en mettant la lumière sur sa production dans le contexte algérien.

Ensuite, on essaie de déterminer la relation de l'habitat avec le climat environnant, en se concentrant sur la démarche bioclimatique et la haute qualité environnementale (HQE) pour expliquer l'importance de la prise en compte des principes de ces démarches et leur enjeu dans la réalisation d'un habitat sain et adaptable au bien-être et au confort de ses occupants.

I.2. Habitat ; Fondement théorique

L'habitat est né avec la présence de l'homme sur terre. On dit souvent que l'habitat-abri vient de l'idée qu'il « *est d'une importance suprême pour l'homme, il tient la première place dans son combat incessant pour la vie* » (Rapoport, Op, cité, P.27). Ceci est suite aux théories qui affirment que l'habitat était ainsi la préoccupation première de l'homme primitif. Ce dernier ne cherchait qu'à « *s'abriter des bêtes et des intempéries* » (Chanal, Op, cité, P. 15).

Relativement à cela, la première implantation de l'habitat humain remonte selon les archéologues à l'âge du paléolithique inférieur (entre - 800 000 et - 300 000). Au paléolithique supérieur (entre - 40 000 et - 12 500). Après cela l'habitat évolua avec les outils et les techniques jusqu'à atteindre un certain degré de sophistication (Dominique Allaume-Bobe, Op, cité, p.70). D'ailleurs, l'histoire de l'habitat commence avec la cabane primitive⁵, ensuite il passe par l'habitat antique à savoir, la domus romaine et l'insula. A nos jours, on constate que l'habitat prend plusieurs formes telles que l'habitat moderne, l'habitat écologique ou durable et l'habitat éco futuriste.

Le concept « habitat » est un concept de base du domaine des sciences humaines s'agissant des disciplines telles que l'ethnologie, la sociologie, la géographie humaine, l'histoire...etc. Le

⁵ Cette habitation était une hutte ronde à toit conique couvert de chaume, de paille ou de roseau.

dictionnaire Larousse définit l'habitat comme « *l'aire dans laquelle vit une population* ». Ou encore, selon (Zuchelli, 1983), l'habitat est l'élément qui permet de définir le mode de peuplement et d'organisation par l'homme du milieu où il vit.

Ce milieu englobe plusieurs éléments y compris les logements, les voies de circulation, les différents espaces publics, les équipements de services...etc. qui permettent de vivre au quotidien. En cela, l'habitat est un ensemble individuellement, collectivement et socialement vécu.

A cet égard, Dominique Allaume-Bobe (p. 68) a défini l'habitat comme « le premier environnement de l'individu et de la famille puisqu'il s'ouvre à la fois sur la sphère privée constituée par le logement proprement dit et sur le domaine public composé du voisinage immédiat, de la rue, des commerces, des écoles, des transports, des lieux de culture, des parcs et jardins ». De plus l'habitat-abri, protège physiquement et moralement l'être humain. Ainsi l'habitat constitue « le tremplin vers l'épanouissement personnel et collectif permettre à ses occupants d'habiter, au sens plein du terme leur lieu de vie. Il s'agit de s'approprier son domicile et d'en faire l'adjuvant de ses projets d'existence » (Bernard Nicolas, 2005, Haridi, 2012, p.21).

De même, si à ce sujet, « l'habitat en tant que lieu habité n'est pas seulement une partie d'un espace bien délimité mais l'objet d'une perception puisqu'il est d'abord une relation concrète avec un « ici » dont la fixation de l'être au monde est capitale. » (Haridi, Op. Cité., p 35). Dès lors, l'habitat comptabilisé par les critères spatio-temporels nous ouvre vers de nouvelles définitions fondées sur un diagnostic et des objectifs précis qui englobent le mode de vie et les manifestations de chaque individu collectif et social.

I.2.1. Habitat : Lieu marqué de faits géographiques

Pascal Darcque (2005) pense le terme l'habitat comme un « mot qui peut aussi désigner le site d'habitat », c'est-à-dire « l'ensemble des constructions en lieu donné d'une installation humaine ». L'habitat est aussi un « ensemble de faits géographiques relatifs à la résidence de l'homme (forme, emplacement, groupement des maisons etc... » (Dictionnaire Petit Larousse illustré, 209). Et aussi le « Choix de l'homme du milieu dans lequel il s'installe et le mode d'organisation par l'homme de ce milieu ».

I.2.2. Habitat : Substance symbolique du contenu spatial

La définition de l'habitat comme substance renvoie nécessairement à une prise en relief de la valeur d'usage qui s'y forme à partir des pratiques sociales, et modèles culturels. Or, celle-ci n'est elle-même qu'un élément de l'approche qualitative traditionnelle considérée comme une variable à mesurer.

Toutefois l'habitat compris en tant qu'action sociale, rejette la manière de faire traditionnelle. En deçà écrit, Bennabi (2005) « L'action humaine, ne peut se définir, en dehors de ces modalités opératoires et de ses motivations. Elle implique donc nécessairement un contenu idéal qui résume tout le progrès technologique, social et moral d'une société. »

I.2.3. Habitat : fonction sociale

Cette définition prend l'ensemble habité comme étant un facteur exerçant des fonctions multiples dont il importe de connaître leurs diversités. L'habitat constitue en premier chef, le niveau de l'activité. De même, il est plus qu'un lieu régulateur de la reproduction des hommes et de la vie sociale. En somme la fonction sociale est fixée principalement en tant qu'activité à l'intérieur du principe gestuel effectué par chaque habitant (Haridi, 2006). Cette définition qualifie l'habitat de par ses fonctions, c'est-à-dire, d'une manière à répondre non seulement à un besoin individuel. Mais par ailleurs comme fonction sociale généralisée. L'habitat n'est plus alors reconnu tel qu'une compensation à un manque. Mais également générateur d'une utilité sociale.

De ce fait, la notion d'habitat prend plusieurs sens qui se réunissent tous dans un même point qui explique que ce n'est ni une habitation ni un logement : c'est un ensemble habitable plus grand et plus complexe. Puisque du point de vue fonctionnel, l'habitat est un ensemble formé par l'habitation et son environnement immédiat social, économique, culturel...etc, il englobe la vie de l'individu dans sa famille, son voisinage et sa société, c'est à dire dans les manifestations de la vie collective et sociale.

C'est également, le lieu qui sert à l'organisation et le peuplement par l'homme du milieu où il vit dont les éléments principaux qui le composent sont notamment :

- L'espace « habitable » : il s'agit ici du logement appelé souvent « espace privé »,
- L'espace « non habitable » : il s'agit des prolongements de l'espace extérieur « public » composé par : les jardins qui entourent, les commerces, les voies qui desservent les parkings et les places publiques, les équipements collectifs de proximité, les terrains de jeux et les mobiliers urbain.

I.3. Habitation ou logement, une dimension fondamentale de l'habitat

Le logement ou l'habitation est l'élément central et primordial de l'habitat. Ce constat confirme que la notion d'habitation est différente à celle de l'habitat. A cet égard, Thierry Paquot⁶ déclare que « *c'est parce que l'homme habite que son habitat devient habitation* ».

Le mot habitation désigne d'abord un local pour résider, un appartement ou une habitation soumise à des règles techniques (surface, matériaux...) dont « les traits caractéristiques identifiants se déterminent selon un inventaire de décomposition de tous les éléments de l'habitation en égard de leur orientation et emplacement, de leur forme (dimensions, échelles), et dans leur ordre relationnel » (Haridi, Op, Cit., p. 37).

Également, pour Georges Candilis (1977, p. 185) « *l'habitation, c'est l'espace architectonique destiné à une unité familiale* ». Il souligne encore que « *L'habitat est le lieu de l'universel et du contingent. Habiter c'est répondre, d'une part, aux besoins universels de se réunir et de s'isoler, et, d'autre part, aux conditions particulières du lieu* », plus loin il déclare qu'« *Inventer des logements simples, véritablement économiques, qui possèdent la qualité du respect, ce*

⁶ Dans demeure Terrestre, Enquête vagabonde sur "habiter", les éditions de l'imprimeur, 2005.

n'était pas de la grande architecture, mais cela représentait autant de difficultés, et demandait plus d'imagination et de sensibilité que de construire des palais ». Ici, on peut dire que c'est un espace limité matériellement, destiné aux fonctions domestiques d'une famille.

Dans la définition cadre que donne l'INSEE (Institut national de la statistique et des études économiques), « un logement est défini du point de vue de son utilisation. C'est un local utilisé pour l'habitation. C'est un local séparé, c'est-à-dire complètement fermé par des murs et cloisons, sans communication avec un autre local si ce n'est par les parties communes de l'immeuble (couloir, escalier, vestibule...).

Ce local peut être aussi indépendant, ayant une entrée d'où l'on a directement accès sur l'extérieur ou les parties communes de l'immeuble, sans devoir traverser un autre local.

De ces définitions, on retient que le logement ou l'habitation se compose d'une forme bâtie y compris la masse, l'enveloppe et la distribution spatiale. Et l'espace domestique où se déroule la vie quotidienne. Tous ces éléments intérieur et extérieur sont régis par l'usage et les pratiques des occupants.

I.4. Evolution contextuelle et conceptuelle des formes d'habitat

Considérant, l'axe de départ de la définition de l'habitat, ceci est né sur l'idée d'offrir un lieu répondant aux aspirations et besoins de l'homme. Selon Le Corbusier « Loger les hommes d'abord, les mettre à l'abri des intempéries et des voleurs ; mais surtout aménager autour d'eux la paix d'un foyer, faire tout ce qu'il faut pour que l'existence découle ses heures dans l'harmonie, sans transformations dangereuses. » (Le Corbusier, 1957, Haridi, 2001, p. 12).

L'habitat, n'est pas un lieu conçu, divisé ou différencié, pour seulement accueillir un nombre de fonctions. Il est un élément destiné pour subvenir ou satisfaire un besoin fondamental d'habité. Le concept habitat, en ce sens, sort du cadre des limites qui visent à le considérer selon des situations qui l'identifie comme étant conséquence d'une demande solvable d'un bien déterminé.

L'habitat a connu des modifications et des transformations qui génèrent des formes d'habitat diversifiées. Par définition, les formes d'habitat réfèrent à une série de caractéristiques géographiques, historiques, et architecturales, qui ensemble, caractérisent un type d'habitat.

Si l'on regarde l'évolution du mode conceptuel et contextuel de l'habitat on atteste une diversité des types d'habitat produits. En fonction de cette diversité, on rencontre donc de nombreux types d'habitat répartis en plusieurs catégories selon le contexte (Habitat rural, urbain, traditionnel, et moderne) et selon le mode conceptuel (Habitat individuel, collectif et semi collectif) :

I.4.1. Habitat rural

C'est la première forme d'habitat humain catégorisé par rapport au milieu géographique (la campagne) et au mode d'exploitation d'un domaine agricole. Il fut à l'origine éparse tel que les huttes et cabanes primitives, les villas rurales romaines, les fermes rurales du moyen âge et les fermes du 19^{em} siècle. Puis ce type d'habitat a évolué vers des groupements de tailles et

organisation variées (linéaire, circulaire...etc) tel que ; les villages du moyen âge et les villages fortifiée (châteaux).

Cette forme d'habitat est produite en fonction des besoins de ses utilisateurs. Mais comme ces besoins n'étaient pas uniquement de subsistance matérielle, l'habitat se réalisait dans des formes différentes dont l'interprétation ne pouvait se limiter qu'à ce facteur « satisfaction des besoins ».

La conception de cet habitat rural fait renvoi à des facteurs variés (et souvent associés), tous liés à l'homme par rapport à ses aspirations sociales et culturelles, et à son contexte local selon les contraintes du climat, du site et des matériaux.

En effet, l'Algérie a connu plusieurs types d'habitat rurale nomade comme les tentes touarègue, ou sédentaire tel que ; l'habitat des Aurès, l'habitat Kabyle, l'habitat du Souf, l'habitat du M'ZAB et les ksours sahariens.

I.4.1.1. Habitat des Aurès

La maison Chaoui (TADDARTH) présente une unité sociale et économique, dont toutes les maisons se ressemblent avec un volume compact et regroupé autour d'une cour centrale. Il est composé sur trois niveaux : espace homme (le plus important), espace animaux et les réserves.

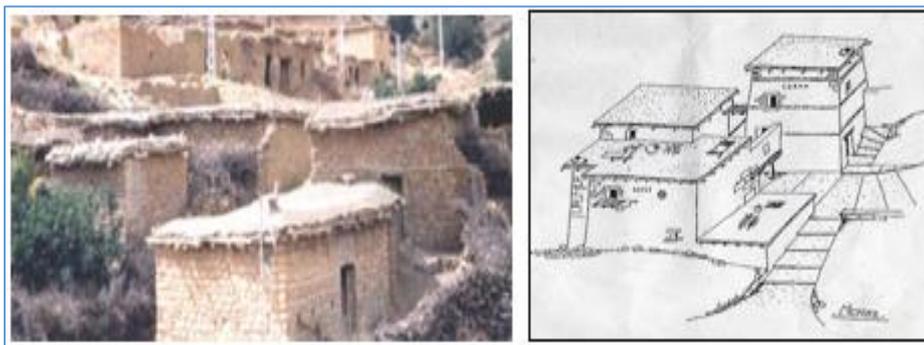


Figure I.01 : L'habitat Chaoui. Source : <https://fr.slideshare.net/bibaarchitecte/habitat-traditionnel-chaoui>.

I.4.1.2. Habitat Kabyle

Les maisons kabyles sont presque toujours similaires, avec un plan rectangulaire (L=7m. l=5m H=3 à 3.5m), et une couverture en tuiles à deux pentes. Elle subit une organisation tripartite rejoignant trois principaux espaces à savoir ;

1- La pièce maitresse (Tigergert), c'est l'espace de vie de la maison ou se ressemble toute la famille. Située juste à l'entrée de la maison, elle est d'une forme carrée sans fenêtre et sans cheminée, la fumée s'échappe en filtrant par les interstices du toi.

2- Addaynin ou l'étable, c'est l'abri des animaux, et l'espace ou on pose le bois de chauffage et le fumier, il se situé en contrebas du premier niveau de la maison (la salle maitresse)

3- Soupente (takanna ou taâriçt) qui se situe au-dessus de l'Addaynin séparé par un plancher de bois, il constitue un espace de provisions de tout genre, alimentaire, literie, vêtement, paille...etc., elle peut également servir de chambre à coucher.



Figure I.02 : L'habitat Kabyle. Source : <https://www.lematindz.net/news/14454-kabylie-les-dernieres-maisons-des-ancebres.html>.

I.4.1.3. Habitat du Souf

L'originalité de la maison du Souf est son mode de couverture en multiples coupoles obtenues par un mortier de gypse local mêlé de sable. Le plan de la maison s'organise autour d'une cour étendue, accessible par une entrée en chicane. Les chambres rectangulaires sont généralement recouvertes de deux berceaux accolés, les coupoles (*qubba*) se dressant aux angles. Souvent, sur le côté sud, on peut voir des arcades formant une galerie appréciable aux heures chaudes de l'été.

I.4.1.4. Habitat Mozabite

A Ghardhaïa, la maison se présente extérieurement sous la forme d'une façade presque aveugle. L'entrée indirecte comprend un couloir tournant à angle droit sur le patio (*ammās*) en partie couvert, ne laissant au centre qu'un carré de ciel fermé d'une grille de fer. Ce patio, où, la plupart du temps, se tiennent les femmes, comporte de nombreuses niches murales carrées, un coin cuisine, surmonté d'étagères superposées pour le rangement des ustensiles de ménage des produits d'usage courant, un autre coin est occupé par le métier à tisser.

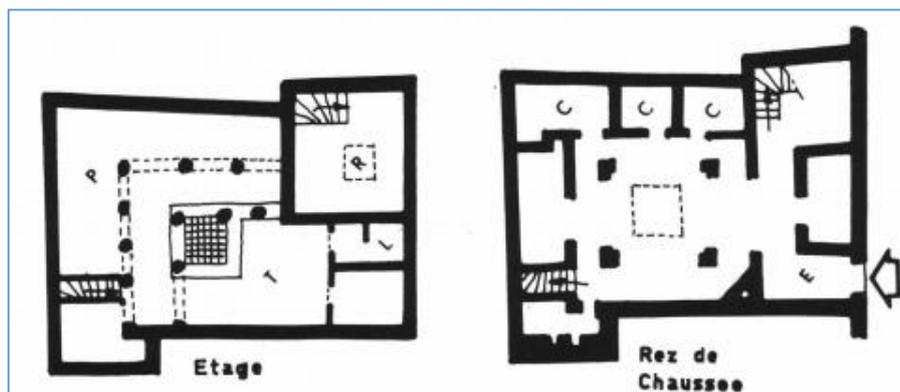


Figure I.03 : Plan d'une maison de Ghardaïa (relevé J. Echaliier). Source : <https://journals.openedition.org/encyclopedieberbere/2582>.

Sur ce patio central s'ouvrent, au rez-de-chaussée, plusieurs chambres. Une cave en sous-sol, est en temps normal destinée à la conservation des denrées telles que les dattes, mais elle offre, en été, un abri appréciable contre les fortes chaleurs. Ces maisons enjambent parfois la rue, se projetant en encorbellements supportés par des consoles maçonnées.

I.4.2. Habitat urbain traditionnel (maison à cour)

L'habitat urbain est catégorisé par rapport au milieu urbanisé (la ville), il est par essence individuel tel que les groupements des villes arabo-musulmanes.

S'il on définit l'habitat individuel par le modèle « Villa » qui se situe dans les lotissements réglementaires. en se retournant vers les définitions de spécialistes de l'habitat (politiques, urbanistes, architectes, sociologues...), c'est une maison où vit une seule famille (étendue ou nucléaire) aux tendances architecturales de qualité avec :

- Accès individuel et autonomie de l'espace habité.
- Occupation de grandes surfaces
- Présence de garage et de jardin.

Dans l'ancien tissu urbain, habituellement appelé le quartier arabe avec un tracé organique et un système viaire découlant des principes de la privatisation de la vie intime. On retrouve la grande rue, la rue secondaire et souvent l'impasse. En outre, on retrouve des maisons organisées sur l'idée du seuil, de la skifa en chicane, de la cour centrale, et les chambres disposées autour de la cour centrale. Relativement à cela, la maison traditionnelle répond à une organisation spatiale introvertie (fermée vers l'extérieur) mais ouverte sur le patio central où s'égrènent les différents corps de l'espace de l'habiter. De l'extérieur, on ne voit qu'une porte qui permet d'accéder à la maison. Une fois le seuil franchi, on pénètre dans une cour.

Suivant cette conception, la maison traditionnelle reste un espace conçu sur plusieurs paliers de perméabilité qu'on peut appeler limites. Ces dernières se développent suivant un dégradé imposable dont le changement de valeur est rattaché au type. Cette variance des valeurs des limites suit le rythme d'un sens constant et progressif qui va de l'extérieur de la maison vers les plus intimes en plusieurs éléments architecturaux. (Haridi, 2016, p. 93).

Les éléments constituant la limite sont notamment : le seuil avec marches ou sans marches), la skifa (simple ou composée). Leur utilisation comme lieux-limites vient renforcer toute cette attention qui cherche à cacher la vie intime des familles inscrite dans une unité close. Cet ordonnancement guide le déplacement des personnes. On constate que cette organisation étagée cherche absolument à soustraire la vie familiale de la vie publique. Du reste, le marquage de ces éléments est fort puisqu'il organise tout l'enjeu de « claustration de la vie familiale » (Haridi, Op, cité, p. 103).

Le seuil dit « Ataba », c'est un élément de hauteur variable, mais ne peut dépasser (20 centimètres). Par-là même et en raison même de sa localisation par rapport à l'ensemble de la maison, qu'en règle générale, il se définit comme la limite initiale entre l'intérieur et l'extérieur, ce système est commun à toutes les maisons traditionnelles. Le seuil peut être matérialisé (marches) ou seulement ressenti, dès le moment qu'une personne franchit cet espace-limite. Après la traversée du seuil, on se retrouve directement dans un autre espace en chicane. Dans cet espace, on réserve l'emplacement de l'escalier pour accéder aux étages, mais on peut retrouver l'escalier au fond de la cour, on a aussi l'emplacement des cabinets de toilettes.

La Skifa ; Aussitôt après avoir franchi, l'entrée en chicane, on se retrouve dans un espace, qui est le second lieu rencontré après le seuil, celle-ci rentre dans un lieu dont la forme épouse parfois une géométrie en té (T) qui donne directement sur le patio (espace central de la maison). Cet espace peut avoir le rôle d'antichambre. La sqifa en tant qu'espace intermédiaire a une valeur d'espace transitoire, puisque c'est un espace couvert mais ouvert sur le patio. Sa valeur d'usage au-delà de préserver l'intimité familiale, c'est un espace de réception et de jeux pour les enfants. On retrouve souvent entre la skifa et le patio (la cour) soit une porte très lourde (bab el khaoukha), soit un rideau (Sayah, 1947 : 78, Haridi, 2001).

La forme de la skifa renseigne généralement sur la grandeur de la maison et sur le statut social des propriétaires soit modeste ou riche propriétaire. Le rôle technique qu'offre cet espace à la maison traditionnelle, c'est un espace qui assure l'isolation acoustique, entre le bruit extérieur de la rue et le bruit des femmes à l'intérieur de la maison. Ce filtre technique rend l'intérieur de la maison calme et silencieux. Une fois, cet espace franchi, on est directement dans le patio on a une vue directe sur les femmes de la maison.

Le Patio - Wast-eddar (centre de la maison) est véritablement, l'espace autour duquel s'articule l'ensemble de la demeure. Il sert l'espace le plus attaché à la vie sociale. C'est un espace polyvalent, celui qui organise, ordonnance et donne le rythme. Il est ouvert sur le ciel, ses parois sont composées d'arcs et de colonnes en marbres et en pierre. C'est un espace vers lequel convergent tous les autres espaces de la maison. Il est appelé le noyau central, il donne une valeur spirituelle que physique et technique. Son tracé est souvent régulier, mais d'ordinaire, il est carré ou rectangulaire à dimensions variable ne dépassant jamais plus de 50 m². On trouve parfois des galeries qui ceinturent tout le périmètre du patio. C'est dans le patio que durant l'été, les femmes s'installent, cuisinent et reçoivent, et les enfants dorment la nuit. En plus de son rôle social, il est un régulateur thermique (puits de lumière, ventilation) permettant d'assurer le confort intérieur.

S'hin ; C'est la galerie de circulation aux arcades décorées qui entoure le patio, il est aussi appelée m'kadma. Il se définit comme la limite physique soulignée par une élévation de quelques centimètres, pour marquer la transition entre le patio et l'espace résidentiel (beyt).

Les pièces de vie (Byout) ; ce sont les pièces principales de l'habitation, de forme longitudinale plus longue que large, surélevé d'une marche par rapport au s'hin.

L'espace de réception ou le medjeless « Bit eddiaf » se situe généralement au rez-de-chaussée, c'est l'une des pièces la plus large, c'est le lieu d'accueil du chef de famille. Il s'ouvre largement sur le patio et peut atteindre jusqu'à 8 mètres de long. Il est aménagé avec des matelas posés sur des banquettes en bois sculpté.

On peut conclure que tous les espaces intérieurs de la maison traditionnelle sont soumis à des règles organisationnelles et des principes formels qui accordent l'unité de la maison de manière cohérente. L'ensemble de la maison s'organise sur des éléments architecturaux tels que la centralité marquée par un vide symbolique, la marche du seuil, les murs écrans, les chicanes, la différence du niveau du sol, les décorations distinctives

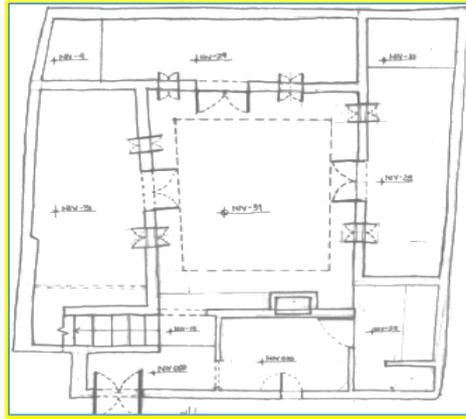


Figure I.04 : Vue en plan d'une maison traditionnelle à Alger. Source : André Ravéreau; la casbah d'Alger et le site créa la ville).

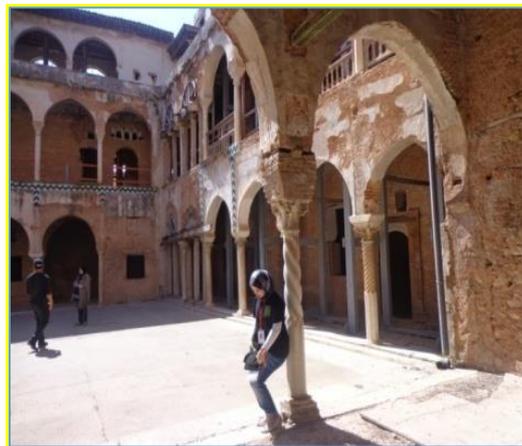


Figure I.05 : La citadelle d'Alger. Source : auteure 2013.

I.4.3. Habitat urbain moderne

L'habitat moderne (européen) se compose de deux types qui sont notamment les immeubles d'habitation à plusieurs étages contenant plusieurs logements et le pavillon appelé « villa ». Il existe également un troisième type, l'habitat à loyer modéré (H.L.M.). Mais sa réalisation a été très tardive car sa création vient du programme du plan de Constantine (1959) réalisé dans le cadre du logement social (Haridi, Op, cité).

I.4.3.1. Immeuble à plusieurs étages ou l'immeuble de Rapport

Dans le même esprit des Insulae romains, l'immeuble de Rapport s'implante dans les centres urbains regroupant des logements locatifs et des magasins au rez-de-chaussée et en retrait sous des arcades.

Ces immeubles richement décoré en fer forge, en plâtre, marbre et stuc sur les balcons, les encorbellements, les frontons, les corniches et les colonnes, ont une forme parallélépipédique presque cubique disposant souvent d'une cour intérieur, ils sont tournés dos à dos offrant leur meilleur façades sur la rue. Cette organisation donne une impression d'uniformité et d'homogénéité, à travers l'adoption d'un même principe de composition, même gabarit, et le même alignement par rapport à la rue.

Ce sont des immeubles de 2 à 3 étages qui présentent une hiérarchisation sociale à savoir :

- Les RDC, sont réservées à des commerces, des services de l'entrée, le logement de concierge, ils sont souvent en retrait sous des arcades.
- Le 1er étage est réservé à la bourgeoisie, dont la chambre à coucher occupe la pièce d'angle avec trois ouvertures.
- Le 2em étage est aménagé en petites appartement destines aux fonctionnaires et employés.
- Le comble : il est surpeuplé, car il regroupe le maximum de personnes dans le minimum d'espace. Il est destiné aux personnes défavorisées (pauvres, étudiants...), qui cohabitent lit contre lit.

De ce fait toutes les classes sociales se côtoyaient dans le même immeuble.



Figure I.06 : Immeuble à de rapport (Alger). Source : <https://stay-hub.com/fr/o/appartement-dans-immeuble-haussmanien,1aegi.html>.

I.4.3.2. Pavillon (villa)

Ce sont des maisons individuelles mitoyennes alignées sur la rue principale avec un étage sur RDC, parfois avec balcon comportant un percement sobre sans décor et une toiture en tuile de deux à quatre pans. Elles occupent les noyaux des centres villageois ou des faubourgs. Par la suite ce type d'habitat se change du modèle aligné vers le modèle isolé au centre d'un jardin.

I.4.3.3. Habitat à loyer modéré (H.L.M.)

Avec l'avènement de l'architecture moderne en 1933, l'impact de la conception corbuséenne en Algérie a été très visible dans les ensembles de logements sociaux qui prennent la forme de cités ; HBM (bon marché) qui devient HLM (loyer modéré).



Figure I.07 : L'Aéro-habitat (Alger). Source : http://alger-roi.fr/Alger/telemly/pages_liees/7_telemly_aero_habitat264_venis.htm.

Ce type d'habitat est soumis à des principes d'organisation des plans basés sur le système de couloirs et des cellules, des volumes simples avec façades en damier monotone, et toiture-terrasse.

I.4.3.4. Zones d'habitat collectif moderne

Ce sont des immeubles d'habitat collectif de plusieurs étages, il se définit comme une structure dans laquelle sont partagés à des degrés divers, les espaces nécessaires aux besoins fondamentaux de l'habitant. Ces espaces peuvent être privés, ou semi-privés. Ils ne sont jamais publics. Ce type d'habitat dépend de l'aménagement et de l'organisation de l'espace utile aux nombreuses fonctionnalités permises. L'habitat collectif abrite les membres d'une même famille constituée par un seul ménage ; mais peut aussi abriter plusieurs ménages (condition exceptionnelle imposée par la crise de logements). Eventuellement, il peut être occupé par plusieurs ménages parentaux.

I.4.4. Habitat semi-collectif

Ce type d'habitat combine les caractéristiques de l'habitat individuel et collectif, dont il permet de donner au logement semi-collectif certain avantage de la maison individuel avec un groupement à caractère collectif. Il se caractérise par l'accès indépendant à chaque logement, la superposition ou juxtaposition de logements dont le nombre de logements superposés est limité à deux étages, un espace extérieur privatif égal au quart de la surface du logement. Donc il combine la cohabitation et le caractère individuel.

Ce type d'habitat permet la bonne qualité de voisinage, présence d'une vie communautaire appréciable et l'organisation de solidarités. Il est connu sous plusieurs appellations :

- Habitat intermédiaire en référence au croisement des caractères de l'habitat individuel et collectif.
- Habitat pluriel en référence à la pluralité des différentes catégories sociales et des différentes formes architecturales.
- Habitat alternative en référence à sa potentialité de remplacer les types de l'habitat individuel et collectif.

I.4.5. Nouvelles formes d'habitat : Habitat écologique, Habitat éco- futuriste

La relation de l'habitat à la nature est devenue un élément fondamental de la qualité de vie qui s'impose partout dans le monde à travers les éco-quartiers qui vise à la réalisation d'un habitat écologique.

Ce dernier peut se définir comme un habitat qui offre à ses habitants tous les éléments du confort et du bien-être dans la maison et ses prolongements à travers l'utilisation des matériaux naturels durables, et la préservation des ressources (eau, énergies...etc.). En effet, il est conçu pour s'adapter au climat et à l'environnement, ainsi que pour minimiser l'impact du bâtiment sur son environnement, en visant à garantir l'équilibre entre l'habitant et son habitat, tout en limitant les besoins énergétiques.

Dans ce contexte, l'habitat prend plusieurs appellations tels que ; **le Bâtiment BBC** : (bâtiment à basse consommation) qui peut se définir comme une construction à faible énergie grise qui ne

comprend a priori aucun moyen de production local d'énergie, sans toutefois l'exclure (ARMAND Dutreix, 2010, P.47). Cela se matérialise grâce à son enveloppe performante, à travers l'optimisation de l'isolation, la réduction des ponts thermiques et l'accroissement des apports passifs, ce qui lui rend confortable en toutes saisons.

Le bâtiment passif : C'est un bâtiment très faiblement consommateur d'énergie, il ne nécessite pas de systèmes de chauffage ou de rafraîchissement actifs : les apports passifs solaires et internes et les systèmes de ventilation suffisent à maintenir une ambiance intérieure confortable toute l'année. Ce concept inclut également une réduction des besoins en électricité spécifique et éventuellement une production d'électricité à base de sources d'énergie renouvelables (S.Courgey et J.Oliva, 1979, p.38).

Le bâtiment « zéro énergie » Ce bâtiment combine de faibles besoins d'énergie à des moyens de production d'énergie locaux. Sa production énergétique équilibre sa consommation si celle-ci est considérée sur une année. Son bilan énergétique net annuel est donc nul (KARBOUCHE Azouz, 2012, P.43)

Le bâtiment « à énergie positive » Ce bâtiment producteur d'énergie dépasse le niveau « zéro énergie », il produit globalement plus d'énergie qu'il n'en consomme. Comme le précédent, ce bâtiment est raccordé à un réseau de distribution d'électricité vers lequel il peut exporter le surplus de sa production électrique.

Habitat éco-futuriste : Historiquement, l'architecture futuriste émane d'une pensée architecturale appartenant déjà à la mouvance futuriste italienne (allant de 1910 – 1948). Mais l'acception générale de l'architecture futuriste comme une nouvelle tendance de l'architecture High-tech dont l'inspiration s'est faite à partir des éléments de la nature. Elle utilise les énergies nouvelles et renouvelables (solaire, photovoltaïque et éolien), en incluant tous les paramètres de la haute qualité environnementale (maîtrise de l'impact du bâtiment sur son environnement, gestion des énergies, gestion de l'eau, gestion des déchets, emploi des matériaux écologiques, assurer le confort et la santé pour les usagers)

I.5. Habitat collectif

I.5.1. Essai de définition

De la plus simple définition, l'habitat collectif est une forme d'habitat qui réunit plusieurs logements ou appartement locatifs ou en accession à la propriété sur une même assiette de terrain. Il comporte à côté des appartements privés des parties en communes (entrée du bloc, cage d'escalier, espace de stationnement, espace de rangement...etc).

Rajoutant à cela, ce type d'habitat, qui est par fondement urbain, présente des formes variées ; tours, barres, immeuble en plot...etc. il est imposé par des considérations d'économie d'espace et du besoin croissant du logement en ville. En plus, l'habitat collectif constitue une habitation qui est construite par des promoteurs publics ou privés, avec recours à des entreprises de réalisation publiques ou privées.

I.5.2. Naissance et chronologie

Le 19^{em} siècle a connu une double révolution dans le monde, une révolution démographique et une révolution industrielle, accompagné par un fort exode rural, ce qui engendre une véritable crise de logement. Donc la forte croissance urbaine à l'échelle mondiale a engendré des tissus urbains non structurés. Ceci semble être générer une urbanisation non maîtrisée présentant une extension continue de l'habitat précaire et insalubre.

Face à cette situation, en 1890, une administration sera créée pour gérer les problèmes de la ville, le « *London Country Council* », qui tentait de construire encore plus de logements sociaux et la réalisation d'immeuble en hauteur. L'exemple du « *Millbank Estate* » à Londres, commence en 1897 est un modelé typique de logements à bon marché (Foura, Op, cité, p.67). En plus, l'apparition de l'urbanisme moderne avec la charte d'Athènes en 1933 accompagné de ses outils et ses instruments a donné naissance aux grands ensembles et aux quartiers d'habitat collectifs (Moudjari et al, 2016, p.119). Cette époque est notamment marquée par la construction des Habitations à Bon Marché (HBM) en briques rouges des boulevards extérieurs de Paris (Dominique Allaume-Bobe, Op, cité, p.82).

A cet égard, le Corbusier conçoit autour des années 1940 un prototype d'habitat social collectif, qui renvoie à la ville radieuse imaginée. Une décennie plus tôt, dont l'immeuble d'habitation collective construit sous la forme d'un parallélépipède sur pilotis, la chose qui constitue une innovation importante dans la conception architecturale des résidences d'habitation (DHMANI. k, et al, 2013, P.56).



Figure I.08 : Cité radieuse de Le Corbusier. (Source : DHMANI. k, et al, 2013)

Les HLM deviennent peu après l'outil principal pour lutter contre la crise du logement, au moyen notamment des grands ensembles et des zones à urbanisé en priorité (ZUP). Ces zones doivent être réalisés dans un court délai et permettre la création de quartiers nouveaux disposants de tous les équipements nécessaires pour éviter les cités dortoirs. Mais assez rapidement, on assiste aux effets néfastes de cette nouvelle typologie, en direction des grands ensembles qui tendent à s'estomper lorsque l'on prendra conscience que les équipements prévus ne sont pas réalisés simultanément avant les logements, auxquels s'ajoutent d'autres aspects négatifs, tel que le bruit, l'appropriation de l'espace extérieur, les problèmes techniques.

A partir du début des années 1970, les ZUP sont totalement abandonnées au profit de la nouvelle procédure d'urbanisme ; les ZHUN (zone d'habitat à urbanisation nouvelle) qui s'est apparue pour répondre à la carence de logement face à la croissance démographique (DHMANI. k. Op, cité, P.60-61)

I.5.3. Production de l'habitat collectif dans le contexte Algérien

En Algérie, l'apparition de l'habitat collectif a commencé pendant la colonisation française entre les années (1950-1962) avec des formules d'habitat en hauteur, ce sont des grands ensembles représentés en HBM (Habitation à bon marché) et HLM (Habitation à loyer modéré) destinés aux classes Européennes. (Voir figure 09 et 10)



Figure I.09 : Ensemble d'habitation « Bel Air ». Source : <http://www.algeriemesracines.com>.



Figure I.10 : Grand ensemble « CILOC » 1959. Source : <https://www.espazium>.

Cette idée du logement social s'avérait un programme impossible à réaliser sans des textes législatifs adéquats à la production de l'habitat en Algérie. Les conditions premières, pour la réalisation de ces programmes semblaient demander des coûts des constructions très élevés, surtout en ce qui concerne les terrains des projets propres à la construction de l'habitat.

Au lendemain de l'indépendance, les problèmes du manque de logement suite à une démographie galopante et au flux migratoire rural-urbain avaient préoccupé sérieusement les responsables algériens. Ils alléguaient la tâche d'absorber tout l'habitat précaire et ils comptaient, en outre, résoudre rapidement l'extrême crise de logement qui s'amplifiait, à

travers la construction en quantité en continuant les mêmes expériences importées de l'occident à travers des prototypes de préfabrication lourde.

I.5.3.1. Création du système des zones d'habitat collectif

C'était en 1975 qu'une fantasmagorie de nouvelles formes urbaines éclata à la périphérie de toutes les villes du pays, calquée sur le modèle des grands ensembles français ZUP (zones à urbaniser en priorité) et due, en partie, à la très forte croissance démographique. Cette question de créer des centres de vie pour répondre à la crise rapidement ouvrit le débat de la réalisation du logement en masse et pour les masses. En cela, au cours de ces années, il y avait la création des plus importantes nouvelles zones d'habitat collectif (ZHUN) comme solution d'urgence, dont leur souci réside dans la rapidité d'exécution, la production en quantité en ignorant la qualité.

Cette création, pour la plupart des agglomérations urbaines, était de qualité très médiocre. Régulateurs de l'afflux des nouveaux résidents, ces espaces résidentiels offraient équipements, transports, services et un cadre environnemental adéquat, tel était l'objectif de leur création. Contrairement à cela, l'espace résidentiel collectif commençait à devenir une floraison remarquable de dépaysement. Ce système contribua au renforcement du phénomène ségrégatif sociétal. Elle n'entraîna que mutations et bouleversements qui ont intensément modifié le paysage urbain algérien et ses réalités sociales, économiques et environnementales. (Haridi, 2007).

I.5.3.2. Stratégie Nationale de l'Habitat

Par la suite, on assiste à un ralentissement de cette production en masse, jusqu'au en arrivant à l'année 1996, d'où l'habitat n'est plus considéré comme une affaire sociale, il a devenu une activité économique. Ici l'état est l'unique producteur et distributeur de logement, propose une réforme dans l'offre du logement d'une part, il y a eu la répartition claire du rôle de production et distribution du logement entre l'administration centrale, les collectivités locales et les citoyens. Cette réforme cherche à rétablir l'équilibre de l'offre et de la demande en logement (Haridi, Op, cité)

A cet égard, l'État agira en aidant la demande et en incitant l'offre privée pour rompre le monopole de l'offre publique et arriver aussi à offrir un habitat de meilleure qualité, où le coût du logement sera déterminé selon les moyens et les prestations des organismes de réalisation et par rapport aux revenus des citoyens concernés.

En cela, cette nouvelle stratégie nationale de l'habitat détermine à la fois une connexion franche et sans ambiguïté entre actes publics et régulation urbaine. Elle vise en premier lieu la refonte de l'ancienne réglementation, et en second lieu elle diversifie l'offre de logement par la libération du marché locatif (public et privé) pour intégrer les habitants dans le processus de financement, en adoptant plusieurs formules du logement social à savoir :

a- Logement aidé ou participatif

Ce logement est réalisé ou acquis grâce à une aide de l'État dite de propriété, en application du décret exécutif 94 – 308 du 04 octobre 1994 définissant les règles d'interventions de la « CNL

» (Caisse Nationale du Logement) en matière de soutien financier des ménages bénéficiaires. L'offre du logement aidé vise à prendre en charge essentiellement la demande de logement émanant des catégories à revenus intermédiaires qui, sans cette aide de l'État, ne peuvent accéder à la propriété du logement. Les logements aidés ou participatifs ont une consistance physique moyenne de 40 m² (entre 50 à 70 % habitable). Ces logements participatifs sont réalisés dans le cadre d'un programme de logements collectifs, semi collectifs ou individuels. Le coût du logement dépasse 1 600 000 dinars (16 000 euros).

Logement évolutif

La première variante de logement offerte se limite à une construction d'une ou de deux chambres avec un terrain prévu pour l'extension.

La deuxième variante, c'est la proposition de toute la superstructure pour le cas de l'habitat collectif, avec le cloisonnement et le bénéficiaire termine son logement. Souvent, l'État ne réalise que la superstructure (dalles et poteaux), et c'est le bénéficiaire qui prend en charge le reste de la construction du logement.

Logement participatif

Dans ce type d'offre de logement intervient la CNL (Caisse Nationale du Logement) et l'État participe à raison de 30 000, 45 000, et 70 000 dinars à la réalisation du logement. Cette participation de l'État est remboursable à échéance et termes fixés d'avance.

b- Programme de logement social locatif

Ce type de logement constitue un nouveau segment d'offre de logement, institué à la faveur du décret exécutif n° 01-105 du 23 Avril 2001, fixant les conditions et modalités d'acquisition dans le cadre de la location de logements réalisés sur fonds publics. L'accès à ce type de logement est réservé aux familles de bas revenus logeant dans des conditions dégradées ou ne disposant pas de logement. Le choix des bénéficiaires s'opère sur la base de critères définis par l'arrêté interministériel du 9/4/2002 modifiant et complétant l'arrêté interministériel du 15/11/2000. Ceux-ci bénéficieront d'une aide de l'État pouvant atteindre 500 000 Dinars sous forme de don non remboursable.

Les bénéficiaires doivent notamment répondre aux conditions suivantes : justifier d'un revenu mensuel inférieur à cinq fois le SNMG et n'avoir jamais bénéficié d'un logement du patrimoine public ou d'une aide de l'État destinée au logement. Ils ne doivent pas avoir non plus postulé pour un logement faisant partie d'un programme des agences immobilières, d'une part, et d'autre part, se soumettre à l'obligation d'effectuer un premier versement de 45 000 dinars (4 500 euros) à l'OPGI (Office Public de Gestion Immobilière) comme droit d'entrée. Le locataire ne peut pas se désister en faveur d'une tierce personne et doit payer mensuellement un loyer s'élevant de 1800 dinars à 2 000 dinars.

c- Programmes location-vente

C'est la première formule de production de logement ayant trait au caractère promotionnel du logement avec des versements progressifs du début jusqu'à l'achèvement de la construction. Les opérateurs financiers impliqués dans le développement du logement sont :

- La CNEP (la Caisse Nationale d'Épargne et de Prévoyance) : elle participe à la production du logement en faisant un prêt pour l'achat d'un logement neuf, quel que soit le promoteur public ou privé. Elle accorde des prêts pour la construction ou la réalisation d'un logement collectif ou individuel dont le montant peut s'élever en fonction des revenus du ménage. Les taux d'intérêt sont différents selon le statut du bénéficiaire (épargnant ou non épargnant). Les durées de remboursements s'étalent sur une période de 30 ans.

- Le CPA (Crédit Populaire d'Algérie) : le CPA peut concurrencer la réalisation de logement, seulement en vue d'acquisition du logement et d'accepter les conditions de la banque avec des échéanciers très courts. Le bénéficiaire doit justifier d'un revenu mensuel supérieur à 15 000 dinars (150 Euros).

- La BDL (Banque de Développement Local) : La BDL a mis en place un service de prêts remboursables similaire à celui du CPA. Cependant, avec plusieurs créneaux tels que l'achat d'un logement privé ou public, la construction d'un logement ou l'aménagement d'une habitation.

- L'ALGERU (Agence Locale de Gestion et Régulation Financière Urbaine) : Cette agence financière (locale ou internationale) s'occupe du lancement des programmes initiés par l'État sans les mesures de création de logements sociaux. Les sources de financement proviennent de l'État ou de la banque mondiale, cette dernière joue le rôle de maître d'ouvrage dans la réalisation des tous les projets.

- L'AADL (Agence d'Amélioration et de Développement du logement) : Cette agence effectue le même rôle que les agences foncières mais ses programmes sont beaucoup plus conséquents. Les promoteurs immobiliers concourent à la réalisation de logements sociaux ou promotionnels.

d- Habitat collectif promotionnel

Pour ce type d'offre, chaque bénéficiaire doit financer son propre logement. On retrouve deux types d'habitat promotionnel : l'habitat promotionnel public et l'habitat promotionnel privé.

- L'habitat promotionnel public : Les programmes de ce type d'habitat sont initiés par des organismes financiers publics de promotion immobilière, c'est-à-dire soit par les collectivités locales ou les entreprises et organismes publics (comme par exemple la CNEP) qui interviennent pratiquement pour le règlement de toutes les opérations de promotion publique.

- L'habitat promotionnel privé : L'auteur de l'initiative peut être une société de promotion immobilière privée ou un promoteur immobilier est un auteur privé qui assure et finance la construction d'immeubles.

I.6. Habitat et environnement

Dans un contexte de réchauffement climatique et de transition énergétique, l'habitat avec son confort sanitaire peut se modifier par rapport à l'incidence environnementale. D'après Allaume-Bobe (2017) « La qualité de l'habitat a un impact avéré sur la qualité de vie et le bien-être de la population concernée,

le contenant (bâtiments...) et le contenu (personne, famille, groupes humains...) sont indissociables. Le Conseil économique, social et environnemental (CESE) s'attache à prendre en compte les enjeux essentiels de la transition écologique pour l'habitat, dont le changement climatique et la biodiversité, en tant qu'ils sont porteurs de solutions innovantes ». Considérant l'importance du lien entre environnement, habitat, et bien-être des habitants, dans cette étude on cherche à promouvoir une nouvelle gouvernance de l'habitat dans laquelle le confort sanitaire doit être tout particulièrement parties prenantes dans l'ordre conceptuel actuel.

I.6.1. Les variables du climat

C'est l'ensemble des facteurs environnementaux qui constituent le savoir essentiel du contexte physique dans lequel le bâtiment est appelé à s'implanter.

L'insertion de l'habitat dans un contexte climatique demande la collecte de ces variables, pour permettre d'effectuer une analyse climatique dont le but est de déterminer en premier lieu les conditions de confort et d'inconfort. Ensuite de déterminer les mesures correctives nécessaires et de dégager les solutions architecturales appropriées. Mais aussi d'avoir une idée globale sur les contraintes que l'habitat subit. En cela, on prend les variables suivantes ; température, Humidité, vent, pluie, rayonnement et lumière.

I.6.1.1. Température

La température intérieure pourrait être égale à la température extérieure. Comme tel n'est pas le cas, et pour satisfaire le confort des habitants, il convient de réguler les échanges thermiques, en tentant de rétablir des conditions idéales d'habitabilité. Pour ce faire, il est nécessaire de savoir qu'il existe plusieurs types de températures.

a) **La température de l'air ambiant** est la température de l'air mesurée à l'ombre, comprise généralement entre 18°C en hiver et 26°C en été. Ainsi pour assurer ces degrés de température, il faut avoir une certaine homogénéité de la température dans l'espace de l'habitat et faciliter la montée et la descente de l'air intérieur parce que l'air chaud monte et l'air froid descend.

b) **La température des parois** est la température rayonnante. Elle est l'un des éléments les plus importants dans la sensation de confort, en été comme en hiver. Car une paroi froide absorbe le rayonnement chaud du corps et produit une sensation de froid et par ailleurs une paroi chaude délivre une sensation de chaleur au corps.

c) **La température ressentie** est la combinaison des températures de l'air et des parois, car pour une humidité donnée, en l'absence de courant d'air perceptible, on estime que la température effectivement ressentie est la moyenne entre celle de l'air et celle des parois.

La température de parois T_p influence les échanges thermiques par rayonnement. La température de l'air intérieur ressenti par un individu dépend de la température de l'air ambiant du local T_a (température ambiante mesuré par un thermomètre), et de la température moyenne des parois du local T_p .

De façon simplifiée, on définit la température de confort ou température opérative comme la moyenne entre T_a et T_p . (Liébard et De Herde, Op. Cités, p. 8a).

$$T_c = (T_a + T_p) / 2$$

Les problèmes de maux de tête, de fatigue ou d'irritation des muqueuses sont souvent associés avec le fait d'avoir trop chaud ou trop froid. La chaleur accablante en période de canicule peut également avoir un impact important sur la santé des personnes atteintes de maladies chroniques.

I.6.1.2. Humidité relative (HR)

Pour Schriver-Mazzuoli, (Op, cité, p. 8) L'humidité est aussi « *nommée le degré hygrométrique, est le rapport exprimé en pourcentage entre la pression partielle de la vapeur d'eau contenu dans l'air P_{vap} et la pression de vapeur saturante P_{sat} à la même température* ». Ou encore, le rapport exprimé en pourcentage entre la quantité d'eau contenu dans l'air à la température T_a et la quantité maximale d'eau contenu à la même température.

D'ailleurs, dans une ambiance saturée où il n'est plus possible de transpirer, le corps est la plupart de temps en position d'inconfort. A l'inverse dans une ambiance sèche, la transpiration est facilitée et permet de supporter des températures ambiantes plus élevées. L'humidité relative augmente avec la température. Lorsque l'humidité relative est incluse dans un intervalle de 30 à 60 % on sera dans une situation de confort hygrométrique. Par contre l'inconfort apparaît au-delà de cet intervalle, soit $HR \leq 30\%$ et $HR \geq 60\%$, on ressent d'une ambiance sèche ou humide.

Les activités de l'homme ; dormir, se laver, préparer les repas, nettoyer, entraînant une production de vapeur d'eau pouvant atteindre 10 à 14 litres par jours dans une habitation moyenne (Liébard et De Herde, Op, cité, p. 29a). La vapeur d'eau à l'intérieur des habitations contribue à augmenter le taux de l'humidité relative. Par conséquent il est indispensable de la limiter pour éviter les problèmes de condensation superficielle.

En optant soit pour une meilleure isolation, ou une meilleure ventilation (l'air humide est remplacé par de l'air plus sec), soit en chauffant d'avantage (augmentation de la température de rosée)

Autrement, si l'humidité est forte on ne peut pas faire grand-chose pour la réduire par des moyens non mécaniques et on utilise la ventilation pour permettre au corps de perdre la chaleur. Quand l'humidité est faible on peut utiliser l'eau et la végétation pour l'accroître et certaines procédées d'humidification qui sont souvent un écoulement d'eau sur des nattes d'herbes placées dans les fenêtres (comme dans les maisons traditionnelle en Egypte) (Amos Rapoport, Op, cité, p.135)

I.6.1.3. Vitesse de l'air

La vitesse de l'air augmente les pertes de chaleur par convection et facilitent l'évaporation de l'humidité. Dans l'habitat, il est recommandé qu'elle ne dépasse généralement pas 0,2 m/s pour

atteindre une sensation de confort, et qu'elle soit précisément de 0,13m/s pour une personne assise en grand confort (Schrivver-Mazzuoli, Op, cité, p. 8).

Au-delà de cette vitesse, un courant d'air gênant peut être ressenti par les individus. Cette situation a conduit à réduire la vitesse de l'air en deçà du seuil de perception des courants d'air, dans le but d'assurer les conditions de confort. En contrepartie, en été où les ambiances sont chaudes et humides, les courants d'air peuvent améliorer le confort, en offrant une source de déperditions de chaleur, car dans une telle situation où la température ambiante et l'humidité relative sont élevées, le corps ne perd que peu de chaleur par rayonnement, conduction et convection et il se rafraîchit peu par transpiration.

I.6.2. Classification du climat

Le climat peut se définir comme la série des états de l'atmosphère au-dessus d'un lieu. Il a toujours joué un rôle déterminant dans la conception de l'habitat, afin de rapprocher au maximum ses occupants des conditions du confort. On classe toujours le climat selon la température et l'humidité. Ainsi, on distingue six types de climats mentionnés dans le tableau I.1. (Voir figure IV.07)

Tableau I.1. Les catégories du climat selon la température et l'humidité. Source : Auteure 2021.

Selon la température	Froid ($T_{ma} \leq 10^{\circ}\text{C}$)	Tempéré ($10^{\circ}\text{C} \leq T_{ma} \leq 20^{\circ}\text{C}$)	Chaud ($T_{ma} \leq 30^{\circ}\text{C}$)	Très chaud ($T_{ma} \geq 30^{\circ}\text{C}$).
Selon l'humidité	Sec ($\text{HR} \leq 55\%$)		Humide ($\text{HR} \geq 55\%$)	

Les climats chauds se subdivisent en quatre zones climatiques à savoir :

- Climat équatorial : il se caractérise par une forte humidité, des précipitations élevées, des températures chaudes et faibles amplitude thermique.
- Climat tropical humide : il se caractérise par une saison de pluies chaudes et une saison sèche plus froide.
- Climat tropical sec : ce type de climat se caractérise par trois saisons : chaude et sèche, très chaude et une saison chaude de pluie.
- Climat désertique : il se caractérise par une période chaude à très chaude et une période froide. Ici l'amplitude thermique est très importante et les précipitations sont rares.

A ces climats s'ajoutent le climat tropical d'altitude, tropical des îles, tropical mousson et méditerranéen (Liébard, 2005, P.115).

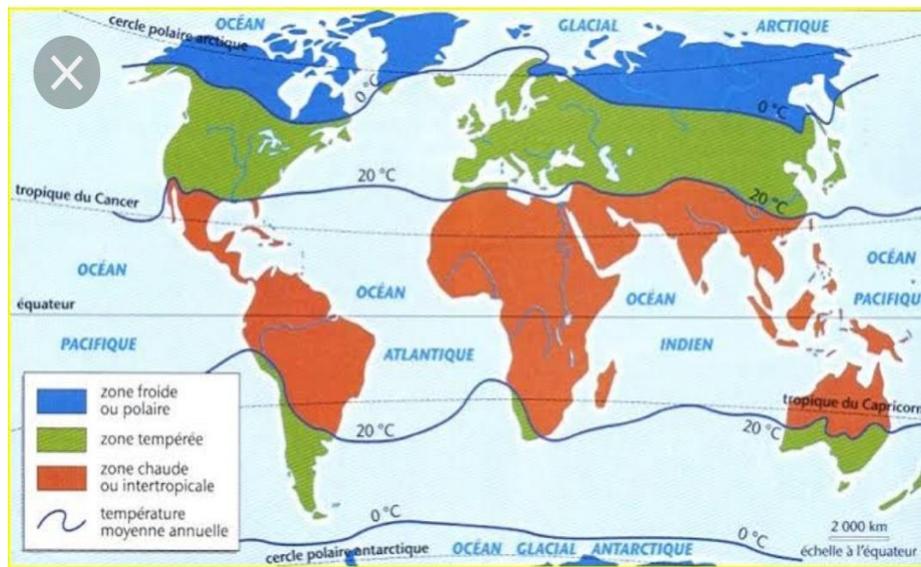


Figure I.11 : Classification du climat mondiale. Source : Liébard, Op, cité.

En Algérie, le climat se subdivise en quatre zones climatiques appelées respectivement :

- Méditerranéen littoral marin, c'est un climat tempéré
- Arrière littoral montagne
- Haut palataux (climat continentale)
- Présaharien et saharien (climat aride et sec).

I.6.3. Adaptation de l'habitat au climat environnant

La connaissance suffisante du climat et ses caractéristiques, est d'une importance suprême. Elle permet d'adapter toute construction à son climat local dont le but d'apporter un maximum de bien-être à ses occupants et d'atteindre un confort au moins égal à celui de l'extérieur. (Roulet, 2012, p.10).

I.6.3.1. Construire en climat tempéré

Le climat tempéré se caractérise par des écarts de température journaliers inférieurs ou égaux à 10°C. L'intérêt du phénomène de déphasage y est donc réduit. Cependant les températures extérieures moyennes étant constamment en dessous des températures de confort, il existe une véritable saison de chauffe et donc nécessité d'emmagasiner de la chaleur autrement que par l'effet de masse des murs extérieurs. En tout état de cause, une conception basée sur l'utilisation des gains solaires directs, en climat tempéré, doit opter pour un niveau d'inertie important. (Liébard, 2005).

I.6.3.2. Construire en climat froid

Dans ce climat on construit de manière à empêcher la chaleur de se propager vers l'extérieur, toute en utilisant un plan massif, une surface minimum exposé à l'extérieur, des matériaux lourds et bien isolants en empêchant les courants d'air et les fuites d'air. L'exemple de l'igloo présente une repense très efficace au froid.

I.6.3.3. Construire en climat chaud et humide

Les régions chaudes et humides sont caractérisées par de fortes pluies, une grande humidité, des températures relativement modérées avec de faibles écarts journaliers ou saisonniers et un rayonnement intense. Ici il n'est pas intéressant d'emmagasiner de la chaleur. Ce type de climat exige, presque à l'opposé d'une chaleur sèche, à faible capacité thermique avec une ventilation maximum, donc une structure longue et étroite et des formes très séparées avec les murs les plus minces possible. (RAPOPORT, P.130).

I.6.3.4. Construire en climat chaud et sec

Ce type de climat se caractérise par des fortes températures diurnes, et par des températures nocturnes désagréables basses (Liébard, 2005). Pour atteindre des conditions de confort optimal on utilise d'un côté des matériaux de forte capacité calorifique (l'adobe, la terre, la pierre...etc.), qui produisent un « puisard de chaleur », absorbant la chaleur durant la journée et la restituant durant la nuit. Et d'un autre côté des maisons aussi compacte que possible qui fournit un maximum de volume avec un minimum de surface exposé à la chaleur extérieur. Cette stratégie est adoptée pour neutraliser au mieux en retardant l'entrée de la chaleur aussi longtemps que possible afin qu'elle atteigne tard l'intérieur, quand on en a besoin (Rapport, P.125).

Pour les régions chaudes et arides, il est recommandé d'augmenter fortement la capacité de chaleur des lieux où l'on vit pendant le jour, et de conserver une faible capacité thermique pour les endroits où l'on se tient la nuit. Les maisons y ont d'épais murs de terre et peu d'ouvertures et sont construites dans le but de ne pas laisser entrer le soleil ; de sorte que l'intérieur reste frais et sombre toute la journée. (Rapport, P.126).

I.6.4. Habitat et architecture bioclimatique

Le sens donné à la démarche bioclimatique demande une combinaison harmonieuse entre la destination du bâtiment, le confort de l'occupant et le respect de l'environnement. Plus précisément, elle se base sur l'interaction de l'homme avec son habitat et son environnement auquel il appartient afin de répondre aux exigences de son bien-être (Atek, 2012, p. 34).

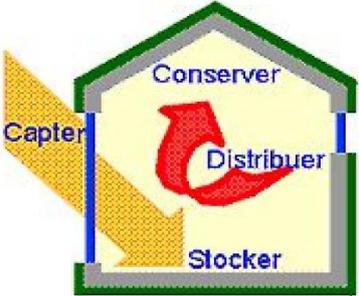
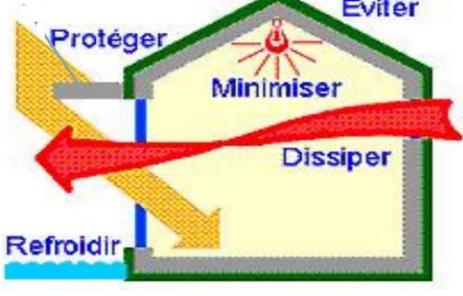
Cette condition on permet d'atteindre l'amélioration du confort en été sans le détériorer en hiver. D'une manière naturelle, il importe de n'avoir aucun recours aux énergies non renouvelables. Ceci dit, la conception bioclimatique de l'habitat elle vise « passifs » sert à maintenir une ambiance intérieure confortable toute l'année. Toute en minimisant l'utilisation des systèmes actifs.

I.6.4.1. Stratégie d'une architecture bioclimatique

D'après Oliva et Courgey (2006, p.17), « L'architecture Bioclimatique peut se définir comme l'adaptation de l'habitat au climat environnant. Elle tire parti du climat pour assurer le confort de l'occupant : se protéger du froid et capter les apports solaires en hiver ; se protéger du soleil et de garder la fraîcheur en été ».

Relativement, l'équilibre entre l'habitat, l'occupant et le climat s'exprime principalement sous formes de deux stratégies selon les saisons froides et les saisons chaudes (voir tableau I.01) :

Tableau I.02 : Stratégies d'une conception bioclimatique pour améliorer le confort thermique intérieur. Source : Liébard, 2005, p.31-32. Complete par Auteure 2021.

Stratégie du chaud	Stratégie du froid
	
<p>Il s'agit de capter les rayons solaires grâce à une bonne orientation et dimensionnement des ouvertures, puis stocker cette énergie gratuite dans la masse du bâtiment en maîtrisant le principe de l'inertie thermique. Ensuite distribuer cette chaleur dans tous les espaces intérieurs et la conserver par une bonne isolation en évitant les déperditions thermiques.</p>	<p>Il s'agit de se protéger contre la pénétration des rayons solaires à l'aide d'une bonne conception des masques solaires. Et de dissiper l'excès de chaleur en refroidissant le bâtiment de par l'exploitation des dispositifs de ventilation naturelle.</p>

Concernant la période froide il s'agit de favoriser les apports solaires gratuits et diminuer les pertes thermiques, tout en permettant un renouvellement d'air suffisant. Donc, dans cette période l'objectif est de s'opposer aux pertes de chaleur de l'intérieur vers l'extérieur et de limiter les infiltrations de l'air froid. Par contre, en période chaude, il se fait par la diminution des apports calorifiques et favoriser le rafraîchissement. Entre ces deux ces deux saisons extrêmes, on recherchera souvent à ouvrir l'habitat à son environnement extérieur, donc à construire et vivre avec le climat (Courgey, Oliva, Op, Cit., p. 52),



Figure I.12 : Stratégies à entreprendre au cours des saisons. Source : https://www.alec-grenoble.org/uploads/Image/84/WEB_CHEMIN_23340_1366273791.jpg.

I.6.4.2. Principe d'une conception bioclimatique

Pour réduire les besoins énergétiques et offrir un confort optimal aux habitants, il faut prendre en compte les paramètres de la conception bioclimatique ci-dessous :

I.6.4.2.1. L'implantation

« Quand on veut bâtir une ville, la première des choses qu'il faut faire est de choisir un lieu sain, il doit être élevé qu'il ait une bonne température d'air, qu'il ne soit exposé ni aux grandes chaleurs, ni aux grands froid... » -Vitruve-

De nombreuses variables sont appelées à se manipuler afin de favoriser une bonne implantation de l'habitat dans son contexte à savoir : Les données topographiques : le relief permet de se protéger des vents froids et une bonne exposition au soleil en hiver.

Les plans d'eau : l'eau participe à l'humidification, à la réduction des écarts de températures et au rafraîchissement de l'atmosphère.

La végétation : les arbres à feuille caduc au sud du bâtiment et des arbres à feuilles pérennes sur les côtés nord et parfois ouest. Ainsi que le contexte urbain construit.

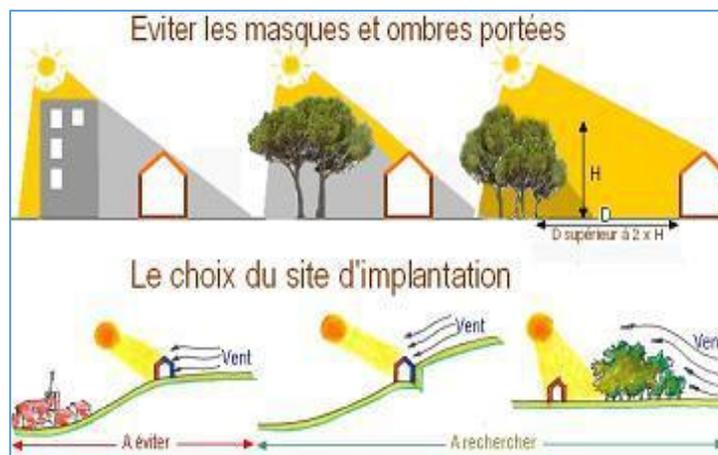


Figure I.13 : Les variables qui influencent l'implantation du bâtiment. Source : Connaissance et utilisation des atouts du site, <https://sites.google.com/site/maisonaenergiepositive/conception-bioclimatique/connaissance-utilisation-des-atouts-du-site>. 2022-07-28 à 21 :19.

I.6.4.2.2. La morphologie du bâtiment (la forme architecturale)

Le modèle conceptuel s'appuie souvent sur un processus de synthèse de la forme, qui lui permet de passer rapidement d'une appréciation du site à une idée de la forme globale du bâtiment. Par ailleurs, bien que l'impact énergétique de la forme architecturale puisse devenir dans certains climats moins primordiaux, à partir du moment où un bâtiment est bien isolé. (Fernandez, Lavigne 2019, p. 29).

C'est pourquoi, l'isolation du bâtiment, par une bonne étanchéité à l'air, joue un rôle très important dans la suppression des ponts thermiques, la réduction des pertes de la chaleur, ce qui conduit à obtenir une enveloppe performante. A cet égard, on peut définir les ponts thermiques comme une partie du bâtiment ou sa résistance thermique subit une modification ponctuelle notable ; celle-ci peut être liée à un défaut d'exécution de l'enveloppe.

Autrement dit ; les ponts thermiques sont les zones de déperdition, et les parties de l'enveloppe où la résistance thermique est affaiblie. Ou bien ils sont des endroits dans l'enveloppe du bâtiment où l'on constate une déperdition de chaleur élevée. Il s'agit généralement d'un joint d'élément de construction ou d'un angle du bâtiment, où l'isolation continue de la maison est interrompue et la perte de chaleur s'accroît. On distingue les ponts thermiques géométriques tels que les angles et les coins, et les ponts thermiques matériels, dans lesquels un matériau conducteur de la chaleur traverse la couche isolante.

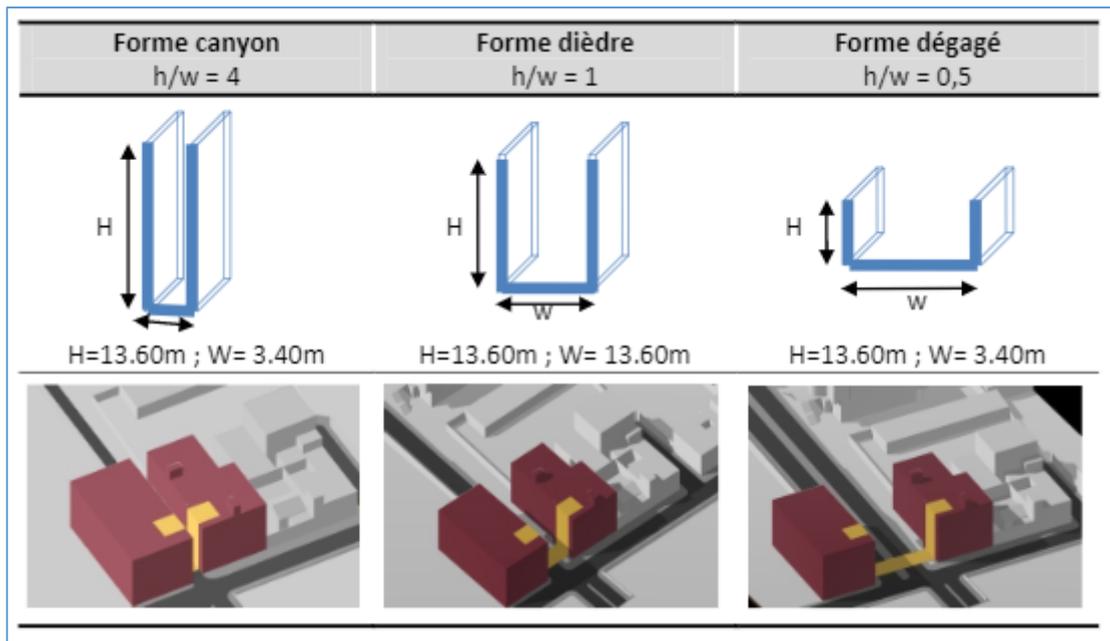


Figure I.14 : la forme optimale selon la direction des rayons solaires. Source : (Chafik Mahaya, 2014)

Enfin, la détermination de la forme optimale d'une conception architecturale constitue la préoccupation majeure de l'architecte, afin d'atteindre les performances énergétiques en exploitant les paramètres climatiques favorables pour le confort humain. Dans ce sens, la forme allongée suivant l'axe Est/Ouest avec une orientation Nord/Sud présente les meilleures performances thermiques. Ainsi que la forme compacte constitue la meilleure disposition en matière de performances énergétique car elle contient moins de surfaces exposées aux aléas climatiques extérieurs (fig. I.12).

I.6.4.2.3. Les matériaux de construction

Le discours architectural sur les matériaux de construction a toujours intégré une réflexion sur la qualité de confort dans un bâtiment (Fernandez, Lavigne, Op. Cit.). Sachant que, le choix des types des matériaux utilisés dans la construction, contribue à améliorer les ambiances intérieures selon leur capacité d'absorption et de réflexion de la chaleur. De même qu'ils doivent présenter des caractéristiques telles qu'une bonne qualité isolante, une faible énergie grise, un bilan carbone favorable.

C'est ce qui emmène à privilégier des matériaux peu polluants (sain, écologique...), et à utiliser des matériaux issus de ressources renouvelables et recyclables, et pourvus d'une à forte inertie thermique pour restituer l'énergie nocturne. Car, le matériau doit également être très dense et très lourd, plus sa masse est importante, plus il pourra absorber par inertie une quantité d'énergie importante.

En ce sens, l'inertie thermique se définit comme le « caractère d'un matériau capable d'accumuler de l'énergie calorifique lors d'un rapport de chaleur, pour la restituer ensuite dans un délai plus au moins long. L'inertie thermique d'un matériau est un général proportionnel à sa conductivité thermique, plus une maçonnerie est lourde et épaisse plus son inertie thermique est élevée » (Liebard, De Herde, 2005, p. 49).

I.6.4.2.4. Le zoning climatique

L'orientation du logement est un facteur très important à considérer, surtout pour la distribution des ouvertures, pour bénéficier pleinement des apports solaires.

Durant la conception d'un projet d'habitat, le concepteur doit élaborer un zoning climatique qui permet de disposer les espaces selon leurs besoins énergétiques, suivant que l'espace est chauffé, chauffant, ou tampon. Cela permet de réduire les besoins calorifiques et frigorifique du bâtiment et d'en augmenter le confort. Elaborer un zoning climatique en regroupant ensemble les espaces habitables, en favorisant l'orientation, et en disposant les espaces de services (tampon) du côté des mauvaises orientations.

On applique ce zoning par l'orientation des espaces de vie (chambre, séjour, cuisine) au (SUD-EST/SUD-OUEST) pour bénéficier des rayons solaire toute la journée. Tandis que les espaces tampons (buanderie, couloirs, cellier, garage, sanitaire) sont orientés au nord parce qu'ils n'ont pas besoin d'éclairage naturel et d'ensoleillement (fig. I.11).

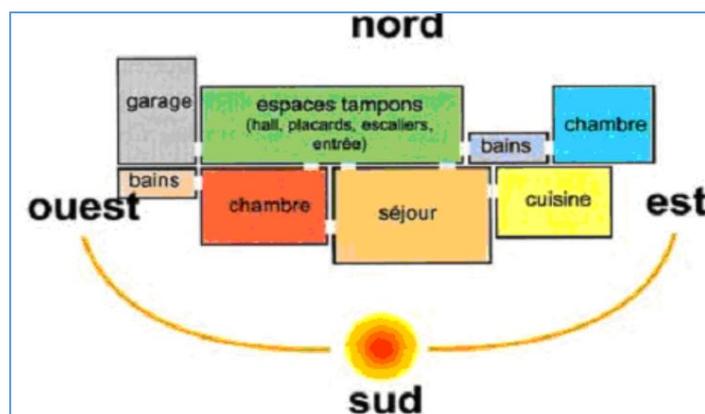


Figure I.15 : Le zoning climatique. Source : www.ademe.fr 2022-07-29 ; 19 :32.

I.6.5 La démarche HQE dans l'habitat

D'après David et Fabre (2007, p. 137), « la démarche HQE, premier pas vers une prise de conscience environnementale dans l'habitat ». Suite aux impacts négatifs que génère le bâtiment sur son environnement, plusieurs actions ont été mises en place afin de réaliser des constructions plus respectueuses de l'environnement, et d'assurer une qualité

environnementale. Cette dernière (La démarche HQE) permet de maîtriser les impacts des bâtiments sur l'environnement extérieur et de créer un environnement intérieur sain et confortable. Pour ce faire, une association HQE (haute qualité environnementale) fut créée en 1996. Elle est devenue Alliance HQE-GBC France⁷ depuis 2004.

Cette démarche HQE vise à inscrire les principes du développement durable dans le secteur du bâtiment. Elle s'inscrit principalement dans une recherche de qualité telle la qualité architecturale, la qualité fonctionnelle, qualité technique, pérennité et maîtrise des coûts. Elle vise essentiellement une plus grande qualité du cadre de vie pour les usagers durant tout le cycle de vie du bâtiment. Liébard et de Herde (Op, cité, p.186), ont mentionné qu'afin « de développer la qualité environnementale des bâtiments neufs ou existants, les cibles de cette démarche se déroulent autour de deux grands volets à savoir :

Premièrement. - préserver l'environnement en incluant les valeurs de l'éco construction de part une relation harmonieuse des bâtiments avec leur environnement ». De plus il s'agit de tenir compte du choix des produits de construction, l'organisation de chantiers à faible nuisances. De l'éco construction on passe à l'intégration de l'éco énergie, c'est-à-dire à la gestion de l'énergie, de l'eau, des déchets et de l'entretien et la maintenance.

Deuxièmement. - privilégier la qualité de vie, qui englobe le confort avec ses différents types ; hygrothermique, acoustique, visuel et olfactif. Préserver également la santé y compris les conditions sanitaires des espaces, qualité sanitaire de l'air et qualité sanitaire de l'eau » (fig. I.14).

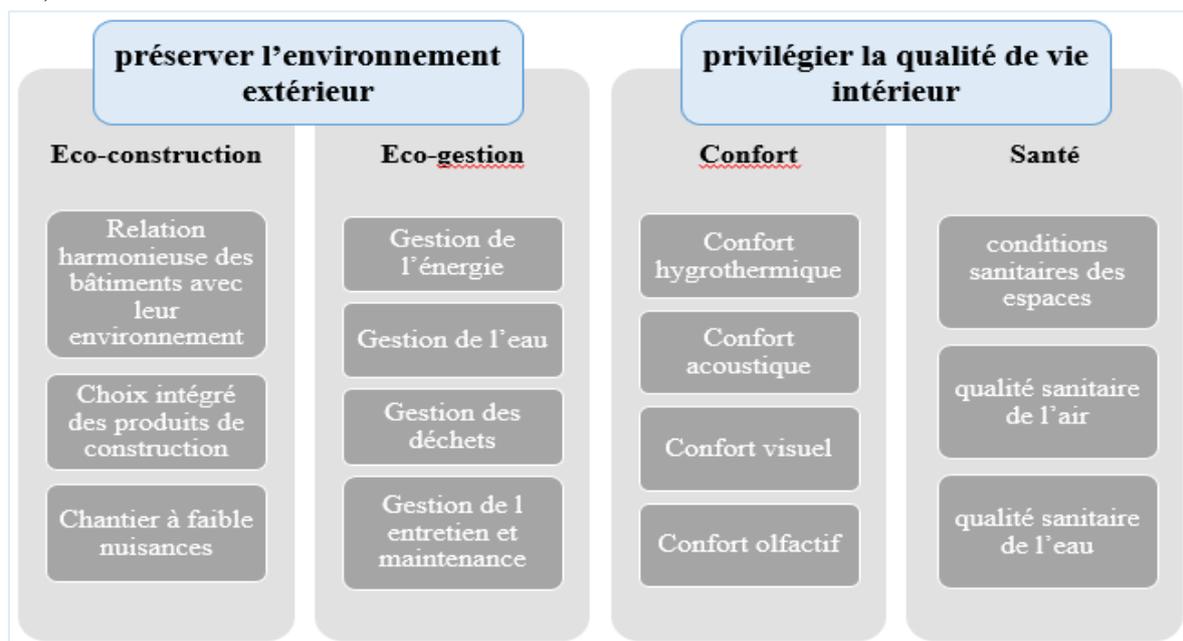


Figure I.16 : Les 14 Cibles de la Haute Qualité Environnementale des bâtiments. Source : L'auteur, 2021.

⁷ Association HQE-GBC est une association française à but non lucratif, reconnue d'utilité publique en 2004. Elle s'implique à inscrire la construction des bâtiments dans un projet de développement durable. Site de consultation : https://fr.wikipedia.org/wiki/Association_HQE_-_2022-07-29_à_11:45.

Dans cette mesure, la prévention et la préservation de la qualité sanitaire de l'air est cités dans la 13^{ème} cible qui inclue six sous-cibles, qui sont :

- Gestion des risques de pollution par les produits de construction.
- Gestion des risques de pollution par les équipements.
- Gestion des risques de pollution par l'entretien ou l'amélioration.
- Gestion des risques de pollution par le radon.
- Gestion des risques d'air neuf pollué.
- Ventilation pour la qualité de l'air (Schriver, Op, Cit., p.229).

I.7. Conclusion

A propos de ce chapitre, on a vu que l'habitat est une fonction sociale, économique et culturelle qui a de plus d'abriter et de protéger ses occupants contre les forces naturelles et physiques celui-ci constitue un lieu régulateur d'activité effectué par chaque habitant. C'est un ensemble plus grand et plus complexe qui réunit la vie de l'individu dans sa famille et son voisinage pour atteindre le besoin de la vie collectif et social. Ce concept a évolué à travers le temps et le lieu dont il a connu une diversité des formes d'habitat (rural/urbain, traditionnel/moderne, individuel, collectif et semi collectif).

On conclue également que la production de l'habitat collectif en Algérie depuis l'indépendance passe par le système de création de zone d'habitat collectif (ZHUN) qui a été caractérisés par l'urgence avec acuité de l'intérêt porté sur la satisfaction rapide des besoins en logement. Et la nouvelle stratégie nationale de l'habitat qui a contribué à la diversification des aides, adaptées aux revenus des ménages, pour l'acquisition des logements.

Cependant, la conception et l'usage de l'habitat collectif est discutable puisque le passage d'un espace ouvert (l'habitat traditionnel) a un espace clos entraîne aujourd'hui des modifications et occasionne des usages nouveaux résultant de la mutation de l'habiter traditionnel vers un habiter en vase clos.

On arrive au final à une meilleure compréhension de la conception de l'habitat de par le langage cohérent et harmonieux entre la forme de l'habitation et la recherche du bien-être et du confort des occupants à travers la démarche bioclimatique et la démarche HQE. Ces derniers permettent de maîtriser l'impact du bâtiment sur son environnement, en cherchant à adapter l'habitat au climat environnant dont le but de créer un environnement intérieur sain et confortable toute l'année.

CHAPITRE II : LA VENTILATION : UN DETERMINANT PASSIF ET ACTIF DU CONFORT SANITAIRE

II.1. Introduction

Selon ce qui est présenté dans le chapitre précédent l'habitat a pour fonction principale de protéger l'occupant contre les agressions climatiques extérieures, dont le but est de réaliser les conditions du bien-être. C'est pourquoi, le présent chapitre va aborder et traiter le concept de la ventilation en tant que déterminant passif et actif permettant d'améliorer le confort thermique et surtout sanitaire et hygiénique dans l'habitat. De ce fait, il est utile de donner une définition de la ventilation naturelle (ses principes et son rôle), de la ventilation mécanique et hybride.

Ensuite, on met l'accent sur le rôle de la ventilation (soit naturelle ou mécanique) dans la réalisation du confort sanitaire. Elle permet non seulement d'assurer l'aération, le renouvellement de l'air et le refroidissement du bâtiment, mais aussi d'atteindre une bonne qualité de l'air intérieur à travers l'élimination de toute source de substances nocives afin de réaliser l'hygiène du bâtiment. Car ces éléments polluants peuvent provoquer des conditions de confort inacceptables, ils soumettent l'occupant à de multiples désagréments en lui causant par conséquent des risques sérieux sur le plan de sa santé et de son bien-être.

Ce deuxième chapitre va se finir par l'explication des différents dispositifs et techniques de contrôle des débits de renouvellement d'air qui ont pour rôle d'assurer un débit au strict nécessaire pour garantir une qualité d'air correcte en hiver comme en été. Ainsi que par l'exposé du cadre réglementaire relative à la ventilation dans les bâtiments d'habitation.

II.2. Le paramètre vent

Physiquement le paramètre vent signifie l'air en mouvement, revient aux variations de pression et de température de l'atmosphère sur différents points de la terre.

La terre est entourée d'anneaux de surpressions et de dépressions et des courants d'air atmosphériques s'établissent entre eux. Aux deux pôles règne un régime de vents dirigés de l'intérieur vers la côte. Au-delà des cercles polaires les vents dominants sont de l'Est. Dans les zones tempérées entre 40 et 60° de latitude soufflent les grandes brises d'Ouest (Sud-Ouest dans l'hémisphère Nord et Nord-Ouest dans l'hémisphère Sud compte tenu du sens de rotation de la terre). (Bouhidel, 2013, P.11)

La vitesse du vent dépend de la hauteur libre au-dessus du sol, de la sinuosité et du relief local. Au voisinage du sol, il crée des ralentissements des filets et courants d'air qui poussent à la formation de tourbillons. Lorsque le vent rencontre une colline à pente, on obtient un renforcement de la vitesse des couches d'air près du sommet par ce que l'on appelle l'effet Venturi (un fluide passant dans un étranglement est contraint d'y circuler plus vite) (Alain Liébard, André De Herde, Op, cité.).

II.2.1. Les vents de vallée

Les profils de vitesse qui ont été déterminés dans les vallées ont permis de constater que la vitesse maximum du vent est observée à un niveau qui est sensiblement égal à la moitié de la profondeur de la vallée.

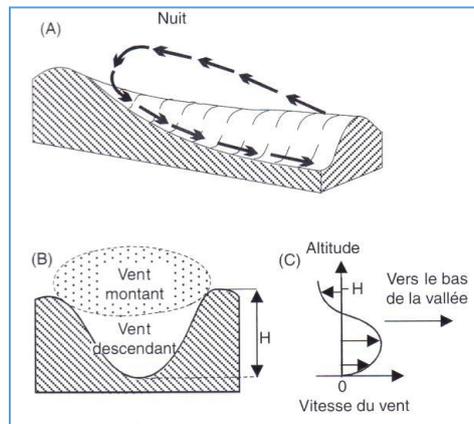


Figure II.01 : Les vents de vallée. Source : Reiter, 2007.

II.2.2. Les vents de pentes

En plus des courants montant ou descendant les vallées, les gradients thermiques peuvent engendrer des vents de pente sur les versants mêmes de la vallée pour aboutir à une circulation relativement complexe.

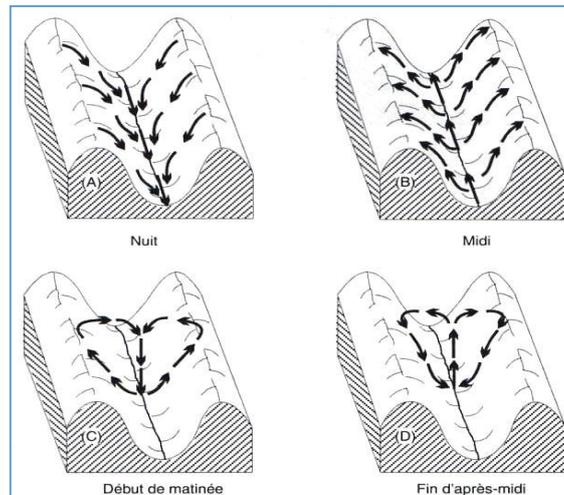


Figure II.02 : Les vents de pentes. Source : Reiter, 2007.

II.2.3. Effets des obstacles aérauliques

Pour qu'il y ait ventilation effective, il faut que le vent puisse accéder aux abords immédiats des constructions sans être exagérément freiné par des obstacles. Les obstacles de proximité Aa savoir la topographie du site, l'environnement immédiat naturel ou construit influent la potentialité de la ventilation des bâtiments. L'influence peut se faire sentir jusqu'à une distance de 4 à 12 fois sa hauteur. Cette distance est en fonction des caractéristiques géométriques des obstacles, de leur orientation par rapport au vent, de leur implantation et de leur porosité. (Voir figure I.5)

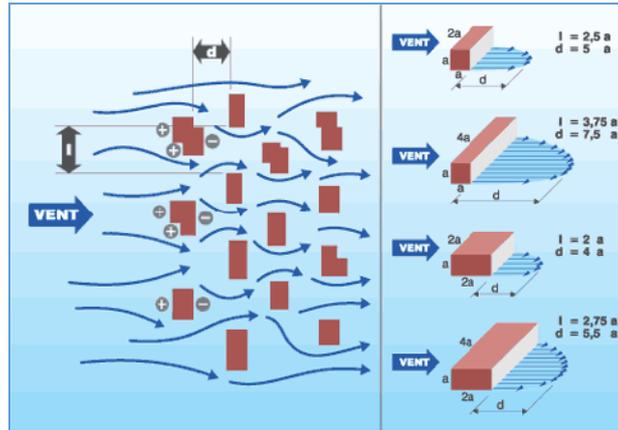


Figure II.03 : Les obstacles aérauliques. Source : Liébard, Op, cité.

Juste derrière un obstacle se crée une zone tourbillonnaire. Le potentiel de ventilation d'une habitation placée dans une telle zone est fortement réduit car la façade exposée au vent n'est plus en surpression. (Voir figure I.6)

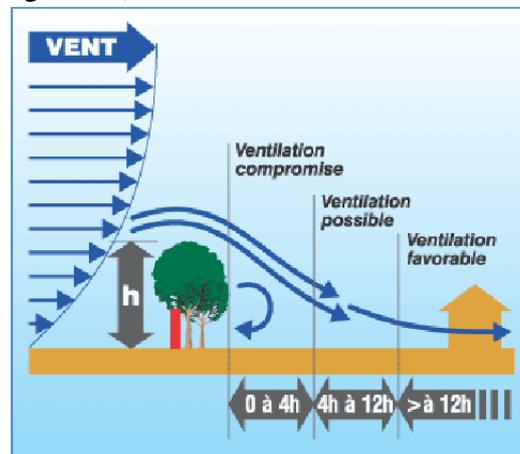


Figure II.04 : Effet des obstacles aérauliques. Source : Liébard, Op, cité.

II.3. Le concept de ventilation

La ventilation est un déterminant fondamental dans le domaine du génie climatique, parce qu'elle répond à des besoins d'hygiène et de confort pour l'individu dans ses différents lieux de vie (habitat, lieu de travail, commerces, loisirs, hôpitaux...). Qu'elle soit réalisée de façon naturelle ou mécanique, elle est indispensable à l'obtention d'un air ambiant de bonne qualité. Elle vise en particulier à :

- Apporter de l'air neuf, afin d'éviter les situations de confinement et permettre le bon fonctionnement des appareils à combustion ;
- Évacuer l'air vicié par divers polluants ;
- Lutter contre l'humidité et les condensations de moisissure.

II.3.1. Définition du concept

La ventilation est un concept qui porte singulièrement sur le déplacement de l'air plus ou moins vicié dans un espace clos et son remplacement par de l'air pur. Le terme ventilation comprend l'idée de mouvement. D'après Haridi (2017-2019) la ventilation est la force motrice naturelle ou artificielle par laquelle se détermine le déplacement de l'air.

En cela, la ventilation constitue le processus par lequel l'air intérieur est renouvelé à l'aide de moyens naturels ou mécaniques, dans le but de diluer ou de déplacer les contaminants présents et d'assurer le confort des occupants. Corrélativement on peut définir l'aération d'une habitation comme l'action de renouveler l'air dans le milieu considéré ou de donner accès à l'air dans un espace clos.

II.3.2. Evolution du concept

La ventilation naturelle est la forme la plus ancienne de ventilation qui existe. Toutes les civilisations à travers le monde ont cherché à ventiler leur milieu de vie, soit en pratiquant de simples ouvertures dans les murs ou par des dispositifs plus performants tels que les « moucharabieh » ou les « malquaf » (tour à vent).

À la fin du XIX^{ème} siècle et suite au développement des textes d'hygiénistes et de réformateurs tels que « Villermé, Parent-Duchâtelet, François Benoiston de Neufchateau ou Alphonse Chevalier » cités par Jarrige et Thomas Le Roux (2019, p.6). Ces chercheurs ont étudié l'habitat des classes ouvrières, ils ont montré que le besoin de ventiler les espaces intérieurs s'accroît. De plus, « l'augmentation des espaces fermés, ainsi que l'apparition de l'éclairage, au gaz et du chauffage ont également contribué au développement des techniques de ventilation » (Simon, Hauglustaine, 2001).

Ainsi la problématique énergétique qu'a connu le monde à pousser les concepteurs du bâtiment à réduire les déperditions à travers l'élimination des fuites d'air, de par une étanchéité accrue de l'enveloppe du bâtiment (fenêtre étanche, pare-vapeur continu). Ce mode de construction a contribué à réduire le taux de renouvellement d'air et par conséquent augmenter la concentration des différents polluants à l'intérieur des habitations en créant ainsi une mauvaise qualité d'air intérieur.

Face à cette situation, l'utilisation d'une ventilation naturelle de l'habitation s'impose. Néanmoins, ce type de ventilation qui se fait à travers les ouvertures murales, seules sources d'alimentation d'air frais et d'évacuation de l'air vicié, donne un débit de ventilation non constant parce qu'il dépend de la pression des vents, leur durée, leur orientation et de la dimension des ouvertures situées sur les façades, et d'autres paramètres liés au mode de vie de l'occupant.

C'est pourquoi, il y a lieu de dire que le système de ventilation mécanique est apparu pour renforcer l'aération naturelle. Ce processus de ventilation contrôlée consiste à évacuer l'air vicié présent surtout dans les espaces humides (cuisines, salles de bain, WC...) vers l'extérieur. C'est ce qu'on appelle une installation de ventilation mécanique à simple flux. Pour l'installation de ventilation contrôlée à double flux, il s'agit en plus de l'extraction mécanique de l'air vicié, de pulser l'air neuf dans espaces dits "secs" (séjours, chambres, etc.).

Or, l'installation de ventilation mécanique à double flux avec récupération de chaleur sur l'air extrait est apparue pour améliorer la qualité de l'air toute en favorisant une économie d'énergie.

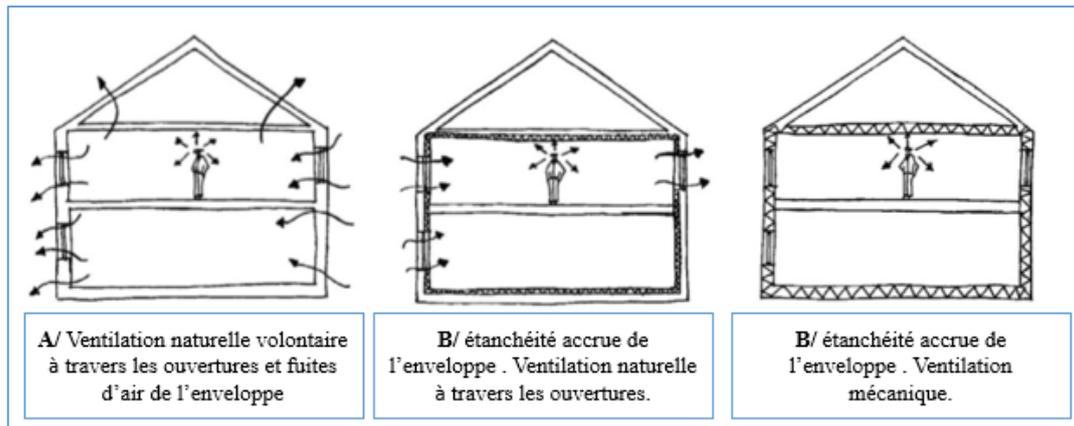


Figure II.05 : Evolution de la ventilation. Source : Simon, et al. 2001.

II.4. Ventilation naturelle

Selon (Thévenet, 2016, p. 1), on passe 80% à 90% de notre existence dans des espaces clos, plus ou moins pollué. On est donc relativement peu exposé à l'air extérieur par rapport à l'air intérieur. D'un autre côté l'environnement intérieur peut théoriquement contenir divers types de contaminants auxquels les occupants sont susceptibles d'être exposés.

Cette situation nécessite de ventiler les espaces habités afin d'assurer une qualité sanitaire de l'air intérieur qui contribue à mettre fin à la présence des contaminants gênants la santé des occupants, et par conséquent avoir un bâtiment sain et confortable dans lequel les occupants peuvent travailler et y vivre en bonne santé.

II.4.1. Définition

Une ventilation est dite naturelle si celle-ci ne nécessite pas un système d'installation d'équipement mécanique. Selon Roulet (2012, p. 114) la ventilation naturelle « constitue la méthode passive permettant d'assurer la qualité de l'air par le contrôle de débit d'air poussé par les forces naturelles (vent, différence de température) au travers des ouvertures ». De ce fait elle se base sur le renouvellement d'air dans toute habitation où séjournent des personnes, en exploitant les forces du vent et de la flottabilité de l'air.

Pareillement, on peut définir la ventilation naturelle par le refroidissement passif qui vise à réduire les apports solaires, en installant des protections solaires efficace, ensuite en évacue l'excédent de chaleur en ventilant fortement. Le refroidissement passif comprend donc deux périodes. Une première période de refroidissement, tant que la température extérieure est inférieure à la température intérieure, C'est-à-dire au moment où les fenêtres sont ouvertes. On constate à ce niveau, que l'air chauffé par la structure s'échappe, et que l'air frais extérieur entre pour refroidir l'intérieur des bâtiments.

Deuxièmement, survient la période de protection ; on constatons pour ce cas, d'après Roulet (Op,cit, P. 54) « si la température de l'air extérieur est plus élevée que celle de l'air intérieur, la ventilation est réduite au minimum nécessaire pour assure une bonne qualité de l'air ».

Dans un autre sens, la ventilation naturelle se base sur le renouvellement de l'air intérieur. Selon Schriver, (Op,cit, P.148) « Le taux de renouvellement d'air est le rapport entre le volume d'air neuf renouvelé pendant une heure et le volume du local. C'est le nombre de fois que l'air d'un

local a été renouvelé. Par exemple un taux de renouvellement d'air de 2h⁻¹ dans une pièce de 300m³ indique que, chaque heure, le volume d'air de la pièce a été renouvelé deux fois. Le volume d'air renouvelé est donc de 2 (h⁻¹). 300 (m³) = 600m³. Ce qui correspond à un débit d'air de 600 m³/h ».

L'intérêt de la ventilation naturelle réside dans sa capacité d'être exploitée en tant que ressource gratuite et abondante tout en restant un système silencieux offrant un environnement calme, sans entraîner de surcoût à la conception du bâtiment. En ce sens, la ventilation naturelle favorise la circulation d'air dans l'espace clos. C'est ce qui participe en premier lieu au maintien de la qualité de l'air intérieur, en diluant les différents polluants (les odeurs de toilette, odeurs de cuisine et fumée de tabac, la vapeur d'eau et le gaz carbonique ...etc.).

De même, elle participe à l'amélioration du confort thermique, en éliminant le surplus de chaleur. Elle refroidit passivement la masse interne du bâtiment tout en contrôlant l'humidité intérieure afin d'éviter toute formation de moisissure ou de condensation. Sachant qu'en climat humide la ventilation aide à refroidir l'habitation, tandis qu'en climat sec elle induit l'évaporation de la sueur.

II.4.2. Principe de fonctionnement

La ventilation naturelle se base sur l'interaction entre les sollicitations météorologiques (profil du vent, l'écart de température intérieur et extérieur) et le bâtiment, ce qui permet de créer naturellement une circulation d'un flux d'air à l'intérieur du bâtiment. Cela sera dominé par deux phénomènes physiques.

II.4.2.1. Différence de pression

Le premier phénomène est le mouvement de la force du vent, en effet, le vent a pour effet d'augmenter la pression sur la façade au vent, et d'abaisser la pression sur les autres façades et sur le toit (Roulet, Op,cit, p.115) (voir figure I.2).

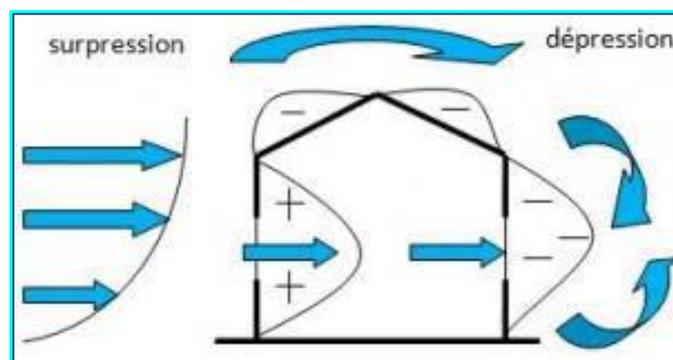


Figure II.06 : Effet du vent sur le bâtiment. Source : (Liébard 2005, K.Dohsi, 2017, p.11).

Lorsque le vent frappe un bâtiment, il crée une surpression sur la face exposée tandis que la face opposée est en dépression. L'air s'écoule à travers les ouvertures situées sur la façade en surpression pour sortir des ouvertures situées au niveau de la façade en dépression, ce qui permet de faire circuler l'air intérieur, créant ainsi une ventilation transversale (Voir figure II.3).

L'efficacité de ce système traversant dépend fortement du profil de vent, du site ainsi que du dimensionnement et de la position des ouvrants par rapport à l'axe du vent.

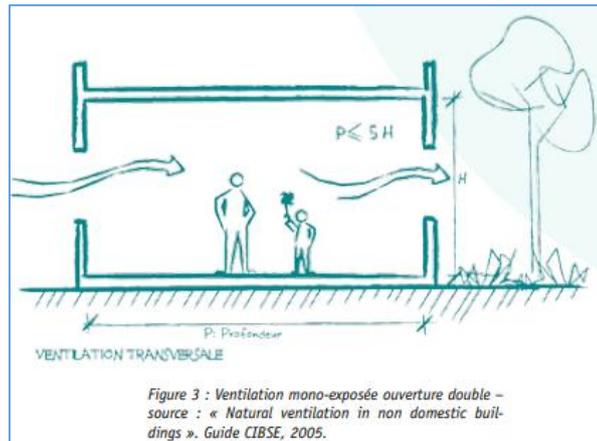


Figure II.07 : ventilation transversale. Source : Guide CIBSE, 2005.

Pour favoriser la ventilation naturelle, l'architecte doit aussi étudier le régime local du vent. L'angle entre 30 et 60° permettra une meilleure ventilation. Également bâtiment orienté à 45° par rapport aux vents dominants maximisera les surpressions et les dépressions favorisant ainsi la ventilation naturelle. Selon Faggianelli (2014, p. 14) « Dans la réglementation thermique des départements d'Outre-Mer [DOM], l'angle d'incidence entre le vent dominant et la paroi contenant l'ouverture doit être inférieure ou égal à 45°. ».

Dans le cas d'une ventilation mono-façade (Voir figure II.4) dont l'air extérieur entre par une ouverture et sort de la même ouverture ou d'une autre ouverture sur la même façade, il faut que la surface d'ouvrant corresponde à environ 1/20 de la surface du plancher à ventiler, la hauteur d'ouvrant d'au moins 1.5 m et la profondeur de la pièce à ventiler est à 2.5 fois la hauteur sous plafond. (Ferradji, 2017, p. 22).

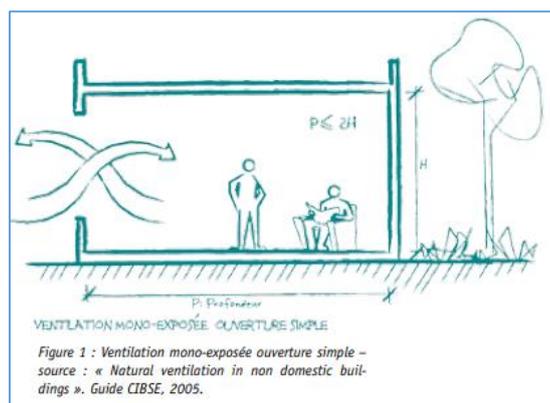


Figure II.08 : ventilation à simple exposition. Source : Guide CIBSE, 2005.

II.4.2.2. Tirage thermique

Lorsque la ventilation transversale n'est pas possible, vue l'absence du vent, Le deuxième phénomène qui est la convection de l'air reste la meilleure technique pour bénéficier d'une

ventilation naturelle. Il est possible tant qu'il y a une différence de densité de l'air. Selon le principe de la poussée d'Archimède⁸ l'air chaud a tendance à monter et l'air froid à descendre.

Dans ce principe de tirage thermique, la position des ouvrants s'obéit à d'autres consignes, Une entrée d'air neuf en bas des pièces principales permet à l'air extérieur neuf de s'occuper le vide en traversant le logement, dont l'air chaud sera évacuer par un orifice en haut des pièces humides. Cette stratégie de ventilation est efficace en été (durant la nuit) car l'inertie thermique des bâtiments entretient souvent des écarts de température d'au moins 10°C entre l'intérieur et l'extérieur (Dohsi, 2017, P14).

La pression motrice causée par le tirage thermique est en rapport direct avec la hauteur du conduit de ventilation et avec la différence de la température entre l'intérieur et l'extérieur.

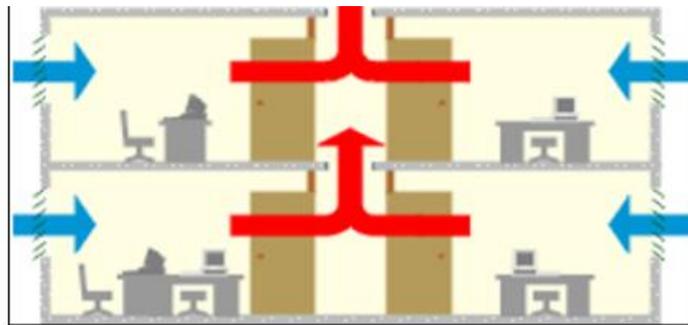


Figure II.09 : Ventilation par tirage thermique. Source : (Liébard 2005 ; Dohsi, 2017).

II.4.3. Le rôle de La ventilation naturelle

Dans le bâtiment résidentiel, les besoins en ventilation naturelle découlent principalement de la nécessité de maîtriser les dépenses énergétiques, d'éliminer les contaminants inévitables présents dans le bâtiment et d'améliorer le confort hygrothermique. Pour cela, elle pouvait occuper trois fonctions principales à savoir le rôle hygiénique, le rôle de confort et le rôle d'entretien.

II.4.3.1. Le rôle hygiénique

Selon Wullens, (2015, p. 1), la ventilation vise la préservation de la santé des occupants, « elle limite les concentrations de monoxyde de carbone, de dioxyde de carbone, de germes, de microorganismes, de formaldéhydes et de composés organiques volatils, apte à provoquer des réactions allergiques chez les occupants ».

Autrement dit, la ventilation peut faire face à l'accumulation des polluants et d'odeurs désagréables générés à l'intérieur des espaces habités, à travers le maintien d'un débit d'air hygiénique qui favorise une bonne qualité de l'air intérieur par le remplacement d'air vicié de par l'air dit neuf, nécessaire à la respiration et à la bonne santé des occupants. Le débit de ventilation hygiénique dépend de l'espace ; de ses dimensions, sa densité d'occupation, et son utilisation. Ainsi que de l'environnement extérieur (humidité, température, type de polluant... etc.).

⁸ Cf. La *poussée d'Archimède* est une force qui s'exerce sur un corps plongé dans un liquide Elle est égale au poids du volume d'eau déplacé et s'applique au centre géométrique de ce corps. C'est le principe d'Archimède que tout le monde connaît. Découverte par Archimède en 247, avant notre ère,

II.4.3.2. Le rôle de confort

D'abord, et d'après Faggianelli (Op.cit, p. 5) la ventilation naturelle permet de diminuer la sensation de chaleur et d'améliorer le confort d'été en refroidissant le bâtiment grâce aux échanges thermiques entre l'air extérieur et intérieur de l'habitation. C'est une réponse au confort écologique. Cela peut s'effectuer en deux périodes ; pendant la journée, si l'amplitude thermique entre le jour et la nuit est faible et donc que le rafraîchissement passif nocturne n'est pas pertinent, l'objectif de la ventilation est d'améliorer le confort physiologique de l'occupant en créant un mouvement d'air dans la pièce.

Cependant, elle peut s'accompagner par une augmentation des températures, dès lors que la température extérieure est plus élevée que celle à l'intérieur. Tandis que, la nuit on profite du fort écart de température entre le jour et la nuit (amplitude thermique) en stockant du froid grâce d'une bonne inertie (structure lourde) et d'une bonne isolation, afin d'assurer le confort thermique en journée.

Cette stratégie de Sur ventilation nocturne est décrite Par Stephan (2010) comme « l'une des méthodes les plus répandues actuellement pour limiter le besoin de climatisation en été dans les bâtiments conçus récemment en France ». Son intérêt est démontré par de nombreuses études, tel qu'une étude réalisée au Royaume-Uni, qui affirme que la ventilation nocturne permet jusqu'à 40% d'économie d'énergie si le bâtiment est optimisé pour une ventilation naturelle traversant (Faggianelli, Op, Cit., p. 10).

II.4.3.3. Le rôle d'entretien

La ventilation vise aussi la préservation de l'intégrité du bâtiment, dont elle permet de limiter les risques de condensation, de sécheresse, de moisissure, de champignons et d'acariens de poussière (Wullens, Op. Cit., p. 120). Qui sont des problèmes d'ordre esthétique mettant en péril la salubrité du bâtiment. Son rôle esthétique permet d'entretenir le bâtiment, en préservant les structures et les revêtements intérieurs.

Dans les espaces qui ont connu une forte production de vapeur d'eau (cuisine, SDB) ou celui qui ont connu une forte occupation, les moisissures se développent sur les murs et plafond de ces espaces. Ce qui dégrade le bâtiment et menacer la santé de l'occupant. La ventilation favorise ainsi l'élimination de ces condensations et moisissures, en remplaçant l'air humide par de l'air moins humide pour atteindre la pérennité du bâtiment dans le temps.

Face à cette obligation de remplir ses fonctions, les concepteurs de la ventilation doivent prendre en considération différentes contraintes. C'est-à-dire la ventilation ne doit pas être elle-même une source d'odeurs désagréables ou de bruits. Elle ne doit pas non plus être une source d'inconfort, ou d'introduction de contaminants provenant de l'air extérieur. Car une ventilation insuffisante peut favoriser l'accumulation d'agents polluants à l'intérieur du bâtiment. A l'inverse, une ventilation excessive peut créer des courants d'air gênant le confort des occupants.

II.5. De la ventilation naturelle à la ventilation mécanique

La ventilation naturelle est une mesure de ventilation simple, elle n'exige pas d'installation motorisée, Elle est toutefois difficile à contrôler puisqu'elle dépend de plusieurs facteurs (étanchéité accrue de l'enveloppe, différence de température entre l'extérieur et l'intérieur, vitesse du vent, comportement des occupants envers l'ouverture et la fermeture des fenêtres...etc.).

Suite à ces facteurs, il semble donc que la ventilation naturelle ne peut pas assurer les débits de ventilation recherchés en toute période de l'année. En effet elle ne peut pas assurer à elle seule le maintien de la QAI. Cela nécessite donc de développer différents dispositifs de ventilation mécanique pour répondre aux besoins de ventilation des bâtiments.

II.5.1. Définition de la ventilation mécanique

La lutte corrective contre les problèmes de ventilation naturelle cités ci-dessus encourage le recours à la ventilation mécanique. Pour Roulet (Op,cit, p.120) la ventilation mécanique est le système qui permet « le renouvellement d'air produit par un ventilateur motorisé ». Ce système consiste aussi à faire circuler l'air dans les habitations au moyen de canaux de ventilation. « Cet air est nécessairement filtré pour protéger les installations, il peut être conditionné, à savoir chauffer, refroidi, asséché ou humidifié ».

Selon Russell et al (2005), les stratégies qui incluent la ventilation mécanique permettent d'obtenir un débit de ventilation plus uniforme que celui obtenu uniquement par ventilation naturelle.

II.5.2. Types d'installation de ventilation mécanique

Le type d'installation *de ventilation mécanique* utilisé dépend du climat. Lorsque le climat est chaud et humide, il peut être nécessaire de limiter ou de prévenir l'infiltration pour réduire la condensation interstitielle (qui se produit lorsque l'air.

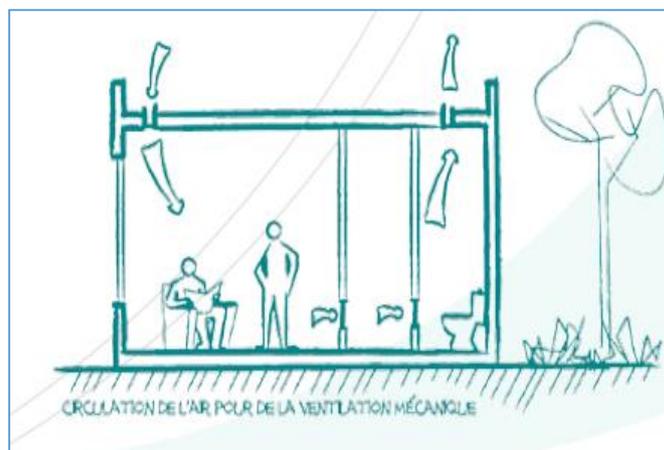


Figure II. 10 : Circulation de l'air par la ventilation mécanique. Source : Guide CIBSE, 2005.

II.5.2.1. Système à simple flux

Ce type se base sur deux mécanismes, l'un consiste à introduire l'air frais mécaniquement, il est nommé « système b ». Tandis que l'autre consiste à extraire l'air vicié mécaniquement, il est nommé « système c ». (Voir figure II.6).

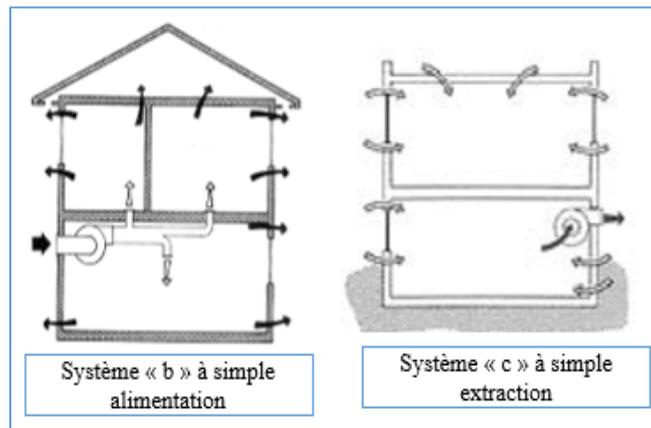


Figure II.11 : Systèmes de ventilation mécanique à simple flux. Source : Simon, et al. 2001, p, 22.

Le mécanisme du système « b » à simple alimentation repose sur la mise en place d'un ou plusieurs ventilateurs d'alimentation d'air frais de l'extérieur, puis sa distribution à l'intérieur du bâtiment à l'aide d'un réseau de conduits de distribution, en créant une pression positive. Cette dernière facilite l'extraction de l'air naturellement au moyen des orifices de l'enveloppe du bâtiment.

Ce genre de système peut être utile dans les cas où l'on soupçonne la présence de contaminants dans les murs extérieurs. En effet, le maintien de l'habitation en surpression empêche l'infiltration de contaminants provenant de l'enveloppe dans les espaces habités. Ce système, généralement central, est simple, à faible coût, et favorise une bonne distribution de l'air frais dans tout le bâtiment. De plus, il diminue les risques de refoulement et d'infiltration des gaz se dégageant du sol.

Par contre, il est d'une efficacité très réduite sur le plan énergétique et peut compromettre le confort des occupants en ventilant de façon excessive (courant d'air et réduction excessive du niveau d'humidité) (Reardon et al, 1990 ; Lajoie, et al, 2006, p.15).

Le système « c » à extraction mécanique se base sur l'expulsion de l'air depuis les locaux viciés au moyen d'un ou plusieurs ventilateurs qui le rejette à l'extérieure. L'introduction de l'air frais sera assurée naturellement par les infiltrations (fente et fenêtres de l'enveloppe du bâtiment). A l'inverse du système « b » Roulet (Op, Cit., p.121) mentionne que ce système ne permet pas de conditionner (chauffer, refroidir, humidifier, assécher) l'air, mais permet d'extraire les polluants là où ils sont générés et de contrôler le débit dans une certaine mesure.

Pour ce système « c » d'extraction mécanique, il existe deux manières d'installation, l'un est ponctuel près de la source de contaminants, tandis que l'autre est centrale qui raccorde toutes les bouches d'extraction des logements d'un même immeuble. (Voir tableau II.1)

Tableau II.1 : Types d'installation de ventilateur d'extraction dans le système « c ».
 Source : (Reardon et al, 1990, Pierre Lajoie et al, 2006, Compléter par auteur, 2021)

Extraction à la source (ponctuelle)	Extraction centrale
<ul style="list-style-type: none"> - Le ventilateur doit être installé près de la source d'émission tel que ; les salles de bain, les cuisines...etc, afin d'expulser rapidement l'humidité, les substances volatiles et les particules qui y sont générées. - Il est simple, d'installation peu coûteuse et peut facilement être mis en place. En relevant le plan de pression neutre et en diminuant les exfiltrations, il peut réduire les risques de problèmes d'humidité dans les murs et dans le toit. - L'entrée d'air étant peu ou pas contrôlée 	<ul style="list-style-type: none"> - Il nécessite la mise en place d'un réseau de conduits distinct qui raccorde toutes les bouches d'évacuation à un ventilateur central d'une capacité suffisante pour répondre à tous les besoins de ventilation de l'ensemble du bâtiment. - Il est utilisé dans les immeubles d'habitation et non plus dans les maisons individuelles qui adoptent le système d'extraction a la source. - Ce type de ventilation est plus complexe à installer et plus coûteux que les systèmes d'extraction à la source

II.5.2.2. Système à double flux ; installation à alimentation et extraction mécaniques (système d)

Ce système équilibré qui combine les deux systèmes précédents « b » et « c » repose sur le principe d'introduction de l'air neuf dans les espaces sec « séjour, chambre...) et d'expulsion de l'air vicié provenant des espaces humide « cuisine, sanitaire...) mécaniquement à l'aide de deux ventilateurs. Entre ces deux ventilateurs d'alimentation et d'extraction s'installent des conduits de distribution et d'évacuation. (Figure II.7)

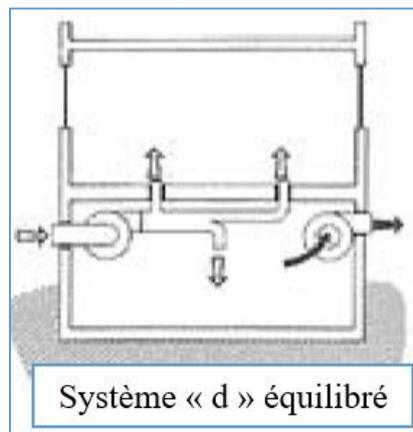


Figure II.12 : Systèmes de ventilation mécanique à double flux. Source : Simon, et al. 2001, p. 22.

On trouve ce système très souvent dans les régions à climat sévère, ou bien dans les bâtiments publics (bureau, magasin...etc) dont l'environnement est particulièrement bruyant ou pollué. L'installation de ce système équilibrée (double flux) est plus coûteuse et compliquée par comparaison avec le système à simple flux, il demande autant un entretien périodique (Concannon, 2002, Lajoie, et al, 2006).

Relativement, plusieurs compléments à ce type d'installation sont réalisables tel que l'intégration d'une unité de récupération de chaleur, un traitement de l'air en température et en

humidité pour assurer un confort optimal et un recyclage partiel de l'air (Simon, et al. 2001, p 24). En cela ce système devient capable de garantir un renouvellement d'air suffisant et de diminuer les dépenses énergétiques (Veetech, 2004 ; Reardon et al, 1990 ; Lajoie, et al, 2006).

Son efficacité thermique n'est cependant avérée que si les conditions suivantes sont respectées : une bonne étanchéité du bâtiment, une bonne étanchéité du réseau, ventilateur à base de consommation installé. Elle nécessite une mise en œuvre et un entretien soigné (remplacement des filtres 1 à 2 fois par an), elle peut aussi nécessiter un traitement acoustique dans les pièces de vie, notamment les chambres à coucher (Bernard, 2015, p.39-40).

Ce système est souvent doté de trois éléments complémentaires, qui sont notamment l'échangeur thermique, le système de recyclage et l'échangeur de chaleur. Concernant l'échangeur thermique, c'est un élément permettant de traiter l'air en température ou en humidité avant de l'introduire dans le bâtiment, afin d'assurer un confort optimal et une économie d'énergie. Ces échangeurs présentent un rendement pouvant aller de 50% à 95%. Ce rendement correspond à la capacité d'échange de chaleur entre l'air vicié extrait et l'air neuf. A titre d'exemple, si l'air extérieur est à 10 °C et l'air intérieur est à 20 °C, soit un écart de 10 °C, un échangeur à 90% récupère 90% soit 9 °C, l'air sera donc soufflé à 10 °C dans les locaux. Ces 9 °C sont autant de chauffage économisé et permettent de souffler de l'air moins froid que l'air extérieur (évite les sensations de courant d'air...) (Bernard, Op,cit, p.39).

Pour le système de recyclage une partie de l'air extrait (qui est déjà conditionné) est réintroduite dans l'air pulsé. Ceci permet de faire des économies d'énergie car seul l'air neuf doit être conditionné, l'air recyclé ne nécessitant qu'une petite correction de température ou d'humidité. Toutefois, le recyclage de l'air vicié réintroduit aussi les polluants générés dans le volume ventilé. Ce système n'est donc pas recommandé si on désire une qualité d'air irréprochable (Roulet, Op, Cit., p.121).

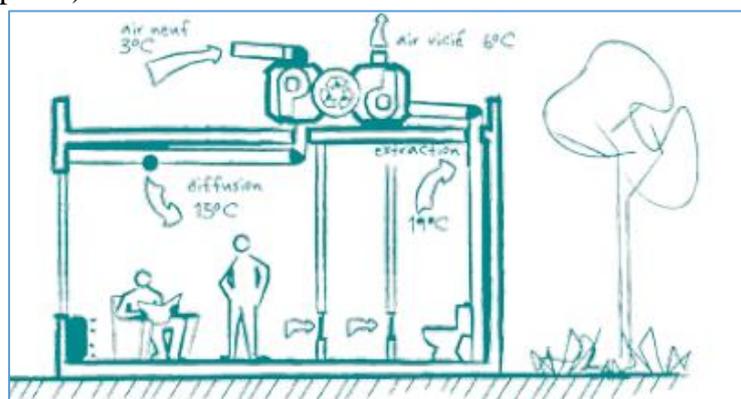


Figure II. 13 : Ventilation double flux avec attraction mécanique. Source Guide CIBS, 2005

Au final, les systèmes de ventilation mécanique double flux sont récemment dotés d'échangeur de chaleur. Celui-ci est un ventilateur récupérateur de chaleur VRC et économiseur d'énergie, il permet de récupérer la chaleur de l'air extrait et la donner à l'air frais pour le réchauffer avant son introduction dans le bâtiment.

Ce dernier système est efficace en toute période de l'année, en hiver le VRC récupère la chaleur de l'air évacué et l'utilise pour préchauffer l'air froid provenant de l'extérieur. L'appareil distribue ensuite l'air neuf dans tout le bâtiment. Les deux circuits d'air sont toujours

indépendants au sein du VRC, c'est-à-dire que l'air intérieur rejeté n'entre que très peu en contact avec l'air provenant de l'extérieur. La contamination demeure donc généralement minime.

En été, le VRC inverse ce processus d'échange thermique, en retirant une partie de la chaleur de l'air qui arrive de l'extérieur pour la transférer à l'air vicié évacué. L'utilisation du VRC durant cette période permet donc de garder l'intérieur plus frais, en réduisant la charge du climatiseur (RNC, 2003). Par ailleurs, lors de journées très humides, le système introduira une quantité importante d'humidité à l'intérieur. Cette dernière aura tendance à se condenser sur les surfaces froides comme à la base de murs mal isolés, par exemple, devenant ainsi un milieu de croissance potentiel pour les moisissures. (Pierre Lajoie, Op,cit, p.17-18).

II.5.2.3. Système sans moteur

Dans ce système, il s'agit d'installer deux sortes de ventilateur sans moteur ; statique « pagode » et rotatif « turbine ». Les deux se fonctionnent grâce à l'effet du vent et à l'effet de cheminée. Aujourd'hui, ces deux types de ventilateurs sans moteur ne sont utilisés que pour ventiler le vide sous toit (entre-toit) car, étant principalement dépendants du vent. Durant l'hiver, ils extrayaient de la maison l'air préalablement chauffé et le remplaçaient par de l'air frais qu'il fallait chauffer à son tour, entraînant ainsi un déficit énergétique important (Lajoie, Op,cit, p.19).

II.5.3. Efficacité de la ventilation mécanique

Les différents types d'installation mécaniques doivent être conçus en respectant certains critères susceptibles d'influencer sur leur rendement. Ces critères concernent d'un côté la concentration des polluants, mais aussi l'installation lui-même.

II.5.3.1. Concentration des polluants

Vue le principal intérêt de la ventilation qui est le maintien de la qualité de l'air intérieur et l'évacuation des substances dangereux, le système de ventilation mécanique ne doit pas être lui-même une source de pollution. Car selon Roulet (Op,cit, p.123), les installations de conditionnement et de distribution d'air mal conçu ou mal entretenu contiennent des sources de pollution plus ou moins graves : odeur provenant des filtres ou des conduites, moisissures ou bactéries dans les endroits humides... etc.

II.5.3.2. Installation elle-même

Le bon fonctionnement d'un système de ventilation dans son ensemble dépend de différentes parties du système (appareil, conduits). Ces éléments doivent être bien installés, adéquatement utilisés et régulièrement entretenus pour donner l'efficacité souhaitée. Par exemple, un apport d'air neuf non contrôlé et trop élevé, obtenu par un appareil inapproprié ou une utilisation inadéquate, pourrait entraîner des conditions d'inconfort (refroidissement, assèchement excessif de l'air, courants d'air) (APCHQ, 2005 ; Dessau/Siricon, 1996 ; Poullin, et al, 2016, p. 22-23).

Ajoutant à cela, une installation de ventilation mécanique soit efficace, si ne générant pas des problèmes acoustiques occasionnés par les ventilateurs ou par les conduits d'alimentation et d'évacuation. La résolution de ces problèmes d'ordre sonore se fait à travers le placement des conduits de ventilation dans des gaines maçonnées afin d'améliorer leur isolement aux bruits

aériens, ainsi qu'à travers les choix de conduites de grand diamètre pour que la vitesse de l'air y soit réduite (2m/s ou moins), ce qui réduit le bruit et la puissance des ventilateurs (Roulet, Op, Cit., p.124).

Dans une installation de ventilation mécanique, le fonctionnement des ventilateurs nécessite de l'énergie. C'est pour cette raison que l'ingénieur de ventilation doit concevoir une installation efficace, ce dernier doit minimiser les consommations énergétiques, tout en assurant une bonne qualité de l'air intérieure, mais aussi que l'installation de ventilation mécanique ne doit pas être utilisées que pour aérer pour favoriser l'hygiène intérieure. Alors que le refroidissement et le réchauffement du bâtiment sera mené de d'autres manière.

En conclusion les systèmes de ventilation mécanique peuvent souffrir de plusieurs désagréments (bruit, courants d'air dérangeants, consommation énergétique élevée, odeurs, etc.) susceptibles d'altérer la qualité de l'air intérieur et de gêner le confort de l'occupant. C'est pour cette raison, et pour une meilleure efficacité des systèmes de ventilation mécanique, le concepteur doit donc veiller en plus de la conception, à la sélection des types d'appareil, à son installation, à l'entretien ainsi qu'à son utilisation.

II.5.4. Ventilation mécanique et consommation énergétique

Du point de vue énergétique, la VMC simple flux perd la chaleur de l'air extrait et oblige à chauffer l'air neuf entrant. Cette perte est moins importante en VMC hygroréglable car, du fait de la forte réduction des débits liés à l'asservissement à l'humidité de l'air, la quantité de chaleur à fournir à l'air entrant, ou perdue sur l'air sortant, est beaucoup plus faible (fig. 8).

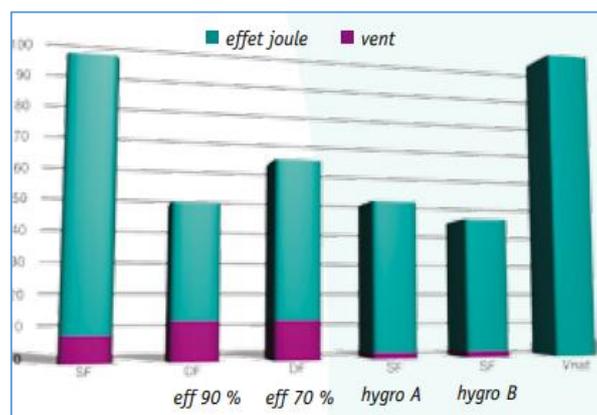


Figure III. 14 : Débit du vent et l'effet de chaleur perdue. Source : Guide CIBSE, 2005

La VMC double flux assure, par la récupération sur l'air perdu, le chauffage de l'air neuf entrant. La grande efficacité des échangeurs actuels fait que plus de 80 % de la chaleur perdue est récupérée Par contre, la VMC double flux consomme plus de deux fois plus d'énergie électrique pour les ventilateurs (deux ventilateurs au lieu d'un et le ventilateur de soufflage doit être plus puissant pour compenser les pertes de charge liées à la filtration de l'air neuf) (fig. 9).

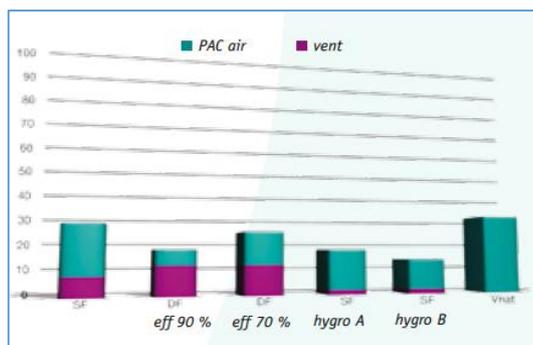


Figure III. 15 : Ventilation double flux et effet du vent produit. Source : Guide CIBSE, 2005

Le double flux est donc très intéressant où, durant la saison de chauffe, les ventilateurs fonctionnent toute l'année, consomme beaucoup d'énergie électrique par rapport au peu à l'événement produit.

Bien évidemment il convient de comparer les solutions de ventilation en réalisant un bilan global (chauffage + consommations des ventilateurs) en énergie primaire et en impacts environnementaux (fig. 10).

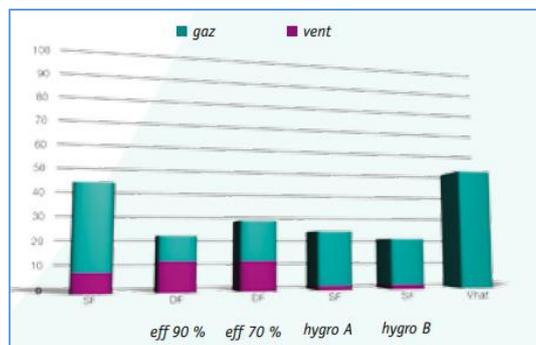


Figure II. 16 : Consommation des ventilateurs. Source : Guide CIBSE, 2005

Ainsi au niveau des consommations énergétiques l'impact de la ventilation dépend essentiellement de l'appareil de chauffage (chaudière gaz, PAC Air, Effet joule...) comme le montrent les graphiques ci-contre correspondant à des simulations réalisées pour la région parisienne, qui indiquent en violet la consommation en énergie primaire de chauffage pour compenser les déperditions par le système de ventilation et les infiltrations correspondantes ($I_4=1,2 \text{ m}^3 / \text{h}/\text{m}^2$) (unité kWhEP/ m^2SHON , météo région parisienne) (fig.11).

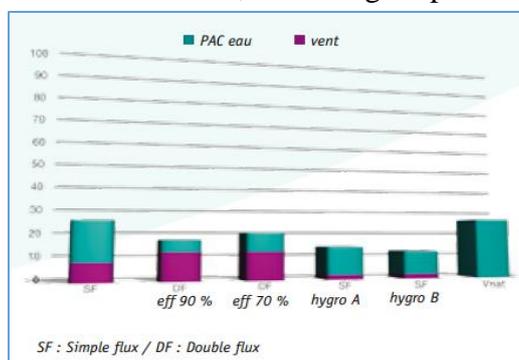


Figure II.17 : Consommation énergétique et déperdition de chaleur. Source : Guide CIBSE, 2005.

II.6. La ventilation hybride

Les systèmes de ventilation hybride sont des stratégies de ventilation naturelle assistée mécaniquement, ils combinent à la fois les stratégies passives de la ventilation naturelle et les moyens actifs de la ventilation mécanique pour maintenir un environnement confortable

La ventilation hybride est mécanique quand c'est possible. Dans ce sens, si la ventilation mécanique n'est plus nécessaire, elle doit se stopper automatiquement. Roulet (2012, p.125) mentionne qu'on peut prévoir une ventilation mécanique pour la saison froide, avec la récupération de chaleur et d'utiliser la ventilation naturelle en mi-saison et en été, c'est-à-dire lorsque la ventilation mécanique est énergétiquement moins efficace.

Le système de ventilation hybride se divise en trois types principaux. Premièrement, il s'agit de celui de l'alternance entre la ventilation naturelle et la ventilation mécanique, dont ces deux derniers sont totalement indépendants. Le deuxième type est celui de la ventilation naturelle assistée, qui est une ventilation combinée avec un ou plusieurs ventilateurs à basse pression et fonctionnant en extraction ou en insufflation.

Les ventilateurs sont mis en marche lorsque les forces du tirage thermique et du vent ne sont plus suffisantes pour assurer les débits d'air requis. Enfin, le dernier type est celui de la ventilation mécanique assistée basée sur un système de ventilation mécanique à très basse pression où les moteurs naturels (vent et tirage thermique) peuvent avoir une part considérable dans la dépression nécessaire aux débits d'air.

II.7. Ventilation et confort sanitaire

Pour réussir la mise en place d'une ventilation pour améliorer le confort sanitaire, celle-ci doit être considérée comme un élément fondamental des solutions de technique de bâtiment qui rendraient l'intérieur particulièrement sain

II.7.1. La dimension du confort dans l'habitat

Le dictionnaire Trésor de la langue française en donne deux définitions du mot confort, à savoir : « C'est l'ensemble des commodités matérielles qui procurent le bien-être » et « Tout ce qui assure le bien-être de l'esprit et sa tranquillité ».

Également (Slater, 1986) formule une définition plus complète du confort, en disant que le confort : « un état plaisant d'harmonie psychologique, physiologique et physique entre un être humain et son environnement »

Ce concept peut s'exprimer par deux dimensions. Une dimension matérielle qui exprime le confort physique qui se rattache aux sensations du corps humain (physiologique) et à ses besoins primaires pour pratiquer un environnement de vie.

La seconde est psycho-perceptif, elle exprime les interprétations psychosociologiques des commodités des milieux de vies, qui se rattache au confort d'ambiance tel que ressenti et apprécié par l'individu.

Certes, un bâtiment doit être conçu pour protéger ses habitants des aléas du climat, et leur assurer un environnement intérieur sain et confortable tout au long de son cycle de vie, de la genèse, la matérialisation, l'utilisation, l'entretien à la déconstruction. En fait, assurer une

qualité de l'environnement intérieur, c'est avant tout assurer le confort respiratoire, olfactif et sanitaire pour lesquels la qualité de l'air intérieur doit être acceptable ou mieux agréable.

II.7.1.1. Le Confort respiratoire

L'air qu'on respire en espace clos, surtout dans la présence de polluants dangereux, peut avoir des effets sur le confort et la santé, depuis le simple gêne (odeurs, irritation des yeux et de la peau) jusqu'au développement de pathologies tel que l'allergie respiratoire (Liébard, Op. Cit., p. 33). Il devient infecté avec une élévation des températures internes, une augmentation du taux d'humidité, une concentration de gaz carbonique et une mauvaise odeur.

A cet effet, le confort respiratoire peut se définir comme l'ensemble des éléments et commodités qui procurent le bon déroulement du processus métabolique et le bon fonctionnement de système respiratoire, grâce à une bonne qualité d'air intérieur. Cette dernière sera assurée par une ventilation adéquate des espaces clos et une réduction des polluants à la source. De ce fait l'aération et le renouvellement de l'air constituent les garantes d'un meilleur confort respiratoire et d'une meilleure santé.

Le confort respiratoire dépend donc de la qualité de l'air intérieur. Cette dernière est liée à différents facteurs comme les pollutions qui viennent de l'intérieur. Ces polluants sont toujours composés d'éléments organiques volatiles (COV) émis par les bâtiments (peintures, colles, textiles...) et les activités (produits de nettoyage, bricolages, marqueurs...).

Le CO₂, émis par la respiration des occupants pose un problème si sa concentration devient forte. Dans ce cas, la respiration devient très difficile.

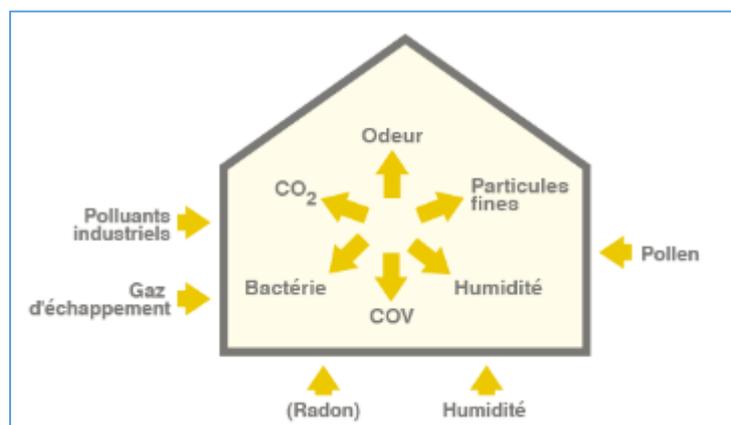


Figure II. 18 : La qualité de l'air intérieur et l'effet des polluants, Source : Bien-être et confort respiratoire.

II.7.1.2. Le confort olfactif

Le confort olfactif, s'exprime par l'absence d'odeurs désagréables dans l'habitat. Selon Alain Liebard (2005), une odeur est un ensemble de composés chimiques présents dans l'air et que notre système olfactif perçoit, analyse et décode pour fournir un jugement qualitatif sur l'ambiance olfactif. Dans le bâtiment les sources d'odeurs sont multiples, ils peuvent provenir des produits de constructions, des équipements ou encore du métabolisme des occupants et leurs activités domestiques telles que la fumée de cigarette, la cuisson...etc.

Le confort olfactif n'est pas mesurable, dont il n'y a pas de valeurs limites pour estimer les odeurs. A cet égard O. Fanger a pu établir le lien entre le pourcentage d'insatisfaction, l'intensité des odeurs et la teneur en CO₂. Ses recherches ont permis de distinguer l'air vicié d'un local de l'air extérieur frais quand la teneur en CO₂ s'élève au-dessus de 0.15% en volume.

II.7.1.3. Le confort sanitaire

L'action d'assainir et d'assurer une qualité sanitaire de l'air intérieur est indispensable pour mettre fin à la présence des agents microbiennes et odeurs, et par conséquent atteindre des conditions d'hygiène satisfaisants.

En cela, le confort sanitaire et hygiénique s'exprime par le maintien d'une bonne qualité de l'air intérieur nécessaire à l'hygiène du bâtiment et à la bonne santé des occupants.

La ventilation des bâtiments s'avère toujours une mesure indispensable pour réaliser le bien-être et le confort sanitaire, hygrothermique, olfactif et respiratoire. Elle participe en premier lieu dans l'évacuation de l'excès de chaleur et d'humidité pour limiter le risque d'apparition des condensations et de moisissures. Puis elle permet de renouveler l'air afin d'évacuer les polluants, la vapeur d'eau et les odeurs désagréables, en visant à assurer une bonne qualité d'air intérieur nécessaire à la bonne respiration des occupants.

II.7.2. Amélioration du confort sanitaire

L'amélioration de l'aération du bâtiment, qui conduit à son tour à l'amélioration des conditions de confort sanitaire se matérialise à travers trois manières de ventilation à savoir ; une ventilation involontaire, une ventilation par ouverture de fenêtre, et une ventilation par dispositif mécanique.

II.7.2.1 Ventilation involontaire

C'est une méthode de ventilation passive non contrôlée par l'humain, vu qu'elle peut s'effectuer involontairement et d'une manière continue au niveau des défauts d'étanchéité de l'enveloppe du bâtiment. Particulièrement au moyen des fentes et joints présents tout autour de menuiseries des portes et fenêtres, ainsi au niveau des trous présents dans l'enveloppe du bâtiment (trou pour le chauffe-bain, le chauffage, la hotte de cuisine...etc). Ou encore, à cause d'une mauvaise isolation.

Ces éléments de fuite d'air favorisent l'échange d'air entre l'intérieur et l'extérieur, en créant un certain renouvellement de l'air vicié de par l'introduction de l'air frais et l'évacuation des polluants, favorisant ainsi une qualité sanitaire de l'air intérieur. Suite au politique d'économie d'énergie, le mode de construction actuel recommande d'accroître l'étanchéité du bâtiment pour diminuer les pertes thermiques. Cela limite les échanges d'air entre l'intérieure et l'extérieur, en réduisant l'aération involontaire des bâtiments, ce qui conduit à l'accumulation des contaminants générés à l'intérieur des locaux, en dégradants la qualité d'air « QAI ».

À titre d'exemple, une étude portant sur des résidences unifamiliales localisées dans neuf grandes villes américaines a démontré que l'augmentation de l'étanchéité des bâtiments

pourrait engendrer une réduction de la ventilation naturelle passive de l'ordre de 5 % d'ici 2050 (moyenne de tous sites, toutes saisons, toutes projections climatiques) ainsi qu'une augmentation concomitante des concentrations des contaminants de l'air intérieur de l'ordre de 6 % (Ilacqua et collab., 2015 ; Poulin, op,cit, p.28).

II.7.2.2. Ventilation volontaire par l'ouverture de portes et fenêtres

Il est possible d'améliorer le confort sanitaire des occupants au moyen de la ventilation naturelle en adoptant certains comportements aux besoins de la ventilation à travers l'ouverture et la fermeture des portes et fenêtres. À cet égard, Ward (2008) rapporte qu'« en ouvrant plus fréquemment les portes et fenêtres, les occupants peuvent accroître la ventilation de plus de 30 %, voire bien au-delà lorsque la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur est élevée ».

Cette mesure de ventilation volontaire dépend de l'effort de l'occupant, selon l'étude de (Batagoda J.H, 2010) les occupants ouvrent les fenêtres de leurs logements lorsqu'ils perçoivent un problème de qualité d'air intérieur ou de confort. Mais certains occupants n'ouvrent pas leurs fenêtres, soit afin d'éviter les pertes thermiques (limiter les courants d'air froid, éviter la pénétration de l'air chaud). Ou encore pour limiter l'introduction de contaminants extérieurs en détruisant la QAI.

Selon Shuqing Cui (2015, P.12), le comportement des occupants influe également sur la performance de ventilation naturelle en prenant en compte les contraintes lumineuses (contrôle d'éclairage) ainsi que les conditions de confort acoustique (bruit extérieur). Cette situation qui met l'occupant entre le souci d'économie d'énergie, de réalisation du confort visuel et acoustique et celui du maintien d'une bonne QAI limite l'efficacité de la ventilation naturelle volontaire.

II.7.2.3. Ventilation par dispositifs techniques

L'inefficacité de la ventilation naturelle passive qui est dû aux plusieurs contraintes (introduction des polluants de sources extérieures, introduction du froid...etc.), a conduit au développement de d'autres dispositifs de ventilation mécanique cités précédemment, ou encore de les coupler avec des systèmes de ventilation naturelle pour avoir une ventilation hybride. Ces dispositifs contrôlables d'alimentation et d'extraction d'air ont permis d'ajuster les débits nécessaires aux besoins de ventilation du bâtiment en toute période de l'année.

II.8. Techniques d'amélioration et de contrôle de la ventilation

Il existe plusieurs dispositifs architecturaux qui permettent de contrôler les débits de renouvellement de l'air et assurer un débit au strict nécessaire pour garantir une qualité d'air correcte en hiver comme en été. Par définition ces dispositifs sont des éléments techniques de conditionnement passif répondant aux exigences de la qualité de l'air et de confort intérieur tout en maîtrisant la consommation énergétique.

II.8.1. Dispositifs intégrés aux fenêtres (vantelles, grilles réglables)

La fenêtre constitue le principal élément de ventilation naturelle, elle favorise la pénétration des débits d'air susceptibles de refroidir le bâtiment et d'évacuer les différents polluants générés par les activités domestiques (cuisine, bricolage, nettoyage, bain....etc.) L'industrie du bâtiment offre plusieurs systèmes intégrés aux fenêtres tel que ; les volets, les vantelles, les grilles...etc., afin de contrôler le débit d'air. Ces éléments constituent aussi une protection contre la pluie, une atténuation acoustique, et sont parfois équipés d'une grille contre les insectes (Roulet, OP,Cit, p.117).

A titre d'exemple, au niveau du pôle accueil-formation de l'INERIS, des volets coulissants munis de vantelles assurant une protection contre la pluie ont été mis en place dans les bureaux pour assurer une ventilation naturelle de rafraîchissement en dehors de la saison de chauffe. Pendant l'hiver les bureaux sont ventilés par une ventilation mécanique double flux avec récupération de chaleur sur l'air extrait. Pendant la saison chaude, les occupants, avant de quitter leur bureau, ouvrent la fenêtre coulissante et font coulisser le volet devant la fenêtre ouverte. L'air frais pénètre à travers les vantelles et rafraîchit le bureau jusqu'au lendemain matin (Sellier, 2012, p.41).

Ainsi, au niveau de lycée Maryse Bastié à Limoges, et pour éviter toute surchauffe en été, des dispositifs de ventilation naturelle ont été mis en place dans l'espace de circulation qui est orienté au sud. Ils consistent en des volets coulissants munis de grilles, situés en partie basse et en partie haute. (Voir figure II.8) (Sellier, Op, Cit., p.42).



Figure II.19 : Grille de ventilation. Lycée Maryse Bastié. (Source : Sellier)

II.8.2. Moucharabieh

Le moucharabieh ou la Jalousie, empruntés à l'Orient est un grillage en panneaux de bois ajouré placé devant une fenêtre en s'avancent sur la rue (en saillie), il est curieusement travaillé et découpé en forme géométrique, cela lui donne le caractère d'intimité en permettant de regarder de l'intérieur sans être vue (Academia 9em Edition).

C'est un dispositif utilisé dans l'architecture traditionnelle des pays arabes pour favoriser la ventilation naturelle grâce à son maillage qui accélère le passage du vent. Parfois ils disposent des jarres en terre qui permettent de rafraîchir le flux d'air grâce à l'évaporation de l'eau (Dictionnaire et encyclopédies sur « Academic »)

Selon Khan (2015, p.134), « Le moucharabieh constitue une solution très efficace parce qu'elle réunit à la fois la performance fonctionnelle, esthétique et culturelle. Il favorise la pénétration de la lumière naturelle tout en empêchant la chaleur excessive de s'infiltrer, il a contribué à augmenter significativement le flux d'air. En outre il a une forte valeur esthétique, sans compromettre l'intimité de la vie privée ».



Figure II.20 : Moucharabieh. Source : <https://fr-academic.com/dic.nsf/frwiki/1192592>

II.8.3. Conduit de ventilation (cheminée et tourelles à vent)

Ce genre de dispositif est aménagé dans les bâtiments pour permettre le captage de l'air frais par la pression de vent, et sa distribution dans les espaces borgnes. En contrepartie, il permet l'évacuation de l'air vicié des espaces contaminés (cuisine, salle d'eau).

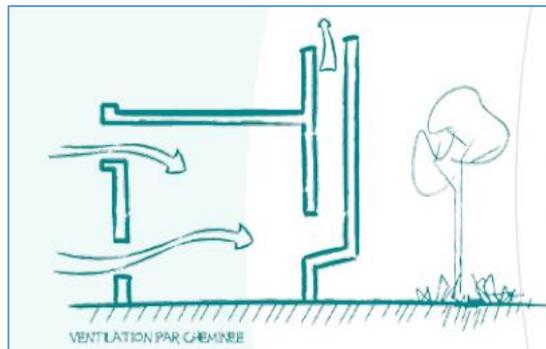


Figure II. 21 : Ventilation par cheminée, Source CIBSE, 2005.

Selon Roulet (2012, Op. Cit., p.118), on distingue généralement trois manières d'installer ces conduites dans le bâtiment, à savoir ; le conduit unique qui est déconseillé, car il propage d'un étage à l'autre le bruit, les odeurs, les polluants, voir le feu.

Les conduits individuels qui ne présentent aucun de ces inconvénients, mais occupent plus d'espace et coutent plus cher. En fin les conduites Shunt qui représentent un compromis (Voir figure II.22).

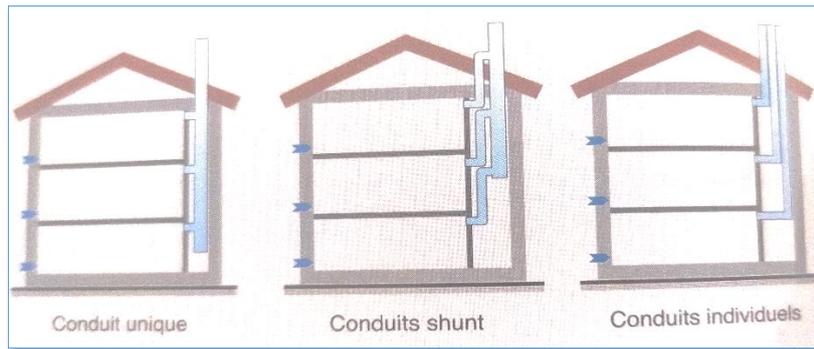


Figure II.22 : Mode d'installation des conduites de ventilation naturelle dans le bâtiment. Source : Roulet, P.118

Tour à vent : Les tours à vent sont des dispositifs destinés à capter le vent et à augmenter sa pression pour obtenir un air frais, moins poussiéreux et moins humide. Le capteur fonctionne par la différence de température entre le vent et l'air intérieur. Le vent pénètre par le capteur situé en hauteur pour descendre au rez-de-chaussée de l'habitation permettant ainsi son rafraîchissement.

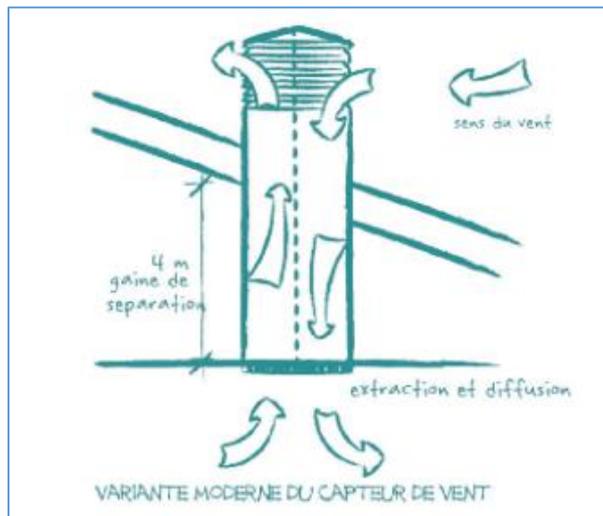


Figure II.23 : Tour à vent. Source : Guide CIBSE, 2005.

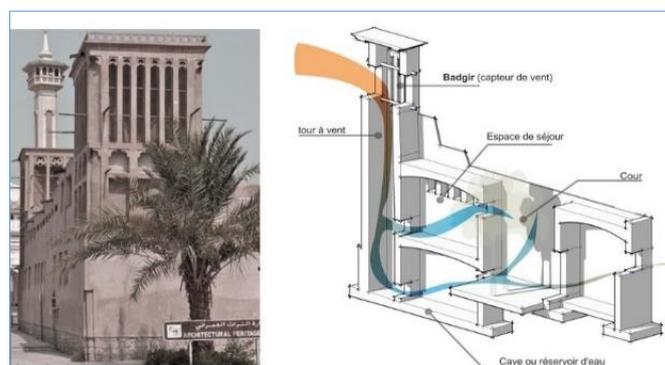


Figure II.24: Processus des tours à vent. Source : Ahmed Khan, 2015⁹,

⁹ Site de consultation : https://www.researchgate.net/figure/16-a-gauche-une-photo-dun-badgir-a-Dubai-a-droite-une-coupe-explicative-du_fig18_285653204/actions#reference

Ce système d'architectures traditionnelles est amélioré par l'ajout des vases d'eau dans la tour. Ces derniers participent à l'humidification de l'air sec et à l'évacuation de la chaleur interne en facilitant l'aération des habitations grâce au phénomène de l'évaporation de l'eau. (Liébard, op,Cit,p.175). Donc, les tours à vent, de par l'effet de tirage thermique naturel, favorisent l'apport d'air frais, son rafraîchissement et parfois son humidification, ensuite l'évacuation de l'excès de chaleur interne.

Cheminées solaires : La cheminée solaire est un élément de conception architectural permettant de favoriser la ventilation naturelle d'un bâtiment. Un fluide s'élève lorsqu'il s'échauffe, en raison de la diminution de sa densité. Ce phénomène thermique naturel est utilisé pour évacuer la surchauffe à l'intérieur d'une construction en facilitant la sortie de l'air chaud à travers des ouvrants en partie haute, c'est le principe de tirage thermique.



Figure II.25 : Cheminée solaire dans un bâtiment dans le Quartier BEDZED¹⁰ en Grande Bretagne (Londres). Source : Quartiers durables : Guide d'expériences européennes, 2002.

II.8.4. Façade double peau

La façade double peau est une façade s'étendant sur un ou plusieurs étages avec plusieurs couches de peaux. La peau peut être étanche ou ventilée. Elle offre de multiples atouts, en plus de son rôle d'amélioration du confort thermique et de la ventilation de locaux, elle participe aussi à l'amélioration du confort visuel et acoustique.

¹⁰ Cf. BedZED ou Beddington Zéro Energy est un petit quartier, îlot résidentiel de 82 logements construits dans le borough londonien. Extrait du site : <https://fr.wikipedia.org/wiki/BedZED>

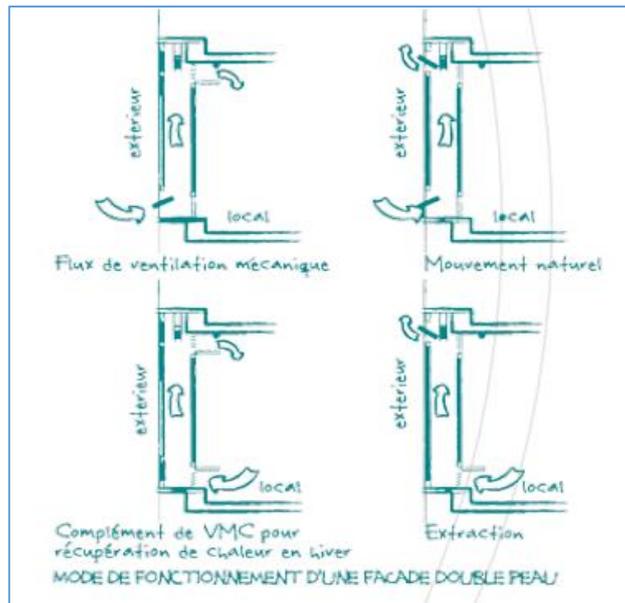


Figure II. 26 : Processus de ventilation d'une façade double peau. Source : Guide CIBSE, 2005.

Ce dispositif comprend des éléments importants de vitrage extérieur, de vitrage intérieur et d'une cavité d'air. Le vitrage extérieur est en monocouche rigide et la peau intérieure est en double vitrage isolant. La cavité d'air peut être ventilée par des moyens naturels ou mécaniques selon le concept et peut mesurer entre 200 mm et plus de 2 m de largeur (Voir Figure II.23). Son fonctionnement repose sur le principe de l'effet de cheminée thermique. Une colonne d'air chaud (faible densité) est entouré d'air plus froid (plus forte densité) ce qui provoque une poussée d'Archimède mettant l'air en mouvement.

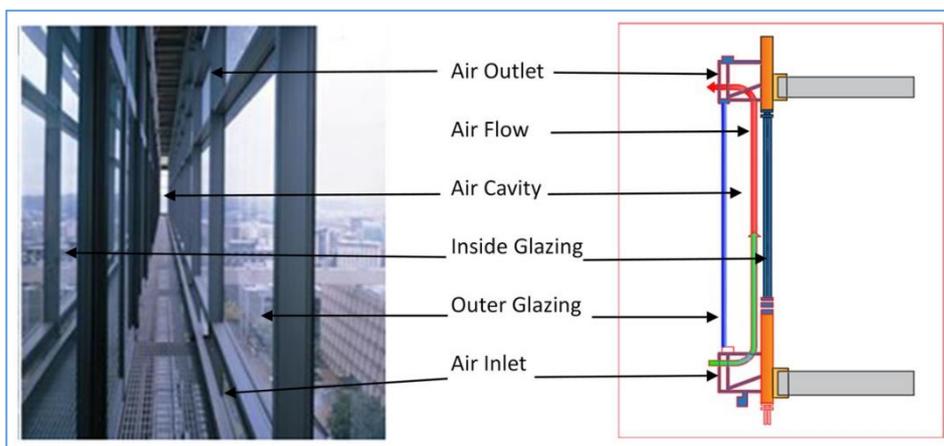


Figure II.27 : Schéma de principe de la façade double peau. Source : (Reza, E., Suleiman, A.S, 2021)

II.8.5. Capteur à air en façade

Les capteurs à air (capteur fenêtre ou capteur mur) sont des systèmes hybrides fonctionnant tantôt en mode passif (gains solaires directs), tantôt en mode actif (stockage et pulsion d'air). Le système est composé de deux fenêtres distantes entre elles de 10 à 20 cm et l'air circulant entre ces deux fenêtres est relié à un stock thermique.

Concernant le mode passif, dans le cas d'un faible ensoleillement, le système se comporte comme une fenêtre ordinaire. Lorsque le rayonnement solaire dépasse une valeur seuil

300W/m², un store absorbant est mis en place entre les fenêtres ; le système devient alors collecteur et un ventilateur pulse l'air chauffé vers le stock (mode actif). (Liébard, op,Cit, p. 73a)

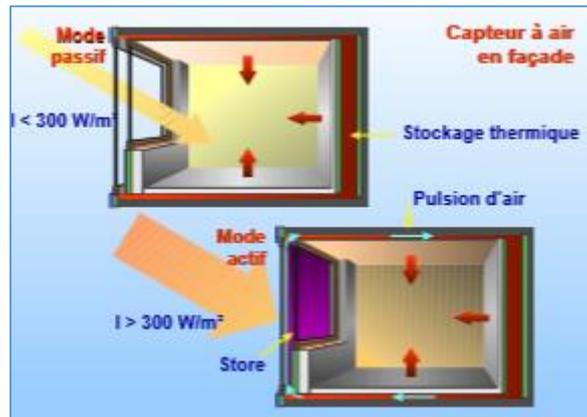


Figure II.28 : Stratégies passive et active pour le capteur-fenêtre. Source : Liébard, p.73b.

II.8.6. Pilotis

Le bâtiment sur pilotis bénéficie d'un grand espace de passage d'air, qui améliore le potentiel de la ventilation naturelle. Selon Liébard (P.73b), les pilotis autorisent le passage de l'air sous le bâtiment et établissent un sillage plus fluide.

II.8.7. Puits canadiens

Il s'agit d'un dispositif qui exploite l'énergie « géo solaire » qui existe dans la couche superficielle de la terre. Il se définit comme un échangeur thermique constitué de canalisations enterrées dans lesquelles l'air transit s'en réchauffe ou se rafraîchit selon la saison (Courgey, et al., p.103).

La terre tempère l'air passant dans la canalisation. Le système de ventilation de la maison aspire l'air du puits et le distribue dans l'espace intérieur. En cela, le puits canadien dispose de trois principaux éléments ; une entrée d'air (froid ou chaud suivant la saison), une canalisation enterrée, et en fin une sortie de distribution d'air dans la maison par le système de ventilation.

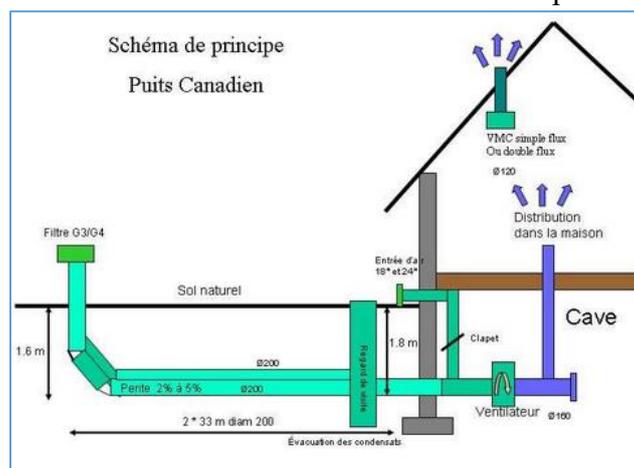


Figure II.29 : Schéma de principe d'un puits canadien. Source : https://www.cobse.fr/techniques_specifiques.html.

II.8.8. Ventilation par atrium

L'atrium est un espace tampon et un puits de lumière. Il permet également de ventiler les locaux, dont les entrées d'air se font depuis les ouvertures en façade de part et d'autre du bâtiment vers l'atrium en profitant de l'effet de tirage thermique, tandis que l'extraction de l'air se fait au milieu depuis des ouvertures dans l'atrium (Dhalluin, 2012, p.29).

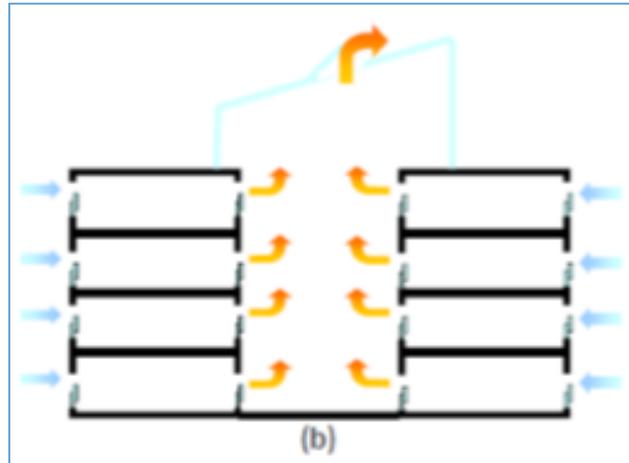


Figure II.30 : Schéma de principe d'un Atrium. Source : A. Dhalluin, 2012, P.30.

II.8.9. Ventilation par patio

Le patio, cette partie-là est plus dynamique de la maison, elle a un rôle social par excellence. De plus, il est un régulateur thermique et lumineux qui assure le confort de l'occupant. En hiver, lorsque le soleil est plus bas, les chambres profitent des rayons solaires qu'elles seront chauffées. Tandis qu'en été, le soleil est plus haut, les arcades projettent de l'ombre et protègent les espaces habités de la grande surchauffe. Cet espace favorise aussi la ventilation naturelle (cheminée de ventilation) en assurant le renouvellement d'air naturel des espaces de la maison.

II.9. Règlements relatifs à la ventilation du bâtiment résidentiel

La réglementation relative à la ventilation est complexe, elle relève à la fois de la réglementation de l'hygiène (urbanisme, logement, énergie, santé), de la réglementation de sécurité appliquée aux installations de gaz et d'hydrocarbures liquéfiés, aux appareils de chauffage, aux risques d'incendie et au bilan énergétique (Mazzuoli, p.219).

La réglementation française en matière de ventilation sont définies par Les normes suivantes : NF EN 14134 (août 2004), FD CEN/TR 14788 (août 2006), NF EN 15242 (août 2007), et NF EN 15665 (juin 2009). Dans ces quatre documents, la ventilation vise la préservation de la santé des occupants et la préservation de l'intégrité du bâtiment avec des contraintes sur le confort thermique, la durabilité, la sécurité incendie, le bruit et l'utilisation d'énergie (Wullens, Op. Cit., p. 1).

En Belgique, la norme NBN D 50-001 :1991 « Dispositifs de ventilation dans les bâtiments d'habitation »¹¹, publiée en octobre 1991 par le Bureau de normalisation, s'adresse aux constructions destinées à l'habitation, ou aux bâtiments existants qui sont transformés en immeubles d'habitation, mais aussi aux bâtiments destinés à l'hébergement (hôtels, maisons de repos, hôpitaux, casernes, prisons, internats, etc.).

¹¹ CSTCU : Une édition du centre scientifique et technique de la construction, 1994, Note d'information technique 192. La ventilation des habitations ; 1^{ère} partie des principes généraux, 102Pages.

Les recommandations de cette norme donnent des exigences relatives au renouvellement d'air, et des directives sur les dispositifs de ventilation dans les bâtiments d'habitations, afin que ces derniers doivent être équipés de tous dispositifs nécessaires à une ventilation efficace pour aboutir à des bâtiments convenablement aérés.

Les normes de l'American society of heating, refrigerating and air-conditioning engineers (ASHRAE)

ASHRAE est une association Américaine qui s'intéresse à la conception et la construction des systèmes de chauffage, de ventilation, de climatisation et de réfrigération (CVC et R) dans les bâtiments. Elle compte plus de 57 000 membres dans plus de 132 pays à travers le monde. Ses membres sont composés d'ingénieurs en bâtiment, d'architectes, entrepreneurs en mécanique, propriétaires d'immeubles, et employés de fabricants d'équipement.

La société publie des normes et des directives relatives aux problèmes de CVC pour améliorer l'ingénierie des services de construction, l'efficacité énergétique, la qualité de l'air intérieur et le développement durable (tab. II.1) Ce tableau ci-après présente les différentes normes ASHRAE.

Tableau II.2 : Les normes ASHRAE. Source : Pierre Lajoie, et al. 2006, P28-30). Traité par auteur 2021.

La norme ASHRAE 62-1999	La norme ASHRAE 62-2001	La norme ASHRAE 62.1-2004	La norme ASHRAE 62.2-2003
elle a été conçue pour les espaces résidentiels, commerciaux et institutionnels. Elle s'applique ainsi à tous les espaces intérieurs fermés et occupés par des personnes, sauf aux endroits où s'appliquent d'autres prescriptions plus exigeantes en termes de ventilation.	Elle diffère peu de la norme 62-1999. Elle incorpore un certain nombre d'addendas ainsi que des sections traitant de la conception, de la mise en service, de l'utilisation et de l'entretien des systèmes de ventilation.	Au cours de ces travaux de révision des normes, ASHRAE décida de diviser la norme 62 en deux parties : -une norme destinée aux locaux commerciaux et institutionnels (62.1) -une norme destinée aux petits bâtiments résidentiels (62.2).	Elle s'applique aux bâtiments résidentiels de moins de 3 étages ainsi qu'aux maisons unifamiliales. Elle concerne autant les nouvelles habitations La norme 62.2 diffère de la norme 62-1999 notamment par le fait qu'elle reconnaît la nécessité de ventiler mécaniquement, même en présence de fenêtres ouvrables. De plus, le taux de ventilation minimum requis se calcule à partir de la surface de plancher et du nombre de chambres à coucher.

Taux de ventilation dans les habitations

Le taux de ventilation nécessaire à l'intérieur des habitations est basé sur le volume total de la maison, la surface de plancher, le nombre de personnes, le nombre et le type de pièces, etc. Il est varié à travers le monde. Généralement, le taux de ventilation minimal requis pour l'ensemble de l'habitation se situe entre 0,3 et 1,0 renouvellement d'air à l'heure (rah) (Limb, 1994 dans Concannon, 2002), bien qu'il semble davantage se situer entre 0,3 et 0,5 rah (Yoshino et al, 2004). Dans les pays scandinaves (Norvège, Suède, Finlande, Danemark), pays dont le climat s'apparente en quelque sorte à celui du Québec, le taux minimal requis se situe autour de 0,5 rah (Bornehag et al, 2005 ; Engvall et al, 2003, Pierre Lajoie, et al, 2006, P.27). Le besoin en ventilation dans une maison est déterminé suivant cette formule (Pierre Lajoie, et al, Annexe 2) :

$$\text{Taux de ventilation (l/s)} = \frac{\text{volume d'air à ventiler (m}^3\text{)} \times \text{renouvellement d'air à l'heure (rah)}}{\text{requis} / 3,6}$$

Par exemple, pour le besoin en ventilation d'une maison de 453 m³, en tenant compte de la prescription du Code national du bâtiment (CNB) au Canada, de 0,3 renouvellement d'air à l'heure (rah), le taux de ventilation recherché peut être calculé de la façon suivante :

$$453 \text{ m}^3 \times 0,3 \text{ rah} = 37,75 \text{ l/s, soit environ } 40 \text{ l/s } 3,6$$

Selon la norme ASHRAE 62-1999, le taux de ventilation dans un logement doit être renouvelé à raison de 0,35 rah sans être inférieur à 7,5 l/s par personne.

II.10. Conclusion

On a présenté dans ce chapitre un aperçu général sur la ventilation. Celui-ci s'est introduit dans les lieux habités par effet volontaire ; soit naturel à travers des orifices d'amené d'air frais et de rejets d'air vicié. Ce schéma de circulation d'air est soumis à une différence de pression engendrée par l'effet du vent ou l'écart de température intérieure et extérieure. Soit mécanique par des bouches d'extraction ou des ventilateurs placés généralement dans les pièces humides (Cuisine, SDB, WC). Cet air peut aussi s'introduit dans le bâtiment par infiltration (effet involontaire) aux droits des défauts d'étanchéité de l'enveloppe.

La maîtrise de la ventilation s'inscrit dans le contexte d'une réduction des consommations d'énergie, d'une amélioration de la qualité de l'air intérieur des bâtiments et d'une amélioration du confort sanitaire des occupants. Comme tout système passif, la ventilation naturelle reste soumise à certaines limites, (conditions météorologiques extérieurs, profil et vitesse de vent, orientation et dimension des ouvertures...etc.). Cela ne permet pas de répondre aux besoins des occupants en matière d'aération de leurs logements.

C'est pour cette raison la recherche et le développement de d'autres techniques de ventilation mécanique ou hybride s'avère ainsi une mesure indispensable. A ce titre, du point de vue de la qualité de l'air, la ventilation naturelle double flux et simple flux sont assujetties aux taux de renouvellement d'air hygiéniques dans les logements compris entre 0,40 et 0,50 volumes/heure.

Un constat général, aucun système conçu selon les règles actuelles ne permet d'assurer la qualité de l'air dans les logements collectifs car ils sont dimensionnés selon une personne par

pièce. D'où, il convient, aujourd'hui, de ne pas négliger la qualité de l'air dans la recherche du bon compromis entre qualité de l'air et santé des occupants. Dans les conditions climatiques actuelles seule la ventilation double flux permet de concilier les deux objectifs celui de maintenir un débit de renouvellement d'air suffisant et celui de maîtriser les consommations d'énergie par la récupération de chaleur.

Relativement on peut dire que l'occupant a une forte influence sur la qualité de l'air intérieur de son logement, notamment à cause de l'incidence de l'ouverture des portes intérieures sur les débits et la qualité de l'air.

CHAPITRE III : LA QUALITE DE L'AIR INTERIEUR, UN ENJEU DE SANTE PUBLIQUE

III.1. Introduction

Après avoir présenté et expliqué dans les deux premiers chapitres l'importance d'une relation harmonieuse entre l'habitat et l'environnement climatique auquel il appartient dans la réalisation du bien-être de l'occupant tout en se concentrant sur la ventilation en tant qu'e mesure d'amélioration du confort sanitaire, le présent chapitre sera consacré à l'étude du cadrage théorique du problème de la qualité de l'air dans le bâtiment résidentiel.

Nous allons développer tous les éléments nécessaires pour comprendre la problématique de la qualité de l'air intérieur en tant qu'un enjeu de santé publique. D'abord, on est ainsi conduit à mettre l'accent sur les différents éléments de définition et de compréhension, suivi d'un classement des différentes méthodes et techniques de mesure et d'investigation.

Ensuite on procède comme suit pour déterminer les facteurs de pollution intérieure, les sources et les types de polluants et leurs impacts sanitaires, s'en concentrera sur le problème l'humidité résidentielle et son effet sur le bâtiment ainsi que sur la santé de l'occupant. Cet aléa qui englobe la présence de condensation et de moisissures visibles et d'odeurs de renfermé peut causer de graves problèmes sanitaires.

Au final, on dresse un plan d'actions pour savoir comment réduire le taux de ces polluants ainsi que prendre en compte le cadrage règlementaire concernant la prévention de la pollution de l'air intérieur et par conséquent pouvoir atteindre une qualité de l'air saine dans le bâtiment résidentiel.

III.2. Composition de l'air

Depuis les recherches expérimentales de Lavoisier (1774), qui a découvert en portions infimes dans l'air atmosphérique des gaz rares (hélium, néon, argon, krypton, xéno), ainsi que des variations dans la composition de l'air en fonction de l'altitude ou du milieu atmosphérique (dioxyde d'azote, azote et autres polluants dans les cités). Mais l'air est composé d'un mélange de gaz et de vapeur d'eau (voir figure III.1).

Composition de l'air	
(en volumes) :	
Azote N₂	780,8
Oxygène O₂	209,4
Argon Ar	9,3
Gaz carbonique CO₂	0,3
Gaz rares et autres Ne, Kr, H₂, CH₄, etc.	0,02
Vapeur d'eau H₂O	variable

Figure III.1 : Composition d'un mélange d'air humide, source : (Liébard, 2005, P. 34b).

Principalement il contient d'Azote en grande quantité, alors que l'oxygène s'est retrouvé en quantité plus faible. Plus précisément et selon (Roda, Op,cit, P.5) sa composition normale est de 78 % d'azote, 21 % d'oxygène, et 1 % de composés divers (argon, dioxyde de carbone – CO2, etc.)

La composition de l'air change le processus de la respiration, parce que le gaz carbonique passe de 0.03% dans l'air inspiré à 5.4% dans l'air expiré. Puisqu'il se substitue à l'oxygène consommé pour entretenir le métabolisme. Bien que la quantité d'Azote soit constante car elle ne joue aucun rôle dans ce processus de respiration (voir figure III.2).

L'homme au repos ne consomme que 420 litres d'air par heure. S'il marche, sa consommation se double et monte à 840 litres par heure. Un violent effort physique peut faire monter ses besoins à 4 à 6 m³ par heure (Liébard, P.34a). En cela, les besoins physiologique en air d'un homme augmentent avec l'augmentation de son activité (voir fig. 02).

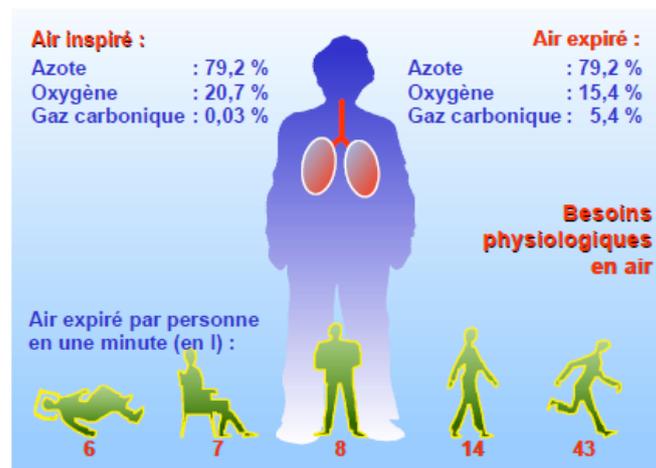


Figure III.2 : Modification de la composition de l'air après l'expiration et les besoin physiologique en air. Source : (Liébard, 2005, P. 34)

III.3. Qu'est-ce qu'une bonne qualité d'air intérieur ?

En raison notamment, de plusieurs facteurs intervenants pour atteindre la bonne qualité de l'air, il on a semblé qu'il n'est pas facile de formuler une définition simple de la qualité de l'air résidentielle. D'une part, on observe qu'une grande variété de personnes occupant un même logement. On trouve des occupants en bonne santé, des occupants souffrant d'allergies, des personnes âgées atteintes de maladies graves ainsi que les enfants et les nourrissons très souvent atteints d'asthme.

Ces différentes catégories de personnes peuvent réagir différemment à la mauvaise qualité de l'air intérieur. D'autre part, on souligne que dans le bâtiment résidentiel se pratique une grande diversité d'activités dont certaines dégagent de nombreux polluants. On ajoute à cela les malfaçons conceptuelles et structurelles du bâtiment résidentiel qui peuvent également être une source de polluants qui nuisent à la qualité de l'air comme souvent la mauvaise étanchéité de l'enveloppe (murs, toiture, fenêtres, portes), la mauvaise isolation due à l'infiltration d'eau, au type de matériau utilisé dans la construction, aux caractéristiques et orientation du bâtiment, ainsi qu'au système de chauffage, de climatisation et de ventilation.

Compte tenu d'une telle réalité, la qualité de l'air résidentielle peut se constituer au cours de cette étape à partir de normes capables d'améliorer sans détériorer l'intégrité du bâtiment et mettre fin à la présence des moisissures et de champignons sur les murs et les plafonds, engendrés par l'excès d'humidité et la présence de certains polluants.

En ce même sens d'après Garcia et Colosio (2001, p. 11) « la qualité de l'air se définit par certains concepts-clés fréquemment mentionnés, c'est-à-dire ceux qui assurent un niveau de qualité fixé par les gestionnaires de la santé publique ». Cette norme de qualité ainsi fixée assure l'apport d'air frais, ne causant aucun effet néfaste sur le confort et la santé des occupants. Cette norme de qualité comporte plusieurs valeurs indiciaires qui sont notamment :

- **La valeur ciblée de la qualité de l'air**, C'est le niveau fixé dans le but d'éviter, les effets nocifs sur la santé des occupants et sur l'environnement dans son ensemble.
- **La valeur guide**, pour l'OMS (2018), les valeurs guides sont des valeurs minimales à partir desquelles des effets sur la santé sont observés.
- **La valeur limitée**, c'est un niveau fixé sur la base de connaissances scientifiques dans le seul but est d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine et sur l'environnement dans son ensemble » (Garcia et Colosiola, Op. Cités).

Relativement au sens de ce constat, toutes les valeurs indiciaires de la norme qualité montrent que l'air expiré par l'occupant accroît le niveau de CO₂. Une classification de la qualité de l'air intérieur selon la différence de teneur entre le CO₂ extérieur et intérieur a été proposée par la norme NBN EN 137 79 comme il est résumé dans le tableau III.1

Tableau III.1 : Classification de la qualité de l'air intérieur. Source : Schriver, Op, cité, p.185

Qualité de l'air	Taux de CO ₂ au-dessus du niveau extérieur	Débit d'air neuf extérieur
Excellente (IDA1)	≤400 ppm	≥ 54 m ³ /h.per
Moyenne (IDA2)	400-600 ppm	36 à 54 m ³ /h.per
Acceptable (IDA3)	600-1 000 ppm	22 à 36 m ³ /h.per
Médiocre (IDA4)	≥ 1 000 ppm	≤22 m ³ /h.per

III.4. Perception de la qualité de l'air

L'air intérieur ne doit pas seulement être exempt de substances nocives mais aussi être perçu comme frais, sans odeur, non irritant. La connaissance de la composition de l'air intérieur ne permet pas d'évaluer le degré de qualité de l'air perçu dans un logement. Ainsi, pour mesurer la qualité de l'air intérieur, on utilise une méthode basée sur l'évaluation sensorielle de la qualité de l'air. En sachant d'après De Rouvray (2005) que « l'évaluation sensorielle se définit comme un ensemble de techniques et de pratiques qui visent à mesurer et à interpréter de façon systématique les perceptions de l'homme ».

En deçà, les sens, l'odorat et la sensibilité chimique trigémينية des muqueuses du nez et des yeux (ex : irritation) sont en effet les premiers sources d'information de la perception de la qualité de l'air intérieur. Et par-là même, une unité de la perception l'olf (du latin olfactus,

odorat) a été défini afin d'évaluer la qualité de l'air en se basant sur le jugement subjectif des personnes.

L'olf correspond au taux des bio-effluents émis par une personne standard. Toute source de contaminations peut ainsi définie par la concentration des bio-effluents qui causerait le même inconfort que la concentration des polluants dans l'air. La charge de pollution sensoriel d'un bâtiment pris dans son ensemble (occupants, mobilier, ventilation) peut être ainsi extraite en additionnant les olfs de différentes sources de contaminations présentes (Schriver-Mazzuoli, Op, cité, p. 185).

III.5. Méthodes d'investigation et techniques de mesure des polluants de l'air intérieur

Selon toutes les littératures consultées, l'étude de la qualité de l'air intérieur (QAI) couvre trois principales méthodes à savoir ; l'enquête social qui vise, à travers la technique du questionnaire, à déterminer les éléments influent sur la génération des polluants intérieurs, mais aussi à faire ressortir les déterminants de la QAI liés aux ressentis des habitants.

La deuxième méthode se base sur les études épidémiologiques qui ont pour objectif de déterminer les problèmes de santé auprès d'une population. Enfin la méthode de mesure qui vise principalement à l'examen d'un ou plusieurs polluants à l'intérieur des lieux habités et dans des conditions bien déterminées.

Tableau III. 2 : Protocole de mesure des paramètres polluants. Source : (Schriver-Mazzuoli, Op, cité, p. 16).

Paramètre	Protocole de mesure	Lieux
COV et aldéhydes	Diffusion sur cartouche ou adsorption sur un support solide. Analyse au laboratoire	Chambre des parents, extérieur, garage
Monoxyde de carbone CO	Mesure en continu avec capteur électrochimique, valeurs mémorisées toutes les 5 mn	Séjour, pièces avec appareils de combustion extérieur
Radon	Accumulation des particules sur un film en nitrate de cellulose. Analyse au laboratoire	2 dosimètres dans la chambre et le séjour
Rayonnement y	Radiomètre de type Geiger-Muller	Séjour
Allergènes	Prélèvement de poussière. Analyse au laboratoire	Séjour en l'absence d'animaux
Acarie	Prélèvement de poussières 2min/m ² sur le matelas avec un aspirateur. Analyse au laboratoire.	Chambre des parents
Particules	Aspirateur, filtration, impaction d'air avec un minipartisol	Séjour
Paramètres de confort	Profil de température, dioxyde de carbone, humidité relative avec Q-Track et enregistreur Hygrolog	Chambre, séjour
Débit d'air extrait	Appareil Swemaflow (principe utilisant une grille de fils chauds)	Bouche d'extraction

Cette dernière a été adoptée par Schriver-Mazzuoli qui a mené, un protocole de mesure lors de la campagne de mesure organisée par l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI)¹² du 1^{er} octobre au 21 décembre 2005 dans 567 logements (voir tableau III. 2).

Cependant, tous les polluants ne peuvent être mesurés et le choix de quelques substances désignées par « indicateur ou paramètres » s'impose. Sachant qu'un indicateur est choisi en fonction de son impact sanitaire, la simplicité et la fiabilité de la mesure, sa spécificité vis-à-vis de la source d'émission considérée.

A titre d'exemple les oxyde d'azote sont de bons indicateurs de la pollution automobile pour estimer la concentration d'un polluant donnée dans l'air intérieur d'un bâtiment en tenant compte de la vitesse des échanges de l'air intérieur avec l'air extérieur (Schriver-Mazzuoli, Op, cité, P.18).

Plusieurs méthodes de mesure ont été développées et appliquées grâce à des instruments plus performants. On peut dès lors dégager deux méthodes de mesure à savoir :

III.5.1. Mesure direct in situ

Cette méthode de mesure se base sur la lecture directe et sur place des résultats, en utilisant plusieurs instruments tels que les tubes réactifs, qu'on appelle aussi tubes colorimétriques destinés principalement à la mesure des polluants gazeux. Elle est basée sur la coloration d'un réactif au contact de la substance à mesurer. A titre d'exemple, le monoxyde de carbone, quelques aromatiques monocycliques peuvent être détectés par réduction de l'ion IO-3 en iode I2 se traduisant par l'apparition d'une coloration brune (Schriver-Mazzuoli, Op, cité, p.163).

En ce qui concerne les polluants particulaire et les fibres, et malgré la difficulté de les collectés sur des supports puis les analyser en laboratoire, les analyseurs de mesures des particules qui sont des analyseurs portables permettent de déterminer la concentration massique des poussières des différents diamètres et de compter les particules en fonction de leur taille.

Pour la mesure du débit d'air dans un conduit ou une bouche, plusieurs techniques de mesures peuvent être utilisées, parmi eux on peut citer : le Tube de pilot, l'anémomètre à hélice, l'anémomètre à fil chaud.

III.5.2. Méthode d'échantillonnage

Les méthodes d'échantillonnage sont utilisées en particulier pour déterminer la teneur des traces de différents composés organiques et pour analyser les bio-contaminants et la composition des poussières (Schriver-Mazzuoli, Op, cité, p.171).

Cette méthode nécessite une analyse différée en laboratoire après le prélèvement direct des échantillons sur un support solide, ou bien la diffusion (prélèvement dit passif) ou encore le pompage (prélèvement dit actif)

¹² L'OQAI a été créé en juillet 2001 en France à l'initiative du ministère du logement pour pallier la méconnaissance des expositions de la population à la pollution de l'air intérieur des bâtiments et des facteurs de risque associés.

IV.6. Facteurs influençant la qualité de l'air intérieur

L'évaluation de la qualité de l'air à l'intérieur du bâtiment résidentiel s'avère une opération très difficile à mettre en œuvre. Car celle-ci renvoie à l'intégration de plusieurs facteurs. Parmi ceux-ci, on note :

III.6.1. Caractéristiques de l'environnement extérieur

Incluant les différents polluants stagnés dans l'air extérieur (CO₂, ozone, particules fines...etc.), ainsi que les conditions climatiques et météorologiques (précipitations intenses, épisodes de chaleur...), les caractéristiques du sol (porosité, perméabilité, qui modulent le potentiel de migration du radon) et les conditions géologiques (présence d'uranium dans le substrat rocheux, qui module le potentiel d'émission de radon (Poullin, 2016, p. 8).

III.6.2. Caractéristiques conceptuelles et structurelles du bâtiment résidentiel

Inclut les aspects liés à la qualité de la conception, de la structure et des composants du bâtiment tels que l'étanchéité et l'imperméabilité de l'enveloppe (murs, toiture, fenêtres, portes, isolation), les types de matériaux de construction, de décoration et d'ameublement. Ces différentes caractéristiques influencent notamment l'émission de contaminants à l'intérieur du bâtiment, ainsi que le potentiel d'infiltration d'eau et de croissance d'agents microbiens associés à l'humidité excessive (moisissures) (Poullin, Op, cité, p.8).

III.6.3. Comportement et les activités des occupants

Qui sont très variables dans le temps et dans l'espace, ils peuvent réunir toutes les activités de l'homme dans son logement y compris (la cuisson, le nettoyage en utilisant de multiples produits, bain...etc.), ainsi que son comportement envers les dispositifs de ventilation naturelle (ouverture et fermetures des fenêtres), et le mode d'utilisation des systèmes mécaniques (chauffage, hotte de cuisine, ventilateur d'extraction, et climatisation).

III.7. Sources polluantes extérieures

L'air atmosphérique contient des polluants produits en grande partie par les activités humaines qui sont divisées en trois principaux secteurs. Premièrement, le secteur résidentiel en particulier le chauffage domestique qui constitue un émetteur de particules et de polluants chimique tels que ; le monoxyde de carbone CO, et le gaz carbonique CO₂. Ensuite, l'activité économique à travers l'industrie, l'incinération des déchets, et les combustibles fossiles (pétrole, charbon, gaz) nécessaire à la consommation énergétique, ils contribuent à la pollution de l'air extérieur par le rejet de différents polluants (SO₂, CO₂, CO, CH₄).

La combustion des combustibles fossiles émet chaque année plus de 22milliard de tonnes de gaz carbonique dans l'atmosphère (Liébard, Op, cité, p.35). Enfin, le transport routier qui constitue aussi une source de pollution atmosphérique dont il émet du CO₂ et de CO.

Sources extérieures de pollution de l'air				
Rejets par secteur (en %)	SO ₂	CO ₂	CO	CH ₄
Transformation de l'énergie	52 %	14 %	-	5 %
Résidentiel/Tertiaire	12 %	24 %	30 %	6 %
Transport routier	5 %	25 %	35 %	-
Industrie manufacturière	26 %	20 %	25 %	18 %
Agriculture/Sylviculture	2 %	14 %	7 %	70 %
Autres transports	3 %	2 %	2 %	-
Autres	-	1 %	1 %	-
Total en 2003 (kt/an)	492 kt	346 000 kt	5 897 kt	2 775 kt

Figure III.3 : Les différents polluants atmosphériques liés aux activités de l'homme, Source : Liébard, 2005.

Ces polluants extérieurs peuvent se diviser en deux familles. Les polluants primaires qui sont d'origine industrielle ou automobile. Ce sont des particules ou des gaz tels que le CO₂, le SO₂, le NO₂, les hydrocarbures légers, les COV. Ils peuvent se transformer, sous l'action des rayons ultra-violet et de la chaleur, en polluants dits secondaires tels que l'ozone et les polluants photochimiques (Koffi, Op, cité, p.21).

La concentration des différents polluants dans l'air extérieurs donne une possibilité de leur pénétration dans les bâtiments à travers les ouvertures et les défauts d'étanchéité de l'enveloppe en participant à la pollution de l'air intérieur provoquant ainsi des impacts négatifs sur la qualité de l'environnement intérieur.

III.8. Sources de polluants intérieurs

Lorsque le bâtiment est bien isolé et est de plus en plus étanche. L'air ne s'y renouvelle pas suffisamment par aération naturelle involontaire. Ce qui produit des niveaux de pollution plus élevés à l'intérieur qu'à l'extérieur de ce bâtiment, en dégradant la qualité de l'air intérieur.

Relativement à cela, l'intensité de ces polluants dépend de la quantité de substances polluantes présentes à l'intérieur du logement. C'est ce qui modifie la qualité de l'air intérieur. Ces polluants peuvent se concentrer ou se disperser dans l'environnement intérieur selon les conditions de température, d'humidité, de vitesse de déplacement de l'air, et de changement de la saison.

En effet, les polluants intérieurs peuvent provenir, en plus de l'infiltration de l'air extérieur, qui sera pollué surtout dans certains endroits comme (les voies à grandes circulation ou la proximité de zones industrielles ou agricoles) à de nombreuses sources internes liées principalement à l'homme et ses activités, et au bâtiment lui-même. C'est-à-dire les polluants métaboliques ou anthropiques, Polluants liés aux activités domestiques, Polluants issus de l'équipement et des matériaux de construction. (Figure III.4)

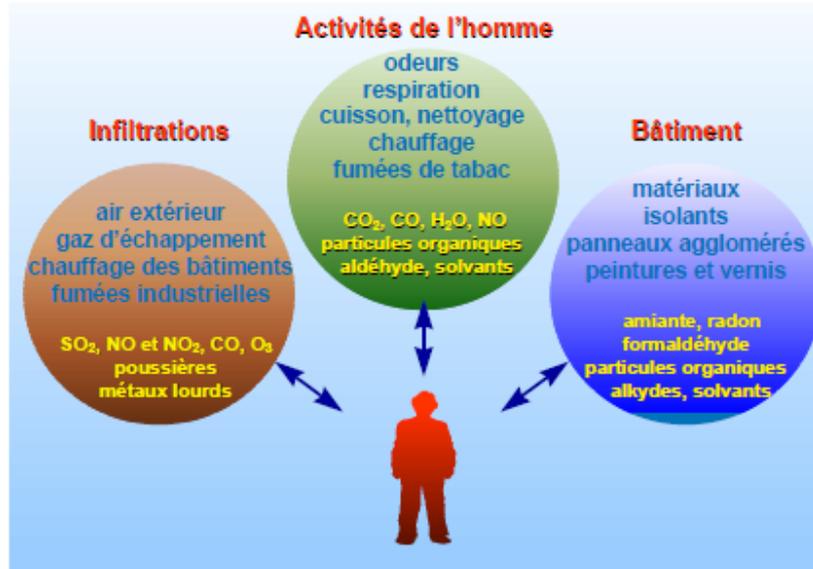


Figure III.4 : Sources d'impuretés de l'air intérieur. Source : Liébard, 2005.

III.8.1. Polluants anthropiques

Chaque individu peut émettre 10 000 bactéries par minute au repos et jusqu'à 50 000 en activité (Schriver, Op, cité, p.57). Sa respiration charge l'air en gaz carbonique : un homme au repos produit 20 litres de CO₂ par heure, ce qui fait passer la proportion de gaz carbonique de 0.03% dans l'air inspiré à 5.4% dans l'air expiré (Liébard, Op, cité, p.33).

L'homme rejette dans son environnement non seulement de la chaleur latente, mais aussi de l'air saturé en vapeur d'eau et en gaz carbonique issus de l'oxydation des produits organiques. La production de ces deux composés augmente avec l'activité métabolique mais dépend également du confort thermique. On peut retenir qu'un adulte ayant une activité sédentaire produit environ 55 g/h de vapeur d'eau et 33 g/h (18 l/h) de CO₂ (Koffi, Op, cité, p. 18).

Le corps humain génère également des odeurs, produit des microorganismes dans l'environnement intérieur. Leurs vêtements, la peau et les cheveux, ainsi que les différents produits cosmétiques qu'ils utilisent (ex. les parfums) produisent aussi des contaminants dans cet environnement intérieur ce qui influence négativement sur la qualité de l'air intérieur.

III.8.2. Activités domestiques

Les activités de l'homme constituent une source d'impureté de l'air. La cuisson des aliments, les activités de bricolage, les travaux de nettoyage (vaisselle, bain/douche, lessive, séchage et repassage du linge, nettoyage du sol), et le chauffage domestique, produisent de la vapeur d'eau, et charge l'air en gaz carbonique. Ainsi que l'utilisation de colles, de vernis, de solvants, de peintures, de laques, est à l'origine de nombreux composés organiques nocifs. Les produits d'entretien, la désinfection, sont des sources qui augmentent la teneur des particules dans l'air en générant de très nombreux polluants.

Ensuite, le fumé de tabacs est une source importante de pollution et d'effet sur la santé. Non seulement le fumé inhalé par le fumeur diminue son espérance de vie mais le fumé secondaire

(fumé dégagé par l'extrémité libre de la cigarette et celle exhalée par le fumeur) touche les non-fumeurs. Plus de 3000 espèces chimiques ont été identifiées dans le fumé soit sous forme de gaz soit sous forme de très fines particules. La plupart de ces composés sont toxique.

Chez l'enfant le tabagisme passif augmente les infections respiratoires, les crises d'asthme et chez tous il provoque des accidents coronariens, des congestions du poumon, de l'hypertension, des irritations de la gorge, des yeux et de la muqueuse respiratoire. Les produits d'hygiène tel que ; les déodorants, cosmétiques et savons peuvent générer des odeurs désagréables provoquant inconfort pour les individus.

Ainsi les équipements électroménagers, de loisir et de communication, tels que les fours à micro-ondes, les écrans des ordinateurs et des postes de télévision, créent des champs électromagnétiques de basse fréquence pouvant avoir une action néfaste sur l'organisme, en particulier à faible distance de l'appareil (Schriver, Op. Cit., p.58-62). Les systèmes de chauffage et de climatisation constituent également une source de contamination dans l'air intérieur.

Les activités domestiques génèrent aussi des déchets, dont Chaque individu produit 1,5kg de déchets par jour en moyenne dont environ 30% d'ordures compostables, 25% de papier et carton, 13% de verre, 11% de matières plastique. Les déchets organiques gardent dans la cuisine quelque temps sont à l'origine d'une bio contamination.

Beaucoup de logements collectifs sont munie de vide-ordures dans la cuisine ou sur le palier bien que la tendance soit de les supprimer ou de les condamner. Leur présence est souvent une source de nombreux germes dont des staphylocoques, et des streptocoques et elle entraine une prolifération des blattes (Schriver, Op. Cit., p. 63).

III.8.3. Equipements et les matériaux de construction

Les appareils de combustion domestique utilisant des combustibles carbonés (gaz, carbone, fioul, bois) pour le chauffage des locaux, la production de l'eau chaude sanitaire, la cuisson des aliments, et les cheminées, peuvent émettre des gazes toxiques tel que le monoxyde de carbone, les oxydes d azotes, les composés organiques volatils, le soufre et les particules.

Tous les appareils de combustion mal installés ou mal entretenus sont responsables d'émission de monoxyde de carbone, pouvant entrainer des intoxications mortelles (Schriver , Op, cité, p.56). Les systèmes de ventilation-climatisation peuvent être source de plusieurs polluants.

Les impuretés peuvent également provenir du bâtiment lui-même, à travers les matériaux de construction de décoration et d'isolation qui émettent des composés organiques volatils et qui sont en particulier :

- Les panneaux de bois aggloméré constitués ou de contreplaques, lamelles-colles qui émettent principalement du formaldéhyde, substance cancérogène comme les revêtements de murs ou de

sol, les dalles, moquettes, planchers et faux plafonds. On cite aussi les matériaux d'isolation tels que les polystyrènes, mousses, les peintures, vernis, lasures, colles et décapants.

Le taux d'émission d'un polluant dépend de l'âge du matériau, de sa surface, de sa porosité, de sa texture, et de facteurs extérieurs tel que l'humidité, l'alcalinité, la ventilation et la température. Finalement, on distingue :

- Les émissions primaires qui sont dues aux composants utilisés, l'émission est très importante après la fabrication et disparaît petit à petit (de 60 à 70 après 6 mois, parfois 1 an)
- Les émissions secondaires dus à l'adsorption de polluants de l'air intérieur (Schriver, Op, cité, P.52).

III.9. Types de polluants

Les polluants qu'on retrouve dans le bâtiment sont de nature physique, chimique, ou microbiologique.

III.9.1. Polluants physiques

Sont plutôt reliés à la matière particulaire : les particules issues de l'industrie, du trafic, et des processus de combustion. Dans cette catégorie on classe les poussières, l'amiante et les autres fibres.

III.9.1.1. La poussière

L'air extérieur peut être chargé de diverses particules ou poussières qui varient selon leur taille, leur nature, et leur origine. Certaines particules sont d'origine biologique (micro-organisme, pollens), certaines d'autres peuvent provenir des sources internes de la maison (tabagisme, cuisson, nettoyage, chauffage au bois, fibre de tissu, débris de peau, de chevaux, acariens et déchet d'acariens, allergènes d'animaux et d'insectes). (Roulet, Op, cité, P.111).

Ce type de contaminant représente un risque sanitaire, car les particules les plus fines arrivent dans les poumons en menaçant le système respiratoire. Le traitement de l'air permet d'éliminer les poussières par filtration (filtration par voie humide ou électrostatique ou passage par une masse fibreuse dense) (Schriver, Op, cité, p.135).

III.9.1.2. L'Amiante

Le terme amiante désigne l'ensemble de silicates fibreux résistants au feu, qui regroupe plusieurs minéraux, notamment l'amosite, la crocidolite, et la chrysolite qui sont les plus utilisées (Roulet, Op, cité, p.111).

Les produits contenant de l'amiante libèrent des fibres quand ils commencent à se détruire. La présence de ces fibres dans l'air, provoquent des problèmes pulmonaires et endommagent le système respiratoire surtout en raison de leur petite taille. Parmi les pathologies que causent l'amiante en cas d'exposition de longue durée, c'est bien que le cancer broncho-pulmonaire, le mésothéliome ou cancer primitif de la plèvre, et l'asbestose qui est une sclérose non tumorale du tissu pulmonaire.

Pour cela son utilisation dans le bâtiment a été interdite en Suisse et aux USA en 1975, en France en 1977 et en Belgique en 1980, en même temps que plusieurs autres pays européens. Dans le bâtiment, l'amiante peut se retrouver comme isolants thermique dans la couverture du bâtiment, dans les enduits, colles et peinture, dans les gaines de conduits d'eau chaude et tuyaux de cheminée, ainsi que dans les joints d'étanchéité.

III.9.1.3. Le radon

Le radon est un gaz monoatomique radioactif incolore, inodore, insipide. Des études épidémiologiques ont montré qu'après le tabac, l'inhalation du radon est la deuxième cause du cancer du poumon (Schriver, Op, cité, p.140).

Dans le bâtiment la concentration du radon est plus élevée en hiver qu'en été à cause du fait du chauffage et du manque d'aération. Plus précisément l'infiltration du radon et sa présence dans l'air intérieur est due à l'effet de chemine et aux défauts d'étanchéité. Elle dépend de plusieurs facteurs tels que : la nature de matériaux, la ventilation de la maison, les activités es occupants et les conditions météorologiques externes. Le radon est inhales puis se déposent dans les poumons en attaquant le tissu pulmonaire et augmente le risque du cancer du poumon.

III.9.2. Polluants chimiques

Elles sont principalement les oxydes de carbone (CO et CO₂), les composés organiques volatils (COV), dont certains sont odorants, des gaz inorganiques tels que l'ozone (O₃) et les oxydes d'azote (NO_x), voire certains métaux.

III.9.2.1. Le gaz carbonique

Le dioxyde de carbone CO₂ est un gaz incolore et inodore, résultants de la combustion complète du carbone et de composés organiques. Chaque gamme de carbone brulé produit 1.9 litres de CO₂ ; la combustion du gaz naturel produit environ 100 litres de gaz carbonique par kilowattheure de chaleur fourni. Un brûleur de cuisine de 1.8 KW produit 180 litres de gaz carbonique par heure.

Le métabolisme est aussi une combustion, car une seule personne peut produire environ 15 litres de gaz carbonique par heure au repos et 20 à 40 l/h en activité (Roulet, Op, cité, p.103). On constate donc que le mécanisme de la respiration charge l'air en gaz carbonique et donne une image précise de la charge de l'air due à la présence humaine.

Dans les bâtiments résidentiels, Si on admet une concentration de CO₂ de 0.115% Celle-ci donnerait une qualité d'air encore acceptable, mais une forte concentration en CO₂ peut provoquer des maux de tête (Liébard, Op, cité). D'autres experts dans la qualité de l'air montrent que précisément que les concentrations de CO₂ inférieures à 0,1% sont nécessaires pour éviter tout inconfort et maux de tête (Tong Yang et al., 2018, p.12).

L'effet de la concentration de CO₂ sur la santé peut être très grave, on observe par manque d'oxygène elle provoque l'accélération de la respiration pour 2.5% de CO₂ en volume, les

vertiges, de l'agitation pour 8 à 10% de CO₂ en volume, l'évanouissement, convulsions pour 10 à 15% de CO₂ en volume, la paralysie, rupture de vaisseaux sanguins pour 15 à 20% de CO₂ en volume et la mort pour plus de 20% de CO₂ en volume (Schriver, Op, cité, p.10).

III.9.2.2. Le monoxyde de carbone

Il se forme lors de combustion incomplète de substances carbonées. Il se mêle à l'air qu'on respire pour se piéger dans les poumons, en diminuant le transport d'oxygènes du poumons vers les autres cellules du corps, ce qui cause maux de tête, fatigue, vertiges, faiblesse musculaire, douleurs dans la poitrine, mais aussi la mort en cas de grave intoxication au CO.

Dans le bâtiment, le CO résulte de plusieurs sources tels que les appareils de production d'eau chaude (chauffe-bain), les appareils de chauffage sans cheminées, la consommation de tabac, et l'absence de ventilation. Dans l'absence de toutes sources intérieures, la teneur en CO peut provenir de l'air extérieur si le bâtiment se situe près d'une voie de grande circulation, ou d'un parking.

III.9.2.3. L'Oxyde d'azote

Les oxydes d'azote regroupent le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO₂). Le NO est issu des phénomènes de combustion à haute température par oxydation de l'azote de l'air. Le NO₂ est, quant à lui, un polluant dit secondaire provenant de la réaction entre le NO et l'oxygène ou l'ozone (O₃) (Céline Roda, Op, cité, p.7)

La concentration des oxydes d'azote (NO, NO₂) dans l'air intérieur est généralement plus faible que celle de l'air extérieur (rapport de 0,7-0,8 en moyenne) sauf dans les locaux mal ventilés contenant des appareils au gaz (veilleuses de chauffe-eau, cuisinière, radiateurs), des poêles au bois, des cheminées à foyer ouvert et les locaux où vivent des fumeurs (Schriver, Op, cité, p.97, 98).

L'oxyde d'azote se forme lors de combustions à températures élevées et réagit avec l'oxygène pour former du dioxyde d'Azote. L'exposition à des fortes concentrations de dioxyde d'Azote peut causer des problèmes respiratoires, en particulier chez les enfants, les personnes âgées, et les personnes asthmatiques.

III.9.2.4. L'ozone

L'ozone O₃ est un polluant secondaire qui se forme par transformation chimique de polluants primaire (oxyde d'azote, composés organique, oxygène, monoxyde de carbone). Pour les bâtiments, la source principale de l'ozone est l'air extérieurs, mais y a d'autres sources tels que les cuisinières à gaz, les imprimantes laser, les photocopieuses, les purificateurs d'air.

Selon son niveau de concentration dans les milieux de vie, ce gaz à forte odeur cause des inflammations du système respiratoire, des irritations des yeux, du nez et de la gorge. Sa concentration à l'extérieur est plus importante qu'à l'intérieur du bâtiment, car dans ce dernier, il se détruit rapidement au contact avec les matériaux combustibles.

III.9.2.5. Les composés organiques volatils

Les composés organiques sont des composés contenant au moins l'élément carbone et un ou plusieurs autres éléments tels que l'hydrogène, l'oxygène, l'azote, le soufre, le phosphore, le silicium ou encore les halogènes (fluor, chlore, brome ou iode). C'est en 1807 que le suédois Jöns Berzelius appelle « composé organique », les espèces chimiques provenant d'organismes vivants pour les opposer aux minéraux.

Plusieurs définitions sont dressées pour définir un COV. La définition de la directive européenne 1999/13/CE repose sur la pression de vapeur saturante. Un COV est défini comme un composé organique ayant une pression de vapeur de 0,01 kPa ou plus à une température de 293,15 K (soit 20 °C) ou ayant une volatilité correspondante dans des conditions d'utilisation particulières.

L'Organisation mondiale de la santé (OMS) définit un COV comme un composé ayant un point d'ébullition compris entre 50 et 260 °C. L'OMS a établi une classification de composés, reprise dans la norme NF ISO 16000-6 (Roda, Op, cité, p.8). Les COV que l'on trouve souvent dans les bâtiments résidentiels et publics sont les suivants : formaldéhyde, benzène, décane, butoxyéthanol, iso-pentane, limonène, styrène, les xylènes, perchloroéthylène, méthylène, chlorure, toluène, chlorure de vinyle.

Ils proviennent essentiellement des matériaux d'aménagement et de décoration (peinture, vernis, adhésifs...), des meubles, des moquettes, des pesticides, etc... Les occupants et leurs activités constituent aussi des sources de COV (les bio-effluents humains, le nettoyage, les produits de soins, la cuisson des aliments et le tabagisme). (Schlink et al. 2010 ; Rahmeh, 2014, p.9).

III.9.2.6. Les métaux

Plusieurs métaux toxiques tels que ; le plomb, cadmium, sont présents dans l'atmosphère à l'état de traces sous forme de fines poussières. Ils peuvent pénétrer jusqu'aux alvéoles pulmonaire et pénétrer dans le sang.

Les métaux lourds proviennent des diverses activités industrielles, des incinérateurs, des déchets miniers combustibles, pétrole... (Schriver, Op. Cite., p.98).

III.9.2.7. Les solvants

Sont des liquides, dont nombreux parmi eux font partie des composés organiques volatils. Leur utilisation domestique est très variée, ils sont utilisés comme dégraissants, détachants, décapants, purifiants, et adjuvants dans les peintures, les vernis, et les colles.

Tous les solvants pénètrent facilement dans l'organisme par voies respiratoire et peuvent conduire à des désordres neurologiques qui se traduit par la fatigue, des troubles du sommeil, des difficultés de concentration, une tendance à la dépression, ainsi qu'une perte de mémoire (Schriver, Op. Cite, p.107).

III.9.3. Polluants biologiques (bio-contaminants)

Les polluants biologiques ou bio-contaminants sont issus des développements biologiques qui peuvent se produire dans certains espaces intérieurs, notamment mal ventilés (développement de moisissures par exemple), ou dans des espaces rassemblant un très grand nombre de personnes, favorisant la propagation de bactéries ou de virus par voie aérienne.

III.9.3.1. Les allergènes domestiques

Les allergènes domestiques sont généralement portés par les poussières. Parmi les allergènes les plus communs dans les habitats, on trouve les acariens, les pollens, la poussière, les spores de moisissures, les bactéries, les virus et les poils d'animaux. (Voir Tableau III.3).

Les acariens sont des araignées microscopiques vivant sur les matelas, la literie, les meubles rembourrés, les tapis et les rideaux, Ils s'alimentent des débris de peau humaine ou animale, et un environnement chaud (22 à 26 °C) et humide (70 à 80% d'humidité relative) favorise leur croissance. Ils ne survivent pas à des niveaux d'humidité relative inférieure à 50% (Fernandez-Caldas et collègues, 1995, Norman King, 2003).

Tableau III.3 : Types d'Allergènes domestiques et leurs sources. (Source : Rahmeh, Op. Cite. P. 22)

Bio-contaminants	Sources
Pollens	Végétations
Virus	Personnes et animaux
Bactéries	Personnes, animaux, la terre et les débris végétaux
Spores des moisissures (d'origine environnementale)	Ouvertures, occupants, leurs vêtements et leurs chaussures, poussière et matériaux contaminés
Autres allergènes puissants	Salive, peau, poils et leurs glandes anales d'animaux

III.9.3.2. Les moisissures

Sont des champignons microscopiques qui vivent sur les plantes ou sur la matière animale. Dans le bâtiment, ils s'apparaissent sous formes de taches noires dans les endroits humides. Donc, ils peuvent se développer sur toute surface où l'humidité relative dépasse 80% pendant un laps de temps (NIT n° 153, 2007)¹³. Donc les salles de bain, cuisines, buanderie, cave ; sont les pièces les plus sensible.

Les tapis, les meubles rembourrés et la poussière de surface sont des réservoirs d'agents biologiques, notamment des moisissures qui, dans le cas d'une exposition de longue durée, ont des effets sur la santé des jeunes enfants, des personnes âgées, et des personnes qui souffrent des problèmes respiratoires ou qui ont un système immunitaire déficient. Selon des études effectuées à Montréal et en Finlande, 5% des enfants d'âge scolaire seraient allergiques aux moisissures.

¹³ Cf. Note d'Information Technique (NIT) n° 153 (Problèmes d'humidité dans les bâtiments), 25 septembre 2007, <https://energieplus-lesite.be/theories/enveloppe9/comportement-des-materiaux4/formation-de-moisissures/>.

D'autres recherches scientifiques suggèrent qu'entre 10% et 15% de la population pourraient présenter des allergies aux moisissures. Ce pourcentage est plus élevé chez des asthmatiques et les personnes souffrant de rhinite (Norman King, Op, cité). La présence de moisissures dans les bâtiments a été évaluée par observation des surfaces tâchées, et les effets sur la santé ont été évalués par questionnaire subjectif.

III.10. Qualité de l'air intérieur et effets des polluants

Selon ce qui est décrit précédemment, un bâtiment mal ventilé sera exposé à l'accumulation et à la concentration des différents polluants à son intérieure. Ces contaminants tels que formaldéhyde, le gaz carbonique, les composés organiques volatils COV, les particules en générale, et qui dus essentiellement à l'activité de l'homme, sa respiration, les odeurs corporelles, et le fumé de cigarette, rendent l'air intérieur plus pollué.

En cela, une mauvaise aération et donc une mauvaise qualité de l'air intérieure peut occasionner différentes atteintes à la santé des occupants, d'une simple odeur piquante à l'irritation des yeux, du nez et de la gorge, des maux de tête jusqu'au développement de graves pathologies tel que l'asthme, de bronchites, cancers et autres maladies cardiaques, cardiovasculaires et respiratoires. Les problèmes de santé liés à la pollution de l'air intérieur, et qui dépendent des concentrations de polluants, de la durée d'exposition et de la sensibilité des individus, sont classés comme ce qui suit.

III.10.1. Pathologies non spécifiques reliés aux bâtiments (syndrome de bâtiments malsains)

Dans les années 1980, les problèmes de santé non spécifiques reliés aux bâtiments ont été identifiés sous différents nominations à savoir ; « le syndrome de bâtiments malades ou malsains (SBM) », « la maladie des tours a bureau », « maladie des gratte-ciels » (Schriver, Op, cité, p.89). Il se caractérise par des difficultés respiratoires, une fatigue, de la toux, une rhinite, voire des nausées (Reboux, et al. 2010, P.5).

De la sorte, les symptômes les plus fréquemment rapportés par les gens souffrant de ces problèmes sont ; l'irritation des muqueuses (nez, gorge, yeux) qui peut causer des maux de gorge, et peut provoquer la congestion nasale, des saignements de nez et de la toux, ainsi que des symptômes respiratoires tels que dyspnée et serrement de la poitrine et des symptômes généraux tels que maux de tête, fatigue, somnolence, difficultés de concentration, étourdissements, Dermatite et peau sèche. Ces symptômes ont été mis en évidence par des questionnaires subjectifs.

III.10.2. Pathologies en lien avec la pollution biologique

Les problèmes de santé liés à l'exposition à un agent infectieux ; bactérie, virus, et surtout moisissures, sont de plus en plus accrus et ressentis par la population en particulier dans le milieu résidentiel. Ce phénomène d'apparition de moisissure dans les bâtiments peut s'expliquer par leur vieillissement, le manque de leur entretien, ainsi qu'au niveau des infiltrations et des dégâts d'eau. En contrepartie, lorsque le renouvellement de l'air est

inadéquat, des problèmes d'humidité élevée peuvent aussi avoir un effet néfaste sur la santé (Répertoire des guides de planification immobilière, 2011, P.115).

L'irritation des yeux, du nez, des voies respiratoires supérieures accompagnées de symptômes comme la toux, sont des symptômes respiratoires non spécifiques qui présentent un effet sur la santé en lien avec une exposition à une telle contamination biologique (moisissure). Cette exposition aux moisissures présente d'autres effets sur la santé, qui peuvent être d'ordre neuropsychologiques (pertes de mémoire, difficultés de concentration, irritabilité) et d'autres effets systémiques (fatigue, maux de tête, douleurs articulaires, etc.).

III.10.3. Pathologies spécifiques dû à la pollution chimique

Les contaminants chimiques ont des effets toxiques causant des problèmes de santé de nature respiratoire. Par exemple l'utilisation des parfums peut dégager des odeurs dans l'air intérieur des bâtiments. Les COV, en particulier le formaldéhyde peut se dégager dans l'air intérieur par les matériaux de construction, mais aussi dans les colles, les produits de nettoyage, produits cosmétiques..., provoquant de l'irritation des yeux et des voies respiratoires supérieures avec toux, écoulement nasal.

Dans le cas d'une exposition aiguë à ces produits chimiques, leur effet sanitaire peut s'accroître en provoquant de graves pathologies cardiovasculaire et cancéreux. De cette situation il est souhaitable de diminuer le plus possible à la source l'exposition aux agents chimiques dans les lieux résidentiels, en essayant d'utiliser des matériaux de construction écologique, de remplacer les produits de nettoyage et d'entretien qui dégagent des odeurs par des produits ayant des composantes moins volatiles, et en fin en aérant les espaces de vie (bâtiment) suffisamment afin de renouveler l'air intérieur pollué.

III.10.4. Pathologies spécifiques dues à la pollution physique (l'amiante)

L'utilisation de l'amiante dans le bâtiment notamment dans les enduits, colles et peinture, dans les gaines de conduits d'eau chaude et tuyaux de cheminée, est interdite dans nombreux pays européens tels que ; la Suisse, la Belgique et la France, en raison de son impact sanitaire qui se représente par trois principales pathologies à savoir :

- Le mésothéliome de la plèvre qui est un cancer rare et rapidement fatal de l'enveloppe des poumons, soit la plèvre, et de l'enveloppe de la cavité abdominale, soit le péritoine.
- Le cancer pulmonaire ; ce cancer du poumon relié à l'exposition à l'amiante ne diffère pas du cancer du poumon rencontré dans la population générale.
- L'amiantose qui provoque aussi l'apparition de lésions pleurales et qui entraînent parfois des atteintes fonctionnelles. Ces trois maladies apparaissent en moyenne entre 20 et 40 ans après le début de l'exposition à l'amiante et elles se développent habituellement après une exposition importante au matériau. Les études publiées montrent qu'entre 0,5 et 15% des cas de cancer du poumon chez les hommes seraient attribuables à l'exposition à l'amiante (Répertoire des guides de planification immobilière, Op, cité, p.120).

III.11. Humidité résidentielle

Si l'on prend le paramètre « humidité », on distingue deux types : l'humidité relative et l'humidité absolue (Solec 2000).

« **L'humidité relative** : est une mesure de la quantité de vapeur d'eau que l'air contient en comparaison de la quantité qu'il peut contenir à une température donnée. Cette valeur est exprimée en pourcentage selon une température ».

« **L'humidité absolue** est la quantité précise du poids de la vapeur d'eau contenue dans qu'on respire, mais elle peut affecter notre qualité de l'air et notre santé en raison de la quantité et du pourcentage présent dans l'air ».

Selon l'organisation mondiale de la santé (OMS), l'humidité résidentielle se détermine par la présence visible d'un excès d'eau quelle que soit la nature de support (mur, toit, sol ou sueur humaine). Elle englobe la présence de condensation sur les surfaces ou à l'intérieur des structures, de moisissures visibles et d'odeurs de renfermé fortement ressentie, les dégâts d'eau (fuites, infiltrations...etc) ou encore la dégradation des revêtements intérieurs (Rivier, 2011, P.2).

III.11.1. Source d'humidité résidentielle

Les sources d'humidité dans le bâtiment résidentiel dépendant des conditions physiques qui sont principalement dues à l'existence de la vapeur d'eau produite par l'occupant lui-même. À cet égard Roulet (Op, cité, p.88) mentionne qu'« un adulte évapore entre 40 et 60 grammes d'eau par heure pour une activité calme. La vapeur émise augmente proportionnellement à l'activité à savoir environ 500 g/KWh ».

Ainsi, les activités domestiques (cuisson, bains...etc.), en l'absence d'un renouvellement d'air naturel suffisant, peuvent contribuer à la génération de la vapeur d'eau. Roulet mentionne aussi que « La cuisson des aliments produit environ 2 kg de vapeur d'eau par jour, auxquels il faut ajouter, s'il y a lieu, la vapeur d'eau produite par la combustion du gaz de cuisson, environ 1 kg par jour. Le séchage du linge à l'intérieur ou l'utilisation d'un séchoir sans évacuation de la vapeur produit en plus environ 1.5 kg/jour ».

En effet, il est constaté également que la présence de l'eau dans le bâtiment, peut provenir des canalisations endommagées, des fissures des façades, ou du toit. Mise à part la fuite d'eau des canalisations, l'humidité pénètre le plus souvent par l'air qui la transporte. Ainsi, une isolation inadéquate du bâtiment marquée par la présence des ponts thermiques, avec une basse température intérieure et un renouvellement d'air insuffisant.

Ce processus peut être une source d'augmentation d'humidité intérieure (A. Rivier et al. 2011, P.2). A titre d'exemple, une étude effectuée par l'Association pour la Prévention de la Pollution Atmosphérique (APPA)¹⁴ sur 300 logements contaminés par les moisissures et ayant fait l'objet d'une expertise par une conseillère habitat-santé a montré que dans 60% des cas, un défaut de

¹⁴ L'APPA est une Association Scientifique Nationale, Transdisciplinaire, a été créée en 1958 et reconnue d'utilité publique en 1962.

bâtiment étaient en cause (Charpin et al. Op, cité, p.2). A cela s'ajoute la température extérieure qui influence le taux d'humidité résidentielle. Car une température extérieure faible associée à un taux d'humidité relativement élevé peut causer des risques de condensation sur les parois froide.

III.11.2. Effet de l'humidité résidentielle

Tel que discuté précédemment, la forte concentration de vapeur d'eau et d'humidité a conduit au développement de moisissures préjudiciables à la santé humaine, mais surtout à la qualité du bâti (Corinne Mandin, 2021, p.01). De ce fait, l'humidité à l'intérieur des bâtiments résidentiels peut nuire à la QAI (Juan Wang, et al. 2021) en affectant le confort hygiénique dans le bâtiment.

De ce point vu, tous les acteurs concernés ont progressivement pris conscience que les facteurs de risque d'altération de la qualité de l'air intérieur dans tous les espaces habités peuvent inclure les allergènes, la présence d'humidité et de moisissure (OMS, 2009), et le manque d'une ventilation hygiénique adéquate (Sundell et al. 2011). En cela, pour maintenir une bonne qualité de l'air intérieur, il ne suffit pas de fournir un air extérieur adéquat et de contrôler les polluants de l'air intérieur. Il est tout aussi important de tenir compte de l'humidité relative de l'air (Romana et al, 2016, P.12), et de ses effets néfastes sur le bâtiment et sur la santé de ses occupants.

III.11.2.1. Effet sur le bâtiment

Les problèmes d'humidité dans les bâtiments résidentiels sont reconnus comme un important facteur de risque pour la stabilité de ces bâtiments. Dans les espaces qui ont connu une forte production de vapeur d'eau (cuisine, SDB) ou celui qui ont connu une forte occupation, les moisissures, champignons, bactéries et acariens se développent sous forme de taches noir sur les murs et plafond, ce qui dégrade et endommage la structure du bâtiment, en menaçant sa pérennité dans le temps (Koffi, Op, cité, p35), à travers la détérioration de certains matériaux (revêtements décollé, corrosion, gonflement, fissures, salpêtre...etc.).

Selon (Roulet, Op, cité, P.91) « Certains moisissures comme le mérule, s'attaquent aux matériaux de construction, notamment au bois et le détruisent ». Ces agents microbiens constituent ainsi un problème d'ordres esthétique qui mettent en péril la salubrité du bâtiment.

III.11.2.2. Effet sur la santé humaine

Diverses revues de la santé publique et de la santé environnementale ont publié des recherches-actions concernant les effets néfastes de l'humidité résidentielle sur la santé. Pour l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS, 2015), « un environnement trop humide favorise le développement de micro-organismes néfastes et dangereux pour la santé publique ». En 2009, l'OMS déclare aussi que l'exposition des individus aux polluants microbiens, en particulier les moisissures, est cliniquement associée aux symptômes respiratoires, aux allergies, à l'asthme et aux réactions immunologiques.

Ainsi, le comité d'experts américains a évalué aussi l'impact de l'humidité élevée dans les maisons, et il estime qu'elle peut conduire au développement et à l'exacerbation de l'asthme. Une autre étude récente chez les enfants asthmatiques âgés entre 0 et 4 ans confirme que ceux qui vivent dans des conditions de logement humides sont plus à risque pour des exacerbations de leur maladie et pour des hospitalisations. (Norman King, Op, cité).

De cette situation, on considère que l'humidité intérieure est considérée comme un sérieux indicateur de risque sanitaire pour les occupants. On remarque que ces études déclarent toutes qu'il serait utile de rénover le système de la ventilation naturelle, principal facteur limiteur de l'humidité dans les bâtiments résidentiels. Ainsi selon (Roulet, Op, cité, p.93), afin d'éviter qu'un bâtiment résidentiel présente des problèmes d'humidité, il convient d'assurer un grand débit d'air pour l'évacuer, de manière à maintenir sa concentration entre des limites acceptables, et de prendre certaines mesures, à savoir :

- Assurer la protection contre la pluie, y compris la pluie battante
- Drainer le terrain au niveau des fondations ou plus bas, les zones habitées du terrain par des caves ou des vides sanitaires.
- Assurer l'étanchéité à l'air de l'enveloppe
- Constitué principalement d'ingénieurs et de spécialistes dans le domaine de la ventilation, de la climatisation et de la réfrigération.
- Aérer suffisamment pour maintenir l'humidité relative intérieure à un niveau raisonnable
- Éviter l'humidification.

III.12. Mesures de réduction de contaminants de l'air dans le bâtiment résidentiel

Pour les bâtiments existants, le maintien de la salubrité de l'air intérieur se base sur un programme d'entretien et de vérification périodique des composantes et des systèmes de ventilation, ainsi que l'encadrement correct des procédés susceptibles de dégager des contaminants dans l'air, afin d'en minimiser l'impact.

En cela, afin d'atteindre une saine qualité d'air intérieur dans le bâtiment résidentiel, il est indispensable de prendre certaines mesures et actions qui contribuent à réduire la concentration des différents polluants dans l'air intérieur.

III.12.1. Réduction des polluants à la source

La première action consiste à réduire les sources de contaminants dans l'air intérieur. D'une part, il est possible de connaître l'impact des matériaux de construction (mousses isolantes, peinture, moquettes, vernis, bois) et des produits installés dans les habitations (les colles, les produits de nettoyage, produits cosmétiques) qui émettent de contaminants volatils COV altérant à leur tour la QAI.

Cela implique un choix judicieux de ces matériaux et produits, dont les occupants et les propriétaires de bâtiments d'habitation peuvent opter pour des produits et matériaux moins émissifs ou qui ont des teneurs réduites en COV (peinture sans COV, matériaux sans formaldéhyde). À cet égard, Un progrès considérable a été fait en France en 2012 avec

l'étiquetage obligatoire des matériaux pour l'aménagement, la décoration, la construction, de manière à les classer selon leur capacité d'émission en composés organiques volatils. Le matériau le plus vertueux serait étiqueté « A+ », le moins vertueux « C » (Thévenet, Op, cité, p.8).

D'autre part, il est possible d'agir sur les sources de contaminants liées aux activités et aux comportements des occupants. En effet, Les activités de l'homme et son mode de vie peuvent être une source d'impuretés de l'air intérieur du bâtiment d'habitation. La QAI peut être endommagée par la respiration humaine, La cuisson des aliments, les activités de bricolage, le chauffage domestique, le tabagisme, et les travaux de nettoyage, qui pratiquement charge l'air en gaz carbonique.

De ce fait, il est possible de modifier certain comportement, et de changer certaines habitudes qui peuvent nuire à la qualité de l'air intérieur en sensibilisant les occupants de la nécessité d'avoir un air intérieur sain, respirable, dans le but de protéger la santé de chaque occupant.

III.12.2. Ventilation des espaces intérieurs

La troisième mesure est la ventilation des locaux, qui s'avère une solution souvent efficace de renouvellement d'air permettant d'évacuer les odeurs désagréables et les différents contaminants dans l'air intérieur (condensation, moisissures, champignons, acariens de poussière...etc.).

La ventilation par ouverture de portes et fenêtres permet d'accroître la ventilation de plus de 30 %. (Ward, 2008 ; Poullin, Op, cité, p.29). La ventilation naturelle a connu certaines limites car elle est difficilement contrôlée, elle nécessite une conception attentive des fenêtres, de leur dimension, leur orientation et leur position selon la dimension et la fonction de l'espace. En outre, les comportements d'occupant influent également sur la performance de la ventilation naturelle. Ils n'ouvrent les fenêtres de leurs logements si les conditions intérieur et extérieur ne permettent pas (conditions météorologiques extérieurs, présence de polluants, nuisances sonores).

C'est pour cette raison, la ventilation naturelle ne peut assurer à elle seule le maintien de la QAI. Dans ce cas, le recours à la ventilation mécanisée s'avère une avenue d'adaptation d'importance. Les systèmes de ventilation mécanique centralisés permettent non seulement d'extraire et/ou de diluer les contaminants présents dans l'air intérieur, mais également d'acheminer de l'air frais aux pièces habitables (Orosa et Oliveira, 2010 ; Poullin, Op, cité.).

III.12.3. La purification de l'air

Cette mesure joue un rôle primordial dans la sensation de confort respiratoire ressentie par l'occupant. C'est une mesure de réduction de contaminants, à travers des techniques et dispositifs d'élimination des polluants physiques ou microbiologiques.

La technique de purification de l'air consiste à intégrer un dispositif de filtration au système de ventilation des bâtiments. Ce dispositif de traitement de l'air se base sur le choix des filtres à

air pour une bonne qualité de l'air intérieur et un fonctionnement économe des installations de traitement d'air. Par ailleurs, il existe une autre technique celle de l'oxydation photocatalytiques qui a été développés récemment dont l'objectif est d'éliminer les polluants chimiques et les COV.

Selon Roulet (Op, cité, P.128) les plantes d'intérieur s'est considéré comme une technique de purification d'air intérieur. Ses feuilles et ses racines éliminent les polluants notamment des oxydes d'Azote et des composés organiques volatils.

III.12.4. Mesure applicable à l'environnement extérieur

D'un autre côté, il est nécessaire de prendre certaines mesures applicables à l'environnement extérieur qui permettent de réduire les concentrations de contaminants de source extérieure qui contribueront à leur tour à réduire les concentrations retrouvées dans l'environnement intérieur, en particulier dans les bâtiments ventilés naturellement qui ne disposent pas d'un système de ventilation mécanique muni d'un dispositif de filtration (Poullin, Op, cité, P.31)

Ces mesures peuvent toucher l'aménagement de l'environnement immédiat par la plantation d'arbres ou la création d'îlots de fraîcheur et des plans d'eau. La végétation peut offrir certains bénéfices au regard de la QAI, à travers la réduction d'humidité excessive et de contamination fongique dans les bâtiments, ainsi que la réduction de la température, en plus d'assurer le confort thermique des occupants (INSPQ, 2009 ; Poullin, Op, cité.).

III.13. Règlementation et stratégies de prévention de la pollution de l'air intérieur

La législation se concentre sur les locaux spécifiques (industriel et artisanaux) pour protéger les employeurs des maladies dues à la pollution de l'air intérieur, tandis que pour les locaux non spécifiques tel que les bâtiments, la règlementation reste encore très limitée, cela est renvoi au fait que la mise en place d'une réglementation pour les habitations pourrait être perçue comme un intérêt au domaine du privé.

Selon (Schriver, Op, cité, p213), de nombreuses actions et objectifs ont été planifiés dans le cadre du Grenelle de l'environnement, du plan national santé environnement et par la mise en place de la haute qualité environnementale des bâtiments. Qui faites de la qualité de l'air intérieur un enjeu de santé publique à part entière. Ci-après, on retrouve les éléments de réglementation, ainsi que les plans et programmes de prévention et de réduction de la pollution de l'air intérieur des locaux.

III.13.1. Plans et programmes de prévention

Ces plans et programmes sont notamment ; le Grenelle de l'environnement, le 1er Plan national de santé environnement (PNSE) ; le 2ème Plan National Santé Environnement (2010-2014) ; le 3ème Plan National Santé Environnement (2015-2019) ; le 4ème Plan National Santé Environnement ; les Règlements sur les matériaux de construction et de décoration, et Règlements relatifs aux mesures dans l'air intérieur.

III.13.1.1. Grenelle de l'environnement

Le Grenelle de l'environnement a été annoncé par Alain Juppé dans les années 2007, il englobe six thématiques qui sont :

- Lutter contre les changements climatiques et maîtriser l'énergie.
- Préserver la biodiversité et les ressources naturelles.
- Instaurer un environnement respectueux de la santé.
- Adopter des modes de production et de consommation durable.
- Construire une démocratie écologique.
- Promouvoir des modes de développement écologiques favorables à la compétitivité et à l'emploi.

Concernant la 3^{em} thématique qui s'articule sur cinq objectifs, dont le deuxième « réduire drastiquement l'émission et la dispersion dans les milieux (air, eau, sol et sédiments) des polluants connus pour leur caractère nocif pour la santé » aborde la qualité de l'air intérieur (surveillance et prévention). Le groupe propose qu'une surveillance régulière de la pollution de l'air intérieur dans les lieux de vie soit progressivement mise en place en 2008. Les actions de prévention seraient alors mises en jeu sur la base de l'impact sanitaire (Schriver, Op, cité, p.226).

III.13.1.2. Le 1er Plan national de santé environnement (PNSE)

Le PNSE annoncé le 21 juin 2004 pour améliorer la santé des Français avec leur environnement (air, eau, produits chimiques...). Il vise trois principaux objectifs :

- Garantir un air et une eau de bonne qualité.
- Prévenir les pathologies d'origine environnementales et notamment le cancer.
- Mesurer, informer le public et protéger les populations sensibles (enfants, femmes enceintes, personnes âgées) (Schriver, Op, cité, p.227)

En France, l'une des douze actions prioritaires du Plan National Santé Environnement (PNSE I) pour la période 2004-2008 prévoyait de « Mettre en place un étiquetage des caractéristiques sanitaires et environnementales des produits et matériaux de construction ».

Une première phase d'expertise a été réalisée entre 2004 et 2006. Elle portait sur l'élaboration d'une procédure de qualification des produits de construction solides sur la base de leurs émissions de COV et de critères sanitaires.

Une seconde phase d'expertise a été menée de 2007 à 2009 afin de mettre à jour la méthodologie présentée dans le précédent rapport et de l'étendre aux matériaux de construction liquides et aux produits de décoration (LCSQAI, P.18)¹⁵.

III.13.1.3. Le 2ème Plan National Santé Environnement (2010-2014)

Le champ du 2^{ème} PNSE est très large. Il comprend 45 actions de nature variées organisées autour de 8 axes. Les actions qui concernent particulièrement la qualité de l'air intérieur ont

¹⁵ Le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air (LCSQAI) est un laboratoire de l'Ecole des Mines de Douai, de l'INERIS et du LNE. Il mène depuis 1991 des études et des recherches finalisées à la demande du Ministère chargé de l'environnement pour améliorer le dispositif de surveillance de la qualité de l'air en France.

pour objectif d'améliorer celle-ci dans les bâtiments et d'accompagner les efforts d'amélioration de la performance énergétique :

- Action 7 : limiter les sources de pollution à l'intérieur des bâtiments. Cette action se traduit par l'interdiction des substances CMR dans les matériaux, par un étiquetage obligatoire des matériaux relatif à leur émission au 1er janvier 2011,
- Action 8 : aérer, ventiler et climatiser sainement. Elle consiste à développer des outils d'aide pour les maîtres d'ouvrage, à faire des recommandations pour les stratégies d'aération lors des rénovations, à former les professionnels du bâtiment et à vérifier les performances des nouvelles technologies sur la qualité de l'air ;
- Action 9 : mieux gérer la qualité de l'air intérieur dans les lieux publics. Lancement d'une campagne de surveillance de la qualité de l'air dans les écoles et les crèches (300 d'ici à 2012)
- Action 10 : réduire les expositions liées à l'amiante en révisant les seuils de déclenchement des opérations de désamiantage et en révisant les VLEP pour intégrer les fibres fines.
- Action 20 : réduire les expositions dans les lieux recevant des enfants. Cette action est en lien direct avec l'action 9 avec une obligation d'utilisation de matériaux peu émissifs (2013) et une limite de seuil acoustique inférieur à 35 dB(A). (C. Caudron, 2012, P.12).

III.13.1.4. Le 3ème Plan National Santé Environnement (2015-2019)

Le PNSE 3 s'articule autour de 10 nouvelles mesures principales, elles-mêmes regroupées en 4 grandes catégories d'enjeux (C.Caudron, Op, Cité, p.12) :

- Enjeux de santé prioritaires.
- Connaissance des expositions et de leurs effets.
- Recherche en santé environnement.
- Actions territoriales, information, communication et formation.

III.13.1.5. Le 4ème Plan National Santé Environnement : mon environnement, ma santé (2020-2024)

Ce plan a été rédigé en 2020 et a été soumis à enquête publique du 26 octobre au 09 décembre 2020. Il devrait être validé début 2021. Il sera recentré sur quelques actions découpées en 4 axes (Caudron, Op, Cité, p.13) :

Axe 1 : s'informer sur l'état de mon environnement et les bons gestes à adopter.

Axe 2 : réduire les expositions environnementales affectant notre santé.

Axe 3 : démultiplier les actions concrètes menées dans les territoires.

Axe 4 : mieux connaître les expositions et les effets de l'environnement sur la santé des populations.

III.13.2. Règlements sur les matériaux de construction et de décoration

La loi dite « Grenelle 1 », traduit en objectifs législatifs les conclusions du Grenelle de l'environnement. La thématique de l'air intérieur est abordée dans l'article 40 de cette loi dans le chapitre sur l'environnement et la santé. Elle présente les volontés relatives à l'émission des produits de construction et d'ameublement, dont il est prévu de soumettre ceux-ci à un étiquetage obligatoire notamment sur leurs émissions en polluants volatils. (J. Larbre, C. Marchand, 2009, P.10).

En cela, la limitation réglementaire des agents dangereux émis par les matériaux de construction et de décoration est une nécessité absolue. La « loi Grenelle 2 » dans l'article L221-9, annonce l'adoption d'une définition d'un « éco-matériau », qui est un matériau répondant aux critères de développement durable par la provenance durable et renouvelable de ses matières premières, sa pérennité et son aspect sain.

III.13.2.1. Règlements relatifs à l'interdiction de l'Amiante

De nombreux règlements et recommandations internationales relatifs à l'interdiction de l'amiante dans le bâtiment sont introduite dans le code du travail et le code de la sante publique depuis 1996. En cite par exemple ; l'arrêté du 22 aout 2002 et la norme AFNOR NFX 46-020 qui exigent de constituer un dossier technique amiante (DTA) pour les immeubles de grande hauteur et les établissements recevant du public.

Ce DTA comporte le repérage des matériaux amiantes, l'enregistrement de leur état, l'enregistrement des travaux et des mesures à mettre en œuvre et les consignes de sécurité lors d'intervention (Schriver, Op, cite, p.213-214).

III.13.2.2. Règlements relatifs à la mousse isolante d'urée formol (MIUF)

Le décret 88-683 du 6 mai 1988 réglemente les modalités d'injection de la mousse urée-formol et la teneur limite en formaldéhyde émise dans les locaux.

L'injection de mousse urée-formol ne peut être faite que dans les murs qui comportent une lame d'air continu et non ventilée de 10cm d'épaisseur au plus et constitue du cote extérieur par une ou plusieurs parois sans risque d'humidification du remplissage isolant et du cote intérieur par une paroi en éléments collés ou en maçonnerie de briques creuses ou pleines enduites, de blocs de béton enduits ou de carreaux de plâtre (Schriver-Mazzuoli, Op, cite, p.215).

III.13.2.3. Règlements relatifs à l'interdiction du plomb

Après l'interdiction des peintures au plomb en 1948, la réglementation a concerné essentiellement :

- Les obligations de constat des risques d'exposition liés aux peintures de plomb dans les parties communes de tous les immeubles construits avant 1949 et aux peintures de dans tous les logements lors d'une vente ou d'une location.
- Les mesures d'urgence et de prévention contre le saturnisme lors d'intoxications au plomb.

III.13.2.4. Règlements relatifs aux fibres minérales artificielles (FMA)

L'arrête du 28 aout 1998 modifiant l'arrête du 20 avril 1994 précise la classification, l'emballage et l'étiquetage des fibres minérales artificielles en fonction de leurs propriétés physico-chimiques et toxicologiques.

III.13.3. Règlements relatifs aux mesures dans l'air intérieur

Plusieurs pays ont adopté des lois, des règlements ou des lignes directives dans le but de prévenir la pollution intérieure et de réduire les émissions de contaminants auxquelles les

occupants peuvent être exposés. Ces règlements représentés en particulier dans une série de normes internationales en lien avec la QAI (série ISO 16000) (Poullin, Op, cite, p.37).

Norme NF ISO 16000-3 "Air intérieur – Partie 3 : Dosage du formaldéhyde et d'autres composés carbonylés – Méthode par échantillonnage actif". Janvier 2002. Indice de classement : X 43-404-3.

Avis du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (Section Milieux de Vie, Groupe de Travail "Bâtiment et Santé") relatif à l'information des utilisateurs sur les émissions des composés organiques volatils par les produits de construction. 5 Mars 2002.

La norme NF EN ISO 16000-5 (X 43-404-5) : « Air intérieur - Partie 5 : Stratégie d'échantillonnage pour les composés organiques volatils (COV) » : est parue en mai 2007. Elle a pour objectif d'apporter une aide pour définir et mettre en œuvre la stratégie de mesure des COV dans l'air des environnements intérieurs.

ISO 16000-8 :2007 : Air intérieur- Partie 8 : Détermination des âges moyens locaux de l'air dans des bâtiments pour caractériser les conditions de ventilation.

NF ISO 16000-16 (février 2009) - Air intérieur - Partie 6 : Détection et dénombrement des moisissures - Échantillonnage par filtration.

NF ISO 16000-17 (février 2009) - Air intérieur - Partie 17 : Détection et dénombrement des moisissures - Méthode par culture.

NF ISO 16000-14 (août 2009) - Air intérieur - Partie 14 : Dosage des polychlorobiphényles (PCB) de type dioxine et des polychlorodibenzo-pdioxines (PCDD)/polychlorodibenzofuranes (PCDF) totaux (en phase gazeuse et en phase particulaire) - Extraction, purification et analyse par chromatographie en phase gazeuse haute résolution et spectrométrie de masse.

L'AFNOR a mis en ligne la notice de la norme NF EN 15251 relative à la performance énergétique des bâtiments couvrant la qualité de l'air intérieur, le thermique, l'éclairage et l'acoustique. Cette norme européenne spécifie le mode d'établissement des paramètres relatifs à l'ambiance intérieure qui influent sur la performance énergétique, pour la conception du bâtiment et pour les calculs de cette performance.

III.14. Conclusion

Dans ce chapitre on peut conclure tout d'abord que la qualité de l'air intérieur (QAI ou IAQ, Indoor air quality) est une véritable préoccupation de santé publique, elle constitue à la fois un sujet d'intérêt général pour les autorités sanitaires et un critère de base pour le confort sanitaire et hygiénique.

Et que l'environnement intérieur d'un bâtiment résidentiel peut contenir divers types de polluants qui sont dus à plusieurs facteurs tel que : Les Caractéristiques de l'environnement extérieur incluant les différents polluants stagnés dans l'air extérieur (CO₂, ozone, particules

fines...etc.), Les conditions climatiques et météorologiques (précipitations intenses, épisodes de chaleur...),

Les caractéristiques structurelles et conceptuelles du bâtiment (les matériaux de construction, de décoration et d'isolation qui émettent des composés organiques volatils), Et le comportement des occupants (métabolisme et activités domestiques). Tous ces éléments nuisibles influent négativement sur la qualité de l'air intérieur.

Cela on amène dans un premier temps à mettre en évidence la nécessité d'assainir l'air intérieur en ventilant fortement les lieux habités dont le but d'assurer une bonne qualité d'air intérieur nécessaire à la sauvegarde du bien-être de l'occupant et à la préservation de son confort hygiénique et sanitaire. Mais aussi de montrer d'une façon générale que le manque d'une aération naturelle adéquate peut conduire à la concentration de différents polluants susceptible d'affecter la santé de l'habitant et l'intégrité du bâtiment en lui causant des dégâts (fissuration, décollement de la peinture...etc).

PARTIE 2 : CONTEXTE ANALYTIQUE ET EXPERIMENTAL

L'objectif de cette partie analytique est triple ; il s'agit donc à la fois de dresser une analyse du contexte d'étude (présentation générale de la ville de Guelma, son contexte historique et climatique), ainsi d'effectuer une analyse descriptive de cas d'étude « Cité Guehdour-Tahar ».

Par la suite, il s'agit de vérifier les hypothèses émises dans notre introduction, d'apporter les moyens analytiques nécessaires à notre méthodologie de recherche à travers le travail expérimental englobant la collecte des données par l'enquête en s'intéressant au ressenti et au comportement des occupants. En s'appuyant également sur des instruments de mesure qui sert à évaluer et mesurer les polluants de l'air intérieur. Ce qui permet de déterminer les principaux facteurs liés à la dégradation de la qualité de l'environnement intérieur des logements étudiés.

Enfin une simulation numérique à l'aide d'un modèle CFD (dynamique des fluides computationnelle) fera l'examen de simuler le comportement du système de ventilation naturelle existant pour évaluer sa performance.

CHAPITRE IV : PRESENTATION DU CONTEXTE D'ANALYSES

IV.1. Introduction

Le présent chapitre sera consacré notamment à l'exposé analytique du contexte d'étude, en commençant par la présentation de la ville de Guelma, de son histoire et de son contexte climatique vu que l'insertion de l'habitat dans un lieu demande la compréhension de son contexte climatique à travers la collecte des différents éléments climatiques connues sous le nom facteurs physique de l'environnement qui sont notamment ; la température, l'humidité relative et la vitesse de l'air. Ces éléments ont permis d'effectuer une analyse climatique qui nous permet à son tour d'avoir une idée globale sur les contraintes qui peuvent compromettre les conditions de confort intérieur.

Par la suite, on arrive à une analyse descriptive de l'environnement extérieur de l'îlot urbain « Guehdour Tahar » qui sert le cadre de notre étude, accompagnée d'une analyse typomorphologique des bâtiments collectifs de la cité résidentielle en question à la base d'exploitation des plans, des cartes, des photos...etc. Ces données servent un support d'appui pour comprendre en particulier certaines caractéristiques des bâtiments servant à notre étude (orientation, forme, et notamment de leurs équipements de chauffage et de ventilation).

IV.2. Situation de la ville de Guelma

La région de Guelma se situe dans une cuvette et entourée par des merveilleuses montagnes telles que la montagne de Mahouna, Debagh, Nador, et Houara. Elle se caractérise par la disponibilité des terres agricoles fertiles (Haridi, 2012, p.47)

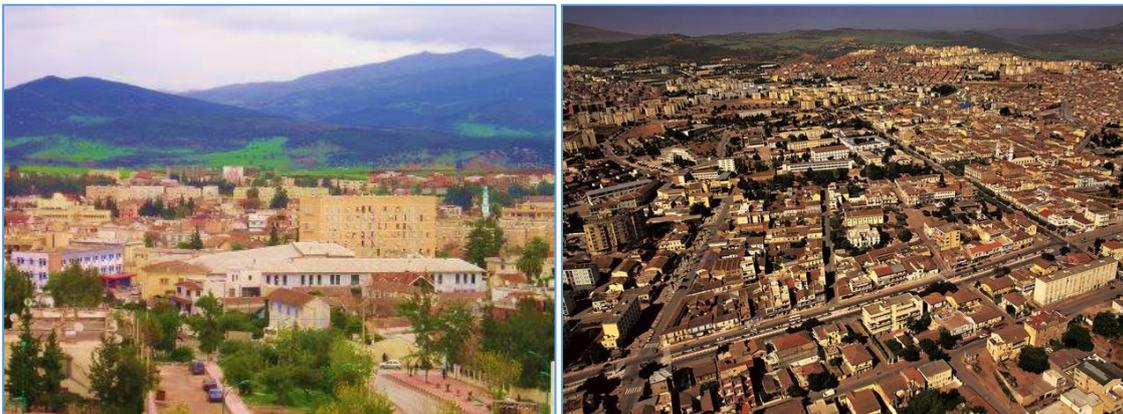


Figure IV. 1-2 : vue sur la ville de Guelma. (Source : Blog de guelmacity)

Géographiquement, la ville se situe au Nord-Est du pays, Elle se localise par 07-28 est de longitude est de 36-28 de latitude nord, à 2 kilomètres au sud de la rive droite de la Seybouse et à 2 kilomètres et ½ du Djebel-Mahouna. (Voir Figure IV.3). Cette ville occupe une position stratégique, de par ses frontières, qui sont au nord la wilaya d'Annaba, au sud la wilaya d'Oum El Baouaghi, à l'est la wilaya de souk Ahras, à l'ouest la wilaya de Constantine, au nord-est la wilaya d'El Taref et au nord-ouest la wilaya de Skikda (Voir Figure IV.3-4).

De ce fait, elle constitue un point qui relie les Wilaya du littorale (Annaba, Skikda et El Tarf) avec les wilayales d'intérieurs (Constantine, Oum EL Bouaghi, et Souk Ahras)

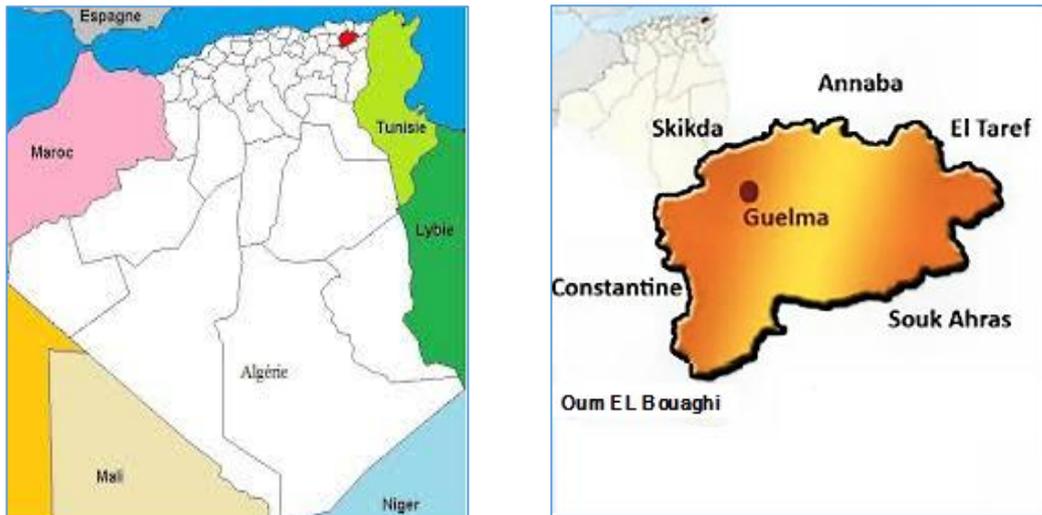


Figure IV.3-4 : Situation et limite de la ville.

(Source : Blog de guelmacity).

IV.3. Le contexte historique de la ville

La région de Guelma est habitée depuis la préhistoire. Ce site est un vaste plateau sur le versant Nord-est de la montagne Mahouna, la plus haute de ces contrées. Au Nord-est on voit le vallon fertile qui conduit à Hammam-Berda, au lac Fetzara et au-delà. A l'est se déroule, a perte de vue, une magnifique plaine qu'on appelle la pleine de la Seybouse. Cette rivière qui tourne ensuite au Nord en arrosant d'autres vastes plaines jusqu'à Hippone ou elle se jette dans la mer. Assez au loin à l'ouest, on voit une grande montagne qui paraît aride, appelée Djebel-Debagh : elle renferme dans un vaste flanc, disent les arabes, des grottes épouvantables, redoutables repaires d'esprit malins (Haridi, Op, cité.).

Ce potentiel naturel a contribué à attirer le désir des invasions. Donc la région fut envahie par plusieurs peuplements et plusieurs formes d'urbanisation. La première installation humaine est à l'âge quaternaire (-2 millions d'années). Mais c'est à partir du paléolithique supérieur (-30 000 ans à -10 000 ans) qu'on pourrait parler des ancêtres des populations de la région de Guelma (Judas, 1838, p.190).

IV.3.1. Les Phéniciens

A cette époque, Guelma appelée Calama, bien que ce nom est d'origine phénicienne. Les phéniciens s'y installèrent progressivement, faisant de Calama et sa région une enclave convoitée. Ils érigèrent des postes et des fortifications. Ils étaient réputés pour leurs tissus (teinture pourpre fabriquée à partir du murex), pour leur production de verre, l'artisanat du métal, de l'ivoire et du bois (Haridi, Op, cité, p.56).

IV.3.2. Les Numides

Le nom de la ville devient Malacca (la royale), lieu de prédiction et de détente réputé pour ses fameux thermes ; et c'est la ville de séjour des rois numides (Lancel, 1985, p.19-26). Reçut une organisation municipale de type punique qui fut administrée par des suffites. Salluste (-42 et -

40), atteste qu'au cœur de la Numidie orientale et du royaume Massyle qui couvre le Nord Constantinois, Calama assiste aux guerres puniques entre Rome et Carthage.

Concernant leur mode de vie, Strabon disait que les habitants de la Numidie habitaient une région très fertile, mais infestée d'animaux féroces. Il en résulta qu'ils vivaient errants et sans patrie, exactement comme ceux qui étaient réduits à la même existence à cause de la stérilité du pays et de la dureté du climat. De là, les Massésyliens reçurent le nom de nomades ou numides. Les Numides parlaient le phénicien, qui était la langue officielle de cet Etat.

IV.3.3. Les Romains

Devenue possession romaine prospère dès le 1^{er} siècle de notre ère, Calama est érigée en Municipale puis en colonie, pour constituer, avec Hippone et Sétifis, les principaux greniers à blé de l'empire, sous le règne des Sévère. La ville romaine est bâtie sur l'emplacement de la cité berbère *Malaka*. Son plan en damier établis selon le critère de rationalité géométrique a été établi à partir du IV^e siècle jusqu'au III^e siècle avant notre ère. Dans ce quadrillage, les édifices publics occupaient une place centrale. Calama antique possédait plusieurs amphithéâtres, des forums, basiliques, thermes, dont les ruines imposantes élèvent encore vigoureuses, bravant l'effort des temps.

Son imposant théâtre de 5000 places, l'un des plus grands et des mieux conservés d'Afrique du Nord, est témoin de l'importante activité culturelle à cette époque.

IV.3.4. Les vandales

Dès que se confirma la menace d'invasion vandale, en 431, Possidius se refugia à Hippone (Annaba) et Calama (Guelma) tomba sous l'emprise de Genséric ; la ville de Calama se vit complètement anéantie. L'invasion des vandales la trouva probablement fortifiée, et c'est ainsi que, sans doute aussi, commença sa ruine et celle de toutes les villes romaines (430) (Haridi, Op, cité, p.69).

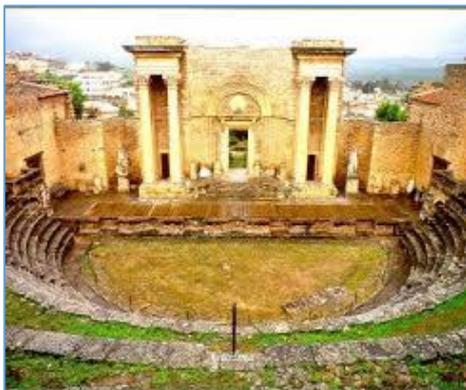


Figure IV.5-6 : Théâtre romain de Guelma. (Source : Blog de guelmacity)

IV.3.5. Les Byzantins

Après la reconquête de l'Afrique du Nord par les Byzantins, Solomon, général de Justinien, y fit reconstruire toutes les forteresses pour élever partout de nouvelles enceintes. La première action entreprise par les byzantins fut la restauration des cités et des municipalités, c'est à dire

restructurer l'Afrique et remettre les citées à leur état d'avant l'invasion vandale, dans le but de développer la vie urbaine des cités. Ce fut le grand projet de l'empereur Justinien (361-373) dont bénéficia Guelma.

IV.3.6. Les ottomans

L'époque ottomane, quant à elle, n'a pas effectué de changements radicaux dans le paysage socioculturel de Guelma. L'évolution de la ville, lors de cette période, reste faible et très peu connue. Guelma dépendait du grand beylik de Constantine.

IV.3.7. Occupation française

« Le 8 novembre 1836 l'armée française quittait Bône, se dirigeant vers Constantine. La colonne en marche forcée arriva le 10 novembre dans le Guelma des arabes, qui n'était qu'un amas de ruines et de décombres antiques sur lesquels se tenait le reste de la ville, avec de rares gourbis...

Ces ruines étaient les restes de la cité antique... Comme toutes les plaines voisines, de montagnes, les environs de Guelma étaient dépeuplés et désertes. Pendant ce temps la garnison de Guelma à l'attaque de 2 000 à 3 000 indigènes. Quand l'occupation de Guelma fut décidée on éleva d'abord des bâtiments permanents. Le Chemin de Duvivier fut construit, gravissant les collines pour ouvrir la route la plus courte sur Medjez Amar.

En 1844 on dressa le plan relatif aux travaux de défense de Guelma, et aux alignements de la ville. Entre 1844 et 1845 le génie militaire construisit le pont de la Seybouse et le tracé actuel de la route de Bône, (Qui n'est autre que la voie romaine).

Le 20 janvier 1845 par arrêté du ministère de la guerre, création annexée au camp, d'un centre européen de 250 familles avec un terrain de 1 000 à 10 000 hectares.). Un Budget présenté par la commission administrative pour l'exercice de 1845 renfermait les articles suivants le tracé et nivellement des rues, ouverture des chemins d'exploitation, distribution des eaux, construction des lavoirs publics, reconstruction de l'église (ancienne basilique byzantine), construction d'une école, d'un presbytère et d'une pépinière.

En 1846 la place de Guelma fut érigée en chefferie indépendante de Bône et en 1847, le camp militaire de Medjez Amar fut abandonné et le 1^{er} février 1847, on autorisa la cession provisoire pour y fonder un établissement d'orphelin. L'enceinte de la ville de Guelma a été reconstruite en partie en 1848, sous la direction du Génie militaire.

En 1851 il y a eu l'installation d'une administration civile, le cercle contient quelques postes de villages indépendants de la chefferie, Nchmeya limite du cercle construit en 1835, le redoute d'hammam Maskoutaine, et Medjez Amar, Hammam brader est un petit poste entouré d'un mauvais mur en maçonnerie.

Il était demandé de fixer la délimitation définitive entre les cercles de Guelma et ceux de Constantine en réservant autour de Guelma un large espace pour la colonisation afin de

cantonner les arabes dans des terrains aujourd'hui presque vides. » (Michael Greenhalgh, 2014, p. 164-187).

IV.4. Le contexte climatique de la ville

Au pied de la Mahouna, la vallée de Guelma se repose bien aérée, verte, fertile et mystérieuse. D'après la figure IV.08, Guelma appartient à la zone climatique d'hiver H2a et à la zone climatique d'été E2.

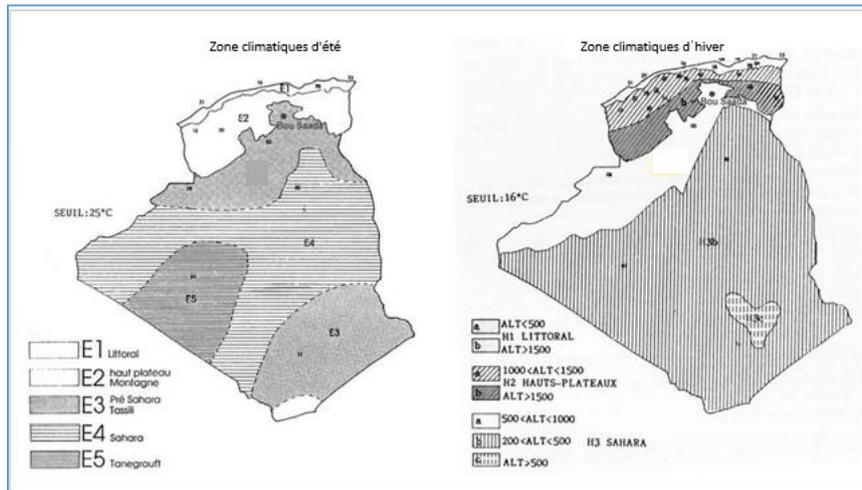


Figure IV.07 : les zones climatiques en Algérie. (scribd.com)

Pour définir le climat de la ville de Guelma, il est utile d'interpréter les paramètres climatiques si dessous.

IV.4.1. Température

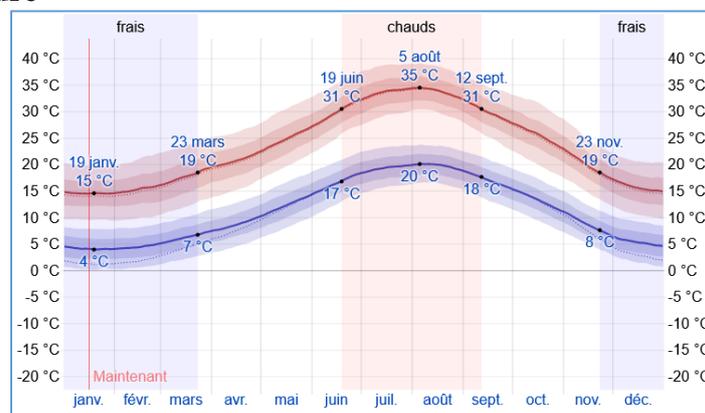


Figure IV.08 : Température moyenne maximale et minimale à Guelma, période : 2010-2021. (Weather Spark.com)

Selon la figure IV.09, on remarque que la période du 19 juin au 12 septembre constitue la période la plus chaude de l'année avec une température quotidienne moyenne maximale supérieure à 31 °C. Dont le mois d'août est le mois le plus chaud de l'année avec une température moyenne maximale de 34 °C et minimale de 20 °C. Tandis que le mois le plus froid de l'année à Guelma est janvier, avec une température moyenne minimale de 4 °C et maximale de 15 °C.

La figure IV.10 ci-dessous montre une caractérisation compacte des températures horaires moyennes pour toute l'année.

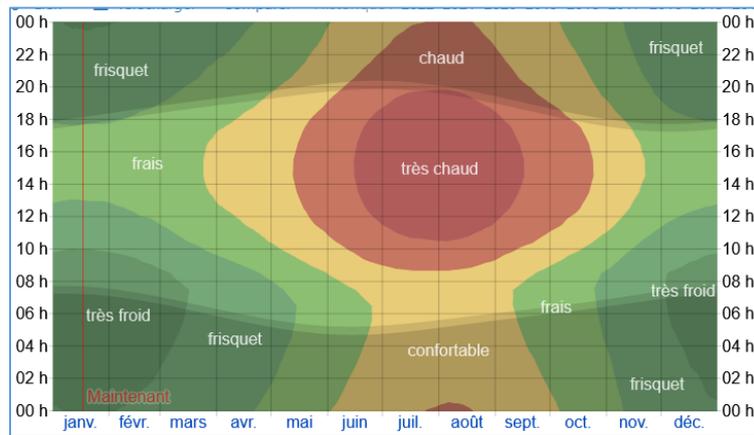


Figure IV.09. Température horaire moyenne à Guelma, période : 2010-2021. (Weather Spark.com)

IV.4.2. Précipitation

La précipitation est la totalité de la lame d'eau quantifiée par la pluviométrie, elle est d'origines divers : pluie, neige, etc.

Le mois ayant le plus grand nombre de jours de précipitation à Guelma est *février*, avec une moyenne de *8,1 jours* ayant au moins *1 millimètre* de précipitation. Le moins ayant le moins de jours de précipitation à Guelma est *juillet*, avec une moyenne de *1,8 jour* ayant au moins *1 millimètre* de précipitation.



Figure IV.10. Précipitation à Guelma, période : 2010-2021. (Weather Spark.com)

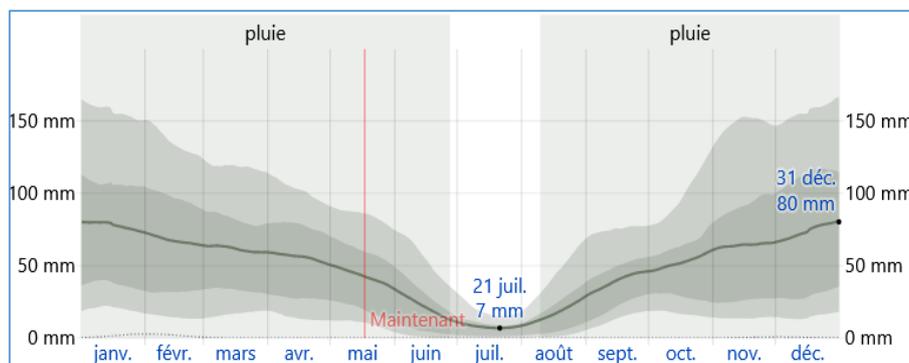


Figure IV.11. Pluviométrie mensuelle moyenne à Guelma. période : 2010-2021. (Weather Spark.com)

La pluviométrie mensuelle moyenne minimale est de 7 mm. Tandis que la valeur maximale est d'environ 80mm.

IV.4.3. L'humidité

Selon la figure IV.13, La période la plus lourde de l'année dure 3,4 mois, du 22 juin au 1 octobre, avec une sensation de lourdeur, oppressante ou étouffante au moins 5 % du temps. Le mois ayant le plus grand nombre de jours lourds à Guelma est août, avec 6,1 jours lourds ou plus accablants.

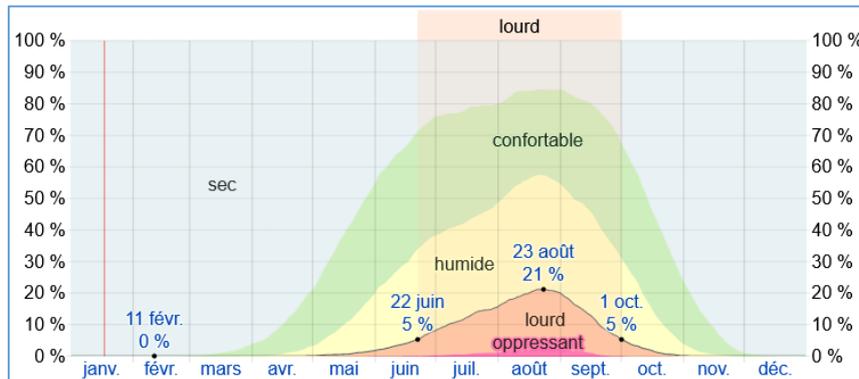


Figure IV.12. Les valeurs d'humidité relative à Guelma, période : 2010-2021. (Weather Spark.com)

IV.4.4. La vitesse de l'air

La figure IV.14 traite la vitesse et la direction du vent à 10 mètres au-dessus du sol. Le vent à Guelma connaît une variation saisonnière modérée au cours de l'année. La période la plus venteuse de l'année s'étale de novembre à mai, avec des vitesses de vent moyennes supérieures à 12,6 kilomètres par heure. Le mois le plus venteux de l'année à Guelma est décembre, avec une vitesse horaire moyenne du vent de 14,2 kilomètres par heure. Tandis que la période la plus calme de l'année s'étale de mai à novembre, dont le mois le plus calme de l'année à Guelma est août.

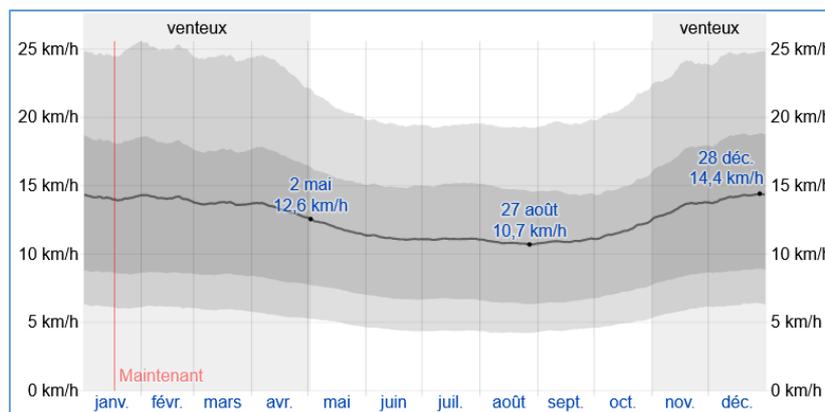


Figure IV.13. Les vitesses moyennes du vent à Guelma, période : 2010-2021. (Weather Spark.com)

La figure IV.15 montre la direction du vent à Guelma au cours de l'année. On remarque que le vent vient le plus souvent du nord pendant la période qui s'étale d'avril jusqu'à octobre, avec un pourcentage maximal de 47 % le 21 juillet. Il vient le plus souvent du sud en octobre, avec un pourcentage maximal de 29 %. Mais il vient de l'ouest pendant 6 mois d'octobre jusqu'à le mois d'avril, avec un pourcentage maximal de 49 %.

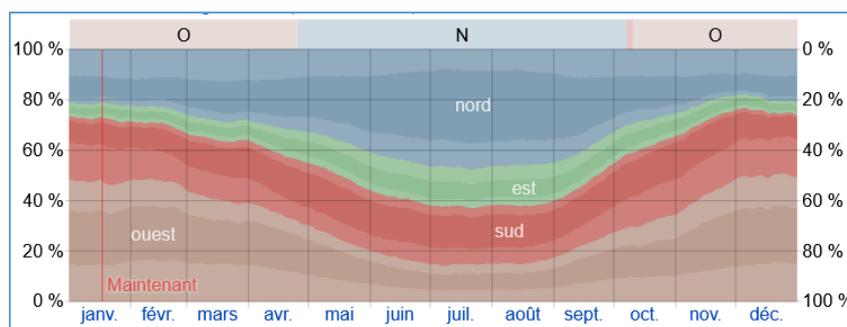


Figure IV.14 : La direction du vent à Guelma, période : 2010-2021. (Weather Spark.com)

Au cours de l'année la température varie entre 4°C et 35°C et est rarement inférieur à 0°C ou supérieur à 39°C, sa pluviométrie est de 450-600 mm/an¹⁶. Les étés à Guelma sont courts et très chaud dans l'ensemble. Le mois le plus chaud est Août avec une température moyenne qui varie entre 20°C et 34°C. Les hivers sont long, le mois le plus froid de l'année est Janvier avec une température moyenne qui varie entre 4°C et 15°C.

En exploitant les données climatiques précédentes, on peut calculer l'indice d'aridité (I) à l'aide de la formule de MARTONNE : $I = P/T + 10$. (Tableau IV.1) ; avec :

P : c'est la précipitation moyenne annuelle (mm).

T : C'est la température moyenne annuelle (C°).

I < 5 : climat hyperaride.

5 < I < 7,5 : climat désertique.

7,5 < I < 10 : climat steppique.

10 < I < 20 : climat semi-aride.

20 < I < 30 : climat tempère.

Tableau IV.1. Calcul de l'indice d'aridité pour la ville de Guelma. Source : Auteur 2019.

Température (C°).	précipitation	Indice d'aridité	Type de Climat
19.5	300	10.17	semi-aride.

En cela, la ville de Guelma est dominée par un climat semi-aride

IV.5. Typologie de l'habitat à Guelma

L'analyse typologique conduit à identifier les déterminants de chaque composant des habitats présentés à Guelma, habitat individuel, habitat collectif, habitat spontané et genèse chronologique Habitat traditionnel, habitat moderne, etc. Ainsi L'intérêt de ce modèle d'analyse sert surtout à définir de manière tangible la dimension cognitive exprimée relativement à chacun de ces composants de manière à améliorer notre connaissance de ce qui n'est souvent aujourd'hui caractérisé que de manière empirique dans une alternative cherchant à comprendre si la typologie d'habitat est surtout dépendante de sa localisation géographique, et au temps de sa conception.

¹⁶ <https://fr.weatherspark.com/y/55170/M%C3%A9t%C3%A9o-moyenne-%C3%A0-Guelma-Alg%C3%A9rie-tout-au-long-de-l'ann%C3%A9e>

IV.5.1. L'habitat colonial

Comme la majorité des villes Algériennes la ville de Guelma comprend une diversité de type d'habitat selon les civilisations qui ont passé. En plus de l'habitat traditionnel arabe, le centre de la ville est occupé par l'habitat colonial de type pavillon (villa) ou des immeubles à plusieurs étages (voir figure IV.16-17). Ce noyau à tendance de devenir un centre d'affaire, dans la mesure où un nombre important de logements se transforment en bureaux et services et les RDC se transforment en commerces.



Figure IV.15 : La maison pavillonnaire de l'époque colonial à Guelma (cité Bon accueil). Source : <https://docplayer.fr/34359829-Jm%60@-bjy-mkhtr-%60nb@.html>.



Figure IV.16 : Immeubles colonial d'habitat collectif au centre-ville de Guelma. Source : <https://docplayer.fr/132521915-Inventaire-et-ecologie-des-oiseaux-nicheurs-dans-la-ville-de-guelma-nord-est-de-l-algerie.html>.



Figure IV.17 : Les HLM (Immeuble «septième») à Guelma. Source : <https://www.elwatan.com/regions/est/actu-est/immeuble-septieme-a-guelma-enfin-des-travaux-de-rehabilitation-04-01-2020>.

A la veille de l'indépendance un autre type d'habitation appelé HLM (habitat à loyer modéré) a vu naissance, il était concentré autour du noyau colonial qui occupe le centre-ville (voir figure IV.18)

IV.5.2. L'habitat individuel

L'habitat individuel «illicite» ; C'est un type d'habitat non planifié qui représente le produit des citoyens eux même sans étude préalable, qui s'appelle l'habitat individuel spontané. Il se localise sur les parties Nord et Ouest de la ville englobant plusieurs citée à savoir : la cité Bourara, Benchehib, Hadj Embarek, Bourdjiba, Seddiki...etc. toutes ces cités sont d'origine foncière privée. Elles représentent une densité trop forte.

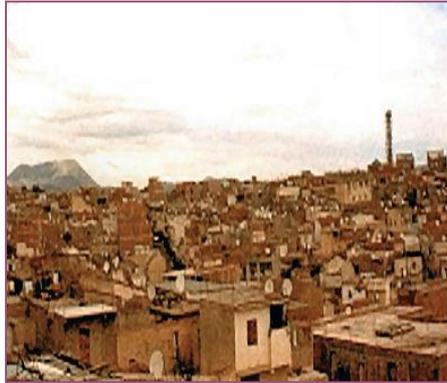


Figure IV.18 : Habitat spontané à Guelma. Source : Source : Haridi, 2001

L'habitat individuel planifié en plusieurs lotissements constitue la deuxième catégorie de l'habitat individuel. Ce type d'habitat est concentré au nord et au sud de l'agglomération de Guelma et comptant un certain nombre de lotissements créés depuis 1980 tel que le lotissement 19 juin.

IV.5.3. L'habitat collectif

En ce qui concerne l'habitat collectif, ce type d'habitat, qui se matérialise à travers des opérations planifiées de logements sociaux, s'est implantée sur plusieurs sites. Sa création commence dans les années 70 à travers des prototypes de ZHUN. Parmi ces zones d'habitat collectif on peut citer : les ZHUN de Ain defla, Champ de manœuvre et la cité Guehdour-Tahar (voir figure IV.20-21-22).



Figures IV.19-20-21 : Les ZHUN de Guelma (cité Ain defla, cité Champ de manœuvre, cité Guehdour-Tahar). Source : <https://www.algeriahome.com>.

Ainsi et après les grandes constructions industrialisées, la ville de Guelma a connu à partir des années 1996 des nouvelles formules du logement collectif (LSP, LSL, LAAP...) situées en particulier dans les nouvelles villes « Calama» et « Hedjer Mangoub ».



Figures IV.22-23 : Cité Amir Abdelkader (LSP) à Guelma. AADL à la nouvelle ville de Guelma.
Source : Haridi 2012

IV.6. Cas d'étude : La cité Guehdour-Tahar



Figure IV.24. Vue panoramique de la cité Gahdour Tahar, Source : Auteure 2019.

IV.6.1. Création de la cité

Au lendemain de l'indépendance, l'Algérie s'est trouvée face à une situation de crise de logements due à l'exode rural, à l'augmentation démographique très rapide et au choix politiques de l'époque. Cette situation a conduit au développement conséquent de l'habitat précaire. Cela a poussé à recourir à la reproduction des grands ensembles européens (ZHUN) à partir des années 1970 comme solution d'urgence.

A Guelma, les nouvelles extensions sont spontanées, souvent sur des terrains non urbanisables, conduisant alors à la création des quartiers illicites. C'est le cas par exemple de la zone Oued Skhoun. Vue de cette situation, les décideurs centraux ont imposé une planification spécifique dans la production de l'habitat par le lancement du programme « zones urbaines nouvelles d'habitat » comme la cité Guehdour Tahar. Cette dernière constitue la première grande extension urbaine planifiée de Guelma, comportant l'ensemble de l'habitat collectif avec un programme de 800 logements. La réalisation a commencé en 1975 par une entreprise algérienne « Chaabani » suivant un système constructif en poteau-poutre et un remplissage en parpaing.

IV.6.2. Situation par rapport à la ville

La cité Guehdour Tahar est située au Sud de la ville de Guelma près de son centre et à proximité de l'ancien Bab-souk et le monument des massacres du 8 mai 1945. Elle est formée de deux parties ; la première appartient au POS U.A7/2 et la deuxième au POS U.A7/3 et occupe une surface de 22 hectares.



Figure IV.25. Le monument qui rappelle les massacres de 08 Mai 45, Source : Auteur 2019.

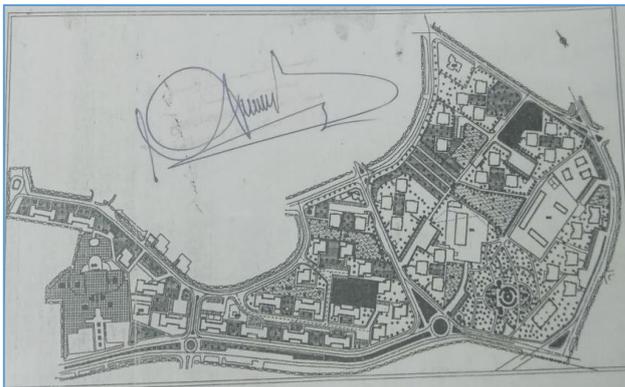


Figure IV.26. POS U.A7/2.

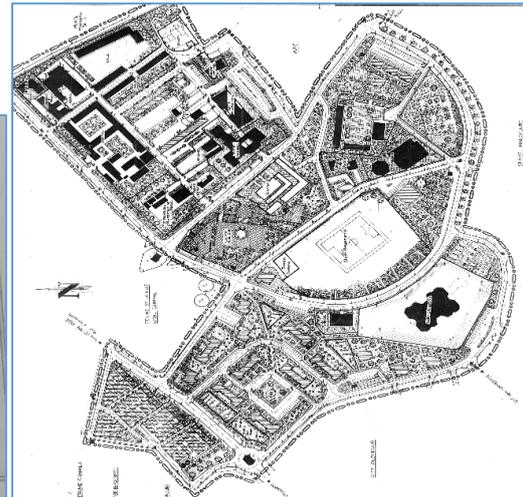


Figure IV.27. POS U.A7/3



Figure IV.28. Plan de limite et d'accessibilité au quartier. Source : (Google earth)

IV.6.3. Analyse de l'environnement extérieur

Un quartier constitue une entité géographique, formelle et sociale essentielle dans la ville, comportant un ensemble d'îlots, de parcelles incluse dans un système cohérent. En effet, le système peut comprendre différents types de tracés, différents modèles morphologiques, différents types bâtis, différentes fonctions et différentes zones de densité (Benyousef, 2007, P.27).

Cependant le quartier d'étude est structuré de façon complexe sur la base d'un axe (une voie en boucle) qui assure le déplacement du rond-point EL karmet, prenant une promenade dans le quartier vers la cité limitrophe « la cité du champ de Manœuvre ». Ainsi une deuxième voie en boucle qui relie la cité GUEhdour Tahar au vieux centre urbain (Bab Essoug). En fin des voies tertiaires assurant les entrées aux bâtiments. Ce maillage en deux boucles forme ainsi le tracé de cinq îlots qui ont des contours irréguliers, dont deux îlots sont destinés à l'habitat, un îlot occupé que par des équipements, et deux îlots mixte (habitat et équipement).

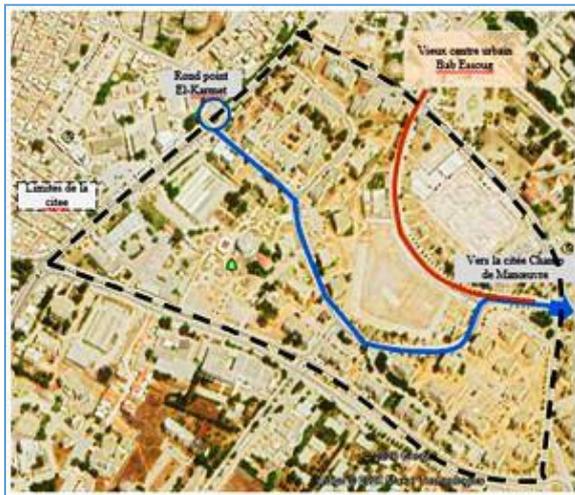


Figure IV.29. Axes structurants

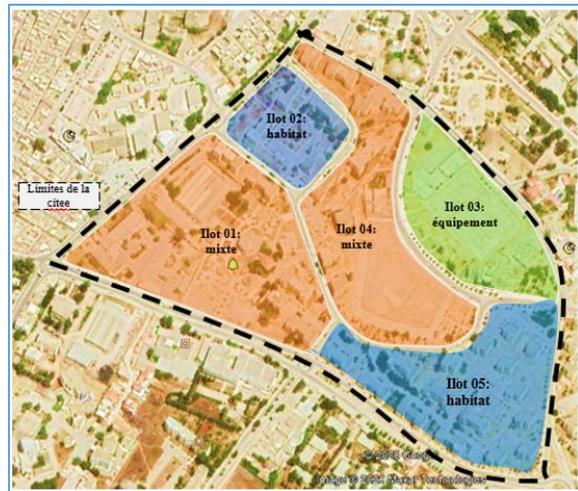


Figure IV.30. : Forme des îlots. Source(Google earth)

Disposés suivant des directions différentes, les bâtiments profilent une silhouette uniforme avec une même gabarie (R+4) sans élément de différenciation. La trame bâtie est discontinue, avec une projection ponctuelle non maîtrisée. L'existence du vide (espace résiduel) entre les bâtiments, crée ainsi un tissu urbain aéré.



Figure IV.31-32. Vue de la cité Guehdour-Tahar. Source : auteure 2019.

De ce fait, les espaces libres présentent une continuité totale. Une partie de ce vide urbain, notamment entre les bâtiments est laissé à l'état naturel sans traitement ni immobilier, entrecoupé par des parcours piétons engendrés par les habitants eux-mêmes. Dans d'autres îlots, l'espace libre est aménagé en jardin, place publique, aire de jeux (stade) et aire de stationnement.



Figure IV.33 : L'espace libre dans le quartier. Source : (google Earth).

Ces espaces publics, à proximité des bâtiments, représenté en air de jeux (stade), voie à grande circulation et grands parkings constitue une source de nuisance sonore. Ce qui influe ainsi sur le rythme d'ouverture des fenêtres.

La présence des espaces verts, de grands arbres et des jardins autour des bâtiments du quartier en question peuvent rafraichir l'air intérieur en ouvrant les fenêtres.

IV.6.4. Genèse de la conception architecturale des bâtiments résidentiels collectifs

La conception architecturale comprend des plans, des esquisses, des vues 3D de l'habitat collectif. Elle comprend aussi plusieurs phases tel que le descriptif des travaux avec la connaissance des matériaux, des techniques utilisés et en prenant en compte de les forme et organisation de l'habitat collectif environnant.



Figure IV.34 : a) Carte de la Cité Gahtour » Source Google EARTH ; b) Typologies des bâtiments.
Source : auteure 2019

IV.6.4.1. Etat extérieur des bâtiments étudiés

Au niveau du quartier d'étude deux configurations de bâtiment ont été implantés, les bâtiments barres et les bâtiments angles. Les bâtiments barres disposent de 4 logements par niveau, tandis que la deuxième catégorie dispose de 3 logements par niveau.

L'implantation de ces bâtiments ne relève d'aucune logique urbaine, ils ont disposé de différentes directions ce qui rend certains bâtiments mal orientés. C'est ce qui empêche la pénétration des rayons solaire et du vent à l'intérieur des logements en engendrant des problèmes de confort intérieur. La figure IV.40 et IV.41 représentent les façades des bâtiments. Celles-ci sont caractérisées par une symétrie par rapport à un axe vertical au centre qui divise la façade en deux parties similaires. Avec une répétition de même forme des ouvertures en damier donnant un rythme monotone.

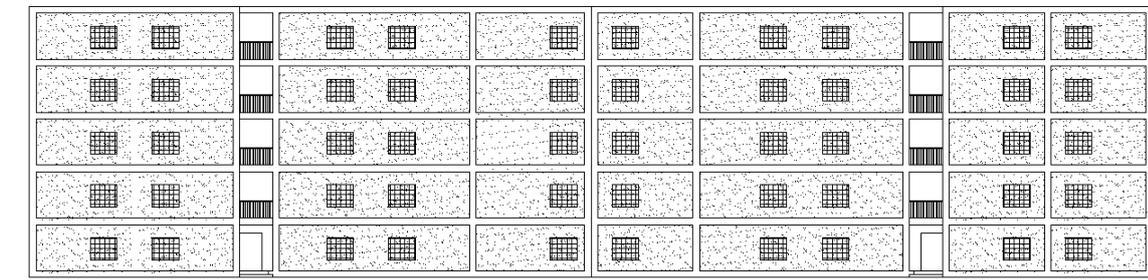


Figure IV.35 : Façade principale du bâtiment barre. Source : Auteure 2019.

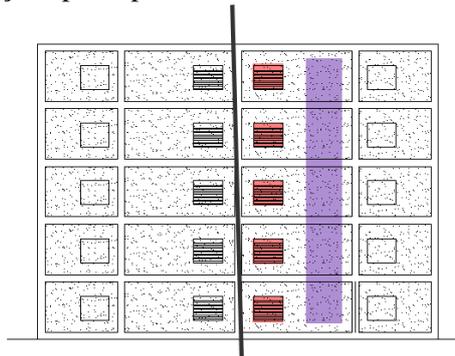


Figure IV.36 : Façade latérale du bâtiment angle. Source : Auteure 2019.

IV.6.4.2. Distribution spatiale des logements

L'espace domestique des logements étudié subit une distribution linéaire par couloir qui assure la communication et la desserte entre les différents espaces de ces logements. Cet espace de desserte est sombre et sans aération.

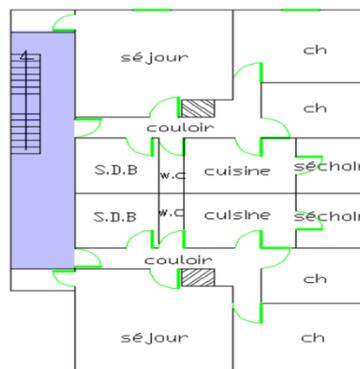


Figure IV.37 : Distribution spatiale des logements. Source : Auteure 2019

IV.6.4.3. Descriptif des dispositifs techniques dans les logements

A partir de notre analyse nous avons constaté que la surface des cuisines au niveau des logements analysés est très réduite avec une petite ouverture ce qui rend cet espace sombre et moins aéré. Cela a fait pousser la plupart des habitants à les agrandir en ajoutant les séchoirs pour être plus aéré et plus éclairé. La même chose pour les sanitaires qui en plus de leur surface réduite, ils ne possèdent pas des ouvertures mais ils disposent des gaines d'aération qui sont endommagées.

Ainsi, on a remarqué que la majorité des logements disposent des équipements de chauffage et de climatisation et des hottes de cuisine. Tous ces facteurs peuvent participer à la génération des polluants à l'intérieur de ces logements.

IV.7. Conclusion

A partir de ce chapitre on a pu comprendre d'une manière générale le contexte de notre cas d'étude, en particulier le contexte climatique qui on aide en premier lieu à déterminer le type de climat de la ville de Guelma « semi-aride ». Mais aussi de calculer, à travers la collecte des facteurs climatiques (la température, l'humidité relative et la vitesse de l'air), les journées types de l'année (design day) servant à la prise de mesure In-situ et à la réalisation du travail de simulation dans le chapitre suivant.

On a aussi pu connaître les types d'habitat qui existe dans la ville de Guelma en question dont on a pris les bâtiments collectifs (ZHUN) de la cité Guehdour-Tahar, qui est située au Sud de cette ville et près de son centre, comme cas d'étude. Les bâtiments de cette cité sont organisés suivant des directions différentes (barre et angles), et d'une silhouette homogène avec une même gabarie (R+4) et des façades uniformes sans élément de différenciation.

A la fin de ce chapitre on a fait une analyse de la distribution spatiale des logements étudiés toute en décrivant les éléments de ventilation naturelle et les dispositifs technique de chauffage et de climatisation qui existent.

On souhaite à partir de cette analyse contribuer à la réalisation dans le chapitre suivant d'un travail d'investigation pour évaluer l'état de la ventilation et de la qualité d'air à l'intérieur de ces logements et de chercher les éléments qui peuvent compromettre le confort sanitaire intérieur.

CHAPITRE V : ETUDE EMPIRIQUE : RECHERCHE DES DETERMINANTS DE LA QUALITE DE L'AIR INTERIEUR (QAI)

V.1. Introduction

Après avoir présenté et analysé le contexte servant à notre étude de la ventilation et de la qualité de l'air dans les bâtiments résidentiel collectifs de la cité Guehddour-Tahar (Guelma), ce chapitre a pour vocation d'établir dans un premier temps une prospection de notre étude empirique, y compris une étude qualitative à travers une enquête par questionnaire afin de déterminer les facteurs liés à la pollution intérieur et aux ressentis des habitants. Ces derniers sont les éléments aptes à fournir les données pouvant servir à on orienter vers les résultats de ce travail de recherche.

Ensuite une étude quantitative en décrivant le protocole expérimental mis en place afin d'aboutir à la mesure et à l'examen de certains contaminants à l'intérieur des logements étudiés et dans des conditions bien déterminées. Cette étude empirique a pour objectif de faire ressortir les différents paramètres influents sur la qualité de l'air dans les logements étudiés et de comprendre l'impact des impuretés incrustées dans l'air intérieur sur le confort sanitaire et hygiénique.

V.2. Etude qualitative : Enquête in-situ

Le questionnaire constitue un élément important des différentes études in situ réalisées (MOUJALLED, 2007, P.71). Il on permet de récolter les informations sur l'état de ventilation des logements enquêtes, ainsi que sur la qualité de l'air intérieur. L'utilisation de cette technique sert à qualifier les environnements intérieurs des logements étudiés en cernant les différents problèmes liée à la pollution intérieur y compris ; les concentrations de contaminants à l'intérieur, les pratiques de ventilation des résidents, les perceptions de la qualité de l'air intérieur et les paramètres détériorant la qualité de l'air intérieur et menaçant le confort des occupants qui sont ; la surchauffe, l'humidité, les odeurs...etc. Tandis que le contaminant moisissures sera évalué par l'observation de surfaces moisies.

V.2.1. Structure du questionnaire

Après une préenquête et des observations du problème d'étude, qui ont été effectué à la fin de l'année 2019, nous avons pu élaborer le questionnaire final avec des expressions simples comprises par l'ensemble des habitants du quartier d'étude. Il contient 21 questions fermées et ouvertes dont les questions fermées sont dominantes. Les réponses sont organisées en échelles de votes graduées pour permettre de quantifier la fréquence et l'intensité des variables, par exemple : « l'évaluation de la satisfaction envers la ventilation et l'aération du logement est : très bonne, bonne, acceptable, mauvaise et très mauvaise) (voir annexe A).

L'ensemble des questions sont réparties sur 7 parties (voir figure V.01). La première partie on permet de se renseigner sur la famille enquêtée y compris le nom, le prénom, l'âge et le sexe du répondant, ainsi que sur la composition du ménage. La deuxième partie permet de saisir les activités journalières des occupants et les pièces occupées. La troisième partie est considérée

comme un élément descriptif sur l'état de ventilation des logements, le mode de ventilation utilisé et le calendrier d'ouverture et de fermeture des fenêtres dans les différents espaces du logement.

Puis on passons à la partie de l'évaluation sensorielle des éléments du confort sanitaire existant à l'intérieur des logements enquêtés, en se basant sur le jugement subjectif et personnel de l'occupant à travers les sens, l'odorat et la sensibilité chimique trigémisée des muqueuse du nez et des yeux (ex : irritation) qui constituent en effet les premiers sources d'information de la perception de la qualité de l'air intérieur (QAI), des odeurs, du mouvement d'air, de la température et de l'humidité.

En fin, les deux dernières parties concernent en premier temps le recueil d'éléments sur les pathologies physique du bâtiment à travers l'observation de la présence de fissurations, de condensations et moisissures sur les parois (murs et plafond) des bâtiments étudiées. Ensuite nous finirions par l'évaluation des effets de la mauvaise qualité d'air sur la santé des occupants et surtout la santé allergique et respiratoire.

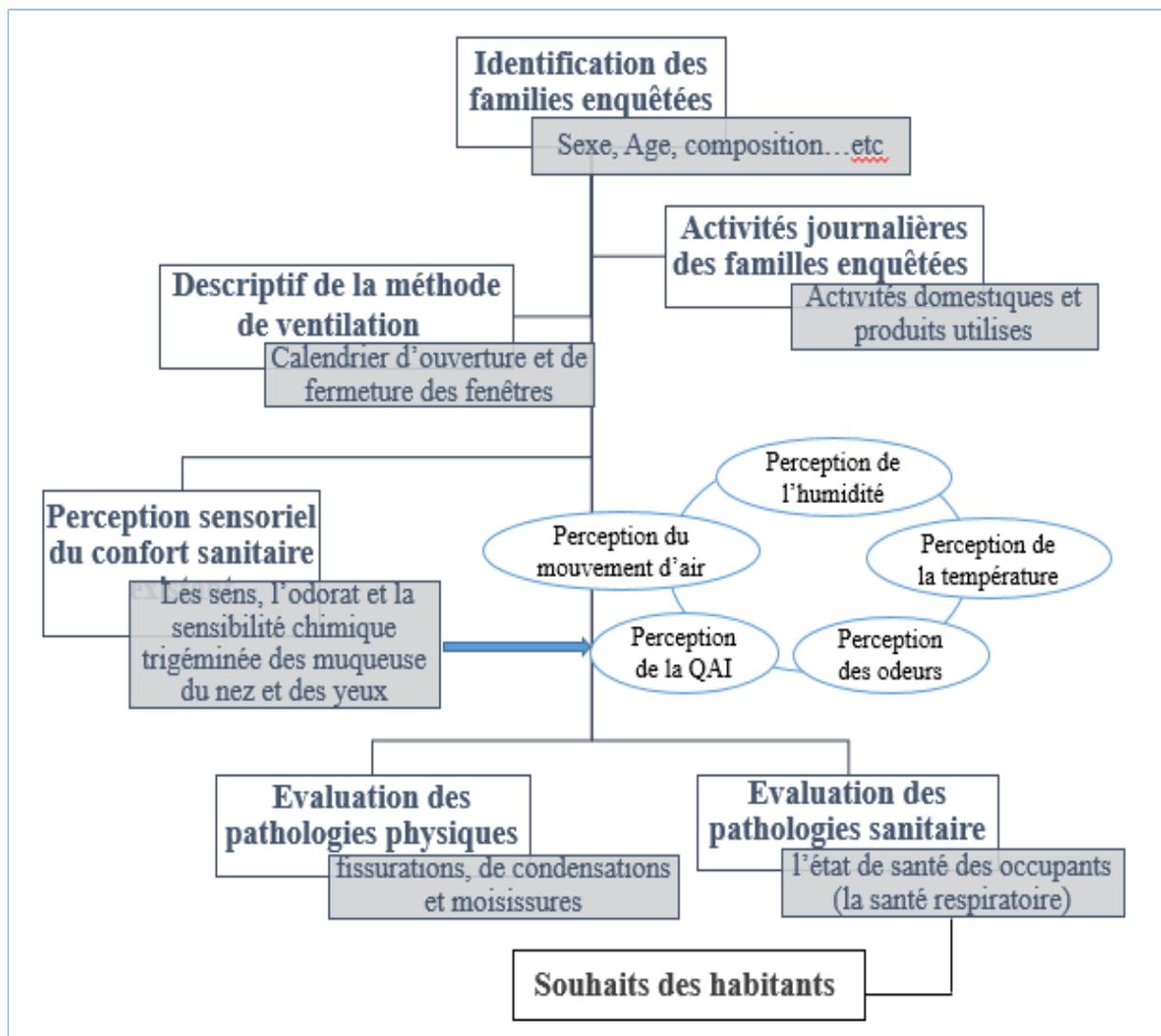


Figure V.01 : Structure du questionnaire. Source : Auteure 2021.

V.2.2. Détermination de l'échantillon (le corpus)

Le questionnaire est adressé aux habitants de la cité Guahddour Tahar-Guelma qui contient environ 700 logements. On prenant 10% du nombre de logements nous arrivons à distribuer 70 formulaires sur les logements désignés dans la figure V.02.

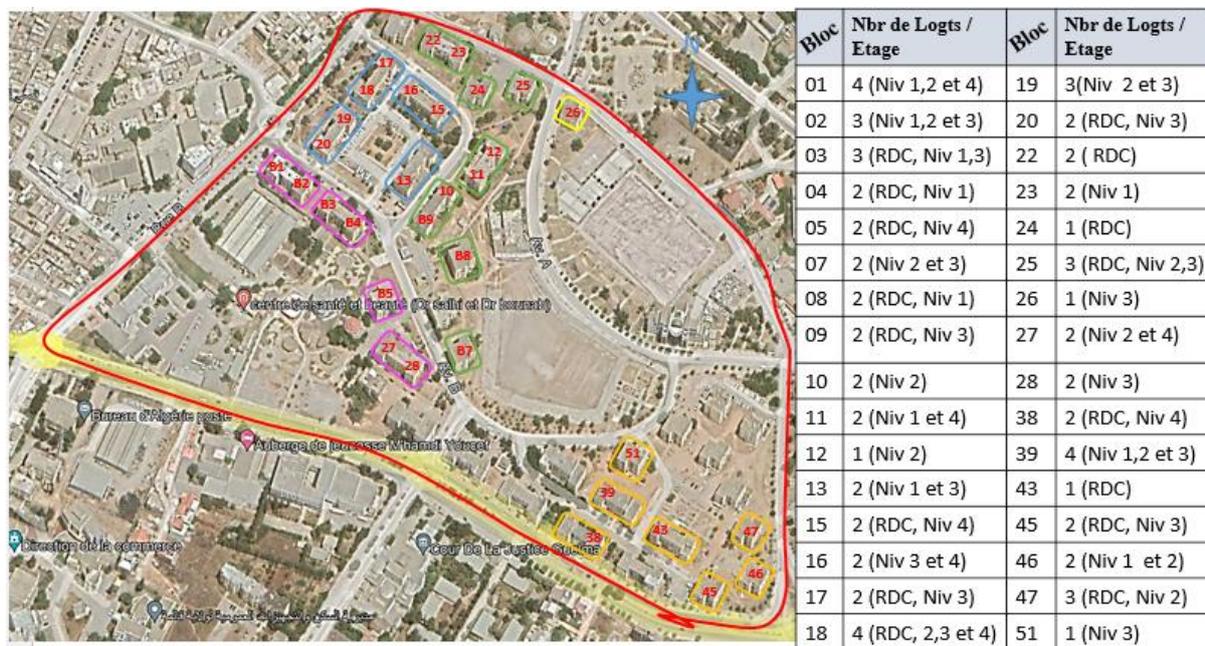


Figure V.02 : Désignation des logements enquêtés. Source : (Google-Earth traité par auteure 2020)

La distribution des formulaires a été faite pendant le mois de Mai 2020. Plusieurs visites ont été effectuées aux logements mentionnés dans la figure V.02 dont chaque formulaire a été adressé à un ménage pour le remplir soit sur place, soit il sera récupéré plus tard. Néanmoins on a pu récupérer que 60 formulaires remplis suite à la volonté des habitants à participer à l'enquête.

V.2.3. Classification et interprétation des résultats du questionnaire

La classification et l'interprétation des résultats sont deux opérations qui partent de la définition en amont, des objectifs à atteindre en termes d'évaluation. Elles se fondent également d'une création rigoureuse d'indicateurs qui tiennent compte des seuils imposés par les normes et la réglementation du confort sanitaire dans un logement collectif. Delà s'examine et s'interprète les résultats pour enfin établir un plan d'action en conséquence.

V.2.3.1. Identification des familles enquêtées

Cette partie on permet de définir le statu des répondants et la composition de la famille. Dans l'ensemble, la majorité des personnes enquêtés sont des femmes qui appartiennent à la fourchette d'âge de 30ans jusqu' à 65ans. La majorité des ménages enquêtés sont propriétaires de leurs logements. Ces derniers sont situés à plusieurs niveaux (RDC, 1^{er}, 2em, 3em et 4em étage) et dans différents bâtiments (barres et angles) (voir figure V.02)

Pour la composition des ménages enquêtés, on a remarqué qu'ils ont des personnes âgées dont la présence des enfants est un peu faible.

V.2.3.2. Activités journalières des familles enquêtées

A partir des réponses d'habitants à la question 1 (Combien du temps passez-vous généralement à l'intérieur de vos logements ?), les habitants du quartier Guehddour-Tahar passent de 60% à 80% de leur temps à l'intérieur de leurs logements, ce qui augmente le besoin d'un air intérieur sain, frais et respirable.

La figure V.03 montre la fréquence d'occupation des différents espaces du logement par ses habitants, à partir de laquelle nous pouvons dire que ces habitants utilisent la cuisine toute la journée avec un pourcentage de 57%, tandis qu'ils occupent souvent le séjour avec un pourcentage de 54%, et parfois la chambre avec un pourcentage de 60%. Finalement les cuisines et les séjours sont les espaces les plus fréquentés.

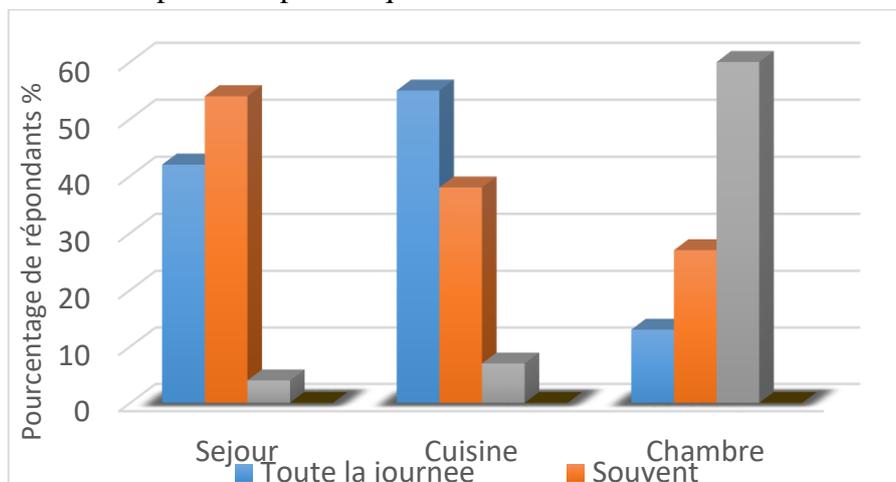


Figure V.03 : Fréquence d'occupation des différents espaces du logement. (Source : Auteure 2021)

L'activité de l'homme dans son habitat constitue un facteur qui influence la pollution intérieure, en cela l'analyse des activités domestiques dans les logements enquêtés constitue une étape importante pour définir les sources d'impuretés de l'air intérieur.

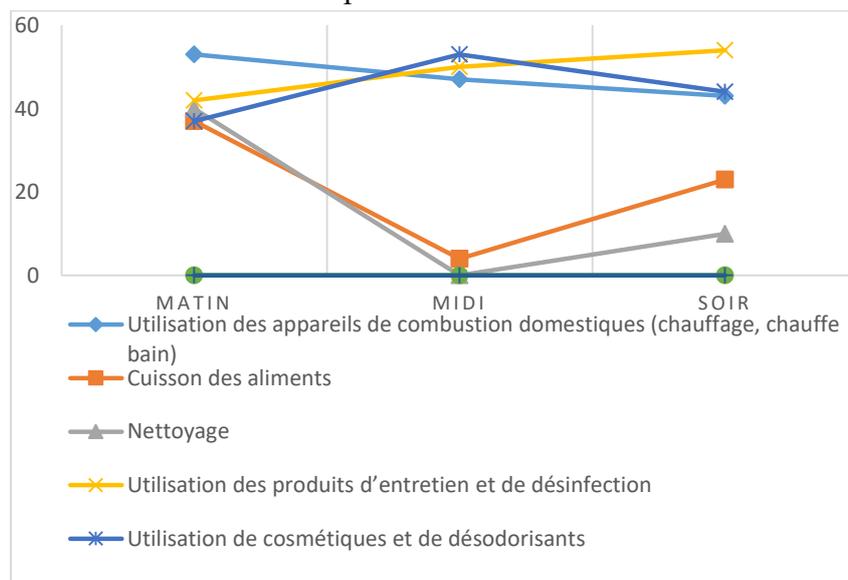


Figure V.04 : Activités journalières des habitants. (Source : Auteure 2021)

De ce fait, la figure V.04 représente les différentes activités domestiques faites par les occupants pendant la journée. A partir de cette figure, la majorité des habitants utilisent presque toute la journée des appareils à combustibles carbonés pour certains activités domestiques tel que ; le chauffage des locaux, la production de l'eau chaude sanitaire et la cuisson des aliments. Ces appareils peuvent, dans le cas d'une mauvaise utilisation, émettre des gaz carboniques toxiques et des polluants.

L'activité nettoyage (vaisselle, bain/douche, lessive, séchage et repassage du linge, nettoyage du sol) est exercée le matin et le soir. Elle produit de la vapeur d'eau, et charge l'air en nombreux éléments nocifs. L'utilisation des produits d'entretien et de désinfection, et l'utilisation de cosmétiques et de désodorisants est faites pendant toute la journée. Selon (Schriver-Mazzuoli, Op, cité, p.58) ces produits sont des sources qui augmentent la teneur des particules dans l'air en générant de très nombreux polluants. Tandis que le tabagisme, plantes et animaux domestiques sont inexistantes dans les logements enquêtés.

V.2.3.3. Descriptif de la méthode de ventilation

La figure V.05 montre le niveau de satisfaction des habitants de la cité Guehddour Tahar envers l'état de ventilation de leurs logements. Cela montre que 38% des habitants déclarent que l'état de ventilation de leur logement est mauvais. 25% des habitants disent que l'aération de leurs logements est acceptable, et 13% disent qu'elle est très mauvaise. Tandis que le reste de répondants sont satisfait, cela est inscrit entre le niveau bon et très bon avec un pourcentage de 15% et 9% respectivement.

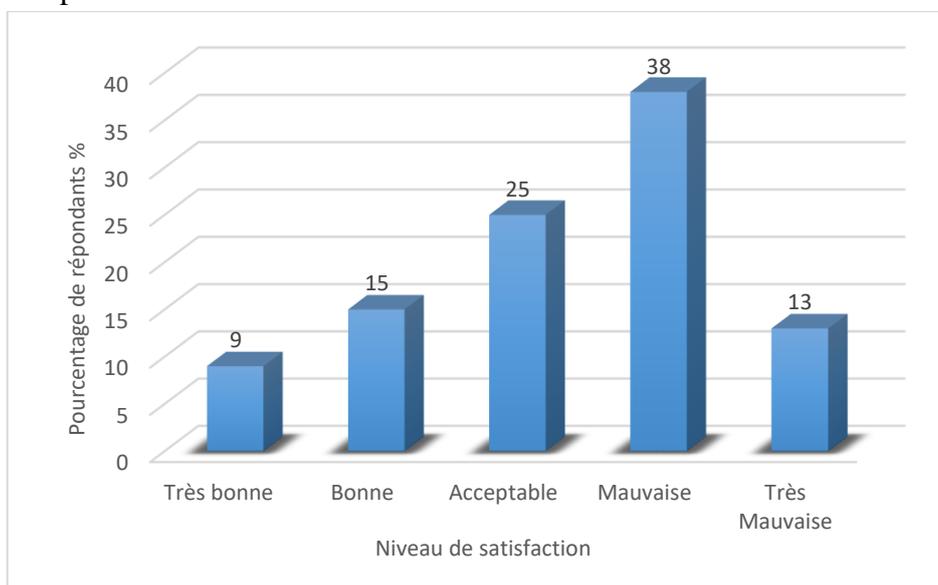


Figure V.05 : Niveau de satisfaction des habitants de la ventilation de leurs logements. (Source : Auteure 2021)

D'une manière générale, on peut estimer que la majorité des logements de ce quartier ne sont pas bien aéré.

D'après les réponses d'habitants à la question 5 (Voir annexe A) on remarque que les salles d'eau constituent des espaces mal aérés à cause de l'absence d'ouverture, et la présence des

gaines d'aération qui sont endommagées. Ainsi que l'espace cuisine à cause de sa petite dimension.

La figure V.6-7 illustre le calendrier d'ouverture et de fermeture des fenêtres dans la période de l'été et de l'hiver. Soit en été ou en hiver, certains habitants, presque la moitié, ouvrent les fenêtres de leurs logements le matin. Par contre certains d'autres n'ouvrent pas leurs fenêtres parce qu'ils seront sur les lieux de travail. Ces derniers déclarent que lorsqu'ils rentrent le soir, le bâtiment sera chauffé et l'air intérieur sera bouché.

Le soir de l'été, les habitants ouvrent les séjours et les chambres, dont les chambres restent ouvertes jusqu'à la nuit pour favoriser la fraîcheur et garantir un bon sommeil, sauf les nuits les plus touffues ils ferment et ils utilisent les climatiseurs. Tandis qu'en hiver, les occupants n'ouvrent quasiment jamais les fenêtres durant le reste de la journée (soir et nuit).

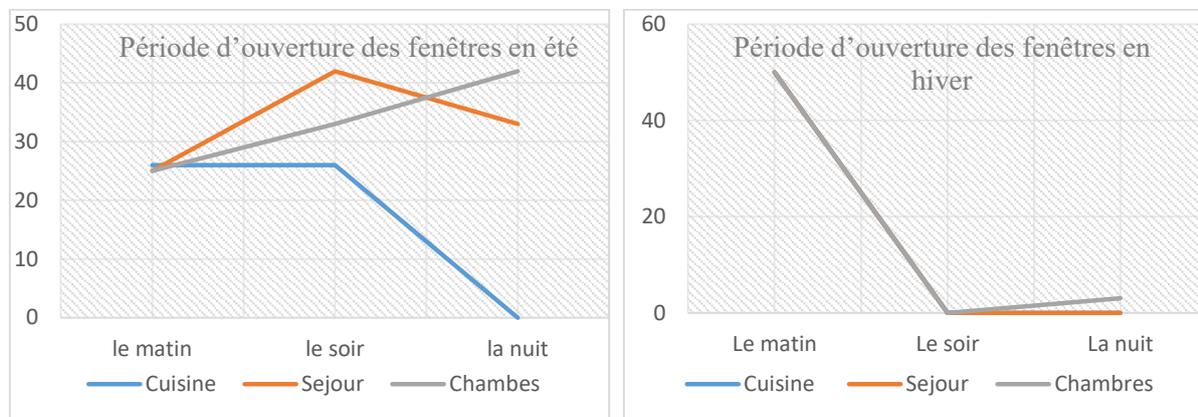


Figure V.6-7 : Calendrier d'ouverture et de fermeture des fenêtres (été/hiver). (Source : Auteure 2021)

A partir de la question n°7 et 8 (Voir Annexe A), sur les raisons d'ouvrir et de fermer les fenêtres, on a pu clairement conclure que les habitants ouvrent les fenêtres soit pour renouveler l'air intérieur et refroidir le logement en été, soit pour évacuer les odeurs. Mais aussi y a des cas qui ouvrent pour éclairer leurs logements. C'est pour les raisons de la fermeture, sont notamment la diminution de la pénétration de la poussière, des nuisances sonores, et du regard de l'extérieur vers l'intérieur. Cela se revient à l'implantation de certains bâtiments à côté des voies à grande circulation, des parkings, des espaces de jeux, et des cafétérias.

Mais aussi y a des gens qui ferment pour faire face aux mauvaises conditions climatiques extérieurs, soit afin d'éviter les pertes thermiques et de limiter les courants d'air froid en hiver, soit pour limiter la pénétration de la chaleur en été. Dans ces cas, ils utilisent le chauffage et le climatiseur. Ces systèmes peuvent engendrer des gaz carboniques, des microbes, des poussières et des fibres arrachées ...etc, ce qui provoque de nombreux impacts sur la santé humaine.

V.2.3.4. Perception sensorielle du confort sanitaire existant

A ce titre, les enjeux liés à la santé des occupants prennent une place particulière dans la perception du confort. Pour ne citer que quelques exemples, l'impact de la mauvaise qualité de l'air intérieur se révèle d'un point de la santé publique très néfaste : des études ont

démontré que la mauvaise ventilation d'un logement clos permet d'augmenter la production CO₂, les moisissures et beaucoup de maladies respiratoires.

V.2.3.4.1. Perception de la qualité de l'air intérieur

A partir de la figure V.08 on remarque que les réponses d'habitants se subdivisent en trois parties. Presque la moitié d'habitants (46%) ont perçu que la qualité de l'air à l'intérieur de leurs logements est acceptable. Le quart d'habitants ont perçu que cette qualité d'air est très bonne et bonne avec un pourcentage de 8% et 15% respectivement. Tandis que le reste d'habitants déclarent que la qualité d'air à l'intérieur de leurs logements est mauvaise et très mauvaise avec un pourcentage de 26% et 5% respectivement.

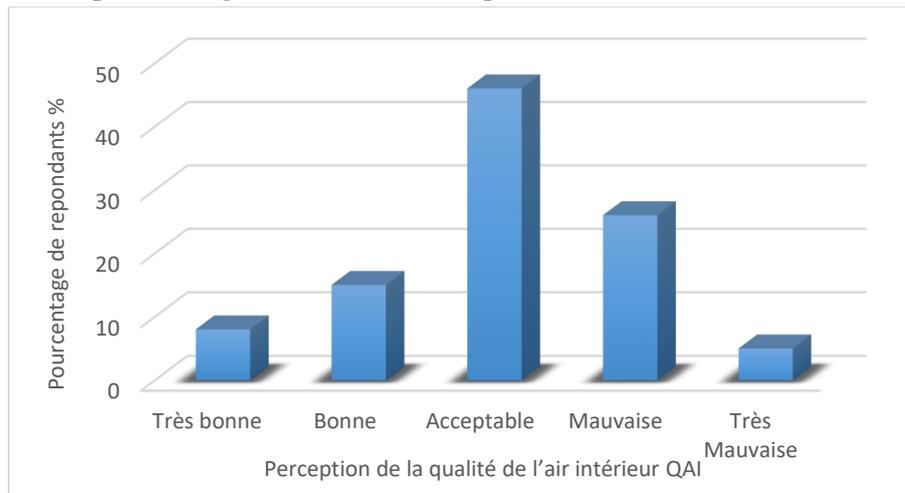


Figure V.08 : Niveau de perception de la qualité de l'air intérieur. (Source : Auteure 2021)

Selon les réponses des habitants dans la question n°10 (voir Annexe A), cet air intérieur pollué vient premièrement de sources extérieures (voie à grande circulation, parking). Selon Koffi, (Op, cité, p.21) « L'air atmosphérique contient des polluants produits en grande partie par les activités humaines (le chauffage domestique, transport, et industrie...). Les polluants d'origine industrielle ou automobile ce sont des particules ou des gaz tels que le CO₂, le SO₂, le NO₂, les hydrocarbures légers, les COV »

Puis ces polluants et odeurs peuvent revenir à l'homme lui-même, son métabolisme, sa respiration, et son mode d'habiter. Selon la question n°3 citée précédemment, les activités journalières adoptées à l'intérieur du logement sont souvent la cuisson des aliments, vaisselle, bain/douche, les activités de nettoyage, l'utilisation des produits d'entretien, de désinfection, et l'utilisation des produits cosmétiques et de désodorisants, sont aussi à l'origine de nombreuses substances nocives.

V.2.3.4.2. Perception olfactive

La figure V.09 ci-après représente le degré des odeurs ressenties par les occupants. 41% d'entre eux sentent qu'il est moyen, 28% ont dit qu'il est faible, et 21% ont dit qu'il est fort. D'après les réponses d'habitants à la question 12 (Lorsque vous ressentiez la présence des odeurs désagréables à l'intérieur de votre logement, quelles sont d'après vous les sources de ces odeurs ?) ces odeurs viennent le plus souvent des gaines d'aération qui ne fonctionnent pas et qui s'accordent avec un vide sanitaire, ou bien à travers la tuyauterie et les canalisations

endommagées. On a trouvé également que les odeurs de renfermé d'humidité sont des odeurs fortement ressentie par les occupants dans leurs logements.

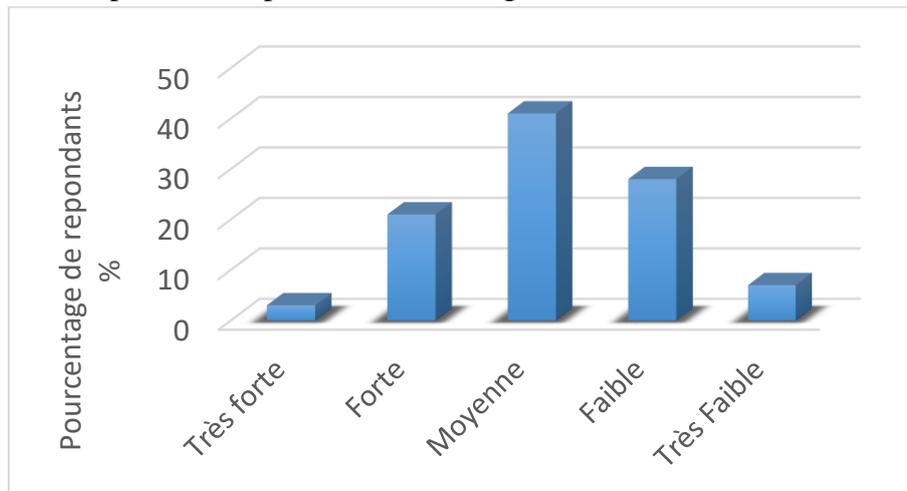


Figure V.09 : Sensation du corps humain envers les odeurs désagréables à l'intérieur du logement. (Source : Auteure 2021)

V.2.3.4.3. Perception du mouvement d'air (courant d'air)

A partir de la figure V.10 ci-après le mouvement d'air à l'intérieur des logements étudiés est ressenti moyenne par 43% d'habitants, forte par 26% et faible par 21% des habitants. Tandis que très peu d'habitants ont dit que le mouvement d'air est très faible ou très fort.

A partir de la figure V.11, le courant d'air à l'intérieur des logements étudiés n'est pas gênant dont la sensation agréable est dominante.

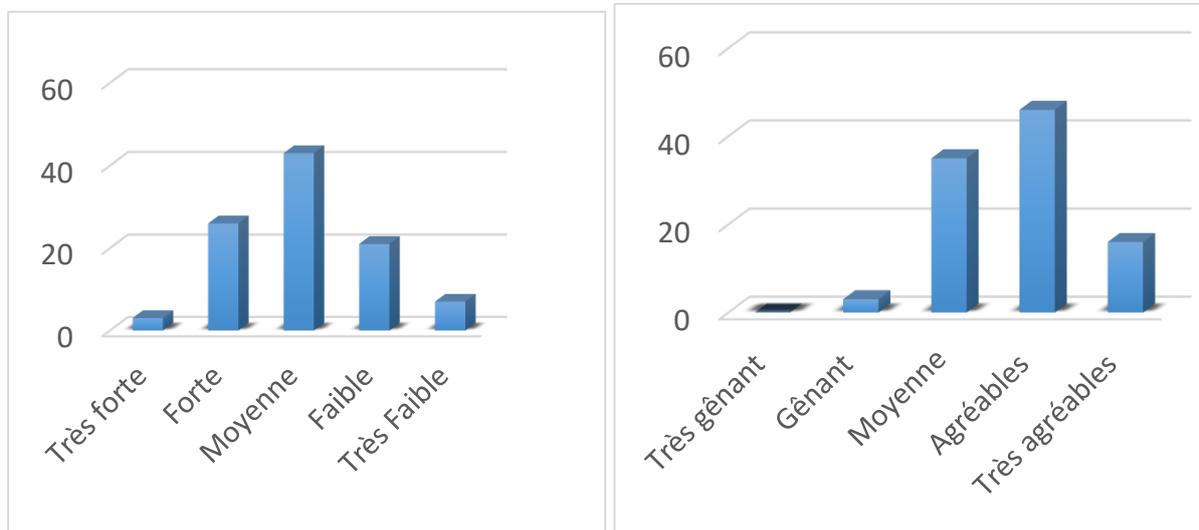


Figure V.10-11 : Sensation du corps humain envers le courant d'air à l'intérieur du logement. (Source : Auteure 2021)

V.2.3.4.4. Perception de température

La figure V.12 indique qu'en été la plupart des habitants sentent que la température diurne est très élevée donc le climat intérieur sera chaud. Tandis que la température nocturne est parfois chaude parfois ambiante.

La figure V.13 montre qu'en hiver, les habitants sentent que le climat est ambiant pendant la journée, tandis que les nuits sont froides.

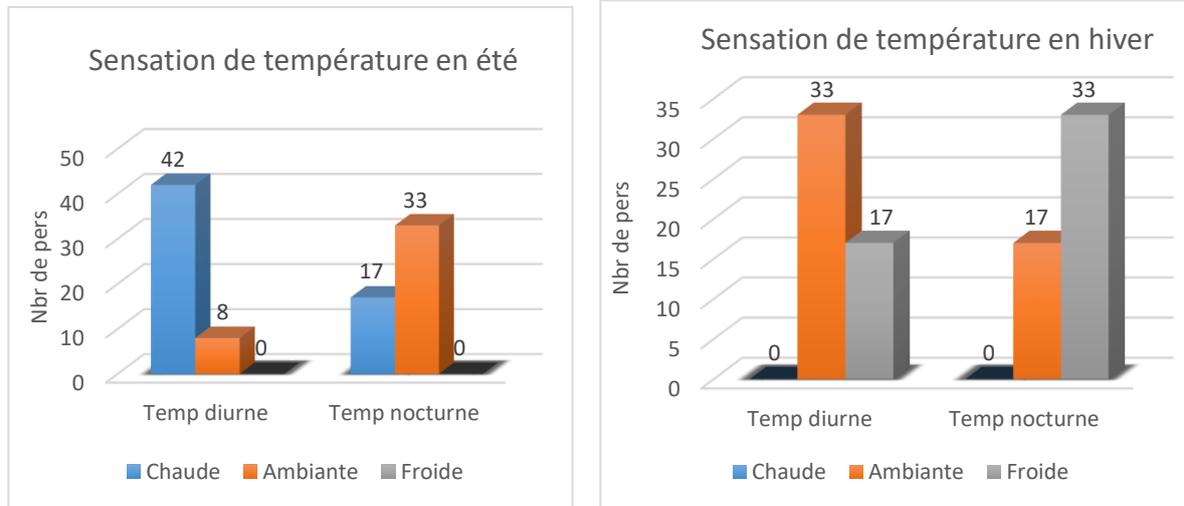


Figure V.12-13 : Sensation du corps humain envers la température (été / hiver) à l'intérieur du logement. (Source : Auteure 2021)

Cette situation pousse les habitants à adopter des régulateurs thermiques (chauffage et climatiseur selon le cas approprié).

V.2.3.4.5. Perception de l'humidité

Les résultats de la sensation des occupants à l'égard de l'humidité à l'intérieur de leurs logements ont été mentionnés dans la figure V.14, dont le plus grand nombre d'habitants sentent que l'air intérieur est humide, presque la moitié sent que l'air intérieur est moyennement humide, 22% ont choisi la réponse très humide, tandis que la minorité ont choisi la réponse du l'état sec.

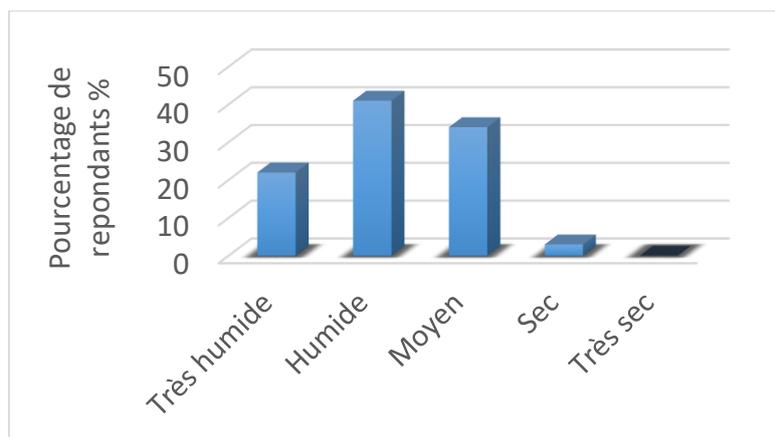


Figure V.14 : Perception de l'humidité de l'air intérieur. (Source : Auteure 2021)

V.2.3.5. Observation des pathologies physiques

D'après Host et Grange (2017)¹⁷ l'étude des pathologies physiques dans le logement résultant de la mauvaise aération nous pousse à mieux observer attentivement l'étendue de ses risques

¹⁷ https://www.precarite-energie.org/IMG/pdf/interventions_sur_le_logement_et_impacts_sanitaires_rapport_complet_.pdf

sanitaires. Dans la Cité Gahddour Tahar l'évaluation des risques menée livre des pistes pour des systèmes d'observation plus opérationnels. Parmi les résultats marquants, on cite l'évaluation des enjeux sanitaires basée sur des indicateurs mesurables tels la vapeur d'eau et les traces d'humidité.

V.2.3.5.1. Présence du vapeur d'eau

A partir de la figure V.15 la présence du vapeur d'eau à l'intérieur des logements enquêtés est forte, surtout dans les cuisines et les salles d'eau (à partir de la question 18), cela revient principalement à l'activité domestique étudié précédemment (cuisson des aliments, bain, nettoyage).

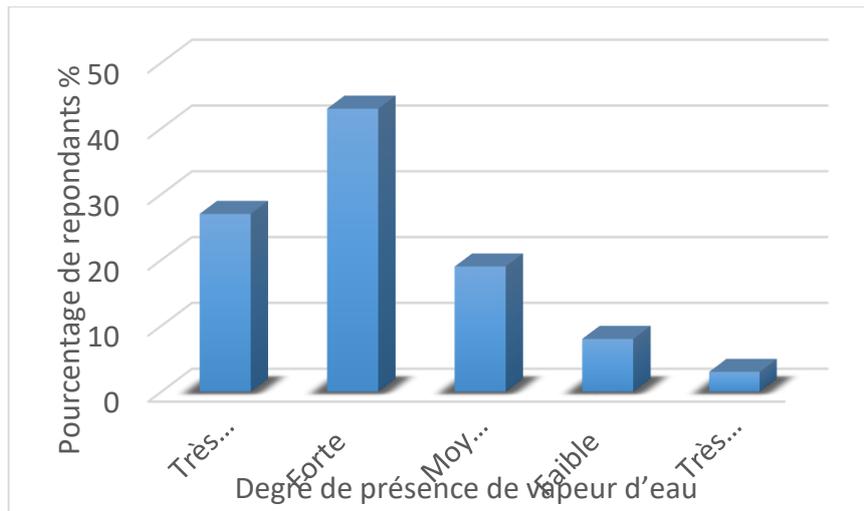


Figure V.15 : Degré de présence du vapeur d'eau dans les logements enquêtés. (Source : Auteure 2021).

V.2.3.5.2. Présence des traces d'humidité

En répondant aux questions 19 et 20, la figure V.16 montre que la plupart des habitants 86% déclarent qu'ils souffrent de la présence des fissures et des traces d'humidité, représentées en taches noires, revêtement décollé, gonflement et salpêtre à l'intérieur de leurs logements.

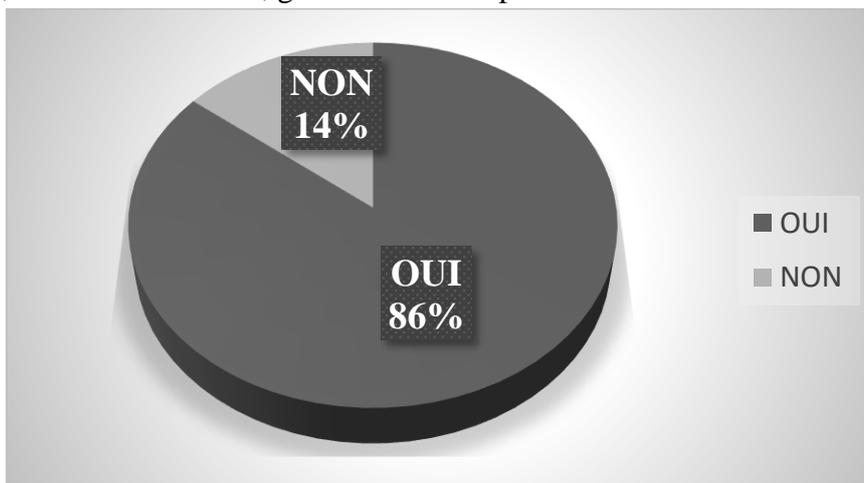


Figure V.16 : Présence de fissures et des traces d'humidité à l'intérieur des logements enquêtés. (Source : Auteure 2021)

Ces traces sont observées sur les murs, les plafonds et derrière les armoires, dans les espaces qui ont connu une forte présence d'activités domestiques tel que les cuisines et les sanitaires également dans les espaces orientés au nord qui ont des parois froides. Cela est illustré dans le tableau V.01 ci-dessous.

Tableau V.01 : Les dégradations physiques observées dans les logements enquêtés. (Source : Auteure 2021)

Tache d'humidité dans les plafonds des chambres et couloirs		
		
Tache d'humidité dans les plafonds des sanitaires		
		
Tache d'humidité dans les plafonds des cuisines, murs de séjour		
		

Selon les réponses d'habitants à la question 20 (D'après vous, quelles sont les raisons de présences de ces traces d'humidité dans votre logement ?), ces signes d'humidité sont dus, en plus des éléments précédents (activités domestiques), aux dégradations des canalisations, des tuyauteries, de l'étanchéité pour les logements des derniers étages, mais aussi à la présence des vides sanitaire pour les logements du RDC.

V.2.3.6. Descriptif de l'état de santé des occupants

La figure V.17 illustre les différentes maladies qui menacent la santé des habitants du quartier Guehdour Tahar. Elle montre clairement que les habitants disent qu'ils sont touchés par plusieurs atteintes à leur santé ; fatigue 83%, des maux de tête 50%, somnolence 33%, irritation des muqueuses du nez, yeux et gorge 17%, jusqu'au développement de d'autres maladies ; allergie respiratoire 33% et asthme 16%.

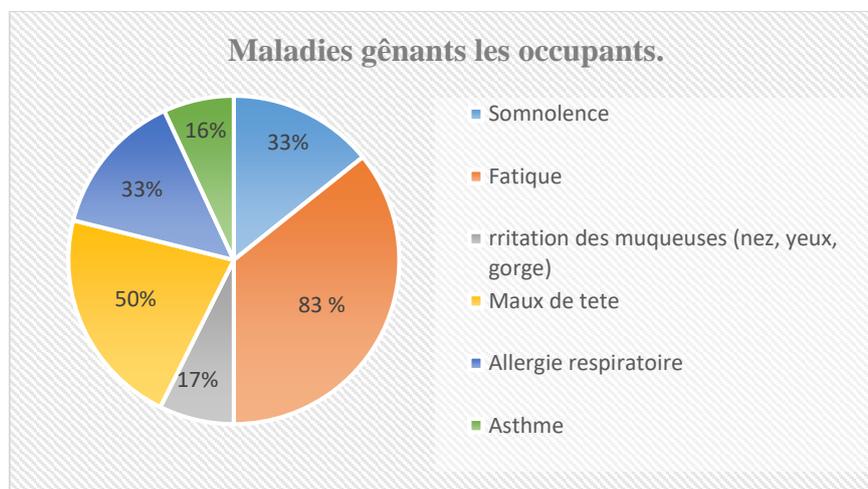


Figure V.17 : Maladies et problèmes de santé qui gênent les occupants. (Source : Auteure 2021)

En cela, le manque d'une aération adéquate dans l'habitation et la mauvaise qualité d'air intérieur Au cours de nos vies, peut provoquer de multiples problèmes de santé chez les occupants, de simples affections mineures (les maux de tête, les yeux irrités...etc) qui compromet leur confort et leur bien-être, jusqu' au développement de graves maladies respiratoires et allergiques.

V.3. Etude quantitative (mesure in situ)

Parmi les méthodes d'investigation et les techniques d'évaluation de la pollution de l'air à l'intérieur du bâtiment résidentiel, on a la phase des mesures Indoor In-situ. Cette phase d'étude impliquait le recrutement de cinq (5) logements situés dans les bâtiments collectifs de la cité Guehdour Taha-Guelma, afin d'aboutir à la mesure des paramètres caractérisant la QAI (paramètres de confort, concentration en CO2) dans des conditions bien déterminées.

V.3.1. Technique et protocole de mesure

Cette phase d'étude s'établit sur un système expérimental qui part de mesures manuelles in situ indoor des différentes grandeurs physiques de confort thermique à savoir ; la température de l'air, l'humidité relative et la vitesse de l'air. En parallèle à ces paramètres thermiques, on a

procédé aussi à la mesure de la concentration en gaz carbonique CO₂. Ce dernier est un indice de qualité d'air intérieur qui on permet de quantifier l'environnement intérieur global dans les logements tests.

La mesure de température, d'humidité relative et de la concentration en CO₂ est mesurée via un instrument de pointe « Air Quality tester JD-3002. La vitesse de l'air est mesurée en utilisant un « Anémomètre BA16 » voire tableau V.02.

Tableau V.02 : Instrumentation et paramètres mesurés. (Source Auteure 2021)

Paramètres	Instrument utilisé	Illustration
- Dioxyde de carbone CO ₂ - Température - Humidité relative	Air Quality tester JD-3002	
Vitesse de l'air	Anémomètre BA16	

Ces paramètres sont mesurés conformément aux normes de la qualité de l'air intérieur (norme NBN EN 137-79. Voir tableau III.1) et aux normes ASHRAE 55-8.

La variation de ces paramètres est surveillée par rapport aux conditions suivantes :

- Pratique de ventilation naturelle (ouverture et fermeture) des fenêtres
- L'activité domestique (cuisson, nettoyage, bain, dormir...etc)
- L'environnement intérieur (climatiseur, chauffage, ventilateur)
- Le taux d'occupation dans le logement.

Les mesures ont été effectuées en été et en hiver dans les différents espaces des logements étudiées (Cuisine, Séjour, Chambre et SDB). La partition du mesurage s'échelonne selon trois périodes dans une même journée : Le matin à 9h, l'après-midi à 13h et le soir à 19h. (Voir Annexe B)

V.3.2. Détermination des journées-types « Design-day » pour la prise des mesures

Le choix des journées de mesure a été fixé par rapport à la détermination des journées type « design day ». En se basant sur la méthode de sélection du design week et design days déterminé à partir du calcul de la température moyenne journalière pendant une période de 10

ans, les mois Janvier et Aout ont été choisis sur la base de données météorologique enregistrée sur plusieurs années réelles (2010-2021), pour leurs représentations de la période hivernale et estivale de la région de Guelma, en effet deux semaines représentative « Design Week 1 » et « Design Week 2 » ont été identifiées. (Voir annexe C).

Pour la saison chaude la semaine type « design week » sélectionnée pour la prise de mesure s'étale du 1^{er} jusqu'au 07 Août. En effet, les journées représentatives sont : Le 1, 2, 3,4 et le 5 Aout 2021. Tandis que pour la période froide la semaine type est entre le 13 et le 19 Janvier 2022, dont les journées de mesure sont : le 15, 16, 17, 18 et le 19 janvier 2022. Sachant qu'on a réalisé des mesures préalables dans des logements choisis aléatoirement dans les mois d'avril, Mai, juin et juillet 2021 pour tester la faisabilité de l'appareil de mesure, et trouver la bonne façon du travail surtout en matière du temps nécessaire pour l'enregistrement des mesures.

V.3.3. Les Bâtiments sélectionnés pour la prise de mesures In-situ

L'enquête faite précédemment nous a aidé à orienter notre choix des logements servant à la réalisation des campagnes de mesure In-situ. Différentes configurations de bâtiments ont été choisies selon plusieurs critères, qui concernent spécifiquement l'orientation, l'environnement immédiat (présences d'obstacle aéraulique, arbre, nuisance sonores ou visuel ...etc) ainsi que le degré d'existence du problème observé. Mais la raison essentielle était la disponibilité et la volonté des habitants à on permet d'accéder à leurs logements.

Néanmoins, on a pu étudier cinq logements appartiennent à cinq différents bâtiment (BLOC 08, Bloc 20, Bloc 28, Bloc 34 et Bloc 47) dans les différents ilots du quartier en question. Voir figure V.18.

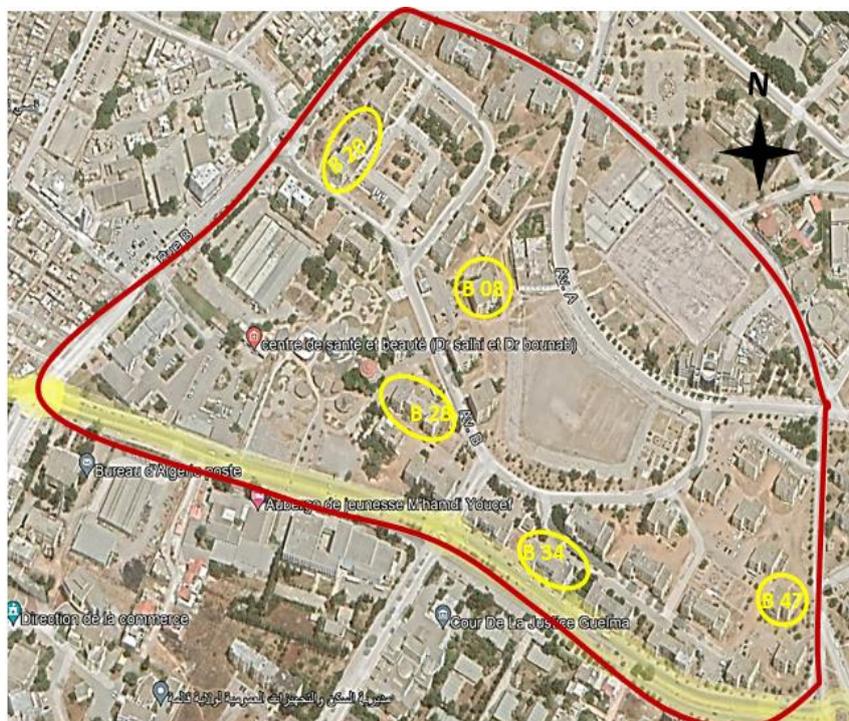
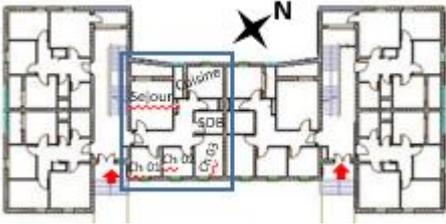
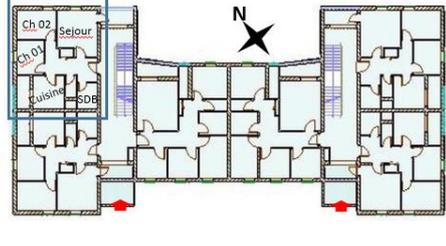
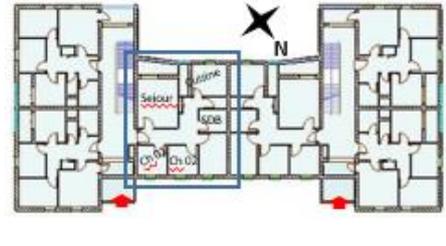
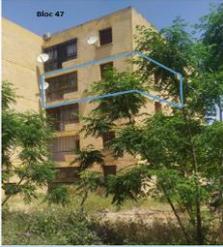
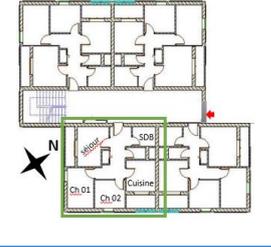


Figure V.18 : Désignation des bâtiments étudiés. (Source : Google-earth traité par auteure 2021)

Le tableau V.03 ci-dessous montre la localisation des logements dans les bâtiments étudiés avec leurs plans et orientation.

Tableau V.03 : Localisation des logements étudiés. Source : Auteure 2021.

Logement	Localisation dans le bâtiment	Plan
Logement 01 Situé au Bloc 08 (RDC)		
Logement 02 Situé au Bloc 20 (RDC)		
Logement 03 Situé au Bloc 28 (4em étage)		
Logement 04 Situé au Bloc 34 (3em étage)		
Logement 05 Situé au Bloc 47 (3em étage)		

V.3.4. Interprétation et discussion des résultats de mesures indoor In-situ

V.3.4.1. Les mesures en été

Les graphes « a, b, et c » dans les tableaux (V.04, V.05, V.06, V.07 et V.08) ci-dessous représentent respectivement les variations du taux d'humidité relative, les variations de température de l'air et les concentrations de la teneur en CO2 dans les différents espaces des logements sélectionnés à savoir : la cuisine, le séjour, la chambre et la salle de bain.

Tableau V.04 : Résultats de mesure en été dans les différents espaces du logement 01 (Graphe a, b, et c). Source : Auteure 2021

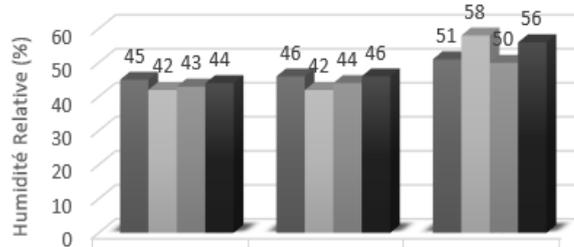
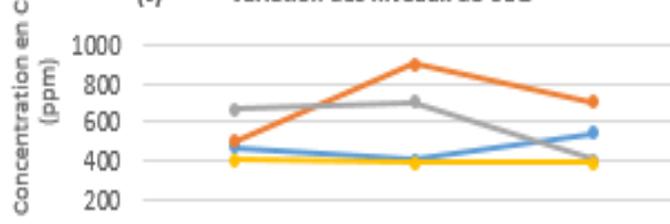
Graphes	Interprétation																								
<p style="text-align: center;">Variation du Taux d'humidité relative</p>  <table border="1" data-bbox="255 627 845 784"> <thead> <tr> <th></th> <th>9h</th> <th>13h</th> <th>19h</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cuisine</td> <td>45</td> <td>46</td> <td>51</td> </tr> <tr> <td>Sejour</td> <td>42</td> <td>42</td> <td>58</td> </tr> <tr> <td>Chambre</td> <td>43</td> <td>44</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>SDB</td> <td>44</td> <td>46</td> <td>56</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">■ Cuisine ■ Sejour ■ Chambre ■ SDB</p>		9h	13h	19h	Cuisine	45	46	51	Sejour	42	42	58	Chambre	43	44	50	SDB	44	46	56	<p>Les taux d'humidités mesurés dans ce logement sont pratiquement stables soit à 9h comme à 13h, ils varient de 42% jusqu' à 46% dans tous les espaces. Ce taux commence à s'élever le soir (19h) pour atteindre 56% et 58% respectivement dans la salle de Bain et le séjour.</p>				
	9h	13h	19h																						
Cuisine	45	46	51																						
Sejour	42	42	58																						
Chambre	43	44	50																						
SDB	44	46	56																						
<p style="text-align: center;">(b) Variation de température</p>  <table border="1" data-bbox="207 1075 909 1344"> <thead> <tr> <th></th> <th>9h</th> <th>13h</th> <th>19h</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cuisine</td> <td>31</td> <td>34</td> <td>32</td> </tr> <tr> <td>Séjour</td> <td>32</td> <td>32</td> <td>36</td> </tr> <tr> <td>Chambre</td> <td>28</td> <td>32</td> <td>33</td> </tr> <tr> <td>SDB</td> <td>29</td> <td>31</td> <td>33</td> </tr> <tr> <td>exterieur</td> <td>43</td> <td>45</td> <td>37</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">— Cuisine — Séjour — Chambre — SDB — exterieur</p>		9h	13h	19h	Cuisine	31	34	32	Séjour	32	32	36	Chambre	28	32	33	SDB	29	31	33	exterieur	43	45	37	<p>Soit à 9h ou à 13h, les valeurs de températures mesurées dans les différents espaces de ce logement sont toutes inférieures à la température extérieure, dans ces périodes de la journée les fenêtres sont fermées et le climatiseur est allumé. Le soir (19h) vu que les fenêtres sont ouvertes la température intérieure devient plus proche à celle de l'extérieur.</p>
	9h	13h	19h																						
Cuisine	31	34	32																						
Séjour	32	32	36																						
Chambre	28	32	33																						
SDB	29	31	33																						
exterieur	43	45	37																						
<p style="text-align: center;">(c) Variation des niveaux de CO2</p>  <table border="1" data-bbox="207 1680 909 1926"> <thead> <tr> <th></th> <th>9h</th> <th>13h</th> <th>19h</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cuisine</td> <td>470</td> <td>405</td> <td>544</td> </tr> <tr> <td>Séjour</td> <td>500</td> <td>900</td> <td>703</td> </tr> <tr> <td>Chambre</td> <td>665</td> <td>702</td> <td>400</td> </tr> <tr> <td>SDB</td> <td>402</td> <td>385</td> <td>388</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">— Cuisine — Séjour — Chambre — SDB</p>		9h	13h	19h	Cuisine	470	405	544	Séjour	500	900	703	Chambre	665	702	400	SDB	402	385	388	<ul style="list-style-type: none"> - A 9h les niveaux de CO2 s'appartiennent à la classe IDA2 (400-600 ppm), QAI est moyenne (Voir annexe E) - A 13h les valeurs de CO2 ont été augmenté surtout dans la chambre et le séjour soit 702 et 900ppm. (classe IDA3). -A 19h le niveau de CO2 reste acceptable dans tous les espaces. 				
	9h	13h	19h																						
Cuisine	470	405	544																						
Séjour	500	900	703																						
Chambre	665	702	400																						
SDB	402	385	388																						

Tableau V.05 : Résultats de mesure en été dans les différents espaces du logement 02 (Graphe a, b et c). Source : Auteure 2021.

Graphes		Interprétation																								
<p>(a) Variation du taux d'humidité</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>9h</th> <th>13h</th> <th>19h</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cuisine</td> <td>49</td> <td>44</td> <td>63</td> </tr> <tr> <td>Séjour</td> <td>55</td> <td>43</td> <td>61</td> </tr> <tr> <td>Chambre</td> <td>38</td> <td>35</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>SDB</td> <td>42</td> <td>38</td> <td>60</td> </tr> </tbody> </table>			9h	13h	19h	Cuisine	49	44	63	Séjour	55	43	61	Chambre	38	35	60	SDB	42	38	60	<p>Les mêmes observations sont faites pour ce logement d'où le taux d'humidité s'élève le soir pour atteindre 60%, 61%, et 63% respectivement dans la SDB, la chambre, le séjour, et la cuisine. Par contre le matin (9h) il atteint 55% que dans le séjour, mais dans les autres espace il varie de 35% a 49%.</p>				
	9h	13h	19h																							
Cuisine	49	44	63																							
Séjour	55	43	61																							
Chambre	38	35	60																							
SDB	42	38	60																							
<p>(b) Variation de température</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>9h</th> <th>13h</th> <th>19h</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cuisine</td> <td>33</td> <td>34</td> <td>31</td> </tr> <tr> <td>Séjour</td> <td>33</td> <td>32</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>Chambre</td> <td>33</td> <td>32</td> <td>31</td> </tr> <tr> <td>SDB</td> <td>32</td> <td>31</td> <td>29</td> </tr> <tr> <td>exterieur</td> <td>39</td> <td>45</td> <td>35</td> </tr> </tbody> </table>			9h	13h	19h	Cuisine	33	34	31	Séjour	33	32	30	Chambre	33	32	31	SDB	32	31	29	exterieur	39	45	35	<p>D'après ce graphe, les températures dans tous les espaces intérieurs sont presque identiques et inférieures à la température extérieure.</p>
	9h	13h	19h																							
Cuisine	33	34	31																							
Séjour	33	32	30																							
Chambre	33	32	31																							
SDB	32	31	29																							
exterieur	39	45	35																							
<p>(c) Variation des niveaux de CO2</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>9h</th> <th>13h</th> <th>19h</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cuisine</td> <td>597</td> <td>970</td> <td>513</td> </tr> <tr> <td>Séjour</td> <td>575</td> <td>800</td> <td>400</td> </tr> <tr> <td>Chambre</td> <td>392</td> <td>502</td> <td>400</td> </tr> <tr> <td>SDB</td> <td>400</td> <td>385</td> <td>388</td> </tr> </tbody> </table>			9h	13h	19h	Cuisine	597	970	513	Séjour	575	800	400	Chambre	392	502	400	SDB	400	385	388	<ul style="list-style-type: none"> - A 9h les niveaux de CO2 s'appartiennent à la classe IDA2 (400-600 ppm) - A 13h les valeurs de CO2 ont été augmenté surtout dans la cuisine et le séjour soit 970 et 800ppm. (classe IDA3). -A 19h le niveau de CO2 reste acceptable dans tous les espaces. 				
	9h	13h	19h																							
Cuisine	597	970	513																							
Séjour	575	800	400																							
Chambre	392	502	400																							
SDB	400	385	388																							

Tableau V.06 : Résultats de mesure en été dans les différents espaces du logement 03 (Graphe a, b, et c). Source : Auteure 2021.

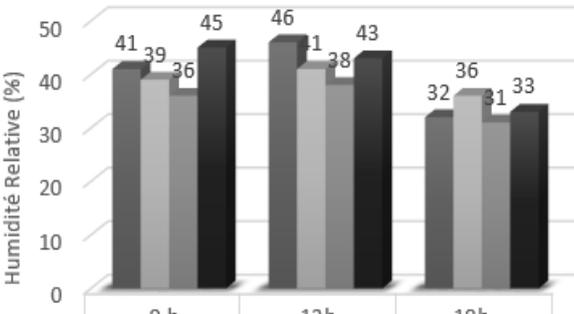
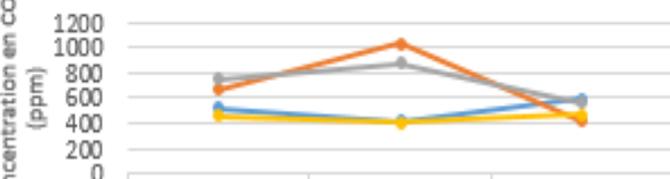
Graphes	Interprétation																								
<p style="text-align: center;">Variation du taux d'humidité relative HR</p>  <table border="1" data-bbox="263 694 853 862"> <thead> <tr> <th></th> <th>9 h</th> <th>13h</th> <th>19h</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cuisine</td> <td>41</td> <td>46</td> <td>32</td> </tr> <tr> <td>Sejour</td> <td>39</td> <td>41</td> <td>36</td> </tr> <tr> <td>Chambre</td> <td>36</td> <td>38</td> <td>31</td> </tr> <tr> <td>SDB</td> <td>45</td> <td>43</td> <td>33</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">■ Cuisine ■ Sejour ■ Chambre ■ SDB</p>		9 h	13h	19h	Cuisine	41	46	32	Sejour	39	41	36	Chambre	36	38	31	SDB	45	43	33	<p>D'après ce graphe, l'air à l'intérieur de ce logement et dans cette période de l'année n'est pas humide, dont le taux d'humidité relative ne dépasse pas 50%, il varie de 31% jusqu'à 46% dans tous les espaces et pendant toute la journée de mesure.</p>				
	9 h	13h	19h																						
Cuisine	41	46	32																						
Sejour	39	41	36																						
Chambre	36	38	31																						
SDB	45	43	33																						
<p style="text-align: center;">(b) Variation de température</p>  <table border="1" data-bbox="215 1108 917 1377"> <thead> <tr> <th></th> <th>9h</th> <th>13h</th> <th>19h</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cuisine</td> <td>36</td> <td>38</td> <td>32</td> </tr> <tr> <td>Séjour</td> <td>37</td> <td>36</td> <td>32</td> </tr> <tr> <td>Chambre</td> <td>35</td> <td>36</td> <td>32</td> </tr> <tr> <td>SDB</td> <td>34</td> <td>36</td> <td>31</td> </tr> <tr> <td>exterieur</td> <td>44</td> <td>45</td> <td>37</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">— Cuisine — Séjour — Chambre — SDB — exterieur</p>		9h	13h	19h	Cuisine	36	38	32	Séjour	37	36	32	Chambre	35	36	32	SDB	34	36	31	exterieur	44	45	37	<p>A partir de ce graphe les valeurs de température intérieure sont pratiquement identiques dans tous les espaces du logement et pendant toute la journée, elle varie de 31°C à 38°C.</p>
	9h	13h	19h																						
Cuisine	36	38	32																						
Séjour	37	36	32																						
Chambre	35	36	32																						
SDB	34	36	31																						
exterieur	44	45	37																						
<p style="text-align: center;">(c) variation des niveaux de CO2</p>  <table border="1" data-bbox="215 1691 917 1915"> <thead> <tr> <th></th> <th>9h</th> <th>13h</th> <th>19h</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cuisine</td> <td>520</td> <td>415</td> <td>590</td> </tr> <tr> <td>Séjour</td> <td>667</td> <td>1035</td> <td>411</td> </tr> <tr> <td>Chambre</td> <td>748</td> <td>877</td> <td>565</td> </tr> <tr> <td>SDB</td> <td>460</td> <td>408</td> <td>462</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">— Cuisine — Séjour — Chambre — SDB</p>		9h	13h	19h	Cuisine	520	415	590	Séjour	667	1035	411	Chambre	748	877	565	SDB	460	408	462	<ul style="list-style-type: none"> - A 9h les niveaux de CO2 s'appartiennent à la classe IDA2 (400-600 ppm) - A 13h la valeur de CO2 a été augmenté en particulier dans le séjour soit 1035ppm (classe IDA4) à ce moment la qualité d'air intérieur devient médiocre. -A 19h le niveau de CO2 reste acceptable dans tous les espaces. 				
	9h	13h	19h																						
Cuisine	520	415	590																						
Séjour	667	1035	411																						
Chambre	748	877	565																						
SDB	460	408	462																						

Tableau V.07 : Résultats de mesure en été dans les différents espaces du logement 04 (Graphe a, b et c). Source : Auteure 2021

Graphes		Interprétation																								
<p>(a) Variation du taux d'humidité</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>9h</th> <th>13h</th> <th>19h</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cuisine</td> <td>34</td> <td>47</td> <td>49</td> </tr> <tr> <td>Séjour</td> <td>40</td> <td>46</td> <td>45</td> </tr> <tr> <td>Chambre</td> <td>31</td> <td>43</td> <td>45</td> </tr> <tr> <td>SDB</td> <td>35</td> <td>39</td> <td>56</td> </tr> </tbody> </table>			9h	13h	19h	Cuisine	34	47	49	Séjour	40	46	45	Chambre	31	43	45	SDB	35	39	56	<p>Les mêmes observations sont faites par rapport au logement précédent, ici les taux d'humidité mesurés sur l'appareil sont faible et acceptable, ils varient de 31% jusqu' à 49% dans tous les espaces et pendant toute la journée de mesure, sauf le soir (19h) dans la SDB d'où il atteint 56%.</p>				
	9h	13h	19h																							
Cuisine	34	47	49																							
Séjour	40	46	45																							
Chambre	31	43	45																							
SDB	35	39	56																							
<p>(b) Variation de température</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>9h</th> <th>13h</th> <th>19h</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cuisine</td> <td>36</td> <td>33</td> <td>32</td> </tr> <tr> <td>Séjour</td> <td>37</td> <td>29</td> <td>32</td> </tr> <tr> <td>Chambre</td> <td>35</td> <td>30</td> <td>32</td> </tr> <tr> <td>SDB</td> <td>36</td> <td>29</td> <td>31</td> </tr> <tr> <td>exterieur</td> <td>42</td> <td>44</td> <td>37</td> </tr> </tbody> </table>			9h	13h	19h	Cuisine	36	33	32	Séjour	37	29	32	Chambre	35	30	32	SDB	36	29	31	exterieur	42	44	37	<p>A 9h et à 13h les valeurs de température intérieure sont inférieure par rapport à la température extérieur. Cela se justifie par l'utilisation du climatiseur pendant ces périodes. Le soir la température se rapproche à celle de l'extérieur.</p>
	9h	13h	19h																							
Cuisine	36	33	32																							
Séjour	37	29	32																							
Chambre	35	30	32																							
SDB	36	29	31																							
exterieur	42	44	37																							
<p>(c) Variation des niveaux de CO2</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>9h</th> <th>13h</th> <th>19h</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cuisine</td> <td>630</td> <td>600</td> <td>590</td> </tr> <tr> <td>Séjour</td> <td>503</td> <td>1025</td> <td>411</td> </tr> <tr> <td>Chambre</td> <td>495</td> <td>760</td> <td>565</td> </tr> <tr> <td>SDB</td> <td>480</td> <td>485</td> <td>462</td> </tr> </tbody> </table>			9h	13h	19h	Cuisine	630	600	590	Séjour	503	1025	411	Chambre	495	760	565	SDB	480	485	462	<ul style="list-style-type: none"> - la même observation a été faite pour ce logement dont la teneur en CO2 atteint le pic à 13h dans le séjour 1025ppm. - le reste de la journée les niveaux de CO2 s'appartiennent à la fourchette (400-600ppm) classe IDA2 (la qualité d'air est moyenne). 				
	9h	13h	19h																							
Cuisine	630	600	590																							
Séjour	503	1025	411																							
Chambre	495	760	565																							
SDB	480	485	462																							

Tableau V.08 : Résultats de mesure en été dans les différents espaces du logement 05 (Graphe a, b et c). Source : Auteur 2021

Graphes	Interprétation																								
<p>(a) Variation du taux d'humidité</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>9h</th> <th>13h</th> <th>19h</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cuisine</td> <td>44</td> <td>66</td> <td>65</td> </tr> <tr> <td>Séjour</td> <td>42</td> <td>63</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>Chambre</td> <td>63</td> <td>62</td> <td>61</td> </tr> <tr> <td>SDB</td> <td>43</td> <td>54</td> <td>58</td> </tr> </tbody> </table>		9h	13h	19h	Cuisine	44	66	65	Séjour	42	63	60	Chambre	63	62	61	SDB	43	54	58	<p>D'après ce graphe, il révèle que les taux d'humidité relative mesurés dans ce logement sont oscillants.</p> <p>Le matin (9h) le taux d'humidité varie de 42% jusqu' à 63%.</p> <p>A midi (13h) la valeur maximale est dans le séjour (66%). Tandis que le soir elle atteint 65% dans le même espace.</p>				
	9h	13h	19h																						
Cuisine	44	66	65																						
Séjour	42	63	60																						
Chambre	63	62	61																						
SDB	43	54	58																						
<p>(b) Variation de température</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>9h</th> <th>13h</th> <th>19h</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cuisine</td> <td>30</td> <td>31</td> <td>31</td> </tr> <tr> <td>Séjour</td> <td>31</td> <td>28</td> <td>32</td> </tr> <tr> <td>Chambre</td> <td>31</td> <td>29</td> <td>31</td> </tr> <tr> <td>SDB</td> <td>31</td> <td>29</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>exterieur</td> <td>42</td> <td>39</td> <td>32</td> </tr> </tbody> </table>		9h	13h	19h	Cuisine	30	31	31	Séjour	31	28	32	Chambre	31	29	31	SDB	31	29	30	exterieur	42	39	32	<p>A 9h et à 13h les valeurs de température intérieure sont inférieure par rapport à la température extérieure.</p> <p>Cela se justifie par l'utilisation du climatiseur pendant ces périodes. Le soir la température se rapproche à celle de l'extérieur.</p>
	9h	13h	19h																						
Cuisine	30	31	31																						
Séjour	31	28	32																						
Chambre	31	29	31																						
SDB	31	29	30																						
exterieur	42	39	32																						
<p>(c) Variation des niveaux de CO2</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>9h</th> <th>13h</th> <th>19h</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cuisine</td> <td>730</td> <td>800</td> <td>716</td> </tr> <tr> <td>Séjour</td> <td>408</td> <td>998</td> <td>729</td> </tr> <tr> <td>Chambre</td> <td>636</td> <td>520</td> <td>609</td> </tr> <tr> <td>SDB</td> <td>397</td> <td>585</td> <td>562</td> </tr> </tbody> </table>		9h	13h	19h	Cuisine	730	800	716	Séjour	408	998	729	Chambre	636	520	609	SDB	397	585	562	<p>-A 9h la concentration de CO2 est plus forte dans le cuisine soit 730ppm.</p> <p>-Tandis qu'à midi, elle s'est augmentée dans le séjour 998ppm.</p> <p>-Le soir, elle s'est diminuée proportionnellement pour atteindre 729, 717, 609 et 562ppm respectivement dans le séjour, la cuisine, la chambre et la SDB.</p>				
	9h	13h	19h																						
Cuisine	730	800	716																						
Séjour	408	998	729																						
Chambre	636	520	609																						
SDB	397	585	562																						

V.4.2. Les mesures de l'hiver

Les graphes « a, b, et c » dans les tableaux (V.09, V.10, V.11, V.12 et V.13) ci-dessous représentent respectivement les variations du taux d'humidité relative, les variations de

température de l'air et les concentrations de la teneur en CO2 dans les différents espaces des logements sélectionnés à savoir : la cuisine, le séjour, la chambre et la salle de bain.

Tableau V.09 : Résultats de mesure de l'hiver dans les différents espaces du logement 01 (Graphe a, b, et c). Source : Auteure 2021.

Graphes	Interprétation																								
<p>(a) Variation du taux d'humidité</p> <table border="1" data-bbox="272 725 836 898"> <thead> <tr> <th></th> <th>9h</th> <th>13h</th> <th>19h</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cuisine</td> <td>63</td> <td>59</td> <td>58</td> </tr> <tr> <td>Séjour</td> <td>66</td> <td>65</td> <td>66</td> </tr> <tr> <td>Chambre</td> <td>69</td> <td>65</td> <td>65</td> </tr> <tr> <td>SDB</td> <td>65</td> <td>61</td> <td>59</td> </tr> </tbody> </table>		9h	13h	19h	Cuisine	63	59	58	Séjour	66	65	66	Chambre	69	65	65	SDB	65	61	59	<p>Pendant tous les moments de mesure on a trouvé sur l'appareil que les valeurs d'humidité les plus élevées sont dans la chambre et le séjour (65%, 66% et 69%) tandis que dans les autres espaces la valeur d'humidité est presque stable elle varie entre 58 % et 63%.</p>				
	9h	13h	19h																						
Cuisine	63	59	58																						
Séjour	66	65	66																						
Chambre	69	65	65																						
SDB	65	61	59																						
<p>(b) Variation de température</p> <table border="1" data-bbox="220 1115 890 1352"> <thead> <tr> <th></th> <th>9h</th> <th>13h</th> <th>19h</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cuisine</td> <td>16</td> <td>21</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>Séjour</td> <td>18</td> <td>22</td> <td>17</td> </tr> <tr> <td>Chambre</td> <td>15</td> <td>21</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>SDB</td> <td>17</td> <td>20</td> <td>16</td> </tr> <tr> <td>extérieur</td> <td>14</td> <td>19</td> <td>11</td> </tr> </tbody> </table>		9h	13h	19h	Cuisine	16	21	15	Séjour	18	22	17	Chambre	15	21	15	SDB	17	20	16	extérieur	14	19	11	<p>Les valeurs de températures dans les différents espaces du logement sont toutes supérieures à la température extérieure. Ces valeurs sont obtenues avec l'utilisation d'un régulateur thermique (le chauffage domestique) (Voir annexe E)</p>
	9h	13h	19h																						
Cuisine	16	21	15																						
Séjour	18	22	17																						
Chambre	15	21	15																						
SDB	17	20	16																						
extérieur	14	19	11																						
<p>(c) Variation des niveaux de CO2</p> <table border="1" data-bbox="220 1621 890 1823"> <thead> <tr> <th></th> <th>9h</th> <th>13h</th> <th>19h</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cuisine</td> <td>700</td> <td>550</td> <td>780</td> </tr> <tr> <td>Séjour</td> <td>745</td> <td>390</td> <td>1008</td> </tr> <tr> <td>Chambre</td> <td>830</td> <td>430</td> <td>950</td> </tr> <tr> <td>SDB</td> <td>390</td> <td>400</td> <td>623</td> </tr> </tbody> </table>		9h	13h	19h	Cuisine	700	550	780	Séjour	745	390	1008	Chambre	830	430	950	SDB	390	400	623	<ul style="list-style-type: none"> - Le matin les valeurs de CO2 varient de 390 ppm à 830 ppm dans les différent espace. - A midi les valeurs de CO2 se diminuent dans l'ensemble des espaces pour s'installer dans la classe IDA 2 (QAI est moyenne) - Le soir le niveau de CO2 s'augmente pour atteindre 623,780 et 950 ppm respectivement dans la SDB, la cuisine et la chambre (Classe IDA3, QAI est acceptable). Sauf dans le séjour la valeur de CO2 est à 1008ppm (classe IDA4, QAI est médiocre) 				
	9h	13h	19h																						
Cuisine	700	550	780																						
Séjour	745	390	1008																						
Chambre	830	430	950																						
SDB	390	400	623																						

Tableau V.10 : Résultats de mesure de l'hiver dans les différents espaces du logement 02 (Graphe a, b et c). Source : Auteure 2021.

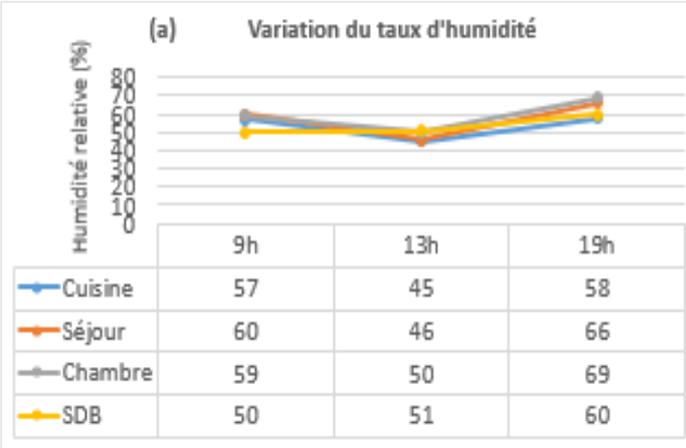
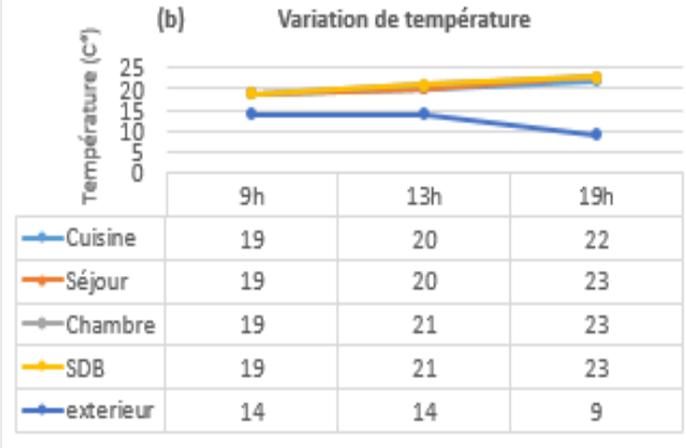
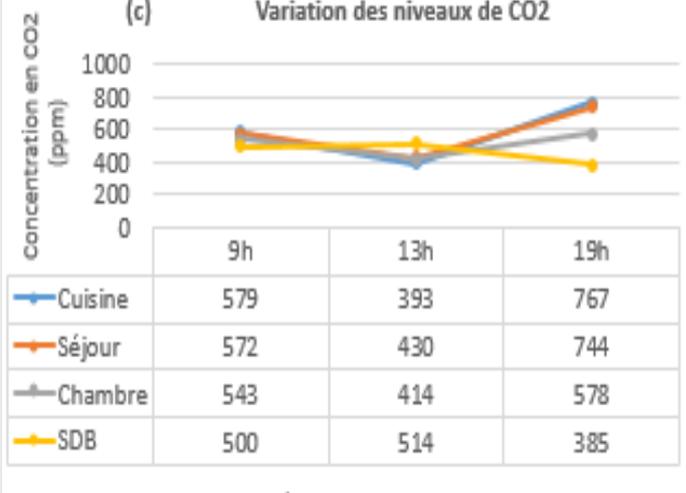
Graphes	Interprétation																								
<p>(a) Variation du taux d'humidité</p>  <table border="1" data-bbox="207 560 893 784"> <thead> <tr> <th></th> <th>9h</th> <th>13h</th> <th>19h</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cuisine</td> <td>57</td> <td>45</td> <td>58</td> </tr> <tr> <td>Séjour</td> <td>60</td> <td>46</td> <td>66</td> </tr> <tr> <td>Chambre</td> <td>59</td> <td>50</td> <td>69</td> </tr> <tr> <td>SDB</td> <td>50</td> <td>51</td> <td>60</td> </tr> </tbody> </table>		9h	13h	19h	Cuisine	57	45	58	Séjour	60	46	66	Chambre	59	50	69	SDB	50	51	60	<p>Les taux d'humidités maximales obtenues pendant cette phase de mesure est à 66% et 69%. Ce maximum est atteint le soir dans la chambre et le séjour.</p> <p>Le matin, ils varient entre 50 et 60%. Par contre, l'humidité relative n'est pas assez élevée à midi, soit de 45, 46, 50 et 51% respectivement dans la cuisine, le séjour, la chambre et la salle de bain.</p>				
	9h	13h	19h																						
Cuisine	57	45	58																						
Séjour	60	46	66																						
Chambre	59	50	69																						
SDB	50	51	60																						
<p>(b) Variation de température</p>  <table border="1" data-bbox="207 1075 893 1299"> <thead> <tr> <th></th> <th>9h</th> <th>13h</th> <th>19h</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cuisine</td> <td>19</td> <td>20</td> <td>22</td> </tr> <tr> <td>Séjour</td> <td>19</td> <td>20</td> <td>23</td> </tr> <tr> <td>Chambre</td> <td>19</td> <td>21</td> <td>23</td> </tr> <tr> <td>SDB</td> <td>19</td> <td>21</td> <td>23</td> </tr> <tr> <td>exterieur</td> <td>14</td> <td>14</td> <td>9</td> </tr> </tbody> </table>		9h	13h	19h	Cuisine	19	20	22	Séjour	19	20	23	Chambre	19	21	23	SDB	19	21	23	exterieur	14	14	9	<p>D'après ce graphe, il révèle que les températures dans tous les espaces intérieures sont quasiment élevées le soir par rapport aux autres moments de la journée. Cela peut revenir à la fermeture des fenêtres et à l'utilisation du chauffage dans cette période. Tandis que le matin les fenêtres sont ouvertes d'où les températures intérieures sont plus proches à celle de l'extérieur.</p>
	9h	13h	19h																						
Cuisine	19	20	22																						
Séjour	19	20	23																						
Chambre	19	21	23																						
SDB	19	21	23																						
exterieur	14	14	9																						
<p>(c) Variation des niveaux de CO2</p>  <table border="1" data-bbox="207 1612 893 1881"> <thead> <tr> <th></th> <th>9h</th> <th>13h</th> <th>19h</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cuisine</td> <td>579</td> <td>393</td> <td>767</td> </tr> <tr> <td>Séjour</td> <td>572</td> <td>430</td> <td>744</td> </tr> <tr> <td>Chambre</td> <td>543</td> <td>414</td> <td>578</td> </tr> <tr> <td>SDB</td> <td>500</td> <td>514</td> <td>385</td> </tr> </tbody> </table>		9h	13h	19h	Cuisine	579	393	767	Séjour	572	430	744	Chambre	543	414	578	SDB	500	514	385	<ul style="list-style-type: none"> - A 9h le niveau de CO2 est presque stable dans tous les espaces de 500 à 579 ppm (classe IDA2, QAI est moyenne) - A 13h les valeurs de CO2 sont presque similaires dans tous les espaces, elles s'appartiennent à la fourchette 400-600ppm (classe IDA2). -A 19h le niveau de CO2 s'augmente potentiellement dans le séjour (744ppm) et la cuisine (767ppm) 				
	9h	13h	19h																						
Cuisine	579	393	767																						
Séjour	572	430	744																						
Chambre	543	414	578																						
SDB	500	514	385																						

Tableau V.11 : Résultats de mesure de l'hiver dans les différents espaces du logement 03 (Graphe a, b et c). Source : Auteure 2021.

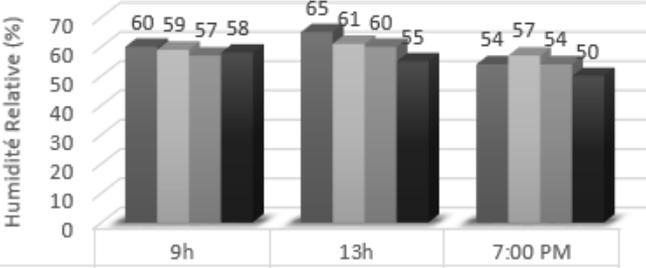
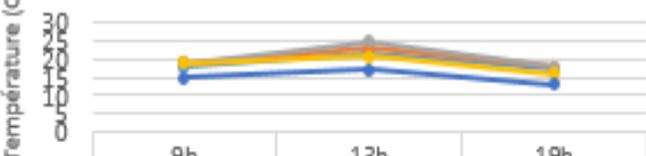
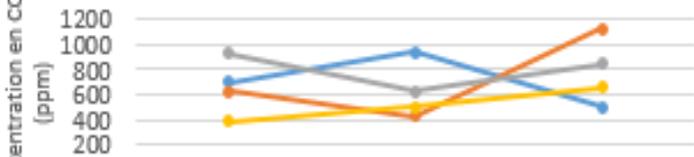
Graphes	Interprétation																								
<p style="text-align: center;">Variation du taux d'humidité</p>  <table border="1" data-bbox="228 633 866 790"> <thead> <tr> <th></th> <th>9h</th> <th>13h</th> <th>7:00 PM</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cuisine</td> <td>60</td> <td>65</td> <td>54</td> </tr> <tr> <td>Sejour</td> <td>59</td> <td>61</td> <td>57</td> </tr> <tr> <td>Chambre</td> <td>57</td> <td>60</td> <td>54</td> </tr> <tr> <td>SDB</td> <td>58</td> <td>55</td> <td>50</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">■ Cuisine ■ Sejour ■ Chambre ■ SDB</p>		9h	13h	7:00 PM	Cuisine	60	65	54	Sejour	59	61	57	Chambre	57	60	54	SDB	58	55	50	<p>les taux d'humidités mesurés sur l'appareil ont dépassés les valeurs réglementaires, dont ils varient de 50% jusqu'à 65% dont les différents espaces du logement. Le taux d'humidité atteint le pic 65% à midi dans la cuisine, dans cet espace la femme de foyer est entrain de cuire, le chauffage est allumé, les fenêtres sont fermées et on a trouvé trois personnes dans ce logement.</p>				
	9h	13h	7:00 PM																						
Cuisine	60	65	54																						
Sejour	59	61	57																						
Chambre	57	60	54																						
SDB	58	55	50																						
<p style="text-align: center;">(b) Variation de température</p>  <table border="1" data-bbox="212 1081 930 1328"> <thead> <tr> <th></th> <th>9h</th> <th>13h</th> <th>19h</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cuisine</td> <td>18</td> <td>22</td> <td>17</td> </tr> <tr> <td>Séjour</td> <td>19</td> <td>23</td> <td>18</td> </tr> <tr> <td>Chambre</td> <td>19</td> <td>25</td> <td>18</td> </tr> <tr> <td>SDB</td> <td>19</td> <td>21</td> <td>16</td> </tr> <tr> <td>exterieur</td> <td>15</td> <td>17</td> <td>13</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">— Cuisine — Séjour — Chambre — SDB — exterieur</p>		9h	13h	19h	Cuisine	18	22	17	Séjour	19	23	18	Chambre	19	25	18	SDB	19	21	16	exterieur	15	17	13	<p>Ici, les valeurs de température intérieure, qui varient entre 16°C et 25°C, augmentent proportionnellement par rapport à la température extérieure qui varie de 15, 17 et 13°C respectivement le matin à midi et le soir. Ces valeurs se justifient par l'utilisation du chauffage pendant toute la journée.</p>
	9h	13h	19h																						
Cuisine	18	22	17																						
Séjour	19	23	18																						
Chambre	19	25	18																						
SDB	19	21	16																						
exterieur	15	17	13																						
<p style="text-align: center;">(c) Variation des niveaux de CO2</p>  <table border="1" data-bbox="212 1615 930 1839"> <thead> <tr> <th></th> <th>9h</th> <th>13h</th> <th>19h</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cuisine</td> <td>700</td> <td>937</td> <td>500</td> </tr> <tr> <td>Séjour</td> <td>630</td> <td>430</td> <td>1130</td> </tr> <tr> <td>Chambre</td> <td>930</td> <td>623</td> <td>850</td> </tr> <tr> <td>SDB</td> <td>390</td> <td>504</td> <td>656</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">— Cuisine — Séjour — Chambre — SDB</p>		9h	13h	19h	Cuisine	700	937	500	Séjour	630	430	1130	Chambre	930	623	850	SDB	390	504	656	<p>Pendant toute la journée, les valeurs de CO2 sont oscillantes dans tous les espaces du logement. Sachant qu'à 9h la plus grande valeur est signalée dans la chambre 930ppm. A 13h la plus grande valeur est remarquable dans la cuisine 937ppm. En revanche le CO2 atteint le pic dans le séjour le soir à 19h (1130ppm)</p>				
	9h	13h	19h																						
Cuisine	700	937	500																						
Séjour	630	430	1130																						
Chambre	930	623	850																						
SDB	390	504	656																						

Tableau V.12 : Résultats de mesure de l'hiver dans les différents espaces du logement 04 (Graphe a, b, et c). Source : Auteure 2021.

Graphes		Interprétation																								
<p>(a) Variation du taux d'humidité</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>9h</th> <th>13h</th> <th>19h</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cuisine</td> <td>40</td> <td>41</td> <td>41</td> </tr> <tr> <td>Séjour</td> <td>45</td> <td>43</td> <td>47</td> </tr> <tr> <td>Chambre</td> <td>41</td> <td>37</td> <td>36</td> </tr> <tr> <td>SDB</td> <td>56</td> <td>38</td> <td>44</td> </tr> </tbody> </table>			9h	13h	19h	Cuisine	40	41	41	Séjour	45	43	47	Chambre	41	37	36	SDB	56	38	44	<p>D'après le graphe ci-joint le logement 4 n'est pas humide, dont les valeurs d'humidité sont assez faibles et quasiment stables (de 36% à 47%) dans les différents espaces de ce logement. Sauf dans la salle de bain le taux d'humidité atteint 56% le matin à cause de la vapeur d'eau qui existe dans cet endroit.</p>				
	9h	13h	19h																							
Cuisine	40	41	41																							
Séjour	45	43	47																							
Chambre	41	37	36																							
SDB	56	38	44																							
<p>(b) Variation de température</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>9h</th> <th>13h</th> <th>19h</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cuisine</td> <td>23</td> <td>20</td> <td>22</td> </tr> <tr> <td>Séjour</td> <td>24</td> <td>21</td> <td>23</td> </tr> <tr> <td>Chambre</td> <td>24</td> <td>23</td> <td>24</td> </tr> <tr> <td>SDB</td> <td>22</td> <td>22</td> <td>22</td> </tr> <tr> <td>extérieur</td> <td>11</td> <td>13</td> <td>9</td> </tr> </tbody> </table>			9h	13h	19h	Cuisine	23	20	22	Séjour	24	21	23	Chambre	24	23	24	SDB	22	22	22	extérieur	11	13	9	<p>Dans ce logement et pendant cette journée de mesure toutes les fenêtres sont fermées et le chauffage est allumé toute la journée. En cela, la température intérieure, qui varie entre 20 et 24°C dans tous les espaces, est très élevée par rapport à la température extérieure qui varie entre 9 et 13°C.</p>
	9h	13h	19h																							
Cuisine	23	20	22																							
Séjour	24	21	23																							
Chambre	24	23	24																							
SDB	22	22	22																							
extérieur	11	13	9																							
<p>(c) Variation des niveaux de CO2</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>9h</th> <th>13h</th> <th>19h</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cuisine</td> <td>422</td> <td>398</td> <td>455</td> </tr> <tr> <td>Séjour</td> <td>766</td> <td>420</td> <td>845</td> </tr> <tr> <td>Chambre</td> <td>792</td> <td>498</td> <td>520</td> </tr> <tr> <td>SDB</td> <td>491</td> <td>422</td> <td>528</td> </tr> </tbody> </table>			9h	13h	19h	Cuisine	422	398	455	Séjour	766	420	845	Chambre	792	498	520	SDB	491	422	528	<p>A 9h la concentration de CO2 est plus forte dans le séjour et la chambre 766ppm et 792ppm. Tandis qu'à midi, elle est stable dans tous les espaces du logement de 398 à 498 ppm. Le soir, elle reste pratiquement stable sauf dans le séjour ou elle s'est augmentée vers 845 ppm.</p>				
	9h	13h	19h																							
Cuisine	422	398	455																							
Séjour	766	420	845																							
Chambre	792	498	520																							
SDB	491	422	528																							

Tableau V.13 : Résultats de mesure de l'hiver dans les différents espaces du logement 05 (Graphe a, b, et c). Source : Auteure 2021.

Graphes		Interprétation																								
<p>(a) Variation du taux d'humidité</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>9h</th> <th>13h</th> <th>19h</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cuisine</td> <td>62</td> <td>58</td> <td>57</td> </tr> <tr> <td>Séjour</td> <td>61</td> <td>64</td> <td>64</td> </tr> <tr> <td>Chambre</td> <td>64</td> <td>62</td> <td>64</td> </tr> <tr> <td>SDB</td> <td>64</td> <td>60</td> <td>58</td> </tr> </tbody> </table>			9h	13h	19h	Cuisine	62	58	57	Séjour	61	64	64	Chambre	64	62	64	SDB	64	60	58	<p>Les taux d'humidité mesurés dans ce logement présentent une disparité. La chambre et la salle de bain ce sont les espaces les plus humides, dont le taux atteint 64% le matin, puis il commence à se diminuer dans la salle de bain le reste de la journée, tandis qu'il reste presque stable dans la chambre. Dans la cuisine et le séjour il est respectivement à 62% et 61% le matin. Il commence à se diminuer dans la cuisine, mais il s'augmente dans le séjour pour arriver à 64% le soir.</p>				
	9h	13h	19h																							
Cuisine	62	58	57																							
Séjour	61	64	64																							
Chambre	64	62	64																							
SDB	64	60	58																							
<p>(b) Variation de température</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>9h</th> <th>13h</th> <th>19h</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cuisine</td> <td>26</td> <td>26</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>Séjour</td> <td>25</td> <td>25</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>Chambre</td> <td>25</td> <td>25</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>SDB</td> <td>26</td> <td>26</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>exterieur</td> <td>14</td> <td>15</td> <td>12</td> </tr> </tbody> </table>			9h	13h	19h	Cuisine	26	26	25	Séjour	25	25	25	Chambre	25	25	25	SDB	26	26	25	exterieur	14	15	12	<p>Ce graphe illustre que les températures sont quasiment identiques dans tous les espaces de ce logement, soit 25°C. Tandis que les températures extérieures sont inférieures à cette valeur. Ceci revient aux conditions de mesure dans ce logement présenté dans l'annexe E (ouvertures fermées, chauffage allumé).</p>
	9h	13h	19h																							
Cuisine	26	26	25																							
Séjour	25	25	25																							
Chambre	25	25	25																							
SDB	26	26	25																							
exterieur	14	15	12																							
<p>(c) Variation des niveaux de CO2</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>9h</th> <th>13h</th> <th>19h</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Cuisine</td> <td>707</td> <td>637</td> <td>545</td> </tr> <tr> <td>Séjour</td> <td>487</td> <td>504</td> <td>589</td> </tr> <tr> <td>Chambre</td> <td>584</td> <td>623</td> <td>585</td> </tr> <tr> <td>SDB</td> <td>683</td> <td>508</td> <td>523</td> </tr> </tbody> </table>			9h	13h	19h	Cuisine	707	637	545	Séjour	487	504	589	Chambre	584	623	585	SDB	683	508	523	<p>- A 9h les variations de CO2 se situent dans la plage de la classe moyenne IDA2 (400-600ppm) dans les différents espaces, sauf dans la cuisine la valeur du CO2 est à 707ppm, elle se situe dans la plage de la classe IDA3 (600-1000ppm)</p> <p>-A 13h, les valeurs de CO2 sont respectivement 504, 508, 623,637ppm dans le séjour, la salle de bain, la chambre et la cuisine.</p> <p>- A 19h, les valeurs de CO2 se diminuent et se stabilisent dans les environs de 500ppm.dans tous les espaces du logement.</p>				
	9h	13h	19h																							
Cuisine	707	637	545																							
Séjour	487	504	589																							
Chambre	584	623	585																							
SDB	683	508	523																							

V.3.4.3. Discussion

L'humidité relative de l'air est l'un des composants les plus préjudiciables du confort et de la qualité de l'air intérieur (Romana et al, 2016, p.40). Selon plusieurs organismes, l'humidité relative optimale se situe entre 30 et 50 %. Selon la période de l'année et la température

intérieure et extérieure (Marie-Eve Levasseur, et al, 2017, p.112). En suivant les prédictions de la norme ASHRAE 55-81, l'humidité relative ne doit pas dépasser 70 % à 22,6 °C de température ambiante, et 60 % à 26 °C. Plus précisément, dans les résultats de Tsutsumia et al (2006) l'humidité relative dans l'appartement devrait être comprise entre 35% et 60%, ce qui peut maintenir des conditions de confort (Romana et al, Op,cite, p.36).

En respectant cette limite, il semble que les niveaux d'humidité relative relevés pendant la campagne de mesure en été (graphes « a » tableaux V.04, V.05, V.06, V.07 et V.08) dans le logement « 3 » et « 4 » qui sont situés aux étages supérieurs (4em et 3em étage), sont restés dans la plage de confort.

Par contre dans les logements « 1 », « 2 » et « 5 », les valeurs d'humidité mesurées dans la même période ont dépassé les valeurs recommandées (plus de 50 et 60%).

Contrairement à l'été, en hiver les taux d'humidités mesurés sur l'appareil (graphes « a » tableaux V.09, V.10, V.11, V.12 et V.13) sont très élevés, ils dépassent les seuils normatifs dans le logement 1, 2,3, et 5, mais en particulier dans le logement 1 et 2 qui se situent aux niveaux inférieurs (RDC) dont la valeur maximum atteint 69%.

Également, on a distingué que le taux d'humidité relative est plus élevés le matin dans les cuisines et les chambre, il dépend de l'existence de la vapeur d'eau produite par nos cors et nos activités domestiques (cuisson, bain, dormir...etc.) en l'absence d'un taux de renouvellement d'air suffisant. Et le soir dans les séjours en raison de la forte occupation humaine dans cet endroit (Voir Annexe E).

À cet égard (Roulet, Op, cité, P88) mentionne « *qu'un adulte évapore entre 40 et 60 grammes d'eau par heure pour une activité calme. La vapeur émise augmente proportionnellement à l'activité à savoir environ 500 g/KWh. La cuisson des aliments produit environ 2 kg de vapeur d'eau par jour, auxquels il faut ajouter, s'il y a lieu, la vapeur d'eau produite par la combustion du gaz de cuisson, environ 1 kg par jour. Le séchage du linge à l'intérieur ou l'utilisation d'un séchoir sans évacuation de la vapeur produit en plus environ 1.5 kg/jour* ».

Par conséquent, Les résultats de nos mesures montrent que les variations du taux d'humidité dans les logements étudiés ont dépassé considérablement les limites pendant la période hivernale et en particulier dans les logements qui se situent aux étages inférieurs. Ces valeurs élevées sont dus aux activités domestiques, aux pratiques d'habitants (utilisation du chauffage, fermetures des fenêtres) et en partie à la mauvaise ventilation du logement. En revanche, l'humidité relative mesurée dans les logements qui sont situés aux étages supérieurs est acceptable surtout en été.

À propos des résultats des mesures de la température de l'air, La variation des niveaux de l'humidité relative présente une corrélation à la variation de la température de l'air. Pour une même quantité de vapeur d'eau dans l'air, l'augmentation de température de l'air entraîne une baisse du niveau de l'humidité relative et vice versa lorsque la température de l'air se diminue

(Adrien Dhalluin, op, cité, p.167). Cela explique pourquoi l'humidité relative est plus importante en hiver et dans les logements du RDC qui sont moins ensoleillés et en contact direct avec le vide sanitaire qui est devenu une source du froid avec la présence de l'eau.

Concernant les mesures de la teneur en CO₂ en été et à partir des graphes « c » dans les tableaux (V.04, V.05, V.06, V.07 et V.08) nous distinguons très clairement que les niveaux de CO₂ ont dépassés la valeur seuil (1000 ppm) dans le logement 3 et 4 pour atteindre respectivement 1035ppm et 1025 ppm. Cela est marqué à 13h dans les séjours d'où le taux d'occupation est très élevé (6 personnes dans le logement « 3 » et 5 personnes dans le logement « 4 ») et toutes les fenêtres sont fermées. (Annexe E).

En hiver et à partir des graphes « c » dans les tableaux (V.09, V.10, V.11, V.12 et V.13) la concentration en CO₂ est très élevée dans le logement « 1 » et « 3 » pour atteindre respectivement 1008ppm et 1130 ppm. Cela est marqué le soir dans les séjours d'où le taux d'occupation est plus important, et toutes les fenêtres sont fermées. (Voir annexe E).

De ce fait, la forte concentration en CO₂ est liée à l'utilisation des éléments de ventilation naturelle (ouverture et fermetures des fenêtres). Encore, l'impact du nombre d'occupant sur l'augmentation de la teneur en CO₂ à l'intérieur des logements étudiés est très remarquable, celui-ci revient au processus métabolique. La respiration de l'homme charge l'air en gaz carbonique, « un homme au repos produit 20litres de CO₂ par heure, ce qui fait passer la proportion de gaz carbonique de 0.03% dans l'air inspiré à 5.4% dans l'air expiré » (Liébard, Op, cité, p.33).

Cette forte concentration en CO₂ peut provoquer de multiples problèmes de santé, tel que : l'accélération de la respiration, les vertiges, maux de tête, l'évanouissement pour 10 à 15% de CO₂ en volume, et la mort pour plus de 20% de CO₂ en volume. (Schrivier, Op, cité, p.10). La vitesse de l'air constitue une source de diminution de chaleur et d'humidité lorsque les ambiances intérieures sont chaudes et humides. La vitesse de l'air qui a été mesurée avec « Anémomètre BA16 » au niveau des logements d'étude est similaire pour tous les logements. Elle reste très faible, dont elle varie de 0 à 0.27 m/s (< 0,27 m/s) pendant tous les moments de mesure.

En référence à la citation de Schriver-Mazzuoli, (Op, cité, p. 8) « Dans l'habitat, il est recommandé qu'elle ne dépasse généralement pas 0,2 m/s pour atteindre une sensation de confort, et qu'elle soit précisément de 0,13m/s pour une personne assise en grand confort », les valeurs trouvées dans les logements étudiés sont confortables.

Selon les résultats de mesure ci-dessus, on estime que l'air à l'intérieur des logements étudiés n'est pas sain, il est de mauvaise qualité car il contient des niveaux de CO₂ plus élevés, ainsi que des niveaux d'humidité plus importants. Cela est équilibré avec la perception subjective des habitants. Ces contaminants de l'air intérieur sont dus selon les résultats de l'enquête aux activités domestiques, aux taux d'occupation dans le logement, à la manière d'utilisation de la ventilation naturelle mais aussi au manque d'aération de ces logements.

Ils peuvent compromettre le confort des habitants en causant des problèmes pour leur santé ainsi que des dégradations physiques pour leurs logements.

V.4. Conclusion

A la suite de ce travail empirique on a pu construire en premier lieu une base de données qualitatives, en adoptant une approche d'enquête sociale subjective liée aux ressenties des occupants, toute en utilisant la technique du questionnaire. Ce dernier est adressé d'une façon directe aux habitants de la cité d'étude, ce qui on a permet d'étudier et d'examiner les facteurs de pollutions intérieures liées principalement à l'occupant, ses activités domestiques et son comportement.

Ainsi qu'une base de données quantitative, à travers la réalisation des campagnes de mesure Indoor In-situ des paramètres caractérisant la QAI (la surveillance de la concentration en gaz carbonique (CO₂), de l'humidité relative (HR), de la température (Tem), et de la vitesse de l'air (m/s)) dans les conditions estivales et hivernales de la région de Guelma, en utilisant d'instruments de pointe « Air Quality tester JD-3002 » et « Anémomètre BA16 ».

Ces données expérimentales mis à contribution ont pour objectif de rechercher les déterminants de la qualité de l'air intérieur (QAI) et de comprendre l'impact des impuretés incrustées dans l'air sur le confort sanitaire intérieur. De ce fait, cette étude on a permet de recenser les différents facteurs et sources de gêne qui influent sur la pollution de l'air dans les logements étudiés et qui peuvent engendrer une détérioration des conditions de confort sanitaire en menaçant la santé et le bien-être de l'occupant ainsi que la sécurité et la stabilité du bâtiment.

CHAPITRE VI : EVALUATION NUMERIQUE DES PERFORMANCES DE LA VENTILATION NATURELLE DANS LES LOGEMENTS ETUDIES

VI.1. Introduction

La dynamique des fluides computationnelle (CFD) est un outil crucial pour aider à modéliser le flux d'air et la dispersion des polluants dans les géométries architecturales et urbaines complexes. Cet outil permet des prédictions plus précises des impacts sur une gamme de scénarios météorologiques, ainsi que des conceptions et emplacements de bâtiments alternatifs par rapport aux routes et autres sources de polluants.

La ventilation naturelle est une stratégie durable majeure dans la conception des bâtiments dans la ville de Guelma, et intéresse considérablement les concepteurs, car elle peut fournir aux occupants une bonne qualité de l'air intérieur et un haut niveau de confort sanitaire toute en réduisant les coûts énergétiques.

Selon ce qui est présenté précédemment, il existe trois approches disponibles pour étudier la ventilation naturelle : les modèles empiriques, les mesures expérimentales (présentés ci-dessus) et les simulations de dynamique des fluides computationnelle (CFD). La CFD devient populaire en raison de ses résultats informatifs, de ses faibles coûts de main-d'œuvre et de ses faibles besoins en équipement, elle permet d'étudier les écoulements d'air dans le bâtiment.

En effet, ce dernier chapitre présente une étude numérique qui nécessite le développement dans un environnement algorithmique d'un modèle de simulation CFD (code butterfly plugin) sous les conditions météorologiques estivales et hivernales de la ville de Guelma. Ce travail vise à évaluer numériquement le comportement du système de ventilation naturelle existant et son efficacité pour obtenir une bonne qualité d'air à l'intérieur des logements étudiés.

VI.2. Aperçu sur la dynamique des fluides computationnelle (CFD)

La dynamique des fluides computationnelle, plus communément connue sous son acronyme CFD, est une branche de la mécanique des fluides qui utilise des méthodes numériques et des algorithmes mathématiques pour résoudre et analyser des problèmes impliquant des écoulements de fluides. Les ordinateurs sont utilisés pour effectuer les calculs nécessaires pour simuler l'interaction de liquides ou de gaz avec des surfaces définies par des conditions aux limites. Pour ce faire, des logiciels spécialisés et de haute technologie sont nécessaires pour effectuer des calculs aussi complexes (Khelil, 2015).

Selon Chen, Q (2009), l'utilisation de la CFD a représenté jusqu'à 70% des études relatives à la performance de la ventilation dans les dix ans passés. Dans le domaine de l'étude de la qualité de l'air et la conception des systèmes de ventilation naturelle les modèles CFD sont fortement appliqués. Les études en CFD portent sur des configurations de bâtiment relativement simples : des façades lisses, des modules dits « boîte à chaussures », des toits plats, etc. (Shuqing Cui, Op, cité.).

VI.3. Rôle du CFD

La CFD permet de construire un prototype virtuel d'un produit ou d'un procédé pour simuler les conditions réelles de fonctionnement. Elle constitue ainsi un complément à d'autres techniques de modélisation et d'expérimentation afin d'obtenir une description précise des problèmes d'écoulement de fluide. La CFD permet aussi de se poser des questions du type « Que se passera-t-il si... ? », d'examiner les conséquences de certains choix technologiques et de valider une conception.

Les codes CFD sont largement utilisés dans l'étude du réchauffement climatique, du climat urbain, du microclimat, de la ventilation des bâtiments, de la qualité de l'air intérieur, du confort thermique intérieur et extérieur, de la sécurité incendie et du désenfumage.

La simulation de bâtiments à l'aide de logiciels CFD gagne en popularité en raison principalement des nouvelles normes sur la santé et le confort dans l'environnement bâti et de la nécessité de concevoir des espaces intérieurs et des systèmes de HVAC qui répondent aux critères des normes requises.

Dans le cadre de cette étude d'évaluation des effets de la ventilation naturelle sur la qualité de l'air intérieur, le rôle des simulations CFD est d'apporter des indications supplémentaires sur l'efficacité et la performance de la ventilation des logements de la cité Guehdour Tahar-Guelma à travers l'étude des flux d'air.

VI.4. Présentation du code Butterfly plugin

Dans le domaine CFD, les codes commerciaux les plus courants incluent OpenFOAM, OpenFlower, Flash, ANSYS CFX, ANSYS ICEM CFD, FLOW3D, PHOENICS, FIDAP, FLOVENT, FLUENT et STA RCD.

Récemment, en se basant sur l'approche paramétrique, une panoplie de programmes ont été développés afin de simuler et modéliser l'effet de l'écoulement d'air à l'intérieur de bâtiments. On cite Butterfly qui est plugin Grasshopper/Dynamo et une bibliothèque python orientée objet qui crée et exécute des simulations de dynamique des fluides computationnelle (CFD) à l'aide d'OpenFOAM.

À l'heure actuelle, OpenFOAM est le moteur CFD open source le plus rigoureusement validé et est capable d'exécuter plusieurs simulations avancées et modèles de turbulence (du simple RAS au LES intensif). Butterfly est conçu pour exporter rapidement la géométrie vers OpenFOAM et exécuter plusieurs types courants de simulations de flux d'air utiles à la conception de bâtiments. Cela comprend des simulations extérieures pour modéliser les modèles de vent urbains, des simulations intérieures axées sur la flottabilité pour modéliser le confort thermique et l'efficacité de la ventilation, et bien plus encore.

Ce plugin favorise :

- La simulation du flux d'air intérieur entraîné par le vent pour évaluer l'efficacité de la ventilation.
- La modélisation des modèles de vent extérieur en milieu urbain.

- La modélisation des flux d'air entraînés par la flottabilité des cheminées, des oreillettes et d'autres phénomènes de cheminée courants.
- L'utilisation de Butterfly avec les plugins Ladybug et Honeybee pour effectuer des analyses de confort thermique intérieur haute résolution qui tiennent compte de la température et de la vitesse de l'air local.

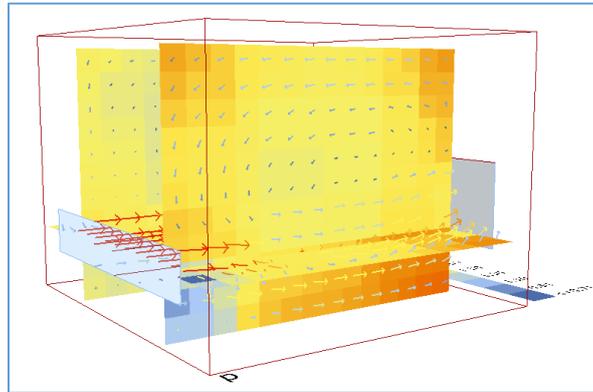


Figure VI.01 : l'utilisation de Butterfly plugin pour l'étude du Flux d'air intérieur. (Source : <https://www.ladybug.tools/butterfly.html>)

- L'utilisation de Butterfly avec Ladybug et Honeybee pour cartographier spatialement le confort thermique extérieur.
- La prévention de l'inconfort des courants d'air générés par le CVC (Chauffage-Ventilation – Climatisation) en simulant les vitesses de l'air et les températures qu'ils créent.

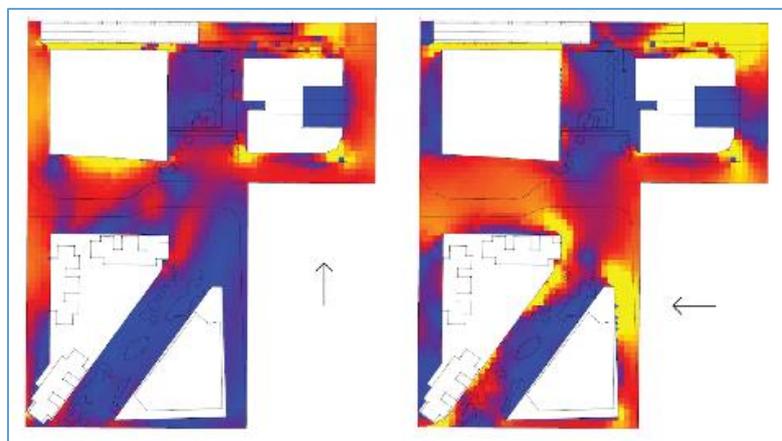


Figure VI.02 : l'utilisation de Butterfly plugin pour l'étude du Flux d'air extérieur. (Source : <https://www.ladybug.tools/butterfly.html>)

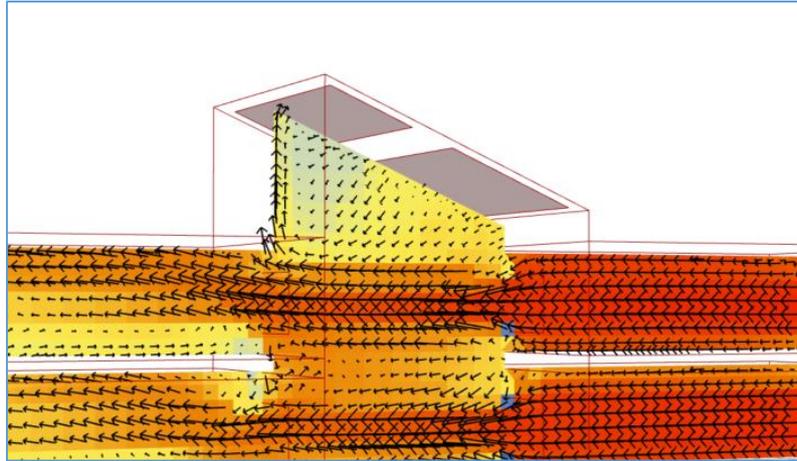


Figure VI.03 : l'utilisation de Butterfly plugin pour l'étude de Flottabilité. (Source : <https://www.ladybug.tools/butterfly.html>)

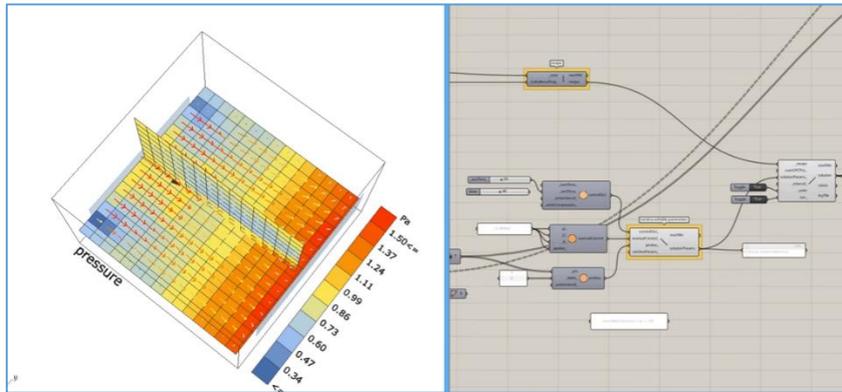


Figure VI.04 : l'utilisation de Butterfly plugin pour l'étude du confort intérieur. (Source : <https://www.ladybug.tools/butterfly.html>)

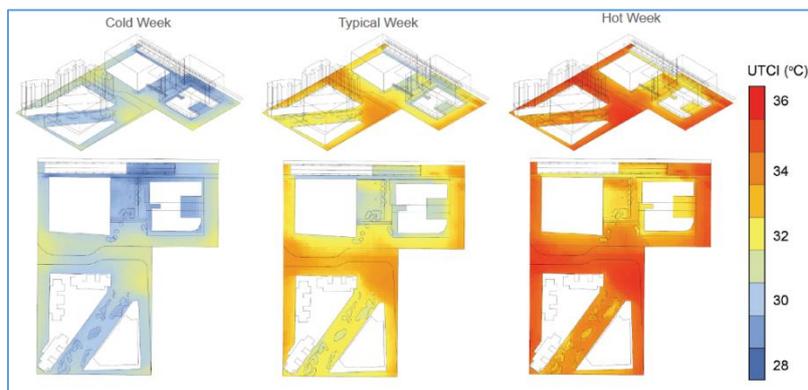


Figure VI.05 : l'utilisation de Butterfly plugin pour l'étude du confort extérieur. (Source : <https://www.ladybug.tools/butterfly.html>)

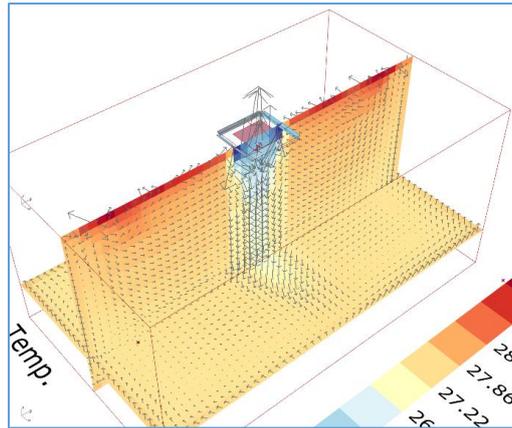


Figure VI.06 : l'utilisation de Butterfly plugin pour l'étude des courants d'air générés par le CVC.
 (Source : <https://www.ladybug.tools/butterfly.html>)

VI.5. Protocole de simulation

La simulation de la ventilation à l'intérieur du bâtiment est une phase importante. Le comportement de ventilation du bâtiment dépend des valeurs des variations annuelles des paramètres météorologiques, ce qui est un processus qui prend du temps. La difficulté est aggravée par le fait que les données météorologiques annuelles ne sont pas facilement disponibles et que les concepteurs de bâtiments impliqués dans les simulations de performances ne sont pas responsables de la collecte et de l'enregistrement des informations météorologiques.

Par conséquent, on a besoin d'une alternative aux données météorologiques réduites au Design day « journée type » et design week « semaine type » extraites des informations météorologiques annuelles qui peuvent garantir un temps plus court et une simulation moins complexe.

Vu que notre recherche nécessite plus de précision que les exigences générales de conception, on utilisera TMY (Typical Meteorological Year). Une année météorologique typique (TMY) est une collation de données météorologiques sélectionnées pour un emplacement spécifique, générées à partir d'une banque de données d'une durée bien supérieure à un an.

Il est spécialement sélectionné pour présenter l'éventail des phénomènes météorologiques pour le lieu en question, tout en donnant des moyennes annuelles cohérentes avec les moyennes à long terme pour le lieu en question. Les données TMY sont fréquemment utilisées dans la simulation de bâtiments, afin d'évaluer les coûts de chauffage et de refroidissement attendus pour la conception du bâtiment. Il est également utilisé par les concepteurs de systèmes d'énergie solaire, y compris les systèmes solaires d'eau chaude sanitaire et les centrales solaires thermiques à grande échelle.

Pour construire une TMY, il faut choisir les principales caractéristiques qui peuvent être suivies à travers des valeurs horaires au moins pendant 10 ans (température, humidité, rayonnement solaire, pression, vitesse du vent, etc.). Les fichiers TMY capturent bien les conditions typiques mais (de par leur conception) ne montrent pas les extrêmes, ce qui devient de plus en plus important à mesurer que le mouvement vers une conception économe en énergie (Hisaya ISHINO, 2005 ; Khelil, 2015).

Les deux semaines représentatives « Design Week 1 » et « Design Week 2 » pour la simulation numérique et qui sont déterminées ci-dessus sont présentées dans les tableaux V.14 et V.15, toute en se basant sur les deux paramètres : Température et Vitesse de l'air.

Tableau VI.01 : sélection de la semaine type « Design Week 1 » pour la simulation numérique. (Source : Auteur 2022)

Design Week 1	Température (C°)	Vitesse de l'air (m/s)
13 Janvier	10	3.19
14 Janvier	10.3	2.58
15 Janvier	10.5	1.63
16 Janvier	9.1	3.08
17 Janvier	10	1.63
18 Janvier	9.7	2.05
19 Janvier	10.1	2.05

Tableau VI.02 : sélection de la semaine type « Design Week 2 » pour la simulation numérique. (Source : Auteur 2022)

Design Week 2	Température (C°)	Vitesse de l'air (m/s)
01 Aout	29.2	3.5
02 Aout	29	3.61
03 Aout	29.2	2.97
04 Aout	28.7	2.88
05 Aout	27.8	2.16
06 Aout	28.1	1.75
07 Aout	28.3	2.16

VI.5.1. Description des logements simulés

Cette partie de la recherche présente la phase de simulation numérique. Elle décrit une étude détaillée du flux d'air à l'intérieur des logements sélectionnés.

Le logement 1 (à gauche de la figure V.23) est situé au rez-de-chaussée du bloc 20, il est orienté au Nord-ouest/Sud-est. Le deuxième logement à droite de la même figure est situé au 3em étage du bloc 34, il est orienté au Nord-est/Sud-ouest.



Figure VI.7-8 : les logements (1 et 2) sélectionnés pour la simulation numérique. Source : Auteur 2022.



Figure VI.9-10 : Modélisation de la configuration 3D du bâtiment pour la simulation. Source : Auteur 2022.

Ici, la recherche tente d'évaluer les performances et le comportement de ventilation des logements en utilisant une définition algorithmique (algorithme paramétrique) développée dans le plugin Grasshopper et Butterfly (Figure VI.08).

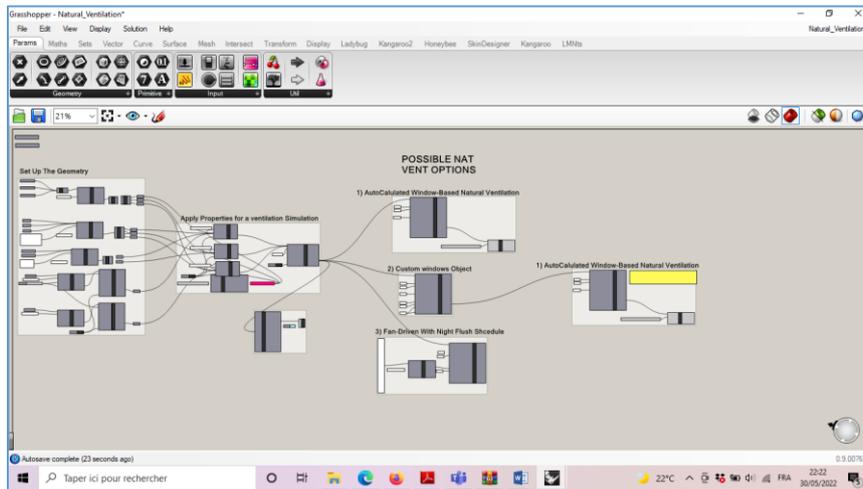


Figure VI.11 : Définition paramétrique pour l'analyse de la ventilation naturelle. Source : (Auteur 2022).

L'introduction de la configuration 3D dans le code CFD s'est faite par rapport à l'orientation des vents dominants et l'orientation du bâtiment afin de déterminer l'entrée et la sortie d'air (Inled et Outled) toute en introduisant la vitesse de l'air des journées types sélectionnées.

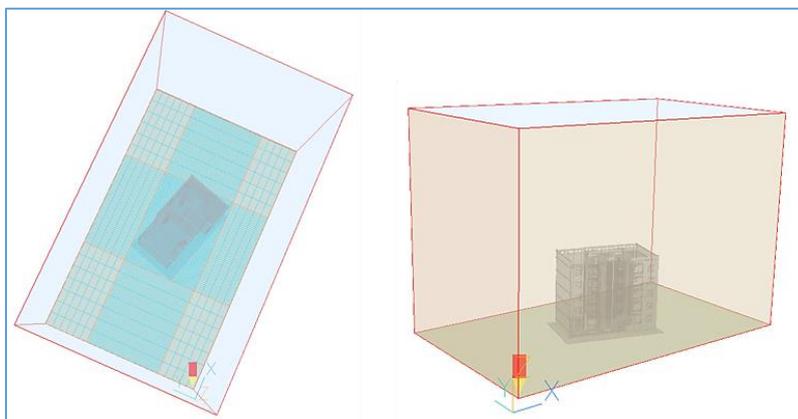
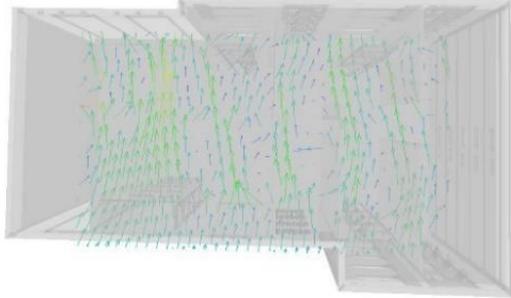
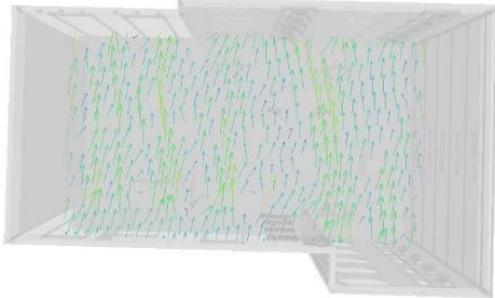
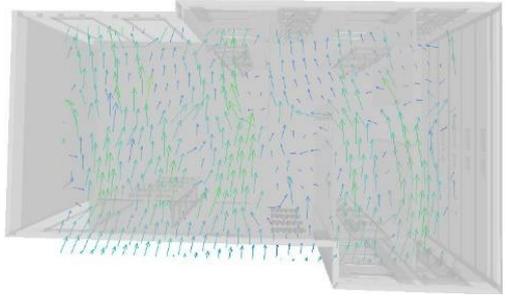
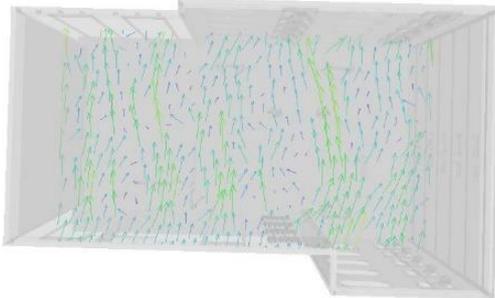


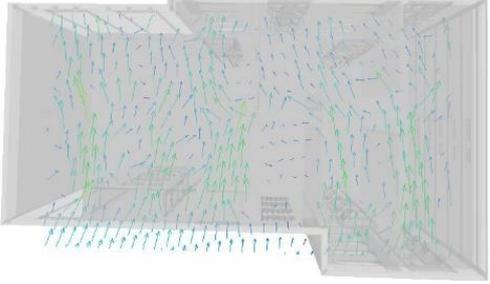
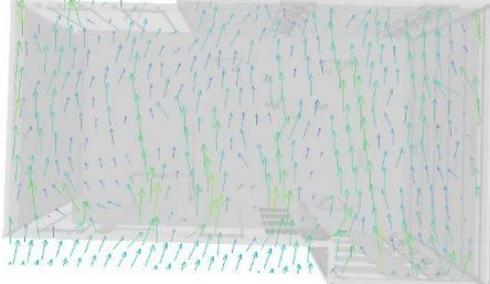
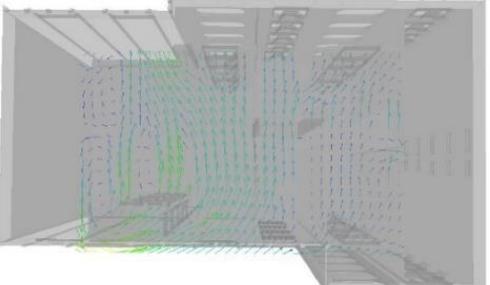
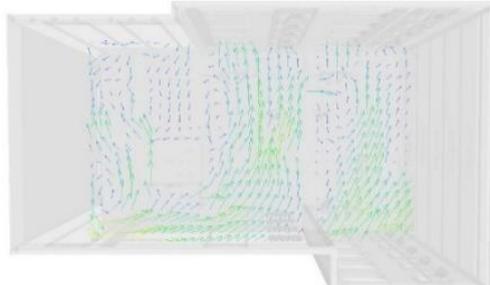
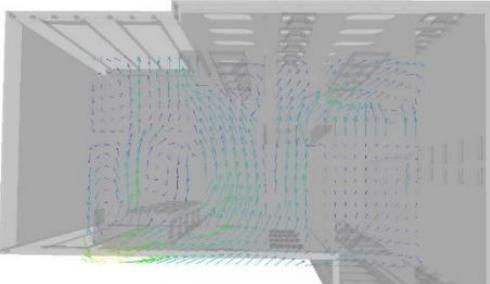
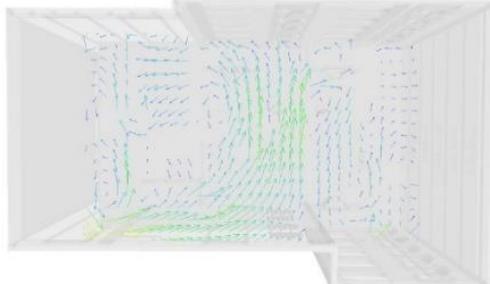
Figure VI.12 : Le maillage créé avec le bâtiment étudié apparaissant au centre. Source : Auteur 2022.

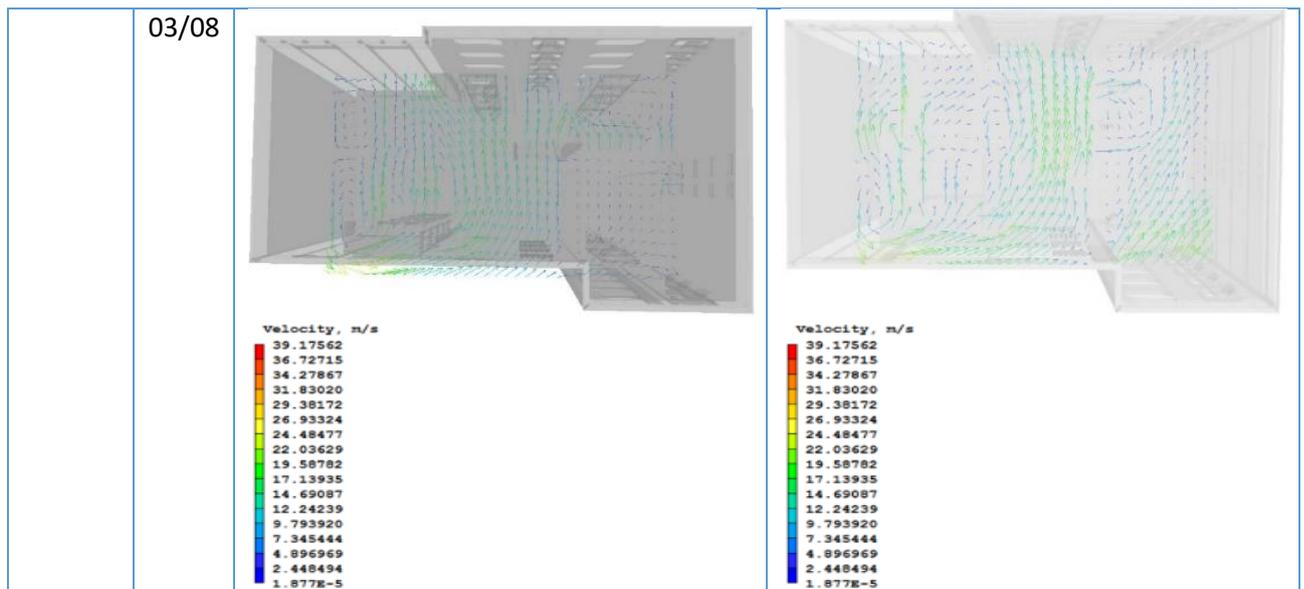
VI.6. Discussion des résultats de la simulation

Le tableau V.03 résume les résultats de la simulation des deux logements dans les deux design-week sélectionnés auparavant. Des images ont été générées pour montrer diverses vues de dessus des vitesses et la distribution horizontale du flux d'air dans la zone d'échantillonnage.

Tableau VI.03 : résultats de la simulation dans les deux logements et dans le design week « 1 » et « 2 ». Source : Auteure 2022.

	Jour	Logement 1	Logement 2
Design week 1	16/01	 <p>Velocity, m/s</p> <ul style="list-style-type: none"> 39.17562 36.72715 34.27867 31.83020 29.38172 26.93324 24.48477 22.03629 19.58782 17.13935 14.69087 12.24239 9.793920 7.345444 4.896969 2.448494 1.877E-5 	 <p>Velocity, m/s</p> <ul style="list-style-type: none"> 39.17562 36.72715 34.27867 31.83020 29.38172 26.93324 24.48477 22.03629 19.58782 17.13935 14.69087 12.24239 9.793920 7.345444 4.896969 2.448494 1.877E-5
	17/01	 <p>Velocity, m/s</p> <ul style="list-style-type: none"> 39.17562 36.72715 34.27867 31.83020 29.38172 26.93324 24.48477 22.03629 19.58782 17.13935 14.69087 12.24239 9.793920 7.345444 4.896969 2.448494 1.877E-5 	 <p>Velocity, m/s</p> <ul style="list-style-type: none"> 39.17562 36.72715 34.27867 31.83020 29.38172 26.93324 24.48477 22.03629 19.58782 17.13935 14.69087 12.24239 9.793920 7.345444 4.896969 2.448494 1.877E-5

	18/01	 <p>Velocity, m/s</p> <ul style="list-style-type: none"> 39.17562 36.72715 34.27867 31.83020 29.38172 26.93324 24.48477 22.03629 19.58782 17.13935 14.69087 12.24239 9.793920 7.345444 4.896969 2.448494 1.877E-5 	 <p>Velocity, m/s</p> <ul style="list-style-type: none"> 39.17562 36.72715 34.27867 31.83020 29.38172 26.93324 24.48477 22.03629 19.58782 17.13935 14.69087 12.24239 9.793920 7.345444 4.896969 2.448494 1.877E-5
Design week 2	01/08	 <p>Velocity, m/s</p> <ul style="list-style-type: none"> 39.17562 36.72715 34.27867 31.83020 29.38172 26.93324 24.48477 22.03629 19.58782 17.13935 14.69087 12.24239 9.793920 7.345444 4.896969 2.448494 1.877E-5 	 <p>Velocity, m/s</p> <ul style="list-style-type: none"> 39.17562 36.72715 34.27867 31.83020 29.38172 26.93324 24.48477 22.03629 19.58782 17.13935 14.69087 12.24239 9.793920 7.345444 4.896969 2.448494 1.877E-5
	02/08	 <p>Velocity, m/s</p> <ul style="list-style-type: none"> 39.17562 36.72715 34.27867 31.83020 29.38172 26.93324 24.48477 22.03629 19.58782 17.13935 14.69087 12.24239 9.793920 7.345444 4.896969 2.448494 1.877E-5 	 <p>Velocity, m/s</p> <ul style="list-style-type: none"> 39.17562 36.72715 34.27867 31.83020 29.38172 26.93324 24.48477 22.03629 19.58782 17.13935 14.69087 12.24239 9.793920 7.345444 4.896969 2.448494 1.877E-5



A partir des figures représentées dans le tableau V.16 ci-dessus, l'analyse de la vitesse de l'air à l'intérieur des deux logements simulés dans les deux design-week sélectionnés on permet de comprendre le comportement du flux d'air à l'intérieur de ces deux logements.

Les résultats de la simulation montrent la différence de la vitesse de l'air selon la couleur des flèches qui représentent les écoulements d'air à l'intérieur des deux logements. En cela :

- Au niveau des entrées d'air, on observe que la vitesse de l'air est similaire à celle de l'extérieur, elle est à (3.08, 1.63, 2.05, 3.5, 3.61, 2.97 m/s) respectivement pour le design-week « 1 » et « 2 ». Puis elle sera accélérée, dont les flèches seront transformées en couleur verte, en circulant dans toute la surface du logement pour sortir de la face opposée créant une ventilation transversale.
- Dans le cas où il y a des obstacles (cloisons) le déplacement d'air change sa direction et par conséquent, on observe encore une diminution de sa vitesse.

Cette étude de comportement de flux d'air intérieur montre la performance de la ventilation naturelle dans les logements étudiés. Elle peut assurer donc l'hygiène du bâtiment en diluants d'une part les différents polluants et poussières (air vicié), toute en évacuant en d'autre part l'excès de chaleur et l'humidité pour garantir le confort de l'occupant.

Sachant que pendant les mesures In-situ, on a trouvé que la vitesse de l'air ne dépasse pas 0.27m/s. Cela revient principalement au comportement d'habitants en matière d'ouverture et de fermeture des fenêtres pour faire face au courant d'air gênant, aux conditions climatiques extérieurs ou aux d'autres contraintes acoustiques et visuel.

VI.7. Conclusion

Durant le travail de simulation numérique, et après avoir donné un aperçu général sur la dynamique des fluides computationnelle (CFD) qui est un outil utilisé pour modéliser le flux d'air et la dispersion des polluants dans les géométries architecturales et urbaines, on avons présenté par la suite le code Butterfly plugin. Ce dernier est conçu pour construire un prototype

virtuel et l'exporter vers OpenFOAM afin de simuler les conditions réelles de fonctionnement, en étudiant le flux d'air intérieur entraîné par le vent pour évaluer l'efficacité de la ventilation.

Pour ce faire, on a sélectionné deux logements, l'une est situé au rez-de-chaussée du bloc 20, et orienté au Nord-ouest/Sud-est, tandis que l'autre est situé au 3^{em} étage du bloc 34, et orienté au Nord-est/Sud-ouest, pour étudier le flux d'air intérieur sous les conditions météorologiques estivales et hivernales de la ville de Guelma en fixant deux semaines représentatives « Design Week 1 » et « Design Week 2 » toute en se basant sur les deux paramètres (Température et Vitesse de l'air).

On est arrivé au final à présenter les résultats issus de la simulation en analysant les écoulements d'air à l'intérieur des deux logements sélectionnés. Cela montre la performance du système de ventilation naturelle existant, qui devient moins efficace pour réaliser le confort sanitaire intérieur à cause du comportement d'habitants. De ce fait, cette phase de travail on a permet de valider les données recueillies par la parole d'habitants et les mesures effectuées.

CONCLUSION GENERALE

L'habitat c'est l'espace de vie dans lequel la qualité de l'environnement intérieur est indispensable puisqu'elle a une action directe sur le bien-être des habitants. Pour cela, ce travail de thèse a étudié la problématique de la qualité de l'air intérieur et ses effets sur le confort sanitaire et hygiénique dans le bâtiment résidentiel collectif.

Or, partir de l'idée que la ventilation du bâtiment, à travers un renouvellement d'air suffisant, joue un rôle primordial dans la préservation du confort sanitaire, l'objectif principal de ce travail de recherche est donc d'évaluer empiriquement et numériquement et en toute saison l'impact de la ventilation naturelle sur la qualité de l'air intérieur dans les bâtiments résidentiels collectifs situés à la cité Guehdour-Tahar au sud de la ville de Guelma. Cela part de deux échelles ; l'un débouche sur l'étude de l'impact sur la salubrité et l'intégrité du bâtiment. Et l'autre vise à étudier l'impact sur le confort sanitaire l'occupant et son bien-être.

Le travail empirique qui part d'une analyse qualitative recueillie par la parole d'habitants vise principalement à déterminer, à travers une évaluation sensorielle, les perceptions et les jugements subjectifs des occupants et leur satisfaction à l'égard de la ventilation et de la QAI dans leurs logements. Toute en se basant sur les sens, l'odorat et la sensibilité chimique trigémينية des muqueuses du nez et des yeux, qui constituent en effet les premières sources d'information de la perception de la qualité de l'air intérieur (QAI), des odeurs, du mouvement d'air, de la température et de l'humidité.

Ce travail d'enquête nous a permis d'une part d'identifier les éléments liés aux pratiques et activités journalières d'habitants et aux sources de polluants intérieurs qui influencent sur la qualité de l'air intérieur et sur la santé de l'occupant. Et d'autre part d'étudier l'influence des Pratique de ventilation naturelle (calendrier d'ouverture et de fermeture des fenêtres) et du mode d'utilisation des dispositifs mécaniques (les ventilateurs d'extraction, le système de chauffage et de climatisation) sur la QAI. En plus, il vise à évaluer les pathologies physique des bâtiments étudiés à travers l'observation des fissurations, de condensations et de moisissures, ainsi qu'à étudier et analyser l'état de santé des occupants.

La deuxième partie du travail empirique s'est basé sur la réalisation d'un protocole expérimental s'appuyant sur des mesures Indoor In-situ des paramètres caractérisant la QAI qui sont les paramètres de confort thermique (Température, Humidité relative et Vitesse de l'air) et la concentration en CO₂, dans des conditions bien déterminées. Les mesures ont été effectuées en été et en hiver dans cinq (5) logements situés à plusieurs niveaux de différents bâtiments collectifs du quartier d'étude.

Le choix des journées de mesure se base sur la méthode de sélection du design week et design days sur la base de données météorologique enregistrée sur plusieurs années réelles (2010-2021) dans la région de Guelma. En effet, Pour la saison chaude la semaine type « design week » sélectionnée pour la prise de mesure s'étale du 1er jusqu'au 07 Août de l'année 2021, tandis que pour la période froide la semaine type est entre le 13 et le 19 Janvier 2022. La partition du

mesurage s'échelonne selon trois périodes dans une même journée : Le matin à 9h, l'après-midi à 13h et le soir à 19h.

Ensuite, la réalisation d'un travail de simulation numérique en utilisant les outils CFD (dynamique des fluides computationnelle) qui sera une étape importante permettant d'étudier le comportement du système de ventilation naturelle existant et son efficacité, mais aussi de comprendre l'écoulement de flux d'air à l'intérieur de deux logements sélectionnés. Cette étude numérique s'est déroulée à travers le développement dans l'environnement butterfly plugin d'un modèle de simulation sous les conditions météorologiques estivales et hivernales de la ville en question en fixant deux semaines représentatives « Design Week 1 » et « Design Week 2 ».

Les résultats de notre enquête sociale montrent tout d'abord que les habitants du quartier Guehddour-Tahar passent de 60% à 80% de leur temps à l'intérieur de leurs logements, ce qui augmente le besoin d'un air intérieur sain, frais et respirable. Ensuite les activités domestiques des occupants qui, à travers l'utilisation des appareils à combustibles carbonés pour certaines activités tels que ; le chauffage des locaux, la production de l'eau chaude sanitaire et la cuisson des aliments, émettent des gaz carboniques toxiques et polluants. En plus les activités de nettoyage (vaisselle, bain/douche, lessive, séchage et repassage du linge, nettoyage du sol) sont exercées dans les logements enquêtés en produisant de la vapeur d'eau, et en chargeant l'air en nombreux éléments nocifs. Ainsi que l'utilisation des produits d'entretien, de désinfection et de désodorisants augmentent la teneur des particules dans l'air en générant de très nombreux polluants.

Durant cette enquête sociale on a trouvé également que l'incidence d'ouverture et de fermeture des fenêtres influencent la QAI. Les fenêtres sont restées fermées soit lorsque les habitants sont sur les lieux de travail, et lorsqu'ils rentrent l'air intérieur sera bouché, ou bien en raison des contraintes climatiques extérieurs selon le cas été ou hiver. Ou encore pour faire face à la pénétration de la poussière, des nuisances sonores, et du regard de l'extérieur vers l'intérieur.

Les habitants enquêtés ont perçu d'une manière générale que l'environnement intérieur dans leurs logements n'est pas sain. Cela est confirmé à travers l'observation de multiples pathologies physiques présentes sur les murs, les plafonds et derrière les armoires dans les logements étudiés, sous forme de fissures, taches d'humidité, revêtement décollé, gonflement et salpêtre. Ces traces sont observées dans les espaces qui ont connu une forte présence d'activités domestiques, dans les sanitaires, mais également dans les espaces orientés au nord (parois froides). Ainsi qu'à travers l'apparition, chez ces habitants, de certaines maladies allergiques et respiratoires, des irritations des yeux, du nez et de gorge, et de d'autres affections mineures telles que les maux de tête, somnolence et fatigue.

En cela, on estime d'après cette enquête que l'occupant a une grande influence sur la qualité de l'air intérieur de par ses activités domestiques journalières et la manière d'utilisation de la ventilation naturelle (ouverture et fermeture de fenêtres). Ceux-ci constituent en effet les sources de pollution qui peuvent compromettre le confort sanitaire et hygiénique dans ces logements.

Durant la phase de mesures In-situ nous avons constaté que les variations du taux d'humidité dans les logements étudiés ont dépassé considérablement les valeurs recommandées pendant la période hivernal et en particulier dans les logements qui se situent aux étages inférieurs dont la valeur maximale atteint 69%. Cette augmentation est observée le matin dans les cuisines et les chambres, et le soir dans les séjours en raison de la forte occupation humaine (l'existence de la vapeur d'eau produite par le corps et les activités domestiques), des pratiques d'habitants (utilisation du chauffage, fermetures des fenêtres) et en partie de la mauvaise ventilation des logements.

A propos des mesures de la température de l'air, on a signalé une baisse de température dans les endroits qui ont connu un taux d'humidité plus élevé. Cela explique l'augmentation du taux d'humidité en hiver et au niveau des logements situés en RDC, car ces logements sont moins ensoleillés et en contact directe avec le vide sanitaire (parois froides).

Concernant les niveaux de la teneur en CO₂, on a trouvé qu'ils ont dépassés la valeur seuil (1000 ppm) en particulier dans les espaces qui ont connu une forte occupation humaine. Cela est dû en plus du mode d'ouverture et de fermetures des fenêtres et des activités domestiques analysées précédemment, au processus métabolique (la respiration). Cette forte concentration en CO₂ à provoquer chez les occupants des logements étudiés de multiples problèmes de santé (l'accélération de la respiration, les vertiges, maux de tête, l'évanouissement...etc).

En revanche, la vitesse de l'air mesurée dans ces logements reste dans la plage du confort dans elle ne dépasse pas 0.27 m/s pendant tous les moments de mesure. Les résultats de ces mesures In-situ confirment la mauvaise ventilation des logements étudiés. Ces derniers contiennent des niveaux de CO₂ plus élevés, et des niveaux d'humidité plus importants. Ce qui dégrade considérablement la qualité d'air à l'intérieur de ces logements contribuant ainsi d'une manière significative à des conditions de confort inacceptable. Donc, il semble que ces paramètres mesurés sont les facteurs de risque d'une mauvaise QAI.

Les scénarios de la simulation numérique qui a étudié le flux d'air à l'intérieur de deux logements montrent que la vitesse de l'air au niveau des entrées d'air est similaire à celle de l'extérieur il arrive jusqu'à 3.08 m/s, Puis elle sera accélérée en sortant de la face opposée pour bénéficier d'une ventilation transversale. Sachant que pendant les mesures In-situ, on a trouvé que la vitesse de l'air ne dépasse pas 0.27m/s. Cela revient principalement au comportement d'habitants en matière d'ouverture et de fermeture des fenêtres pour faire face au courant d'air gênant, aux conditions climatiques extérieurs ou aux d'autres contraintes acoustiques et visuel.

En cela, les résultats de cette simulation numérique ont pu valider en confrontation avec les résultats expérimentaux que la ventilation naturelle à un impact sur la qualité de l'air intérieur dans les logements étudiés, et qu'il y a une relation interactive entre les caractéristiques de ventilation domestique existante (ouverture, orientation...etc), le comportement et les activités journalières des occupants, et la QAI mesurée et perçue.

En somme et après avoir étudié et évalué l'impact de la ventilation naturelle sur la QAI dans les bâtiments résidentiels collectifs de la cité Guehddour-Tahar, on estime que la mauvaise QAI a des effets sur le bâtiment ainsi que sur le confort de l'occupant, ces effets sont résumés dans les points suivants :

- Effet sur le bâtiment :
 - Développement de moisissure, champignons et bactéries sous forme de taches noir sur les murs et plafond et derrière les armoires des logements étudiés.
 - Apparitions des fissures à l'intérieur des logements en question.
 - Décollement et gonflement des revêtements et des peintures.
 - Dégradation des structures.

Ces problèmes pathologiques sont observés en particulier dans les espaces qui ont connu une forte présence d'activités domestiques et une forte production de vapeur d'eau (les cuisines et les sanitaires), ainsi que dans les espaces orientés au nord qui ont des parois froides.

- Effet sur le confort de l'occupant :
 - Les contaminants de l'air intérieur qui sont dus selon les résultats de notre enquête aux activités domestiques, aux taux d'occupation dans le logement, à la manière d'utilisation de la ventilation naturelle mais aussi au manque d'aération de ces logements, peuvent compromettre le confort des habitants en causant des problèmes pour leur santé.
 - les problèmes sanitaires que cause cette mauvaise QAI sont en effet des maux de tête, fatigue et somnolence, des irritations des muqueuses du nez, yeux et gorge, mais aussi des maladies allergiques et respiratoires.

Et que la ventilation naturelle, suit a plusieurs contraintes (conditions météorologiques extérieurs, pratiques d'occupants en matière d'ouverture et de fermeture des fenêtres ...etc.), n'offre pas à elle seul et on toute saison une possibilité de ventilation réellement intéressante et par conséquent une bonne QAI dans le bâtiment résidentiel.

1. Limites de recherche

Ce travail de thèse a subi certaines difficultés qui ont été des obstacles empêchant le bon déroulement de notre travail et qui sont notamment :

- La non disponibilité des données météorologiques au niveau de la station métrologique de la ville de Guelma, ce qui on oblige à utiliser le site OGIMET (Professional information about meteorological conditions in the world) pour faire ressortir les valeurs de température et de la vitesse de l'air de la ville de Guelma pour chaque mois de chaque année durant la période (2010-2021) et calculer par la suite par on-mêmes la température moyenne journalière (Voir Annexe B)
- La non disponibilité des instruments de mesure ce qui on oblige à acheter l'instrument, dont la procédure d'achat a durée plus de 3 mois, cela on fait perdre plus de temps.
- La non disponibilité du logiciel de simulation numérique ce qui freine notre avancement.

2. Perspectives de recherche

En complément de ce travail de thèse, la thématique de l'amélioration de la ventilation et de la qualité de l'air intérieur dans le bâtiment résidentiel collectif s'ouvre sur d'autres axes et pistes de recherches futures, qui représentent la continuité de notre étude, tels que :

- L'étude de faisabilité d'une ventilation naturelle optimisée à travers le développement à travers le développement, sur maquette numérique, d'un dispositif de ventilation naturelle (la façade ventilée, capteur a vent...etc), qui sera un modèle de ventilation adaptatif au confort sanitaire des occupants.
- L'étude de l'interaction entre l'amélioration de la ventilation naturelle et la contrainte lumineuse.
- L'étude de l'efficacité d'un dispositif de ventilation mécanique ou hybride dans l'amélioration de la qualité de l'air intérieur toute en prenant en compte les exigences acoustiques.
- L'ambition de cette recherche peut porter aussi sur les thématiques de ventilation, qualité de l'air et efficacité énergétique.

Bibliographie

Ouvrages

Alain Liébard, André De Herde, 2005, Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique : concevoir, édifier et aménager avec le développement durable, Observ'ER, 736 pages.

Alberto Zucchelli, 1983, introduction à l'urbanisme opérationnel, Alger, Office des publications universitaires OPU. 43Pages.

Anne-Marie Bernard, Valérie Leprince, 2015. Développement durable : Ventilation mécanique contrôlée dans le résidentiel : conception, mise en œuvre et maintenance, CSTB, 129Pages.

Armand Dutreix, 2010, Bio climatisme et performances énergétiques des bâtiments, Paris, EYROLLES, 2010, 240pages

Benyoucef Brahim, 2007, Analyse urbaine ; Eléments de méthodologie, Alger, OPU, 111Pages.

Chanal Jean-Pierre, 2015, Une leçon de Préhistoire. La Plaine Saint-Denis, France, Editions Publibook, 236Pages.

Claude Bernard, 1865, Introduction à l'étude de la médecine expérimentale, Paris, J.B. Baillière et Fils. 238Pages.

Claude-Alain Roulet, 2012, Eco-confort : pour une maison saine et à basse consommation d'énergie, Lausanne, Presse polytechnique et universitaire Romande, 200 pages.

Darcque Pascal, 2005, L'habitat mycénien : Formes et fonctions de l'espace bâti en Grèce continentale, Athènes, Ecole française d'Athènes, 450 pages.

DHMANI. k, et al, 2013, Praxis d'habitat social : revers et couronnements. Alger. OPU, 330Pages.

Fernandez Pierre, Pierre Lavigne, 2019, Concevoir des bâtiments bioclimatiques : fondements et méthodes. Paris, Le Moniteur, 432Pages.

FOURA Mouhamed, 2012, Histoire critique de l'architecture ; Evolution et transformation de l'architecture pendant 18e 19e et 20e siècles, office des publications universitaire (OPU), Alger, 313 pages.

Levasseur Marie-Eve, et al, 2017, Qualité de l'air et salubrité : Intervenir ensemble dans l'habitation au Québec, Institut national de santé publique du Québec, 202pages.

Mallek Bennabi, 2005, Les grands thèmes, la civilisation, la culture, l'idéologie, l'orientalisme, la démocratie, Alger, El Korhane, 162 pages.

MOUDJARI Messaoud, DAHMANI Krimo, 2016, PROJET URBAIN ; efficience d'un paradigme conceptuel de l'habitat durable, office des publications universitaire (OPU), Alger, 305 pages.

Olivier David, Adeline Fabre, 2007, Les économies d'énergie dans l'habitat existant : une opportunité si difficile à saisir ? Paris, Presses des Mines, 252Pages.

Pierre Lajoie et al., 2006, La ventilation des bâtiments d'habitation : impacts sur la santé respiratoire des occupants, Direction Risques biologiques, environnementaux et occupationnels, Document synthèse, Institut national de santé publique du Québec, 222 Pages

Poullin Patrick, et al, 2016, Mesure d'adaptation pour une saine qualité de l'air intérieur dans un contexte de changement climatique, *revue de littérature*, Québec, Institut national de la santé publique, Québec, 129 Pages.

Rappoprt Amos, 1972, Pour une anthropologie de la maison, Paris, Bordas, 207Pages.
Répertoire des guides de planification immobilière, 2011, Guide de qualité de l'air intérieur dans les établissements du réseau de la santé et des services sociaux, Direction des communications du ministère de la Santé et des Services sociaux, Québec, ISBN : 978-2-550-63668-7, 226 Pages.

S.Courgey et J.Oliva, 1979, La conception bioclimatique ; des maisons confortables et économes, terre vivante,.

Schrivier-Mazzuoli Louise, 2009, Pollution de l'air intérieur : Sources. Effets sanitaires. Ventilation, Paris, Dunod, 272 pages.

Sellier Dominique, février 2012, ARENE Île-de-France et ICEB, Ventilation naturelle et mécanique, 60Pages.

Thèses et mémoires

Atek Amina, 2012, Pour une réinterprétation du vernaculaire dans l'architecture durable ; cas de la Casbah d'Alger, mémoire de magistère, option : architecture et développement durable, Tizi-Ouzou, université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, 207Pages.

BOUHIDEL Mohamed, Abdelkrim Khaled, 2013, Modélisation et optimisation des configurations géométriques urbaines pour un environnement aéraulique durable, mémoire de magister, option : Architecture, formes, ambiances et développement durable, soutenue à l'Université Mohamed Khider, Biskra, Algérie, 227 pages.

Delphine Méheust, 2012, Exposition aux moisissures en environnement intérieur : méthodes de mesure et impacts sur la santé, thèse de doctorat de l'université de rennes 1, Mention : Biologie et Science de la Santé, Ecole doctorale Vie-Agro-Santé, 187 Pages.

Dhalluin Adrien, 2012, Etude de stratégies de ventilation pour améliorer la qualité environnementale intérieure et le confort des occupants en milieu scolaire. Thèse de doctorat en Génie Civil, université de La Rochelle, 303pages.

Dohsi Khadidja, 2017, L'impact de la hauteur sous plafond sur la ventilation naturelle et la conservation des énergies non renouvelables (cas de l'habitat collectif dans la ville de Laghouat), mémoire de magister, option : ville et architecture au Sahara, soutenue à l'Université Mohamed Khider, Biskra, Algérie, 133 pages.

FERRADJI Kenza, 2017, Evaluation des performances énergétiques et du confort thermique dans l'habitat : cas des logements HPE Blida, mémoire de magister, option : architecture, forme, ambiance et développement durable, 210 pages.

GHJUVAN Antone Faggianelli, 2014, Rafrachissement par la ventilation naturelle traversante des bâtiments en climat méditerranéen, thèse présentée pour l'obtention du grade de docteur en énergétique, mention : énergétique et génie des procédés, 238Pages.

Haridi Fatma-Zohra, 2001, Conception d'habitat adapté, Hypothèse d'une méthode analytique. Thèse de Magister, soutenus sous la direction du professeur Mohamed Guenfoud, Université 8 mai 1945, Guelma, 307Pages.

Haridi Fatma-Zohra, 2012, Forme de Ville : Rencontre des formes de vie et de l'imaginaire de L'habiter, Cas de Guelma. Thèse de doctorat, soutenue sous la direction du professeur Guy Burgel, Université Paris X-Nanterre La Défense, Nanterre, 480Pages.

Haridi Fatma-Zohra, 2016, Forme de ville. Rencontre des formes de vie et l'imaginaire de l'habiter, Atelier National de Reproduction de thèses, Université Lille 3, France. 480Pages.

KARBOUCHE Azouz, 2012, Architecture et efficacité énergétique des panneaux solaire, mémoire de magister, option : architecture bioclimatique, Constantine, université Mentouri, 215pages.

Khan Ahmed, 2015, L'habitat durable en Arabie Saoudite : dimension climatique et socio-culturelle : cas d'étude : la ville de Djeddah. Thèse de Doctorat soutenue à L'université de Bordeaux, France, 347Pages.

KHELIL Sara, 2015, Biomimicry, towards a living Architecture in hot and arid regions, Magister in: Architecture , Mohamed Khider University – Biskra, 177Pages.

Koffi Juslin, 2009, Analyse multicritère des stratégies de ventilation en maisons individuelles », Thèse de doctorat en Génie Civil ; Energie électrique. Université de La Rochelle, 265pages.

Louis Stephan, 2010, Modélisation de la Ventilation Naturelle pour l'Optimisation du Rafrâichissement Passif des Bâtiments. Thèse de doctorat en Génie civil et sciences de l'habitat, soutenue à l'Université de Chambéry, Haute-Savoie, France. 154 pages.

Mahaya Chafik, 2014, optimisation de la forme urbaine par l'évaluation du potentiel solaire. Mémoire de Magister en architecture, Soutenue à l'université Mohamed Khider, Biskra, 284Pages.

Matthieu Labat, 2012. Chaleur - Humidité - Air dans les maisons à ossature bois : expérimentation et modélisation. Thèse de doctorat en Génie Civil, institut national des sciences appliquées de Lyon, 181Pages.

Mireille Rahmeh, 2014, Etude expérimentale et numérique des performances de la ventilation mécanique par insufflation : qualité de l'air intérieur dans les bâtiments résidentiels. Thèse de doctorat en Génie Civil. Université de La Rochelle, Laboratoire des Sciences de l'Ingénieur pour l'Environnement, Ecole doctorale Sciences et Ingénierie en Matériau, Mécanique, Énergétique et Aéronautique, 189Pages.

MOUJALLED Bassam, 2007, Modélisation dynamique du confort thermique dans les bâtiments naturellement ventilés, Thèse de Doctorat en Génie civil, Institut des Sciences Appliquées de Lyon, 330Pages.

Reiter, S., 2007, « Elaboration d'outils méthodologiques et techniques d'aide à la conception d'ambiances urbaines de qualité pour favoriser le développement durable des villes », Thèse de Doctorat, Université catholique de Louvain, 279 Pages.

Roda Céline, 2012, Exposition domestique à des polluants chimiques de l'air intérieur : modélisation et évaluation de l'impact sur la santé respiratoire chez le jeune enfant, thèse pour l'obtention du Doctorat de l'Université Paris Descartes, 345 Pages.

Shuqing Cui, 2015, Modélisation de la ventilation naturelle en vue d'une conception optimisée d'ouvertures vitrées, thèse soutenue à l'Ecole Nationale Supérieure des Mines, Paris, 203pages.

Wullens Sébastien, 2015, Etude numérique de la ventilation naturelle, mise en œuvre d'un modèle fin dans une simulation de thermique du bâtiment, thèse soutenue à l'université Grenoble Alpes, spécialité : génie civile et science de l'habitat, sous la direction de Etienne Wurtz, Michel Pons, 154 pages.

Articles

Allaume-Bobe Dominique, 2017, La qualité de l’habitat, condition environnementale du bien-être et du mieux vivre ensemble, journal officiel de la république française, Mandature 2015-2020, 138pages.

ANTCZAK-JARZAŃSKA Romana, KRZACZEK Marek, 2016, "Assessment of natural ventilation system for a typical residential house in Poland", Civil and environmental engineering reports, CEER 2016; 22 (3): 025-044, DOI: 10.1515/ceer-2016-0032, 20 Pages.

Antoine-Laurent de Lavoisier, 1787, Mémoire Découverte de la composition de l’air dans Recueil de mémoires, ou Collection de pièces académiques, concernant la médecine, l’anatomie & la chirurgie, la chymie, ... Tirées des meilleures sources. Et mis en ordre par feu m. J. Berryat, ... Tome 1. \- seizieme!: Collection académique, composée des mémoires, actes ou journaux ..., Volume 16, Paris, G.J. Cuchet, p. 224.

Augustin Célestin Judas, 1847, Etude démonstrative de la langue phénicienne et la langue libyque, in *Revue archéologique*, Paris, Ernest Leroux, p.187-194.

Batagoda J.H.(a), Jayasinghe C., 2010, Effect of building ventilation on indoor environment, Department of Civil Engineering", University of Moratuwa, <https://www.researchgate.net/publication/290156709>, DOI: 10.13140/RG.2.1.4393.4806, 11pages.

Carl-Gustav Bornehag, Geo cCausen, et al., 2009, Indoor environment and children’s health (iech) – an ongoing epidemiological investigation on the association between indoor environmental factors in homes and kindergartens and children’s health and wellbeing. In 9th International Conference and Exhibition on Healthy Buildings, Syracuse, New York, USA 13-17 September 2009, Vol. 1: !7-19 Printed from e-media with permission by: Curran Associates,.

CAUDRON Cécile, 2012, Qualité de l’Air Intérieur : repères et cadre juridique Logements et bâtiments tertiaires, cet article est la version actualisée de l’article « Qualité de l’air intérieur des locaux de travail et autres lieux de vie : cadre réglementaire national » rédigé par Laurence Prat. Avec le soutien du Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire.

Charpin Denis, Rachel Felipo, 2018, " Massive mould infestation : practical implications", *Revue française d’Allergologie* 58 (128-130), 3 pages.

Chen, Q., 2009, Ventilation performance prediction for buildings: a method overview and recent applications. *Building and Environment* 44, 4, 848–858.

Corinne Mandin, 2021, "Air quality in housing: what issues? Housing Policy Analysis and Debate Air quality in housing: what issues? What issues? 8 pages. Consulted on 22/11/2021 at 3:30 p.m.

Fenimore Withead Russel, Eugene Clute, Kenneth Reid, 2005. Review of Residential Ventilation Technologies, Lawrence Berkeley National Laboratory, LBNL 57730.

G.Reboux, et al. 2010, Moisissures et habitat : risques pour la santé et espèces impliquées. Revue française d'allergologie 50 ; 611-620, www.sciencedirecte.com, 10pages.

Georges Candilis, 1977, Bâtir la vie, Un architecte témoin de son temps, Paris, Stock. Cité In Laurent Duport, 2012, L'extension de Bagnols-sur-Cèze in Conservation-restauration de l'architecture du mouvement moderne, Presses universitaires de Perpignan.

Greenhalgh Michael, 2014, The Military and Colonial Destruction of the Roman Landscape of North Africa, 1830-1900, Leyde (Pays-Bas), Ed, Brill, p. 164-187.

Haridi Fatma-Zohra, 2006, L'habitat et la fonction sociale, Séminaire du Conservatoire National des Arts et Métiers de Paris, France.

Haridi Fatma-Zohra, Burgel Guy, 2007, La création des Zones urbaines d'habitat, Colloque international, Université Badji Mokhtar Annaba, Algérie.

Howden-Chapman P., Matheson A., Viggers H. et al.; 2007, Retrofitting houses with insulation to reduce health inequalities: results of a clustered, randomised trial in a community setting; British Medical Journal, 334: 460-464.

J. Larbre, C. Marchand, 2009, Air intérieur : Bilan/veille sur la qualité de l'air intérieur à un niveau national et international : travaux récents et nouveaux instruments disponibles, Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air (LCSQAI), 54Pages. INERIS - DRC-09-103367-15670A.

J. Larbre, C. Marchand, 2009, Air intérieur ; Bilan/veille sur la qualité de l'air intérieur à un niveau national et international : travaux récents et nouveaux instruments disponibles, LCSQA, INERIS, DRC-09-103367-15670A, 49pages.

Jarrige François et Thomas Le Roux, 2019, Naissance de l'enquête : les hygiénistes, Villermé et les ouvriers autour de 1840, Revue Les enquêtes ouvrières de l'Europe contemporaine, p. 39-52.

Javier Garcia, Joëlle Colosio, 2001, Les indices de qualité de l'air : élaboration, usages et comparaisons internationales, Presses des MINES, 118 pages.

JuanWang, DanNorbäck, 2021, "Subjective indoor air quality and thermal comfort among adults in relation to inspected and measured indoor environment factors in single-family houses in Sweden-the BETSI study", Science of The Total Environment, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149804>

Norman King, 2003, L'impact de qualité de l'air intérieur en milieu résidentiel sur la santé respiratoire, La revue électronique en science de l'environnement; santé et environnement, Volume 4 Numéro 1, <https://doi.org/10.4000/vertigo.4696>.

Offermann, F. J. 2009. Ventilation and Indoor Air Quality in New Homes. California Air Resources Board and California Energy Commission, PIER Energy-Related Environmental Research Program. Collaborative Report. CEC-500-2009-085.

OMS, 2018, Des informations concernant la méthode d'exposition, le contrôle de la qualité des données, les dépassements autorisés sont également fournies. In Guidelines for Air Quality, page 24.

Platts-Mills TAE et al, 1997; Indoor Allergens and Asthma : Report of the Third International Workshop, J. Allergy Clin. Immun., Vol. 100 (6, Pt 1), p. S1-S24.

Rivier Alexandre, Jenny Anne Flabbée, Monique Guillaso, 2011, "Pathogenic moulds in the Lorraine habitat : home survey", Revue française d'Allergologie, 54 (54-50), 7pages.

Rouvray (de) A., Bassereau, J-F., Charbonneau, S., Duchamp, R., 2005, Formalisation et intégration des préférences sensorielles des consommateurs dans la conception de produits d'ameublement. *Rédaction d'un « Cahier des recommandations sensorielles »*, CPI 2005 – Casablanca, Maroc, 5 pages.

Serge Lancel, 1985, Histoire et archéologie de l'Afrique du Nord, Actes du 2^{ème} Colloque international, Grenoble, 5-6 avril 1983, publiée dans *Le Bulletin archéologique*, du C.T.H.S., p. 19-26.

Slater Karl, 1986, Discussion paper the assessment of comfort ». Journal of the textile Institute, 77(3), 157-171. <https://doi.org/10.1080/00405008608658406>.

Thévenet Frédéric, 2016, Pollution de l'air intérieur en milieu urbain : diagnostiquer et traiter, Conférence, Institut Mines Télécom1, IMT Lille Douai, 12 Pages. <https://www.mediachimie.org>.

Tong Yang1 and Derek J. Clements-Croome 2, 2018, Natural Ventilation in Built Environment, 1Department of Design Engineering and Mathematics, Faculty of Science and Technology, Middlesex University, London, UK 2 School of Construction Management and Engineering, University of Reading, Reading, UK, Encyclopedia of Sustainability Science and Technology, p. 12.

Tsutsumia H, Tanabea S, Harigayaa J, Iguchib Y, Nakamura G, 2006, "Effect of humidity on human comfort and productivity after step changes from warm and humid environment", Building and Environment.

Ward, I. C. (2008). The potential impact of the new (UK) building regulations on the provision of natural ventilation in dwellings - A case study of low energy social housing. International Journal of Ventilation, 7(1), 77-88. DOI: 10.5555/ijov.2008.7.1.77.

Webographie

Bien-être et confort respiratoire, Site de consultation : <https://www.renovermonecole.be/fr/objectifs-bien-etre/confort-respiratoire> 2022-07-30 ; 20 :57.

Dictionnaire Trésor de la langue française, En ligne. Site de consultation : <https://www.lalanguefrancaise.com/dictionnaire/definition/confort> - 2022-07-29 ; 15 :07.

Francy simon, Jean-Marie hauglustaine, 2001, La ventilation et l'énergie – Guide pratique pour les architectes, en ligne. Lien <http://hdl.handle.net/2268/19250>.

Guide CIBSE, 2005, Site de consultation : https://www.arecdf.fr/fileadmin/DataStorageKit/AREC/Etudes/pdf/guide_bio_tech_ventilation_naturelle_et_mecanique.pdf.

Harcouet Jean-Baptiste, 2018, Les gymnases bioclimatiques. Des notions d'usages à une interdépendance des ambiances. Site consulté le 17 / 09/ 2019 à 22. 21 : <https://jbharcouet.wixsite.com/jb-harcouet-archi/gymnase>.

Kirsch, Thomas D., Harvey, Mary, 1994, Le secteur privé a-t-il un rôle à jouer dans la surveillance de la poliomyélite ? Forum mondial de la santé 1994 ; 15(3) : 253-257 <https://apps.who.int/handle/10665/53670>.

OMS, 2018, Neuf personnes sur 10 respirent un air pollué dans le monde. Site web : <https://www.who.int/fr/news/item/02-05-2018-9-out-of-10-people-worldwide-breathe-polluted-air-but-more-countries-are-taking-action>

OMS, 2021, Pollution de l'air à l'intérieur des habitations et santé. Site web : <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health>

Loi

La loi n°2009-967 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement (2009).

Loi n° 2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement (dite loi Grenelle 2)

Dictionnaire et encyclopédie

Academia 9em Edition, <https://fr-academic.com/dic.nsf/frwiki/1192592>

Petit Larousse illustré, 2009, Paris, Larousse, 1812 pages.

Annexes

Annexe A : Questionnaire

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université 8Mai 45 Guelma

Faculté des sciences et de technologie

Département d'architecture

الجمهورية الديمقراطية الشعبية الجزائرية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة 8 مايو 45 قالمة

كلية العلوم والتكنولوجيا

قسم العمارة

Questionnaire

استبيان

Dans le cadre de préparation d'une thèse de doctorat en architecture sur **l'évaluation des effets de la ventilation naturelle sur la qualité de l'air intérieur a la cité Guehddour Tahar-Guelma**. Nous avons préparé ce questionnaire dans le but d'évaluer les sources intérieures de pollution et les pratiques des occupants de nature à avoir une incidence sur la qualité de l'air dans les logements de cette cité résidentielle.

Pour ce faire, nous vous proposons de compléter ce questionnaire, en cochant la bonne réponse. Veuillez-vous répondre consciemment. Merci

في إطار إعداد أطروحة دكتوراه في الهندسة المعمارية حول تقييم آثار التهوية الطبيعية على جودة الهواء الداخلي في قهدور الطاهر- قالمة. لقد أعدنا هذا الاستبيان بهدف تقييم مصادر التلوث الداخلية وممارسات الساكنين المحتمل أن يكون لها تأثير على جودة الهواء في مساكن هذه المدينة السكنية.

للقيام بذلك، نقترح عليك إكمال هذا الاستبيان، من خلال تحديد الإجابة الصحيحة. تأكد من الرد بوعي. شكرا لك

.....: استمارة رقم n° Formulaire: التاريخ Date

.....: الاسم و اللقب و prénom Nom et Prénom

Partie 1. Identification des familles enquêtées :

1. Nom et prénom du chef de ménage: الاسم و اللقب :
2. Sexe الجنس :
3. Age العمر :
4. Etes-vous propriétaires ou locataires de ce logement ? هل تملك أو تستأجر هذا السكن؟
-Propriétaire مالك :
-Locataire مستأجر :
5. Numéro du bloc رقم العمارة : - Etage الطابق :
6. Composition du ménage افراد الأسرة :

Nbr de personne عدد الاشخاص	Nombre d'adultes البالغين	Nombre d'enfants الأطفال	Sexe masculin الذكور	sexe féminin الاناث

Partie 2. Activités journalières des familles enquêtées الأنشطة اليومية للأسرة المراد دراستها

Q1. Combien du temps passez-vous généralement à l'intérieur de vos logements ?

س 1. كم من الوقت تقضيه عادة في بيتك؟

- 20% :
- 40% :
- 60% :
- 80% :

Q2. Quand occupez-vous les différentes pièces du logement ?

س 2. متى تشغل الفضاءات المختلفة من السكن؟

	Toute la journée طول اليوم	Souvent غالباً	Parfois أحياناً	Jamais إطلاقاً
Séjour قاعة الاستقبال				
Cuisine المطبخ				
Chambre الغرفة				

Q3. Quelles sont les typologies d'habitudes de vie (activités journalières) adopté les membres de la famille :

س 3. ما هي أنماط عادات الحياة (الأنشطة اليومية) التي يتبناها أفراد الأسرة ؟

Les activités النشاطات	Réponses d'habitants
Utilisation des appareils de combustion domestiques (chauffage, chauffe bain) استخدام أجهزة الاحتراق المنزلي (التدفئة، وسخان الحمام)	
Cuisson des alimentsطعام طبخ الطعام	
Nettoyage التنظيف	
Utilisation des produits d'entretien et de désinfection استخدام منتجات التنظيف والتطهير	

Utilisation de cosmétiques et de désodorisants. استخدام مستحضرات التجميل ومعطرات الجو	
Le tabagisme التدخين	
La présence de plantes et d'animaux domestiques. وجود النباتات والحيوانات الأليفة.	

Partie 3. Descriptif de la méthode de ventilation وصف طريقة التهوية

Q4. Comment évaluez-vous votre satisfaction envers la ventilation et l'aération de votre logement ?

س 4. كيف تقيم رضاك عن التهوية في منزلك؟

Très bonne جيد جدا	Bonne جيد	Acceptable مقبول	Mauvaise سيء	Très mauvaise سيء جدا

Q5. Quel est l'espace le moins aéré :

س 5. ما هو المكان أقل تهوية؟

- Séjour قاعة الاستقبال
- Chambre الغرفة
- Cuisine المطبخ
- Salle de bain الحمام
- Toilette المراحيض

➤ Calendrier d'ouverture et de fermeture des fenêtres :

مواقيت فتح وإغلاق النافذة

Q6. Précisez la période d'ouverture de vos fenêtres sur ces deux tableaux ?

س 8. حدد فترة فتح نوافذك على هذين الجدولين؟

A/ En été في الصيف

Espace الفضاء	Matin صباحا	Midi منتصف النهار	Soir مساء
Cuisine المطبخ			
Séjour قاعة الاستقبال			
Chambres الغرف			

B/ En hiver في الشتاء :

Espace الفضاء	Matin صباحا	Midi منتصف النهار	Soir مساء
Cuisine المطبخ			

Séjour قاعة الاستقبال			
Chambres الغرف			

Q7. Pourquoi vous ouvrez les fenêtres de vos logements ? est-ce-que pour :

س 7. لماذا تفتح نوافذ شقتك؟ هل هو من أجل:

- Evacuer les odeurs التخلص من الروائح الكريهة
- Renouveler l'air intérieur تجديد الهواء الداخلي
- la régulation thermique (Chauffer ou refroidir le logement) تنظيم حراري (تسخين أو تبريد)
- Eclairer votre logement إضاءة منزلك
- Autres شيء آخر :

Q8. Pourquoi vous fermez les fenêtres de vos logements ? Est-ce que pour :

س 8. لماذا تغلق نوافذ شقتك؟

- Eviter l'introduction des contaminants à l'intérieur du logement (la poussière) :

تجنب إدخال الملوثات داخل السكن (الغبار)

- la régulation thermique (Chauffer ou refroidir le logement) :

تنظيم حراري (تسخين أو تبريد الغلاف)

- Eviter les nuisances sonores :

تجنب التلوث الضوضائي

- Eviter le regard de l'extérieur vers l'intérieur :

تجنب النظر من الخارج إلى الداخل

- Autre شيء آخر :

Partie 4. Perception sensoriel du confort sanitaire existant

الإدراك الحسي للراحة الصحية الموجودة

1. La qualité de l'air intérieur: جودة الهواء الداخلي:

Q9. Comment percevez-vous la qualité de l'air à l'intérieur de votre logement ?

س 9. كيف ترى جودة الهواء داخل منزلك؟

Très bonne جيد جدا	Bonne جيد	Acceptable مقبول	Mauvaise سيئ	Très mauvaise سيئ جدا

Q10. Lorsque vous ressentez que l'environnement intérieur de votre logement est pollué. D'après vous, quels sont les sources de cette pollution ?

. عندما تشعر أن البيئة الداخلية لمنزلك ملوثة. ما هي برأيك مصادر هذه الملوثات والروائح؟

- L'air extérieur الهواء الخارجي :
- Les activités domestiques الأنشطة المنزلية :
- Les équipements / meubles تجهيزات / أثاث :
- Autre شيء آخر :

2. Les odeurs: الروائح: 2

Q11. Comment évaluez-vous la présence d'odeurs désagréables dans votre logement ?

س 11. كيف تقيم وجود الروائح الكريهة في منزلك؟

Très forte جدا قوي	Forte قوي	Moyenne متوسط	Faible ضعيف	Très faible جدا ضعيف

Q12. Quand ressentiez-vous de la présence des odeurs désagréables dans votre logement ?

س 12. متى شعرت بوجود روائح كريهة داخل منزلك؟

- Lors d'ouverture des fenêtres
- Lors de la fermeture des fenêtres
- Lors d'une activité domestique (cuisson, nettoyage, bain...)
- Autre

3. Le mouvement d'air حركة الهواء 3

Q13. Comment percevez-vous le mouvement d'air (courant d'air) à l'intérieur de votre logement ?

س 15. كيف ترى حركة الهواء (تيار الهواء) داخل منزلك؟

Très forte جدا قوي	Forte قوي	Moyenne متوسط	Faible ضعيف	Très faible جدا ضعيف

Q14. Ce courant d'air dans votre logement, est-il ?

س 16. تيار الهواء في مسكنك، هل هو؟

Très gênant مزعج جدا	Gênant مزعج	Moyenne متوسط	Agréables مريح	Très Agréables مريح جدا

4. La température : درجة الحرارة 4

Q15. Comment percevez-vous la température à l'intérieur de votre logement ?

س 18. كيف ترى درجة الحرارة داخل منزلك؟

	Très chaude ساخن جدا	Chaude ساخن	Ambiante معتدلة	Froide بارد	Très froide بارد جدا
En été في الصيف					
En hiver في الشتاء					

5. L'humidité الرطوبة 5

Q16. L'air à l'intérieur de votre logement, est-il ?

س 19. الهواء داخل منزلك هل هو؟

Très humide	رطب جدا	humide	رطب	Moyen	متوسط	Sec	جاف	Très sec	جاف جدا

Partie 5. Evaluation des pathologies physique dans le logement

Q17. Quelles sont les zones de productions de vapeur d'eau dans votre logement ?

س 20. ما هي مناطق إنتاج بخار الماء في منزلك؟

- la cuisine : المطبخ
- les salles d'eau : دورة المياه
- les zones à taux d'occupation élevé : الأماكن كثيرة الاستعمال
- Autre : شيء اخر

Q18. Quel est le degré de la présence de la vapeur d'eau ?

س 21. ما هي درجة وجود بخار الماء؟

Très forte	قوي جدا	Forte	قوي	Moyenne	متوسط	Faible	ضعيف	Très faible	ضعيف جدا

Q19. Ya-t-il des taches noires ou des traces visibles (moisissures, revêtement décollé...) sur les murs et les plafonds ou bien derrière les armoires de votre logement ?

س 22. هل توجد بقع سوداء أو آثار مرئية (عفن، طلاء مقشر، إلخ) على الجدران والسقوف أو خلف الخزائن في منزلك؟

Oui : نعم Non : لا

Si oui, spécifiez l'endroit taché : حدد المنطقة الملطخة : إذا كانت الإجابة بنعم ،

	Dans les angles	في الزوايا	Dans les murs	في الجدران	Au plafond	في السقف
Chambres	غرف					
Séjour	قاعة الاستقبال					
Cuisine	مطبخ					
Salle de bain	حمام					
Couloire	رواق					

Q20. Est-ce qu'il y a des fissurations au niveau de votre logement ? Précisez l'endroit :

س 23. هل يوجد شقوق في مسكنك؟ حدد الموقع

	Dans les angles	في الزوايا	Dans les murs	في الجدران	Au plafond	في السقف
Chambres	غرف					
Séjour	قاعة الاستقبال					
Cuisine	مطبخ					

Salle de bain حمام			
Couloire رواق			

Partie 6. Descriptif de l'état de santé des occupants

الجزء 6. وصف الحالة الصحية للسكان

Q21. Quelles sont les maladies qui menacent votre santé ?

س 24. ما هي الأمراض التي تهدد صحتك؟

-Somnolence النعاس :

-Fatigue التعب :

-Irritation des muqueuses (nez, yeux et gorge), qui peut causer des maux de gorge, et peut provoquer la congestion nasale, des saignements de nez et de la toux :

- تهيج الأغشية المخاطية (الأنف والعينين والحنجرة) مما قد يسبب التهاب الحلق وقد يسبب احتقان الأنف ونزيف في الأنف وسعال:

-Maux de tête صداع الراس :

-Allergie respiratoire حساسية الجهاز التنفسي :

-Asthme ربو :

Partie 7. Souhaits des habitants: رغبات السكان

Q22. Avez-vous d'autres questions ou préoccupations que nous n'avons pas déjà abordées ?

س 25. هل لديك أي أسئلة أو اقتراحات أخرى لم نقم بمعالجتها بالفعل؟

-OUI نعم:

-NON لا:

Q23. Est-ce que vous désirez de rénover vos systèmes de ventilation ?

س 26. هل تريد تجديد أنظمة التهوية الخاصة بك؟

- OUI : نعم

- NON : لا

Si oui ; quel type d'aération vous préférez ? تفضلها؟

- Naturelle طبيعي :

- Mécanique ميكانيكي :

- Mixte مختلط :

Q24. Quel type de fenêtre souhaitez-vous avoir pour votre logement ?

س 27. ما نوع النافذة التي ترغب في امتلاكها لمنزلك؟

- Métallique معدني :

- Bois خشب :

Q25. Est-ce que vous souhaitez d'agrandir les dimensions des ouvertures dans vos logements ?

هل تريد تكبير أبعاد الفتحات في منزلك؟

- OUI نعم:

- NON لا :

Merci pour votre collaboration

Annexe B : Donnée métrologiques de la ville de Guelma

Les tableaux C.01 et C.02 ci-dessous représentent les valeurs de température moyenne journalière en hiver (dans les mois de décembre et Janvier) durant la période (2010-2021), ces valeurs sont exploitées pour sélectionner les journées-type destinées à la prise de mesure In-situ.

Tableau C.01 : les valeurs de température moyenne journalière dans le mois de décembre. Source : Station métrologique de la ville, site OGIMET (Professional information about meteorological conditions in the world), traité par Auteur 2020)

Dec	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Moy
01	22.7	13.5	10.5	8.3	18.6	11.3	10.8	11.6	15.9	13.3	13.4	9.9	12.4
02	13.4	13.5	10.2		19.1	12.0	11.8	10.1	11.2	14.6	13.9	12.6	12.5
03	13.9	13.6	8.3	10.7	16.8	12.8	14.7	8.2	12.9	13.0	12.9	12.4	12.2
04	10.2	12.1	9.8	11.2	12.5	13.1	12.8	9.2	12.4	13.3	9.2	8.6	11.2
05	4.3	11.4	13.6	12.0		13.2	16.2	9.9	12.4	12.4	15.4	9.8	11.9
06	13.9	12.4	11.9	10.9	11.8	11.7	16.7	11.7	14.1	13.3	11.2	12.0	12.7
07	17.8	14.8	9.2	12.4	10.5	12.7	15.1	9.7	1.9	13.2	9.7	6.8	11.2
08	21.6	11.9	10.8	8.2	11.5	12.5	15.6	9.1	12.2	15.3	13.2	13.7	12.8
09	20.8	11.4	10.5	10.2	11.6	11.9	14.8	11.2	12.3	13.6	12.9	14.8	13.2
10	19.1	14.3	8.0	10.4	8.7	12.4	15.4	10.8	12.3		8.6	11.0	12.2
11	14.2	13.4	9.5	9.2	11.9		12.5	14.9	11.0	10.2	10.8	13.1	11.7
12	8.1	11.7	6.9	10.3	12.4	9.6	13.1	16.0	10.3	10.8	13.7	9.9	10.8
13	11.2	12.8	8.8	10.2	10.8	10.3	2.9	15.2	10.7	11.9	13.5	7.5	10.3
14	9.6	11.8	10.8	10.8	12.6	12.3	11.7	7.6	14.9	17.7	10.3	8.2	11.4
15	11.0	13.3	11.2	9.5	11.5	11.8	12.1	11.8	11.2		14.3	9.2	11.4
16	6.6	11.6	13.0	8.8	12.0	11.8	12.4	14.1	9.8	13.9	13.7	8.4	11.1
17	6.4	16.4	15.1	10.2		11.9	11.4	8.4	15.3	21.2	14.4	9.8	12.5
18	11.4	11.4	13.9	12.9	12.2	11.7	12.8	7.2	11.6	16.0	11.2	9.7	11.8
19	12.6	9.6	12.8	9.0	11.4	12.2	12.8	8.2	9.4	13.1	13.9	9.4	11.1
20	18.4	7.3	11.6	11.8	14.4	13.5	16.2	9.2	11.6	11.8	12.8	9.0	11.9
21	11.0	10.0	14.1	11.8	14.8	12.9	15.0	10.4	14	17.6	13.8	11.2	12,47
22		11.7	16.4	13.2	11.9	12.1	11.5	6.0	10.3	19.5	13.1	12.3	11,93
23	18.0	12.7	10.4	12.3	11.2	11.9	13.6	11.5	10.2	14.8	10.9	14.8	12,78
24	15.7	10.4	13.1	10.2	10.8	12.6	13.4	10.6	11.8	11.3	13.0	12.6	12,42
25	9.7	12.6	15.6	13.8	10.2	12.5	11.7	9.5	11.5	11.9	12.8	17.8	12,77
26	9.7	9.8	14.9	16.9	10.1	13.0	11.7	10.8	11.9	11.5	12.7		12,46
27	7.3	7.4	13.7	10.6	12.0	11.2	11.5	12.3	9.3	13.2	8.6	14.5	11,02
28	7.0	9.9	10.2	9.9	13.0	9.6	13.8	11.0	9.9	13.1	7.7	17.7	10,92
29	9.1	8.8	11.8	13.0	11.9	10.4	10.8	12.2	11.1	12.3	14.1	13.9	11,96
30	10.8	11.6	10.0	11.1	5.3	12.4	11.1	12.5	10.6	8.3	12.8	14.1	10,98
31	11.3	10.4	12.7	8.6	6.2	14.1	9.4	12.7	12.8	9.0	7.9	13.2	10,65

Tableau C.02 : les valeurs de température moyenne journalière dans le mois de Janvier. Source : Station métrologique de la ville, site OGIMET (Professional information about meteorological conditions in the world), traité par Auteur 2020)

Jan	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	moy
01	15.8	11.8	11.2	12.9	10.5		14.0	9.9	15.6	11.8	9.1	10.3	11,7
02	12.5	12.1	11.5	9.9	9.1		12.8	7.5	9.9	8.9	7.9	11.8	10,3
03	9.4	10.6	14.9	9.9	10.8		15.6	9.1	11.4		8.2	9.0	10
04	12.4	10.3	9.6	10.2	12.8		14.8	9.8	12.8	11.3	9.5	7.3	11
05	13.2	5.1	11.4	9.6	17.4	13.9	18.7	9.8	13.6	7.6	10.7	7.1	11,3
06	16.5	10.4	11.4	9.2	13.0	9.9	17.7	11.5	15.3	10.4	9.6	9.2	11,4
07	12.0	12.5	11.1	9.4	10.2	11.2	11.1	8.4	16.1	11.6	8.9	7.2	10,7
08	16.3	16.6	10.8	10.9	13.4	9.5	11.8	8.2	15.5	8.8	10.2	16.5	12
09	10.8	15.7	9.1	10.9	14.2	11.0	15.7	11.5	11.6	10.9	10.8	17.4	12
10	7.8	10.2	7.9	10.9	13.8	9.9	13.8	9.0	8.1	10.2	8.8	18.2	10,5

11	6.5	10.2	12.2	11.6	11.9	11.3	14.1	10.8	12.2	5.9	9.9	11.9	10,4
12	13.2	12.9	7.5	10.3	13.6	15.2	15.3	5.8	10.3	10.2	10.9	11.9	11,2
13	11.3	11.8	9.2	11.4	13.2	9.0	11.2	9.4	8.0	7.8	11.0	7.8	10
14	9.4	8.9	9.9	13.3	13.1	15.8	8.8	12.5	8.6	8.2	.4	9.5	10,3
15	14.2	12.1	7.8	8.1	9.4	12.4	15.0	6.5	9.8	13.1	8.6	11.1	10,5
16	11.4	11.8	7.7	8.5	7.9		10.6	6.2	9.8	8.8	8.8	9.8	9,1
17			8.7	13.2	14.7	14.1	6.5	6.5	9.9	10.0	8.4	9.5	10
18		13.0	11.3	11.9	10.6	9.5	5.7	5.4	13.4	8.4	8.8	9.8	9,7
19		12.8	6.5	11.8	16.6	6.2	10.4		10.7	8.5	9.0	7.1	10,1
20		8.7	7.2	16.0	15.0	10.2	8.8	6.5	13.6	7.5	13.2	10.3	11
21		8.6	7.7	10.7	10.9	9.7	8.9	9.7	10.6	11.9	13.4	16.4	10,6
22		9.4	9.6	12.8	7.4	12.2	13.6	11.2	13.4	10.4	14.9	11.7	11,1
23		5.1	10.8	10.6	12.4	9.3	11.2	11.3	12.4	6.8	14.7	15.1	11
24	14.4	6.7	12.6	10.2	11.8	9.2	10.2	10.7	8.9	7.7	13.2	11.4	10,8
25	11.7		13.1	10.4	11.7	9.2	9.9	8.3	10.2	7.0	10.8	13.2	10,4
26	11.9	11.2	7.6	5.9	13.0	8.3	11.8	5.7	13.0	7.3	11.2	14.7	10
27	11.9		10.2	7.4	11.2	7.3	12.6	12.2	15.6	7.6	12.8	8.0	10,2
28	10.5	14.2	10.7	9.4	11.8	8.9	13.1	13.9	8.8	12.8	9.5	13.1	10,8
29	6.3	10.9	10.1	10.6	7.4	9.3	13.2	11.7	9.8	9.7	11.1	14.2	10,1
30	11.9	14.2	7.9	8.2	12.4	11.9	13.7	10.2	8.9	9.7	11.9	16.1	11,2
31	8.8	12.3	8.0	10.8	9.5	16.8	13.1	10.2	9.7	7.8	12.2	18.9	11,1

A partir des tableaux ci-dessus C.01 et C.02 la semaine-type la plus froide appartient au mois de Janvier du 13 au 19.

Les tableaux C.03 et C.04 ci-après représentent les valeurs de température moyenne journalière en été (dans les mois de Juillet et Août) durant la période (2010-2021), ces valeurs sont exploitées pour sélectionner les journées-type destinées à la prise de mesure In-situ.

Tableau C.03 : les valeurs de température moyenne journalière dans le mois de Juillet. Source : Station métrologique de la ville, site OGIMET (Professional information about meteorological conditions in the world), traité par Auteur 2020)

Juil	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
01	24.3	26.3	30.8	21.6	21.8	27.1		23.0	29.1	27.4	29.2	26.2	26
02	25.1	23.4		26.2	25.9	28.9	26.9	23.9	27.5	27.6	29.0	27.4	26,6
03	27.2	26.0	25.2	27.4	30.6	28.5	25.8	23.6	27.6	27.9	26.2	27.7	27,2
04	26.9	30.7	26.0	28.4	33.2	26.9	27.4	24.8	30.7	30.4	23.6	28.5	28
05	28.2	28.9	26.8	23.4	24.7	27.0	30.9	29.7	27.9	30.8	22.5	27.4	27,3
06	25.4	22.7	28.7	22.7		27.3	29.2	31.3	24.8	32.3	23.1	29.9	27,3
07	22.8	24.4	28.7	23.0	29.9	28.4	23.6	39	25.9	30.4	25.1	29.0	27,8
08	23.9	29.6	33.9	24.1	24.5	24.4	25.4	29.9	27.6	30.7	24.5	27.7	25,3
09	25.3	29.6	34.1	25.9	25.5	24.7	28.4	28.3	26.2	33.5	25.3	27.0	27,9
10	28.4	30.9	30.9	25.2	25.2	25.6	30.9	30.0	26.6	25.1	26.4	26.6	27,4
11	27.8	33.0	33.9	24.2	21.2	27.0	30.4	32.8	28.3	25.7	29.3	27.8	28,5
12	30.3	32.2	33.9	27.9	22.1	26.9	28.6	32.7	29.9	26.7	27.9	30.9	29
13	29.1	33.0	28.5	28.1	24.4	25.8	27.9	29.6	32.4	28.1	27.0	27.3	26,4
14	28.6	31.9	28.8	29.5	24.9	26.9	27.6	28.4	29.0	27.4	25.4	25.1	28
15	30.4	25.0	35.5	26.5	25.0	25.8	23.1	26.8	29.2	27.1	24.7	23.3	27
16	28.0	25.4		25.6	23.2	26.6	20.4	25.2	28.4	25.4	24.6	24.2	25,7
17	30.7	27.5		28.5	23.3	29.7	21.1	25.8	25.2	24.3	23.6	23.1	26,3
18	30.8	30.2		28.4	24.1	30.5	25.7	27.5	27.7	25.1	23.2	23.3	24,9
19	27.1	29.0		28.5	27.5	30.2	27.5	30.2	28.8	25.5	23.7	24.5	27
20	24.9	27.6		29.9	32.4	27.8	26.0	29.9	29.8	27.9	26.1	25.5	27,7
21	27.8	24.2		30.9	30.1	28.2	26.8	29.4	32.5	28.4	27.9	26.8	28,6
22	31.6	27.9		28.7	24.1	29.2	29.4	30.6	27.2	27.4	27.8	27.7	28,2
23	33.7	30.3		27.8	23.2	28.7	33.3	33.9	27.3	27.8	26.8	28.8	29
24	33.9	22.9		27.7	24.6	28.0	26.6	29.8	25.0	28.0	25.5	31.2	27,7
25	24.4	25.6		27.1	29.9	27.1	24.2	26.5	26.3		27.8	32.3	27,5
26	25.5	21.8		29.1	33.6	29.3	23.8	25.2	27.3		29.1	30.3	27,5

27	23.9	25.6		31.6	27.6	27.4	23.8	25.7	27.1		30.5	28.4	27,2
28	22.6	29.2		33.0	25.9	28.9	25.9	28.0	28.5		30.8	31.1	28,5
29	25.6	24.9		32.6	29.1	29.4	26.9	30.1	27.4		30.5	30.1	28,7
30	25.3	25.4		28.4	27.8	31.4	27.4	32.7	26.5		30.0	31.9	28,6
31	25.6	25.5		24.9	23.2	33.1	29.4	34.0	25.7		31.5	33.8	28,5

Tableau C.04 : les valeurs de température moyenne journalière dans le mois d’Août. Source : Station météorologique de la ville, site OGIMET (Professional information about meteorological conditions in the world), traité par Auteur 2020)

Aout	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
01	25.1	24.8	34.0	24.5	24.9	31.6	32.7	34.0	26.2		32.0	33.5	29,2
02	28.5	26.1	30.9	25.6	29.1	32.8	28.8	33.5	27.1		29.2	28.5	29
03	30.4	30.7	32.5	26.8	29.9	30.8	24.2	32.2	28.3	27.3	31.0	28.7	29,2
04	25.8	31.0	32.0	27.9	28.9	26.5	24.8	33.0	27.8	29.9		31.0	28,7
05	23.4	27.0	30.6	28.1	30.1	28.9	27.8	32.0	26.9	30.3	23.2	29.0	27,8
06	23.4	26.9	34.6	29.3	28.1	30.1	29.6	32.1	24.6	31.2	23.5	27.9	28,1
07	24.2	29.4	30.1	31.1	25.1	29.1	24.5	32.0	25.9	31.7	23.9	30.2	28,3
08	23.8	30.0	30.2		24.6	29.5	22.9	31.1	26.8	31.5	24.5	33.0	28,1
09	24.1	31.9	32.5	32.2	27.7	28.8	24.1	33.5	26.4	33.4	24.7	29.5	28,9
10	27.6	24.4	30.5	23.4	32.1	30.7	26.8	33.2	29.6	29.0	25.1	36.4	28,9
11	26.8	20.1	28.8	25.4	32.6	27.9	26.8	28.9	29.6	24.8	27.9	35.1	28
12	28.8	24.2	26.9	23.2	29.8	25.6	21.6	26.1	26.6	24.9	31.0	34.4	25,3
13	31.6	23.8	32,6	26.4	29.0	26.2	23.0	22.6	28.7	26.6	31.4	34.0	28,3
14	31.9	27.5	31.1	27.6	28.3	29.2	23.4	26.3	27.2	30.3	33.0	32.9	29,2
15	27.9	27.2		24.9	26.6	25.1	25.4	32.8	29.0	27.9	32.8	29.8	28,4
16	27.1	25.1	20.9	24.0	25.5	28.2	28.4	30.9	23.8	26.7	32.0	31.4	27
17	28.0	27.1	31.2	26.5	24.2	23.2	28.4	31.3	25.9	21.1	28.9	33.8	27,3
18	26.9	28.1	29.5	28.1	24.1	27.8	24.9	29.0	24.6	26.6	28.1	28.8	27,2
19	27.0	30.8	28.6	26.9	32.1	29.4	27.8	30.9	23.7	24.5	28.5	24.6	28
20	31.6	29.7	29.4	27.1	32.9	26.6	29.9	28.9	24.4	26.8	28.8	29.2	28,9
21	33.5	29.0	28.1	26.8	27.8	24.8	31.0	25.6	23.0	29.9	33.3	28.0	28,2
22	29.9	28.4	28.3	23.1	26.8	25.9	26.8	24.1	23.4	28.2	33.6	26.7	27,1
23	24.4	29.8	29.5	24.0	28.9	28.6	24.1	25.9	25.4	27.0	29.7	27.5	27,1
24	28.4	27.8	30.7	26.4	28.8	29.5	23.6	26.8	24.4	27.7	26.5	30.2	27,6
25	28.8	29.1	30.3	27.7	24.6	29.2	24.0	27.8	25.0			28.8	27,4
26	27.1	30.6	29.1	27.8	26.4	28.5	25.8	32.0	25.4		25.4	30.0	27,6
27	26.8	30.5	26.3	29.6	24.3	29.8	27.8	30.3	25.2		26.5	25.9	27,4
28	29.0	28.4	25.5	27.2	26.8	30.4	28.8	30.4	22.4		27.6	27.0	27,3
29	29.4	24.1	26.6	25.4	26.4	29.8	26.7	30.7	23.7		30.5	30.2	27
30	24.1	24.4	29.1		27.9	30.1	29.9	28.7	25.6		23.3	24.6	26,5
31	23.8	28.8	32.1	25.9	29.8	29.1	27.4	30.1	25.8		28.3	27.5	27,7

A partir des tableaux ci-dessus C.03 et C.04 la semaine-type la plus chaude appartient au mois d’Août du 01 au 07.

Annexe C : Photo du travail de l'investigation In-situ (Observation et prise des mesures)

Photo d'observation du problème

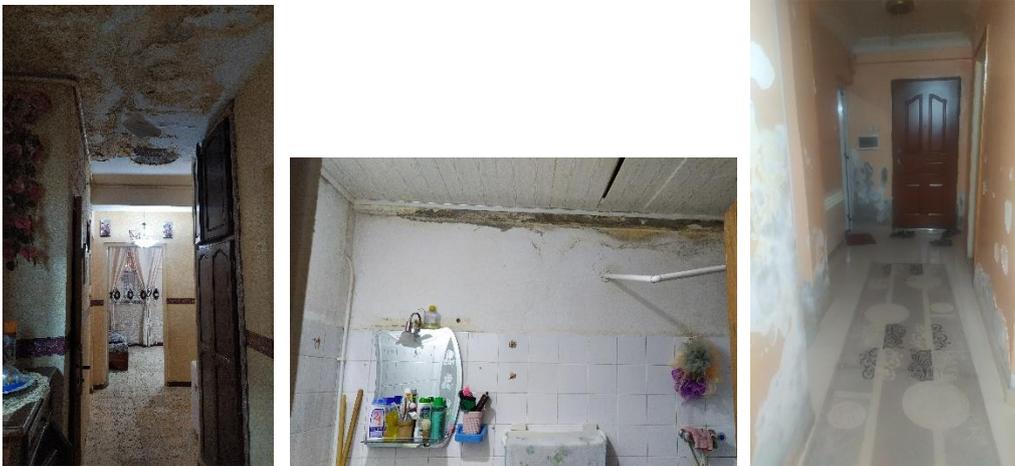


Photo prise au niveau de l'extérieur

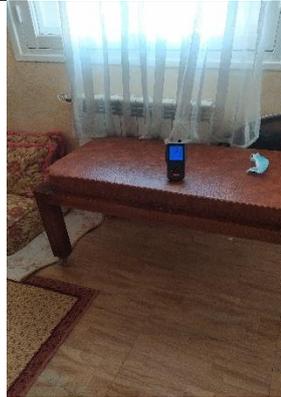


Photo de prise de mesure en hiver (Janvier 2021)

Log 1
(RDC,
Bloc 43)



Dans la cuisine



Dans le séjour



Dans la SDB

Log 2
(4em
étage,
Bloc 05)



Dans la cuisine



Dans la SDB

Log 3
(1er
étage,
Bloc 28)



Dans la cuisine



Dans la chambre

Photo de prise de mesure en été (Aout 2021)

Log 4
(RDC,
Bloc 08)



Log 5





Annexe D : Tableau de protocole de mesure

Logement :					
Visite n :		Date :			
Heure	Espace	Paramètre	valeur	Type d'environnement	Conditions de mesure
à 9h	Cuisine	CO2			Pratique d'ouverture et de fermeture des fenêtres
		COV			L'activité domestique (cuisson, bain, nettoyage)
		HR			L'environnement intérieur (climatiseur, chauffage, ventilateur)
		Temp			Le taux d'occupation dans le logement
		V air			Le microclimat extérieur (vitesse de vent...)
	Séjour	CO2			Pratique d'ouverture et de fermeture des fenêtres
		COV			L'activité domestique (cuisson, bain, nettoyage)
		HR			L'environnement intérieur (climatiseur, chauffage, ventilateur)
		Temp			Le taux d'occupation dans le logement
		V air			Le microclimat extérieur (vitesse de vent...)
	chambre	CO2			Pratique d'ouverture et de fermeture des fenêtres
		COV			L'activité domestique (cuisson, bain, nettoyage)
		HR			L'environnement intérieur (climatiseur, chauffage, ventilateur)
		Temp			Le taux d'occupation dans le logement
		V air			Le microclimat extérieur (vitesse de vent...)
	SDB	CO2			Pratique d'ouverture et de fermeture des fenêtres
		COV			L'activité domestique (cuisson, bain, nettoyage)
		HR			L'environnement intérieur (climatiseur, chauffage, ventilateur)
		Temp			Le taux d'occupation dans le logement
		V air			Le microclimat extérieur (vitesse de vent...)
Heure	Espace	Paramètre	valeur	Type d'environnement	Conditions de mesure
à 13h	Cuisine	CO2			Pratique d'ouverture et de fermeture des fenêtres
		COV			L'activité domestique (cuisson, bain, nettoyage)
		HR			L'environnement intérieur (climatiseur, chauffage, ventilateur)
		Temp			Le taux d'occupation dans le logement
		V air			Le microclimat extérieur (vitesse de vent...)
	Séjour	CO2			Pratique d'ouverture et de fermeture des fenêtres
		COV			L'activité domestique (cuisson, bain, nettoyage)
		HR			L'environnement intérieur (climatiseur, chauffage, ventilateur)
		Temp			Le taux d'occupation dans le logement
		V air			Le microclimat extérieur (vitesse de vent...)
chambre	CO2			Pratique d'ouverture et de fermeture des fenêtres	
	COV			L'activité domestique (cuisson, bain, nettoyage)	

		HR			L'environnement intérieur (climatiseur, chauffage, ventilateur)	
		Temp			Le taux d'occupation dans le logement	
		V air			Le microclimat extérieur (vitesse de vent....)	
		SDB	CO2			Pratique d'ouverture et de fermeture des fenêtres
			COV			L'activité domestique (cuisson, bain, nettoyage)
			HR			L'environnement intérieur (climatiseur, chauffage, ventilateur)
	Temp				Le taux d'occupation dans le logement	
	V air			Le microclimat extérieur (vitesse de vent....)		
	Heu	Espace	Para	valeur	Type	Conditions de mesure
			mètre		d'enviro	
					nnement	
	à 19h	Cuisine	CO2			Pratique d'ouverture et de fermeture des fenêtres
			COV			L'activité domestique (cuisson, bain, nettoyage)
			HR			L'environnement intérieur (climatiseur, chauffage, ventilateur)
Temp					Le taux d'occupation dans le logement	
V air					Le microclimat extérieur (vitesse de vent....)	
Séjour			CO2			Pratique d'ouverture et de fermeture des fenêtres
		COV			L'activité domestique (cuisson, bain, nettoyage)	
		HR			L'environnement intérieur (climatiseur, chauffage, ventilateur)	
		Temp			Le taux d'occupation dans le logement	
		V air			Le microclimat extérieur (vitesse de vent....)	
		chambre	CO2			Pratique d'ouverture et de fermeture des fenêtres
COV					L'activité domestique (cuisson, bain, nettoyage)	
HR					L'environnement intérieur (climatiseur, chauffage, ventilateur)	
Temp					Le taux d'occupation dans le logement	
V air					Le microclimat extérieur (vitesse de vent....)	
SDB			CO2			Pratique d'ouverture et de fermeture des fenêtres
		COV			L'activité domestique (cuisson, bain, nettoyage)	
		HR			L'environnement intérieur (climatiseur, chauffage, ventilateur)	
		Temp			Le taux d'occupation dans le logement	
		V air			Le microclimat extérieur (vitesse de vent....)	

Annexe E : Tableaux des conditions de mesures dans les différents logements étudiés

- Mesure en été

Logement 01	Etats des fenêtres	L'activité domestique	Utilisation d'appareil technique	Nombre d'occupant
A 9h	Fenêtre de la cuisine ouverte. Les autres sont fermées	Dormir	Climatiseur	5 personnes
A 13h	fermées	/	Climatiseur	5 personnes
A 19h	Ouvertes	Nettoyage	/	3 personnes

Logement 02	Etats des fenêtres	L'activité domestique	Utilisation d'appareil technique	Nombre d'occupant
A 9h	Fenêtre de séjour ouverte. Les autres sont fermées	Nettoyage	/	1 personne
A 13h	Fermées	/	Climatiseur	5 personnes
A 19h	Fermées	/	/	1 personne

Logement 03	Etats des fenêtres	L'activité domestique	Utilisation d'appareil technique	Nombre d'occupant
A 9h	Fenêtre de la cuisine ouverte. Les autres sont fermées	Vaisselle	Climatiseur	4 personnes
A 13h	Fermées	/	Climatiseur	5 personnes
A 19h	Fenêtre de la cuisine ouverte. Les autres sont fermées	Cuisson	/	2 personnes

Logement 04	Etats des fenêtres	L'activité domestique	Utilisation d'appareil technique	Nombre d'occupant
A 9h	Fenêtre de la cuisine et la chambre sont ouverte. Les autres sont fermées	Cuisson	/	2 personnes
A 13h	Fermées	/	Climatiseur	6 personnes
A 19h	Ouvertes	/	/	2 personnes

Logement 05	Etats des fenêtres	L'activité domestique	Utilisation d'appareil technique	Nombre d'occupant
A 9h	Fermées	/	Climatiseur	3 personnes

A 13h	Fermées	/	Climatiseur	5 personnes
A 19h	Ouvertes	/	/	

- Mesure en hiver

Logement 01	Etats des fenêtres	L'activité domestique	Utilisation d'appareil technique	Nombre d'occupant
A 9h	Fermées sauf celle de la cuisine qui est ouvertes	Dormir	Chauffage	4 personnes
A 13h	Fenêtres de la cuisine et de séjour sont ouvertes. Les autres sont fermées	Cuisson	Chauffage	4 personnes
A 19h	Fermées	/	Chauffage	6 personnes

Logement 02	Etats des fenêtres	L'activité domestique	Utilisation d'appareil technique	Nombre d'occupant
A 9h	Fermées	Cuisson	/	4 personnes
A 13h	Fenêtres de la cuisine et de la chambre sont ouvertes. Les autres sont fermées	Cuisson, nettoyage	/	6 personnes
A 19h	Fermée	/	Chauffage	7 personnes

Logement 03	Etats des fenêtres	L'activité domestique	Utilisation d'appareil technique	Nombre d'occupant
A 9h	Fenêtre de la cuisine est ouverte. Les autres sont fermées	Cuisson, dormir	Chauffage	3 personnes
A 13h	Fenêtre de la cuisine est ouverte. Les autres sont fermées	Cuisson	Chauffage	4 personnes
A 19h	Fermée	/	Chauffage	6 personnes

Logement 04	Etats des fenêtres	L'activité domestique	Utilisation d'appareil technique	Nombre d'occupant
A 9h	Fermée	/	Chauffage	2 personnes
A 13h	Fermée	/	Chauffage	2 personnes
A 19h	Fermée	/	Chauffage	4 personnes

Logement 05	Etats des fenêtres	L'activité domestique	Utilisation d'appareil technique	Nombre d'occupant
--------------------	---------------------------	------------------------------	---	--------------------------

A 9h	Fenêtre de la cuisine est ouverte. Les autres sont fermées	Cuisson, nettoyage	Chauffage	2 personnes
A 13h	Fermée	/	Chauffage	2 personnes
A 19h	Fermée	/	Chauffage	4 personnes