

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mohamed Seddik BENYAHIA – Jijel
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département d'Architecture



Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de :
MASTER EN ARCHITECTURE

Filière :
ARCHITECTURE

Spécialité :
ARCHITECTURE

Présenté par :
M^{elle} Imene BOUFRIS
M^{elle} Leyla KHROUF

THEME :
Le contrôle de l'hygrométrie par le biais des façades dynamiques
végétalisées- Cas des équipements touristiques-

Date de la Soutenance : 15/09/2021

Composition du Jury :

Mounia OUARI
Saïd GRIMES
Sheherazad KHELFAH

MAA, université de Jijel, Président du jury
MCB, université de Jijel, Encadrant de mémoire
MAA, université de Jijel, Examineur

Remerciements

*A la fin de ce travail, avant tout chose, nous remercions le dieu « **Allah** », tout-puissant de nous avoir donné la force et la patience.*

*Nous adressons nos vifs remerciements à notre encadrant, Dr. **Grimes Said** pour son soutien, ses recommandations et sa disponibilité et pour nous avoir constamment guidé tout long de ce mémoire et pour ses conseils précieux.*

Nous tenons d'autre part à remercier les membres de Jury pour nous avoir accordé de leurs temps pour commenter, discuter et juger notre travail.

*Nous adressons aussi nos sincères reconnaissances à tous les enseignants de département **d'architecture**, surtout **M. Haloufi.W**, pour leurs aides, soutiens et leurs conseils*

Nous remercions les membres de nos familles et nos amis du fond du cœur pour leur soutien et patience.

Nous n'oublierons pas enfin de remercier toute personne qui a contribué de près ou de loin à ce travail.

Boufris Imene

Khraouf Leyla

Dédicaces

*Au nom d'Allah, le tout miséricordieux, le très
miséricordieux :*

J'ai le grand honneur de dédier ce travail :

*A ceux qui se sont donné toutes les peines et les sacrifices, pour
me voir réussir dans ma vie :*

les deux personnes les plus chères à mon cœur, mon père

*'Noureddine' et ma mère **Hafida** '*

Que dieu les protège.

*A mon chère frère '**Mohamed Ali**' et mes chères sœurs :
Soulef, Fatma Zohra, Hadjer. Ainsi que pour tous les
membres de ma famille petits et grands.*

*À celui qui m'apporte toujours du bonheur et avec qui je vais
partager ma vie : mon fiancé '**Imad Eddine**'.*

A tous les membres de ma famille, petits et grands.

*A mes meilleurs amis : **Safia, Amel, Sarah, Fatiha, Nour
Elhouda.***

A tous mes chers collègues.

*A mon binôme de mémoire et ma sœur **Khrouf Leyla***

Imene

Dédicaces

*Au nom d'Allah, le tout miséricordieux, le très
miséricordieux :*

J'ai le grand honneur de dédier ce travail :

*A ceux qui se sont donné toutes les peines et les sacrifices,
pour me voir réussir dans ma vie :*

les deux personnes les plus chères à mon cœur, mon père '

***Abd-Essalam** 'et ma mère **Hadjira** '*

Que dieu les protèges.

*À mes adorables sœurs : **Ismahane, Houda, Loubna, Meriem,
Amina et Rima***

*Ames chères frères : **Tarek et Mahmoud***

*A mon binôme de mémoire et ma sœur **Boufris Imene***

*A mes collègues de promotion d'architecture chacun par son
nom.*

A toute personne qui m'a aidé.

*Et sans oublier mes enseignants qui m'ont soutenu durant
toutes mes années d'études.*

Leyla

Table des matières :

Remerciements	I
Dédicaces	II
Table des matières :	IV
Liste figure :	VI
Liste des tableaux :	XI
Liste des graphes :.....	XI
CHAPITRE I : Introduction générale	1
I.1. Introduction :.....	1
I.2. Motivation du choix du thème :	2
I.3. Problématique :	2
I.4. Hypothèse :	2
I.5. Objectifs :	3
I.6. Démarche méthodologique	3
I.7. Structure de mémoire	4
CHAPITRE II : Le confort hygrométrique	5
II.1. Introduction :.....	5
II.2. Le confort global :	5
II.2.1. Définition du confort	5
II.2.2. Types de confort.....	6
II.2.3. HQE, famille du confort :	7
II.3. L'humidité dans le bâtiment	7
II.3.1. Définition et grandeurs	7
II.3.2. Les facteurs influents sur le confort hygrométrique.....	10
II.3.3. L'humidité relative confortable (diagramme de Givoni)	11
II.3.4. Les sources d'humidité.....	11
II.3.5. L'humidité et ses nuisances :	14
II.3.6. Les manifestations et les causes de l'humidité	16

II.3.7. Le transfert d'humidité à travers les parois	17
II.3.8. Les appareils de mesure d'humidité.....	19
II.3.9. Les techniques de régulation de l'humidité	21
II.4. Conclusion	22
CHAPITRE III : Les façades confrontées à l'hygrométrie :.....	23
III.1. Introduction :.....	23
III.2. Façade végétalisée :.....	23
III.2.1. Définition et historique :.....	23
III.2.2. Les différentes formes que peuvent prendre une façade végétalisée :.....	23
III.2.3. Les différentes propriétés et critères de choix des plantes :.....	23
III.2.4. Mise en œuvre :.....	25
III.2.5. Système d'arrosage des façades végétalisées :.....	26
III.2.6. Les bénéfices de la végétation des façades :.....	27
III.3. La façade dynamique :	32
III.3.1. Définition :.....	32
III.3.2. Type de façade dynamique :.....	32
III.3.3. Types de mouvement de la façade :.....	37
III.3.4. Types de contrôle des systèmes adaptatifs :.....	39
III.3.5. Quel type de système de contrôle ?.....	39
III.4. Conclusion :.....	40
CHAPITRE IV : Analyse et mesure	41
IV.1. Introduction :.....	41
IV.2. Analyse des exemples :	41
IV.2.1. Analyse d'un exemple de la façade végétalisée (Oasia Downtown Hôtel) :	41
IV.2.2. Analyse d'un exemple de la façade dynamique	
météorosensible (HygroSkin pavillon météorosensible) :.....	48
IV.3. Analyse de cas d'étude :.....	52
IV.3.1. Présentation de la wilaya de Jijel :.....	52

IV.3.2. Présentation de la Z.E.T de Tassoust :.....	53
IV.4. L'expérience (mesures et résultats) :.....	56
IV.4.1. Le protocole expérimental :.....	56
IV.4.2. La maquette expérimentale :	57
IV.4.3. Interprétation des résultats :	41
IV.5. Conclusion :	63
CHAPITRE V : Enquête sous forme d'un questionnaire :	64
V.1. Introduction :.....	64
V.2. Lecture et interprétation du questionnaire :.....	64
V.3. Traitements des résultats :	64
V.3.1. Votre secteur d'activité ?.....	64
V.3.2. L'humidité dans les équipements touristiques :.....	65
V.3.3. La façade végétalisée :	67
V.3.4. La façade dynamique :	73
V.3.5. Conclusion :.....	76
CHAPITRE VI : Conclusion générale :.....	77
Annexes :.....	79
Abstract:.....	79
:الملخص.....	80
Résumé :.....	81

Liste figure :

Figure 1: Diagramme de l'air humide, diagramme de Mollier, Source : (Abelé, 2009) ..	8
Figure 2: diagramme de phase de l'eau pure, Source : (Abelé, 2009)	9
Figure 3: Définition de l'humidité relative, Source: (Abelé, 2009)	10
Figure 4: plages du confort humidité-température, Source: http://ecoconstruction.rpn.univ-lorraine.fr/ (consulté le 23/05/2021)	11
Figure 5: Débordement d'un cours d'eau, Source: (Baret, 2007).....	12
Figure 6: a. Rupture d'une canalisation, b. Remontée de la nappe phréatique, Source: (Baret, 2007).....	12

Figure 7: Evaporation des remontées capillaires dans le bâtiment, Source: (Baret, 2007)	12
Figure 8: Emprisonnement des remontées capillaires dans les maçonneries, Source: (Baret, 2007)	13
Figure 9: a. Rejaillissement sur sol naturel, b. Rejaillissement sur sol bétonné, Source: (Baret, 2007)	13
Figure 10: Corrosion des aciers, Source: (Potier, 2004)	14
Figure 11: Moisissures et champignons sur les murs et le plafond, Source: a. www.linternaute.fr , b. www.humidite-expert.fr (consulté le 04/05/2021)	15
Figure 12: Taches blanchâtre, Source: a. legault-dubois.ca b. fr.wikipedia.org (consulté le 04/05/2021)	15
Figure 13: Pourrissement d'un plafond en bois, Source: bebexperts.com (consulté le 04/05/2021)	15
Figure 14: Les principaux phénomènes de transfert d'humidité, Source: (Clément, 2011)	17
Figure 15: Les trois phénomènes de diffusion de vapeur, Source: (Clément, 2011)	18
Figure 16: Hygromètre à mèche cheveu, Source: www.monmagasingeneral.com (consulté le 22/05/2021)	19
Figure 17: Schéma de principe de mesure d'humidité à travers le psychromètre, Source: www.wikiwand.com (consulté le 26/05/2021)	20
Figure 18: structure type d'un mur végétalisé, source : www.biodiversiteetbati.fr/ , consulté le 03/05/2021	23
Figure 19: schéma explicatif de l'expérience de P. Blanc, source : auteur	23
Figure 20: les trois système généraux de mur grim pant, a. Système de verdissement direct, b. Système de verdissement indirect, c. Système de verdissement indirect avec bacs de plantation, source: (Perini et al., 2011)	23
Figure 21: Les trois systèmes généraux de mur vivant, a. Système de panneaux, b. Système de feutre, c. Système de conteneurs, source: (Loh, 2008)	23
Figure 22: Arbousier, source : https://jardinage.lemonde.fr ,consulté le : 02/04/2021	24
Figure 23: Aubépine, source : https://www.gralon.net/ ,consulté le :02/04/2021	24
Figure 24: Laurier, source : https://aujardin.info/ ,consulté le :02/04/2021	24
Figure 25: Inule visqueuse, source : https://jardinage.ooreka.fr/ , consulté le : 02/04/2021	24
Figure 26: Pavot coquelicot, source : https://www.plantes.ca/ , consulté le :02/04/2021	24

Figure 27: le lierre, source : https://www.jardinaire.net , consulté le :02/04/2021	24
Figure 28: le lavande, source : https://www.leaderplant.com/ , consulté le : 02/04/2021	24
Figure 29: le romarin, source : https://aujardin.info/ , consulté le :02/04/2021	24
Figure 30: Les différents principes de la mise en œuvre, a. Composition d'un mur végétal sur nappe horticole, b. Principe du mur végétal monobloc, source : (Bouattour and Alain, 2009)	25
Figure 31: les types d'arrosage, a. Circuit ouvert, b. Circuit fermé, source : https://neogarden-mursvegetaux.com/ , consulté le : 08/03/2021	26
Figure 32: Ruissellement sur un toit plat conventionnel et un toit végétalisé extensif sur une période de 22h, source: (d'Azur, 2009).....	29
Figure 33: comparaison de la température de surface pour la façade de référence et pour la surface extérieure du substrat et températures d'air mesurées à 10, 25 et 50cm de la façade végétale, source : (Djedjig, 2013).....	31
Figure 34: schéma : l'idée de base des interfaces dynamiques et sa réponse aux variables environnementales, source : (El Sheikh, 2011) après investigation de (mouhamed.M.K.S.A.A.A.A, 2019).....	32
Figure 35: Kiefer Technic Showroom, Steiermark, Autriche, Source: https://www.architonic.com/ , consulté le: 04/05/2021	33
Figure 36: la Centercity Galleriy à Cheonan, Corée du sud, Source : https://www.researchgate.net/ , consulté le : 04/05/2021	33
Figure 37: Institution du monde arabe, Paris, source: https://archello.com/ , consulté le: 07/052021	33
Figure 38: l'unité mobile moucharabieh sur ses différentes images, source: (Edujuganti, 2013)	33
Figure 39: l'unité mobile moucharabieh sur ses différentes images, source : (محمد, 2019)	33
Figure 40: Tours d'Al Bahar, source: https://lewebpedagogique.com/ , consulté le : 07/05/2021	33
Figure 41: Comment la façade répond aux variables environnementales, source : (محمد, 2019)	33
Figure 42: Pavillon thématique One Océan, source : https://structurae.net/en/ , consulté le : 07/05/2021	33
Figure 43: typologie de mouvement de plans coulissant, source: (Schumacher et al., 2010)	37

Figure 44: a. House in Oderbruch, Allemande, b. Sliding House Suffolk, Reaume-Uni, source : https://www.pinterest.ca , consulté le: 03/05/2021	37
Figure 45: typologie de mouvement de plans pivotant, source: (Schumacher et al., 2010)	37
Figure 46: a. False Bay Cabin, San Juan, Island, b. Tucker House, Victoria, Australia, source: https://www.pinterest.ca , consulté le: 03/05/2021	38
Figure 47: typologie de mouvement de plan pliant, source : (Schumacher et al., 2010)	38
Figure 48: a. Loblolly House Taylors, Island, b. B2 House, Canakkale, Turquie, source: https://www.pintrest.ca , consulté le: 03/05/2021	38
Figure 49: la façade principale d'Oasia hôtel downtown, source : https://archello.com/fr/ (consulté le 28/06/2021).....	42
Figure 50: vue aérienne d'Oasia hôtel downtown, source : https://www.immoweek.fr/ (consulté le 28/06/2021).....	42
Figure 51: plan du RDC étage d'Oasia Downtown Hôtel, source : https://www.archdaily.com/ (consulté le 28/06/2021).....	43
Figure 52: plan typique du 7 ^{ème} au 11 ^{ème} étage d'Oasia Downtown Hôtel, source : https://www.archdaily.com/ (consulté le 28/06/2021).....	44
Figure 53: plan typique du 13 ^{ème} au 20 ^{ème} étage d'Oasia Downtown Hôtel, source : https://www.archdaily.com/ (consulté le 28/06/2021).....	44
Figure 54: plan typique du 22 ^{ème} au 25 ^{ème} étage d'Oasia Downtown Hôtel, source : https://www.archdaily.com/ (consulté le 28/06/2021).....	45
Figure 55: vue sur les plantes grimpantes du façade, Source : https://www.floornature.eu/ consulté le (28/06/2021).....	45
Figure 56: le SOHO Sky Garden, source : https://www.archdaily.com/ (consulté le 28/06/2021).....	46
Figure 57: l'Hotel Sky Garden, source : https://www.archdaily.com/ (consulté le 28/06/2021).....	46
Figure 58: l'Hôtel Club Garden, source: https://www.archdaily.com/ (consulté le 28/06/2021).....	47
Figure 59: Roof Sky Garden, source: https://www.archdaily.com/ (consulté le 28/06/2021).....	47
Figure 60: Les trois dimensions d'hygroskin, source: www.archdaily.com (consulté le 27/06/2021) avec investigation.....	48

Figure 61: Galerie du Pavillon HygroSkin-Météorosensible, source: www.archdaily.com (consulté le 27/06/2021).....	49
Figure 62: Réaction hygro-sensible de la pomme de pin, source : https://issuu.com/ (consulté le 27/06/2021).....	49
Figure 63: les composants d'un panneau de l'HygroSkin, source: www.archdaily.com (consulté le 27/06/2021).....	50
Figure 64: la structure de l'HygroSkin, source: www.archdaily.com (consulté le 27/06/2021).....	50
Figure 65: la réaction des ouvertures de l'HygroSkin au changement de taux d'humidité relative, source: www.archdaily.com (consulté le 27/06/2021)	51
Figure 66: les ouvertures de l'HygroSkin de deux faces (ext et int), source: www.archdaily.com (consulté le 27/06/2021).....	52
Figure 67: la localisation de la zone d'étude, source: http://jjle18.unblog.fr/ , Google maps, Google earth avec investigation	53
Figure 68: la température et la précipitation dans la région de Bouhamdoune, source: www.meteoblue.com consulté le (07/02/2021).....	54
Figure 69: le diagramme solaire de la zone d'étude avec la longueur d'ombre dans cette zone, source : Ecotect.....	54
Figure 70: Le taux d'humidité relative, source : https://fr.climate-data.org/	55
Figure 71: la vitesse des vents dans la zone de Bouhamdoune, source: www.meteoblue.com consulté le (07/02/2021).....	56
Figure 72: carte des risques naturels de la ZEST	56
Figure 73: a. la châssis de bains, b. le thermo-hygromètre TES 1367	57
Figure 74: représentation de la maquette de deuxième scénario (50% romarin)	58
Figure 75: représentation de la maquette de troisième scénario (100% romarin)	58
Figure 76: le grillage à fer (3x3mm) de l'expérience.....	58
Figure 77: secteur d'activité des échantillons, source : Google Forms	64
Figure 78: Réponses à la question 02, source : Google Forms	65
Figure 79: réponse à la question 03, source : Google Forms	65
Figure 80: réponse su question 04, source : Google Forms	66
Figure 81: Réponse su question 05, source : Google Forms	66
Figure 82: Réponses à la question 06, source : Google Forms	67
Figure 83: réponse à la question 07, source : Google Forms	67
Figure 84: réponse su question 08, source : Google Forms	68
Figure 85: réponse su question 09, source : Google Forms	68

Figure 86: réponse sur question 10, source : Google Forms	69
Figure 87: réponse sur question 11, source : Google Forms	69
Figure 88: réponse su question 12, source : Google Forms	70
Figure 89: réponse su question 13, source : Google Forms	70
Figure 90: réponse su question 15, source : Google Forms	71
Figure 91: réponse su question 16, source : Google Forms	72
Figure 92: réponse su question 17, source : Google Forms	72
Figure 93: réponse su question 18, source : Google Forms	73
Figure 94: réponse sur question 19, source : Google Forms	73
Figure 95: réponse sur question 20, source : Google Forms	74
Figure 96: réponse sur question 21, source : Google Forms	74
Figure 97: réponse sur question 22, source : Google Forms	75
Figure 98: réponse sur question 23, source : Google Forms	75
Figure 99: réponse sur question 24, source : Google Forms	76

Liste des tableaux :

Tableau 1: Définitions des grandeurs liés à l'humidité, Source: (Abelé, 2009) avec investigation	8
Tableau 2: Les manifestations de l'humidité et ses causes, Source: (Tomasini, 2010) .	16
Tableau 3: les plantes locales	24
Tableau 4: comparaison entre les deux circuits	27
Tableau 5: les types de dynamisme et son exemple	33
Tableau 6: les plans de Oasia	43
Tableau 7: plans des jardins	46
Tableau 8: Séquences horaires de prises de mesures	57
Tableau 9: Les valeurs d'HR et T de 23 Aout 2021	59
Tableau 10: Les valeurs d'HR et T de 24 Aout 2021	60
Tableau 11: Les valeurs d'HR et T de 25 Aout 2021	62

Liste des graphes :

graphe 1: le premier scénario	59
graphe 2: le deuxième scénario	60
graphe 3: le troisième scénario	61
graphe 4: graphe résumant les trois scénarios	62

Introduction

générale

I . Introduction générale :

I.1. Introduction :

Le confort est la sensation de bien-être de l'être humain dans un milieu bien déterminé, cette sensation diffère d'une personne à une autres.

Le confort hygrothermique est la huitième cible parmi les quatorze cibles de la démarche de Haute Qualité Environnementale des bâtiments en France (HQE), ce dernier engendre deux grands points : l'humidité et la température. Ils sont liés au climat de la zone d'emplacement (le site), son orientation, à l'aération et au type d'enveloppe architecturale.

Le confort hygrométrique par son rôle est lié au changement du taux de l'humidité relative. Ce changement a des effets directs sur le confort psychologique des personnes en premier lieu.

Avec le développement technologique dans tous les domaines et en particulier le domaine de l'architecture qui représente la base fondamentale de tous les autres secteurs. Ces nouvelles technologies innovantes sont réalisées pour l'atténuation des buts comme la durabilité des projets et d'avoir du confort pour que l'être humain ressente du bien-être autant que possible.

L'architecture durable cherche toujours à maintenir la bonne qualité de vie pour les être-humains de façon à protéger les être-vivants. La végétation est l'un des éléments qui reflètent la durabilité, non seulement pour l'effet esthétique et de protection de la faune et la flore mais aussi en améliorant le confort thermique et acoustique et enrichir l'air avec la captation de CO₂ et la production de O₂ (donc la dépression de l'atmosphère) sans l'usage des techniques artificielles qui consomment plus d'énergie, alors qu'elle a aussi un rôle dans l'optimisation de la consommation énergétique.

Les façades végétalisées, en plus de leur aspect esthétique, sont composées par des espèces vivantes qui donnent un effet de durabilité et de respect de l'environnement. La façade dynamique et ventilée sert à assurer du confort de sorte qu'elle optimise la consommation énergétique du bâtiment, la réduction de Gaz à Effet de Serre (GES) produit de sorte qu'il soit durable.

La façade dynamique fait partie des nouvelles technologies qui caractérisent l'architecture contemporaine et dont le but est de contrôler le climat à l'extérieur du bâtiment de façon à augmenter la sensation de bien-être à l'intérieur.

I.2. Motivation du choix du thème :

Le littoral algérien se caractérise par un taux élevé d'humidité relative moyenne, et la wilaya du Jijel en tant que wilaya côtière connaît un taux d'humidité relative moyenne de 79%. Cette valeur dépasse de loin le taux moyen confortable qui est entre 40-65% à une température de 22°C. Cela revient au milieu naturel et artificiel de la wilaya (naturel : ça concerne ; la mer et les montagnes derrière qui présente un bardage dans la circulation d'air et l'augmentation des précipitations, artificiel : absence des isolants d'humidité dans les bâtiments).

L'inconfort dans le bâtiment vient de pas mal d'éléments de l'enveloppe architecturale, mais l'influence du plancher est non négligeable mais minime par rapport à l'influence de la peau car celle-ci est plus exposée aux changements climatiques et au climat externe.

I.3. Problématique :

Le littoral algérien se caractérise par un taux élevé d'humidité relative moyenne, et la wilaya du Jijel en tant que wilaya côtière connaît un taux d'humidité relative moyenne de 79%. Cette valeur dépasse de loin le taux moyen confortable qui est entre 40-65% à une température de 22°C. Cela revient au milieu naturel et artificiel de la wilaya (naturel : ça concerne ; la mer et les montagnes derrière qui présente un bardage dans la circulation d'air et l'augmentation des précipitations, artificiel : absence des isolants d'humidité dans les bâtiments).

L'inconfort dans le bâtiment vient de pas mal d'éléments de l'enveloppe architecturale, mais l'influence du plancher est non négligeable mais minime par rapport à l'influence de la peau car celle-ci est plus exposée aux changements climatiques et au climat externe

Comment dans ce cas les nouvelles technologies associées à la végétation, peuvent-elles corriger le confort hygrométrique du bâtiment ?

I.4. Hypothèse :

Pour répondre à cette problématique, une hypothèse est posée afin de développer les axes de la recherche de cette étude et qui consiste à supposer que le mariage entre les deux façades intelligentes (la façade végétalisée et la façade dynamique) peut appuyer le constat posé dans la problématique. Nous supposons que cette solution peut régler, d'une part, le problème lié au microclimat de la zone littorale de Tassoust (l'augmentation du taux d'humidité relative, l'exposition aux vents dominants et aux rayonnements solaires), et d'autre part la réduction des GES produits, l'optimisation de la consommation énergétique des équipements touristiques installés pour la régulation des problèmes du microclimat.

I.5. Objectifs :

Partant des hypothèses ci-dessus, nous ciblons deux objectifs essentiels :

- L'amélioration du confort hygrométrique et le contrôle de l'hygrométrie dans les bâtiments touristiques peut se faire à travers le choix idéal du type de paroi dynamique et/ou végétalisée.

I.6. Démarche méthodologique

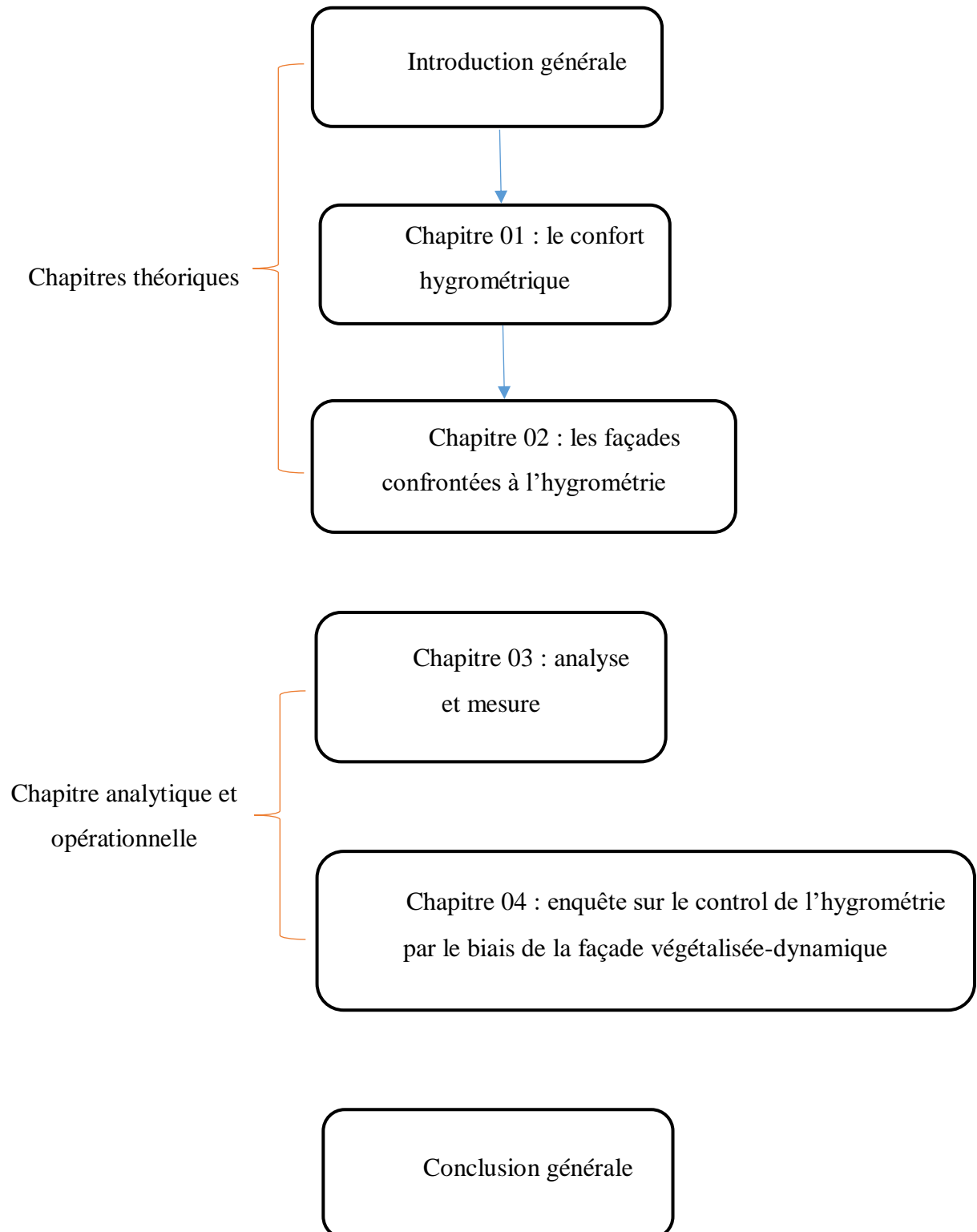
Pour mieux comprendre le thème de notre recherche, et bien envisager vers une bonne solution architecturale, nous avons suivi un processus de méthodes qui est basée sur :

Une approche de recherche bibliographique (ouvrages, articles scientifiques, thèse et mémoire, revues, rapport technique et site web) concernant l'humidité dans le bâtiment (hygrométrie), l'usage de la végétation dans les façades des bâtiments et même le dynamisme des façades, par la suite une approche théorique où nous avons défini les différents termes et tout ce qui est concerné notre thème de recherche.

Une approche analytique dans laquelle on va analyser des exemples livresques pour sortir les différentes stratégies de mise en valeur de bien être par le biais de la végétation (durabilité du projet) et de dynamisme de façade (technologie).

L'autre présentative de notre zone d'étude (situation, risque et climatologie), et puis pour des raisons de fidélité nous avons choisi la méthode expérimentale (la prise de mesure sur site) où nous avons préparé une maquette expérimentale.

I.7. Structure de mémoire



Chapitre I :
Le confort
hygrométrique

II . CHAPITRE I : Le confort hygrométrique

II.1. Introduction :

Le confort des occupants dans le bâtiment est indispensable, il touche la psychologie et la physiologie de l'être-humain, les variantes qui gèrent les différents confort ont des effets sur la stabilisation structurelle et sur l'efficacité énergétique dans le bâtiment.

Le confort hygrométrique fait partie de la huitième cible de la démarche HQE, il dépend principalement de la variation de taux d'humidité relative, cette dernière est caractérisé par « *la disponibilité d'une source, d'un chemin pour le déplacement de l'humidité et d'une force motrice pour le mouvement de l'humidité* » (Blay et al., 2019). Comme il y a des autres influents qu'on va la présenter dans ce présent chapitre.

L'humidité dans le bâtiment a des sources constantes que l'on ne peut pas éliminer ou diminuer. D'autres sources exceptionnelles peuvent cependant être réduites en cas de nécessité.

Dans le présent chapitre sont abordés en premier lieu le confort global, ses types et la famille du confort dans la démarche HQE. En deuxième lieu vient le traitement des conditions et mécanismes à l'origine de l'humidité, la classification des différents types et de leurs caractéristiques, ses nuisances et ses effets aussi bien sur la santé de l'homme que sur le bâtiment et le confort des occupants en général. Il sera conclu par les solutions pouvant résoudre le problème de l'humidité et donc améliorer le confort hygrométrique.

II.2. Le confort global :

II.2.1. Définition du confort

D'après (Rioux et al., 2013) le confort moderne est défini comme l'« *ensemble des équipements susceptibles de rendre un lieu d'habitation confortable selon les normes de l'époque actuelle* » alors que le confort moral renvoie quant à lui à tout ce qui assure le bien-être de l'esprit et sa tranquillité. Ces définitions qui articulent des dimensions spatiales, temporelles, corporelles et psychologiques font du confort une préoccupation essentielle de notre époque moderne, en l'inscrivant clairement dans notre quotidien et notre histoire.

L'historien John E. Crowley en 2001 a proposé la définition suivante du confort laquelle était cité par (Maresca et al., 2009) : « *a self conscious satisfaction with the relationship between one's body and it's immediate physical environment* »

Alors que le confort globalement est la sensation de l'être humain du bien-être dans un milieu bien identifié, comme il s'agit d'un état de satisfaction quant à la relation entre le corps et son environnement physique immédiat d'après (Ayadi et al., 2015).

II.2.2. Types de confort

La troisième famille dans la démarche des bâtiments durables en France HQE se classifie en quatre cibles dont le confort, donc il y a quatre types de confort sont :

Le confort hygrothermique :

D'après (Picard et al., 2020) « *l'homme est homéotherme et sa température n'est pas directement dépendante de la température extérieure mais est régie par différents mécanismes de thermorégulation, comportementales ou physiologiques. La chaleur produite par le métabolisme peut être compensée ou s'ajouter aux échanges par convection, conduction avec les surfaces, évaporation (sudation ou respiration) ou rayonnement* »

Le confort acoustique :

Le confort acoustique est un élément négligé dans les espaces intérieurs. Or l'équilibre psychologique et la productivité au travail des occupants en dépendent (geoffrey, 2008).

Le confort visuel :

C'est une impression subjective liée à la quantité, à la distribution et à la qualité de la lumière (Picard et al., 2020). Celle-ci peut être appuyée par la présence de la végétation.

Le confort olfactif :

Il est directement lié aux conditions hygiéniques de l'air (absence de mauvaises odeurs, CO₂, émission de COV¹ et autres polluants, émission d'allergènes, parfums, etc.), c'est-à-dire de ne pas sentir certaines odeurs fortes ou désagréables, d'évacuer les pollutions intérieures et de préserver des pollutions extérieures, poussières, moustiques (CLAUDOT, 2019)

Remarque : le premier et le troisième type de confort sont liés aux conditions climatiques tels que : le vent, la chaleur, l'ensoleillement, la précipitation ...etc.

Il existe des autres types de confort de plus, et ils ont une relation directe avec les autres cités dessus :

Le confort ergonomique

Il est lié à la physiologie de l'être humain et a deux objectifs fondamentaux d'après (Falzon, 1996) :

- D'une part le confort et la santé des utilisateurs : il s'agit d'éviter les risques (accidents, maladies), et de minimiser la fatigue (liée au métabolisme de l'organisme, au travail des muscles et des articulations, au traitement de l'information, à la vigilance)

¹ COV : composés organiques volatils

- D'autre part l'efficacité pour l'organisation se mesure sous différentes dimensions (productivité, qualité, fiabilité). Cette efficacité est dépendante de celle de l'homme : en conséquence, l'ergonome vise à identifier les logiques des opérateurs et à concevoir des systèmes adaptés.

Le confort socio-culturel

Il s'exprime par la bonne relation entre l'homme et ses besoins et que l'être humain reste satisfait socio-culturellement, d'après (Khan, 2015) « *chaque société se distingue par sa propre identité qui est le reflet des valeurs socioculturelles qui la traversent. La société est, souvent, décrite sur la base de son identité et l'identité de l'espace de l'habitation dépend du design mis en place par l'architecte, qui se doit de comprendre les paramètres socioculturels qui exercent une influence sur les personnes en question* »

Le confort psychologique

d'après (THELLIER) « *le confort, c'est l'état d'esprit qui exprime la satisfaction envers l'environnement* »

II.2.3.HQE, famille du confort :

L'un des points de la HQE est la création d'un environnement sain et confortable pour améliorer la qualité environnementale. La HQE, clarifie ces exigences sous forme de **cibles**. Les quatorze cibles retenues sont classées selon deux domaines et quatre familles ; les deux premières familles (les cibles de l'écoconstruction et de l'éco-gestion) appartiennent au premier domaine de maîtrise des impacts sur l'environnement extérieur. Les deux autres familles (les cibles du confort et de santé) fait partie du deuxième domaine qui s'intéresse à la création d'un environnement intérieur satisfaisant.

La troisième famille de confort s'intéresse aux quatre premiers types cités avant, et que l'architecte essaie de maîtriser au mieux les comforts sentimentaux (socio-culturel et psychologique) et les autres climatique et de l'environnement.

II.3. L'humidité dans le bâtiment

II.3.1.Définition et grandeurs

Définition de l'humidité :

D'après (Larousse, 2021), l'humidité est l'état de ce qui est chargé d'eau ou de vapeur d'eau (le sol et l'atmosphère)

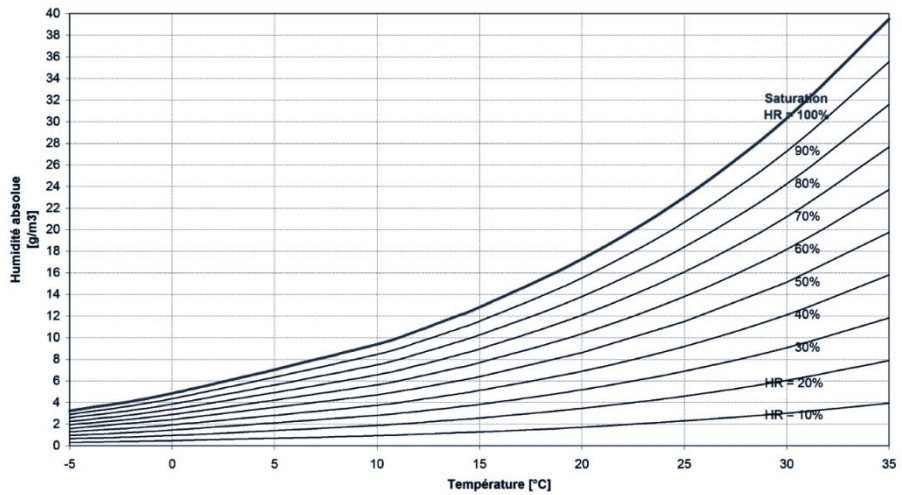
L'humidité reflète la présence d'un liquide, en particulier de l'eau, souvent à l'état de traces. Par opposition à l'aridité, l'humidité indique le degré de présence d'eau dans ou sur un

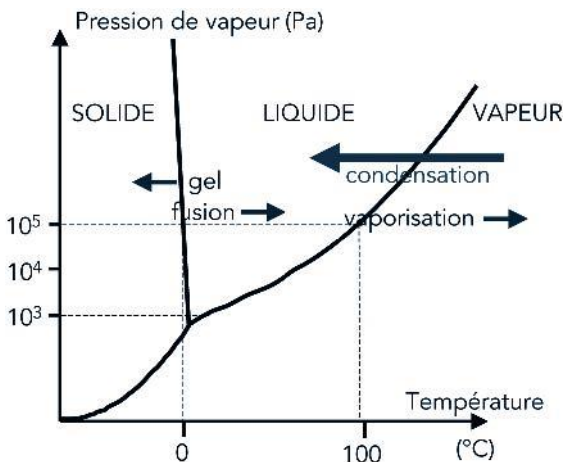
matériau (textiles par exemple), une substance ou un gaz (vapeur d'eau) ou une pièce (sous-sol d'un bâtiment par exemple) (Aquaportail, 2021).

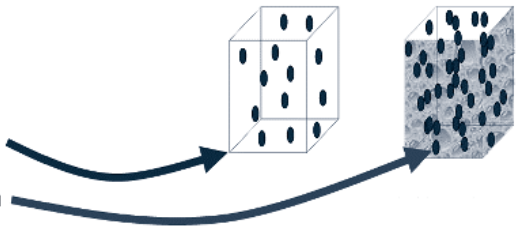
En physique et en science des matériaux, l'humidité exprime généralement la teneur en eau, appelée hygrométrie. Les humidités peuvent toutefois également être comprises comme signifiant la teneur en d'autres liquides, par exemple le benzène (Aquaportail, 2021).

Les grandeurs :

Tableau 1: Définitions des grandeurs liés à l'humidité, **Source:** (Abelé, 2009) avec investigation

La grandeur	La définition	
Air sec	Les composants	Azote N ₂ Oxygène O ₂ Argon Ar Gaz Carbonique CO ₂ Ne, He, Kr, Xe Environ 78% Environ 21% 0,93% 0,03% 0,01%
Air humide	<p>C'est un mélange de l'air sec et de la vapeur d'eau (H₂O) en état gazeux. Le psychrométrie permet de décrire les caractéristiques physiques de l'air humide en fonction de la température (fig. 1)</p>  <p>Figure 1: Diagramme de l'air humide, diagramme de Mollier, Source : (Abelé, 2009)</p>	
Pression partielle de la vapeur d'eau dans l'air (p _v)	La pression qu'aurait la vapeur d'eau si elle à occupait à elle seule tout le volume du mélange.	
Humidité spécifique (ou humidité massique)	L'humidité spécifique est le rapport de la masse de vapeur d'eau m _v sur la masse d'air sec m _a avec laquelle la vapeur est associée dans l'air humide : $x = \frac{m_v}{m_a}$ ce rapport s'exprime en kg de vapeur d'eau par kg d'air sec, il est parfois appelé rapport de mélange (noté r).	
Humidité absolue (ou humidité volumique)	<p>C'est la masse de vapeur d'eau est-elle contenue dans un certain volume d'air, l'unité habituelle est le kg/m³, par exemple pour la vapeur atmosphérique :</p> $v = \frac{m_v}{V}$ Où V est le volume de l'échantillon de l'air humide et m _v , la masse de vapeur d'eau. Cette grandeur est également fréquemment notée W et est identique à la masse volumique de la vapeur d'eau ρ _v . Note : pour les valeurs de température et d'humidité absolue couramment rencontrées dans le domaine du bâtiment, les valeurs d'humidité absolue exprimées en g/m ³ sont très proches des valeurs de pression partielle de vapeur d'eau exprimées en mm Hg.	

Air saturé	Il correspond à un air humide, à une température et à une pression données, dont la quantité de vapeur d'eau est telle que toute quantité d'eau supplémentaire ne peut apparaître que sous forme liquide ou solide.
Température de rosée	<p>Lorsque l'on refroidit l'air humide en maintenant le rapport de mélange constant, on atteint l'état de saturation pour une température appelée température de rosée (T_d) lorsque celle-ci est supérieure à 0°C ou température de gelée (T_f) lorsqu'elle est inférieure à 0°C.</p> <p>La température de rosée ou de gelée est la température pour laquelle la pression partielle de la vapeur dans l'air humide est égale à la pression de vapeur saturante.</p>
Pression de vapeur saturante	<p>La pression de vapeur saturante p_{sat} est la pression de vapeur dans un état d'équilibre indifférent avec une surface plane d'eau liquide ou de glace à la même température et à la même pression. En d'autres termes, c'est la valeur maximale que peut atteindre la pression partielle de la vapeur à cette température.</p> <p>On a :</p> $p_{sat} = 610,5 \cdot \exp\left(\frac{17,269T - 4717,03}{T - 35,85}\right) \text{ pour } T \geq 273,15K$ $p_{sat} = 610,5 \cdot \exp\left(\frac{21,785T - 5975,16}{T - 7,65}\right) \text{ pour } T < 273,15K \text{ (Norme NF EN ISO 13788)}$ <p>Au-delà de cette valeur, il y a condensation. Ce phénomène peut se produire lorsqu'il existe une différence de température entre deux couches telle que la pression de vapeur saturante (qui est une fonction croissante de la température) de la couche la plus froide est inférieure à la pression de vapeur de la couche la plus chaude. La masse d'eau liquide condensée provient d'une part de la condensation de la vapeur présente dans le milieu et d'autre part la condensation d'une partie du flux d'humidité en phase vapeur.</p> <p>Au moment de la condensation, on vérifie :</p> <ul style="list-style-type: none"> - $p_v = p_{sat}$ - $T = T_d$ <p>Par lecture du diagramme de changement de phase (fig. 2), il est possible de savoir si la condensation se fait vers un état liquide ou solide en fonction de la température. Dans le cas de l'eau pure, le diagramme de changement de phase a l'allure suivante :</p>  <p>Figure 2: diagramme de phase de l'eau pure, Source :(Abelé, 2009)</p> <p>La pression de vapeur saturante p_{sat} s'exprime généralement en pascal et ne dépend que de la température. Le tableau 1 en annexe présente quelques valeurs montrant l'évolution de la pression de vapeur saturante en fonction de la température.</p>
Humidité relative	<p>L'humidité relative, notée ϕ. Il s'agit du rapport entre l'humidité absolue et sa valeur à la saturation à la même température :</p> $\phi = 100 \cdot \frac{v}{v_{sat}} \text{ (\%)}$ <p>Il s'agit également du rapport entre la pression partielle de vapeur d'eau et la pression saturante :</p>

	<p>L'humidité relative</p> <ul style="list-style-type: none"> - la quantité de vapeur contenue à - la quantité contenue à saturation  <p>Figure 3: Définition de l'humidité relative, Source: (Abelé, 2009)</p> $\varphi = 100 \cdot \frac{p_v}{p_{sat}} (\%)$ <p>Cette grandeur est également fréquemment notée HR (Humidité Relative).</p>
<p>Pression totale</p>	<p>Dans un mélange de gaz parfaits, la pression totale p est la somme des pressions partielles des constituants du mélange (relation de Dalton). En considérant l'air humide comme mélange d'air sec et de la vapeur d'eau, et en supposant que ces deux gaz suivent le comportement d'un gaz parfait, on peut écrire que la pression totale de l'air humide est la somme de la pression partielle de la vapeur d'eau (p_v) et de la pression partielle de l'air sec (p_a) :</p> $p = p_a + p_v$

II.3.2. Les facteurs influents sur le confort hygrométrique

Le confort hygrométrique qu'il est lié à l'humidité relative, qu'elle a des facteurs influents qui peut provoquer par des facteurs qui peut l'augmenter sont :

II.3.2.1. Les facteurs liés à l'individu : l'activité du corps humain (la respiration)

La quantité de vapeur d'eau produite par les fonctions métaboliques des occupants comme la respiration et la transpiration correspond en moyenne à environ 0,2 litre d'eau par heure, soit 5 litres par personne et par jour (Quirouette, 1984).

II.3.2.2. Les facteurs liés à l'environnement

Le confort hygrométrique se différencie en des conditions (**la température** de l'air ; la sensation de chaleur, lorsque le niveau d'humidité est élevé, la sensation d'humidité de la peau augmente également avec la température ambiante, **l'humidité relative, la vitesse de l'air**)

II.3.2.3. Les facteurs liés au bâtiment

Un mauvais dimensionnement des parois (choix des matériaux, du système constructif) peut conduire à des pertes de performance due à une présence anormale d'humidité dans la paroi. Il importe donc de prévoir à longue échéance la performance hygrométrique des composants des bâtiments dans le but d'évaluer, par exemple, la durabilité, l'efficacité énergétique et les effets de la réhabilitation. Et en compte ces facteurs les parois, la terrasse, le type d'isolation, hygroscopicité des matériaux.

II.3.3.L'humidité relative confortable (diagramme de Givoni)

Ce diagramme résume la variation de température avec l'humidité relative qui crée des plages du confort varié avec les ordonnées et les abscisses (hygrométrie et la température) qui peut permettre de définir des stratégies pour le bâtiment (la ventilation, l'inertie ...etc.) et donc simplifié les problèmes liés au bénéfices du confort hygrométrique et alors les problèmes de la fixation d'un confort hygrothermique meilleur.

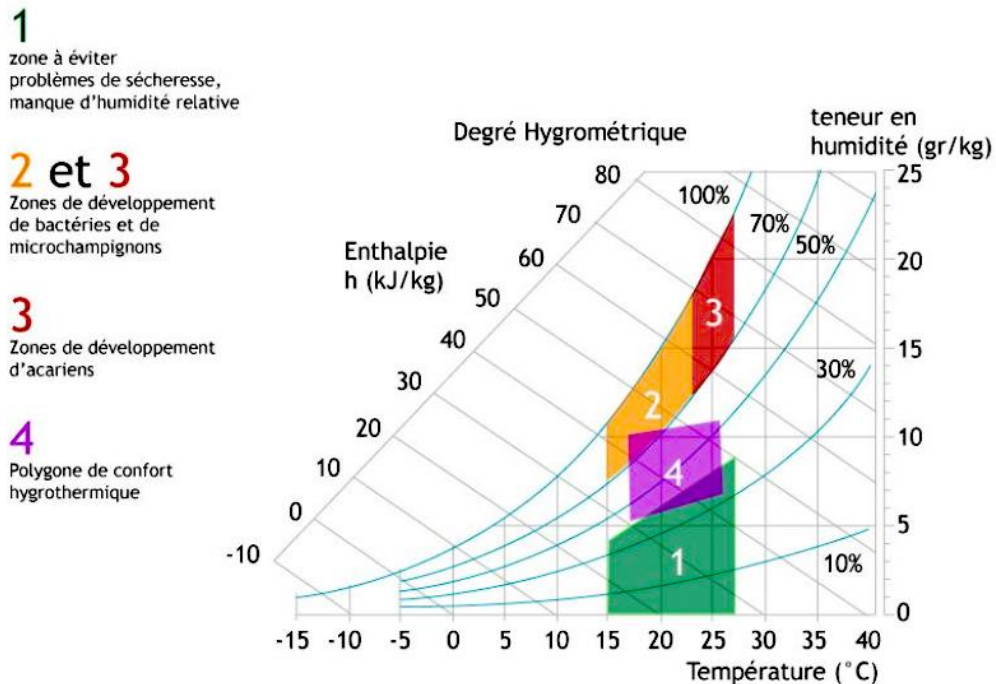


Figure 4: plages du confort humidité-température, Source: <http://ecoconstruction.rpn.univ-lorraine.fr/> (consulté le 23/05/2021)

A partir de ce diagramme on peut constater que plus la température est élevée plus la teneur en humidité de l'air s'augmente et l'inverse.

II.3.4. Les sources d'humidité

D'après (Baret, 2007) il existe quatre sources d'humidité dans le bâtiment sont :

Sources externes exceptionnelles ou accidentelles :

- L'inondation par débordement d'un cours d'eau (fig. 5 page 12),
- La rupture d'une canalisation de la voirie (fig. 6,a page 12),
- Les remontées des nappes phréatiques (fig. 6,b page 12).

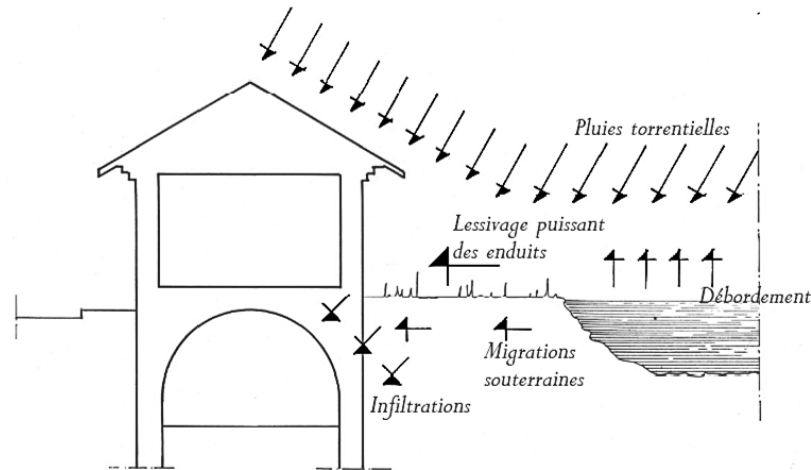


Figure 5: Débordement d'un cours d'eau, Source: (Baret, 2007)

Sources externes constantes ou naturelles

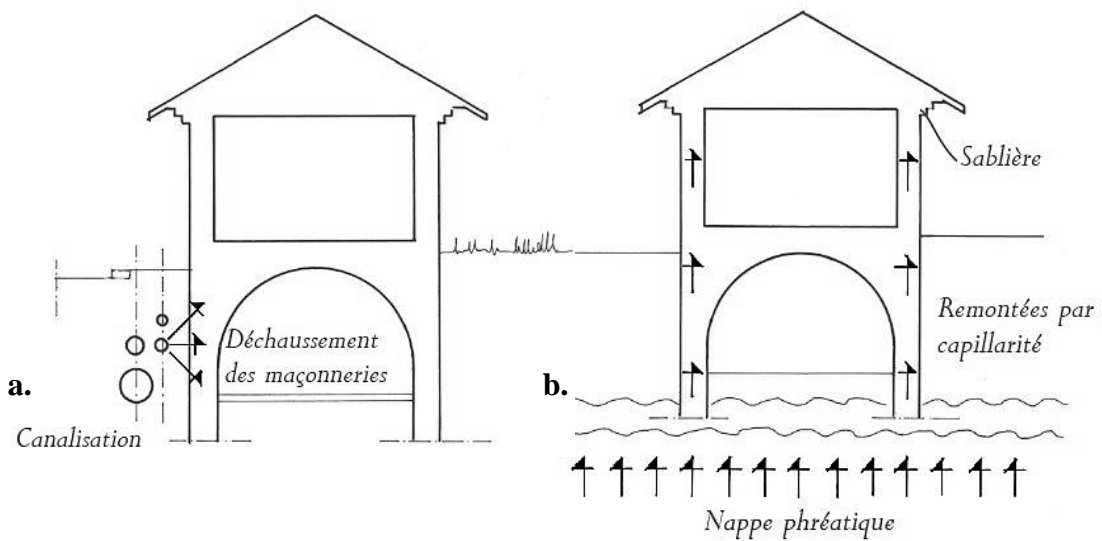


Figure 6: a. Rupture d'une canalisation, b. Remontée de la nappe phréatique, Source: (Baret, 2007)

– Les remontées capillaires :

- Une ventilation insuffisante, qui empêche l'humidité d'évacuer correctement,
- La pression hydrostatique, où l'eau s'infiltré latéralement dans les murs de

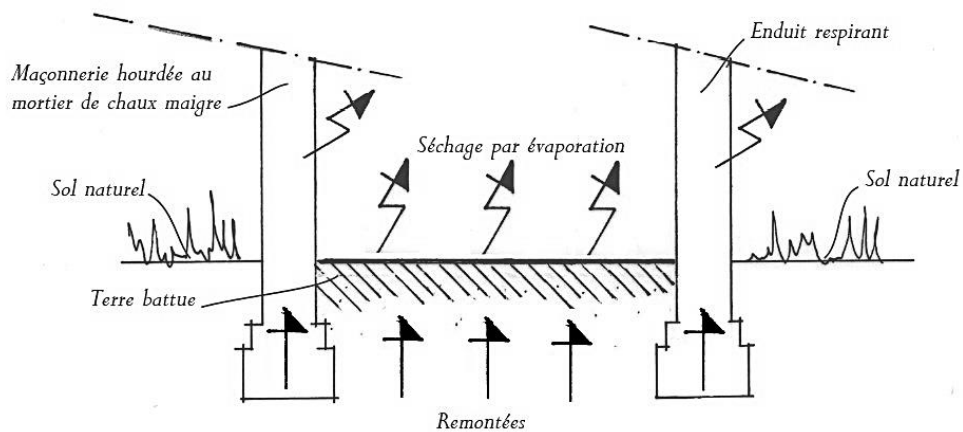


Figure 7: Evaporation des remontées capillaires dans le bâtiment, Source: (Baret, 2007)
fondation sous l'effet de la pression du sol.

- Le mauvais drainage des sols,

Les remontées capillaires, où l'eau s'infiltré dans les fondations en remontant dans les capillarités présentes dans les murs.

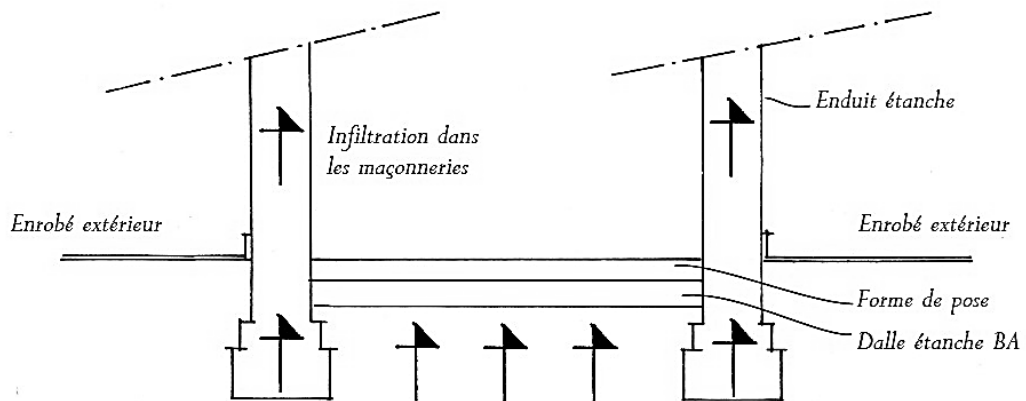


Figure 8: Emprisonnement des remontées capillaires dans les maçonneries, Source: (Baret, 2007)

Remarque :

80% des problèmes d'humidité proviennent d'une mauvaise gestion des eaux de ruissellement de surface et des eaux souterraines.

- Le rejaillissement des eaux de pluie,

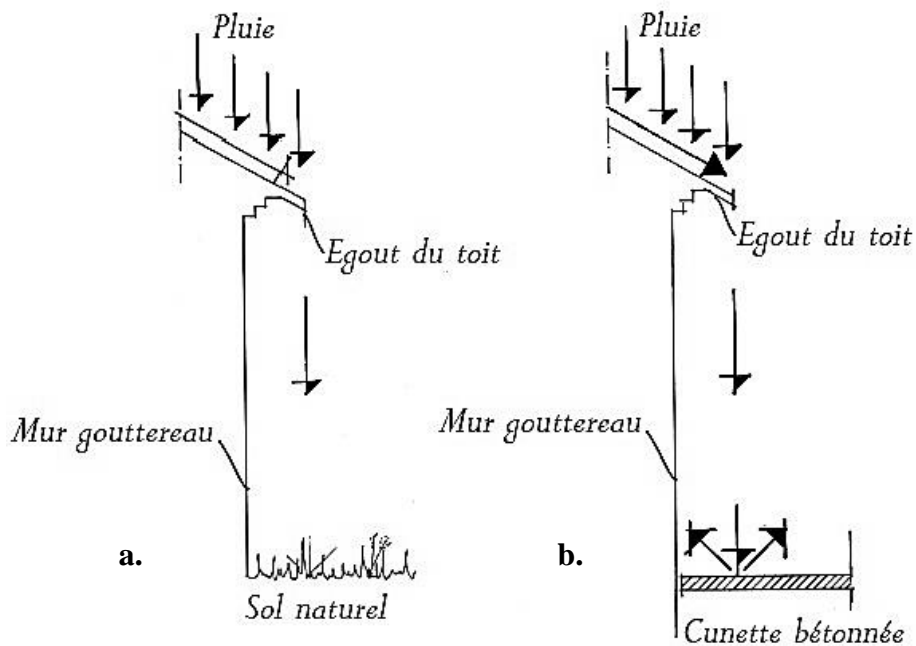


Figure 9: a. Rejaillissement sur sol naturel, b. Rejaillissement sur sol bétonné, Source: (Baret, 2007)

- Pénétration par la façade ou le toit,

Sources internes exceptionnelles ou accidentelles :

- La rupture des réseaux,
- La rupture des équipements.

Sources internes constantes ou naturelles :

- La vapeur d'eau domestique,
- La condensation,
- Le système de chauffage.

II.3.5.L'humidité et ses nuisances :

Comme il existe des isolations spécialement faite pour lutter contre l'humidité donc elle a des méfaits que ce soit sur la santé d'être vivant ou bien sur la construction elle-même dans les points suivants en vas la cité :

II.3.5.1. Effet de l'humidité sur les constructions

Les méfaits liés à l'humidité peuvent être observés de manière plus ou moins dramatique dans de nombreuses parties de bâtiment. Ce sont généralement des signes de désordres structurelles plus importantes, en particulier la zone de contact entre les différents éléments de la construction et celles entre des matériaux de natures différentes qui sont mises à nu.

Par effet de chaine, toute dégradation d'un élément se répercutera sur les éléments voisins. Le désordre bénin initial peut éventuellement avoir des conséquences catastrophiques. L'humidité menace la bonne conservation des structures et des matériaux de construction. Elle se manifeste par une variété de menaces : saleté, perte de revêtement, écrasement du plâtre, gonflement et gauchissement du bois, etc.

D'autre part, elle peut diminuer le confort par :

- La diminution de l'isolation thermique lorsque les murs ne sont pas suffisamment secs,
- La corrosion des aciers qui se réfère à la condensation de vapeur et qui peut éclater les matériaux enrobant l'acier (fig, 10),

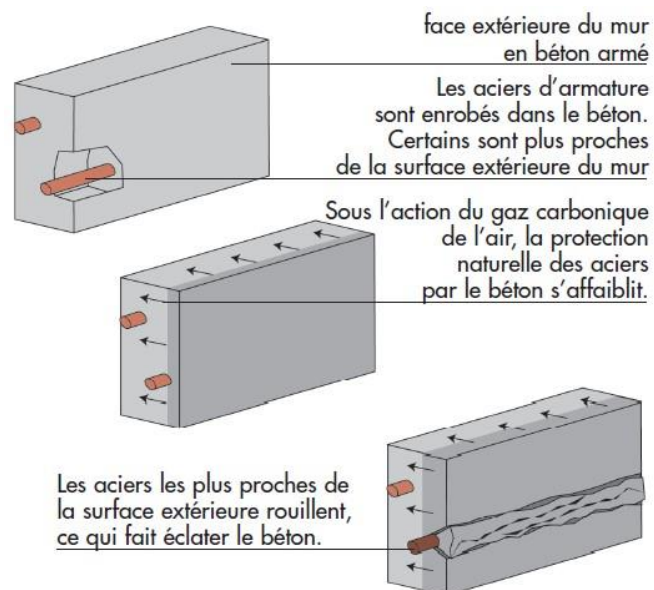


Figure 10: Corrosion des aciers, Source: (Potier, 2004)

- La dégradation des enduits et peinture,
- Le développement de moisissures et de champignons à l'intérieur du bâtiment,



Figure 11: Moisissures et champignons sur les murs et le plafond, Source: a. www.linternaute.fr, b. www.humidite-expert.fr (consulté le 04/05/2021)

- L'efflorescence qui se traduit en générale par des traces blanchâtres dont les conséquences de limitent au seul impact visuel,



Figure 12: Taches blanchâtre, Source: a. legault-dubois.ca b. fr.wikipedia.org (consulté le 04/05/2021)

- Les taches de bistres,
- Le pourrissement des structures en bois,



Figure 13: Pourrissement d'un plafond en bois, Source: bebexperts.com (consulté le 04/05/2021)

- L'éclatement des matériaux.

Alors que l'humidité a des influences sur le confort thermique, visuel et olfactif, ce qui signifie que le confort hygrométrique aussi s'influe sur le confort global.

II.3.5.2. L'effet de l'humidité sur la santé de l'homme

Une humidité trop élevée ou trop basse nuira à la santé et au confort des personnes. Une faible humidité relative peut provoquer une sécheresse de la peau et des muqueuses. Une humidité entrainer une sécheresse et une irritation de la gorge et d'autres zones sensibles. Une humidité relative élevée empêche un refroidissement par évaporation efficace du corps pendant l'exposition à des températures élevées. Cela peut entrainer un épuisement dû à la chaleur ou un coup d'été. Outre les effets directs d'une humidité trop faible ou trop élevée sur les occupants des bâtiments, l'humidité a un autre effet, complexe mais néanmoins décisif, sur la santé, par le biais d'interactions avec des agents pathogènes biologiques et des substances chimiques nocives souvent présents dans l'air des bâtiments et dispersés ou renforcés par les équipements de ventilation, d'humidification et de conditionnement d'air. Les effets de l'humidité (dans une fourchette de température normale de 19°C à 27°C) sont examinés pour trois groupes de facteurs :

- Les contaminants biologiques, notamment les bactéries, les virus, les champignons et les acariens,
- Les pathogènes causant des problèmes respiratoires, y compris les infections respiratoires, la rhinite allergique, l'asthme et la pneumonie d'hypersensibilité,
- Les interactions chimiques, y compris la production d'ozone.

II.3.6. Les manifestations et les causes de l'humidité

Chaque manifestation (conséquence) a des causes :

Tableau 2: Les manifestations de l'humidité et ses causes, Source: (Tomasini, 2010)

Manifestation	Causes
Le papier peint se décolle	Infiltrations autour des huisseries ou dans les murs de façade, ou condensation
La peinture s'écaille ou s'effrite en sous-sol	Infiltrations, ruissellement des eaux de pluie, remontées capillaires, condensation (dans les buanderies)
L'enduit du plafond éclate ou se fissure	Infiltration provenant de l'étage supérieur, de la terrasse ou de tuiles fendues, ou condensation
Formation de moisissure sur les joints de carrelage de la salle de bains, dans les penderies	Condensation, éclaboussures, aération insuffisante
Apparition de la mûre sur divers supports	Forte humidité due à de la condensation, des éclaboussures, ruissellements, infiltrations, inondations, etc.
Formation de taches	Dégât des eaux, infiltration, fuites sur des canalisations de plomberie, condensation

Formation de salpêtre sur les murs de la cave ou du rez-de-chaussée	Remontée capillaires, infiltrations consécutives aux eaux de ruissellement ou à la mauvaise évacuation des eaux pluviales
Ouverture de fissures	Infiltration, porosité de l'enduit de façade, mouvement du terrain
Formation de rouille	Exposition extérieure, humidité
Déformation des huisseries	Infiltrations, écoulements, condensation
Gonflement de bois	Infiltration, condensation
Fendillement des pièces en bois	Variations hygrométrique
Eclatement de lames de parquet	Condensation, fuites, mauvais collage, absence de joint de dilatation
Moisissure sur la charpente	Fuites dans la toiture, condensation en absence de ventilation ou de freine-vapeur

II.3.7. Le transfert d'humidité à travers les parois

Trois phénomènes principaux de transfert d'humidité sont mis en jeu, suivant l'humidité relative ambiante. Ils sont présentés en (fig. 14) puis expliqués individuellement dans chaque partie qui leur est consacrée.

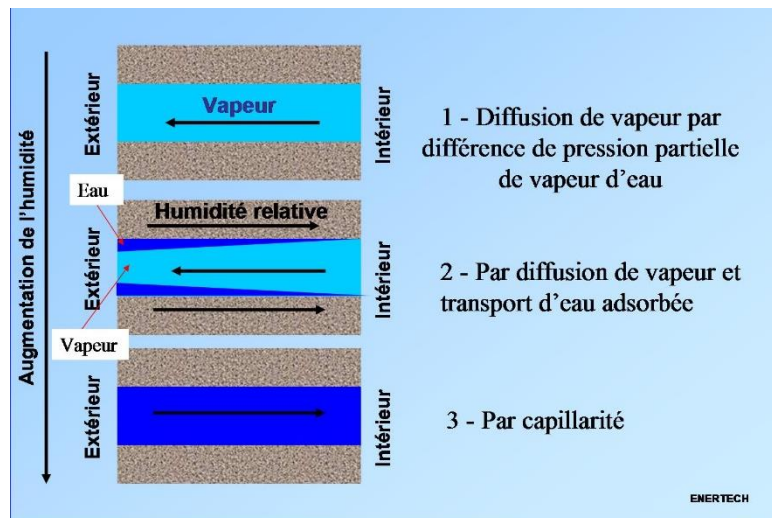


Figure 14: Les principaux phénomènes de transfert d'humidité, Source: (Clément, 2011)

Diffusion de vapeur :

Sous l'effet d'un gradient de pression partielle de vapeur (p_v), la vapeur d'eau se diffuse des endroits à pression élevée vers les endroits à faible pression suivant l'équation :

$$g_v = -\frac{\delta}{\mu} \nabla p_v$$

Où $\delta = 2,10 - 7 \frac{T^{0,81}}{p_0}$ kg/m.s.Pa est le coefficient de diffusion dans l'air et μ est le coefficient de résistance à la diffusion de vapeur du matériau g_v est le flux de vapeur par unité de temps et de surface en kg/m².s.

Diffusion de surface :

Tous les matériaux hygroscopiques contiennent une certaine quantité d'eau (dans un état indéfini entre gaz et liquide) adsorbée sur la surface de leurs pores, formant ainsi un film d'eau. Si l'épaisseur de ce film est suffisante (à partir d'humidités relatives de l'ordre de 60%), le film devient mobile et de l'eau migre vers les endroits où le film fin (fig. 15). L'épaisseur du film dépend de l'humidité relative du matériau. Cette migration d'eau liquide s'effectue des zones à forte humidité relative vers les zones à faible humidité relative, suivant l'équation :

$$g_{w_{surface}} = -D_{w_{surface}} \nabla \phi$$

Où $D_{w_{surface}}$ est le coefficient de diffusion de surface et $g_{w_{surface}}$ est le flux d'eau par unité de temps et de surface. En général les phénomènes de diffusion de vapeur et diffusion de surface sont de sens opposé.

Capillarité :

A des humidités relatives élevées (autour de 80%), des capillaires du matériau peuvent se remplir d'eau. Une conduction capillaire se met alors en place. Ce phénomène est relié à la tension capillaire, elle-même dépendante de l'humidité relative.

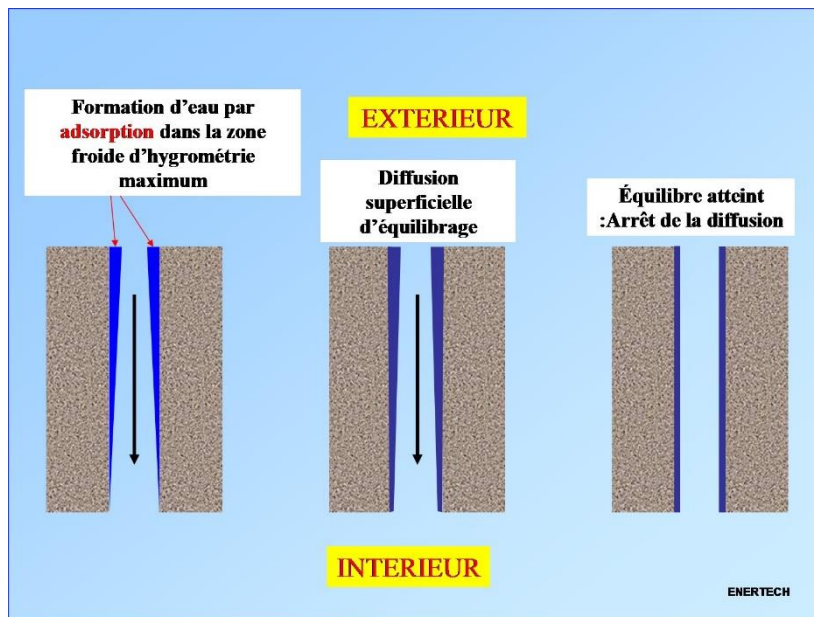


Figure 15: Les trois phénomènes de diffusion de vapeur, Source: (Clément, 2011)

Elle peut être modélisée par une équation de diffusion comme suit :

$$g_{w_{surface}} = -D_{w_{capillarité}} \nabla \phi$$

Où $D_{w_{capillarité}}$ est le coefficient de diffusion capillaire, et $g_{w_{capillarité}}$ est le flux d'eau par unité de temps et de surface. Les transferts par capillarité ont lieu dans le même sens que les transferts par diffusion de surface, si bien que les deux termes sont en général regroupés en une seule sous forme :

$$g_w = -D_{ww} \nabla \phi$$

Où D_{ww} est le coefficient de transfert d'eau liquide (dépendant en général de la teneur en eau, w) et g_{ww} le flux d'eau liquide transféré par unité de temps et de surface.

II.3.8. Les appareils de mesure d'humidité

La mesure de l'humidité de l'air ou d'un matériau s'effectue toujours indirectement, c'est-à-dire soit l'on enregistre les réactions ou les variations des propriétés physiques d'un matériau hygroscopique lorsqu'il absorbe ou rejette de l'eau, soit que l'on utilise les conséquences d'un dépassement du point de rosée, il existe donc différentes classes d'appareils de mesure de l'humidité en fonction du principe de mesure prévu (Iselt et al., 1997).

L'hygromètre à mèche de cheveu ou à fibre synthétique

C'est un hygromètre organique utilisé depuis longtemps pour la mesure mécanique de l'humidité ambiante. Pour obtenir une précision de mesure de l'humidité relative de l'ordre de $\pm 5\%$ -et encore sur une plage de mesure réduite pour laquelle on effectue le réglage- le faisceau de cheveux doit être régulièrement nettoyé et étalonné par un spécialiste. Les hygromètres à cheveux ont un temps de réponse de l'ordre de 20 min et peuvent être utilisés en télémesures. Outre les cheveux, on peut également utiliser comme fibres sensibles de la soie, du coton, de la cellulose et même des fibres synthétiques. L'erreur d'hystérésis se situe entre ± 2 à 5%, ce qui les hygromètres utilisant ces matériaux sont assez peu précis. Leur plage de mesure s'étend habituellement entre 30 et 90% (Iselt et al., 1997).



Figure 16: Hygromètre à mèche cheveu, Source: www.monmagasinegeneral.com (consulté le 22/05/2021)

Psychromètre :

Hygromètre utilisant le refroidissement par évaporation comme mesure de l'humidité. Un thermomètre sec est comparé à un thermomètre gainé d'une mèche humide, dans un air en mouvement. Les valeurs de température appariées peuvent être utilisées pour trouver l'humidité

à l'aide de tables ou par calcul (parfois calculées en interne et affichées directement par les psychromètres modernes)

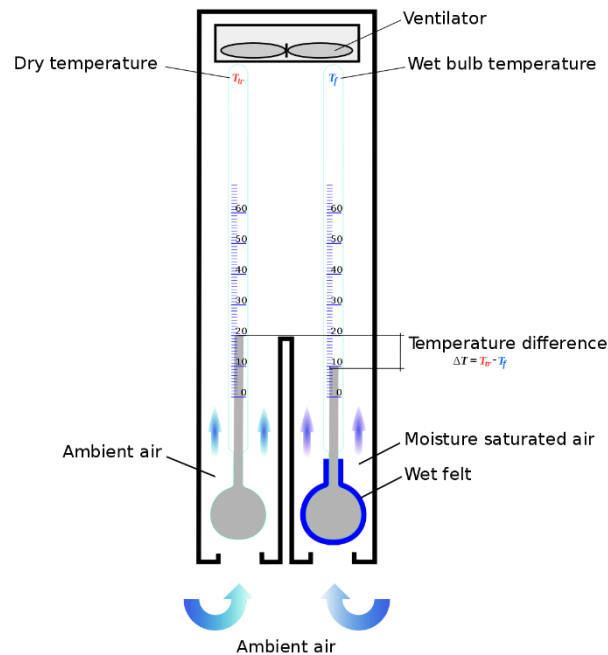


Figure 17: Schéma de principe de mesure d'humidité à travers le psychromètre, Source: www.wikiwand.com (consulté le 26/05/2021)

Hygromètre à point de rosée à miroir réfrigéré :

C'est un hygromètre basé sur un capteur électronique changeant de capacité électrique lorsqu'il absorbe de l'eau, capable de mesurer des traces de vapeur d'eau dans des gaz très secs. Les mesures sont souvent exprimées en unités de point de rosée (ou point de gel) –d'où le nom de l'instrument. Mais les lectures peuvent être affichées en d'autres termes.

Hygromètre à cellule hygroscopique :

Le chlorure de lithium, sel hygroscopique, absorbe avidement l'eau de l'air jusqu'à ce qu'il s'établisse un équilibre entre les tensions de vapeur de la solution et de l'air. La cellule se compose d'une gaine thermométrique contenant un thermomètre à résistance entouré d'une couche de laine de verre imprégnée de chlorure de lithium sur laquelle on a ligaturé deux fils d'argent en forme d'hélice. Une différence de potentiel appliquée entre les électrodes chauffe la solution vaporise l'eau jusqu'à la température de transformation T solution/sel à partir de laquelle la conductivité diminue ainsi qu'intensité de courant et température. Puis il y a à nouveau absorption de vapeur d'eau et conductivité et intensité de courant remontent. La température d'équilibre permet de déterminer la teneur en eau de l'air ainsi que son point de rosée. La température est donnée par un thermomètre à résistance. La tension ne doit pas être interrompue et il ne faut donc pas prévoir d'interrupteur en amont de l'appareil. Les résultats sont sonnés en °C de point de rosée ou en g/m^3 . Si on veut les donner en % d'humidité relative,

il faut utiliser un autre thermomètre pour la température T de l'air. La précision des mesures est de l'ordre de 2 à 3% (Recknagel et al., 1987)

Hygromètre électrolytique :

Il se compose d'une petite plaque de plastique revêtue d'une couche de substance hygroscopique dont la conductivité varie avec l'humidité relative. L'intensité du courant qui traverse deux électrodes enroulée en spirale mesure l'humidité relative.

L'échelle de mesure de ce type d'appareil est très traduite et sa précision, ne dépasse pas $\pm 3\%$. C'est un appareil qui fonctionnent sur piles (Recknagel et al., 1987). La figure représente un modèle d'hygromètre électrolytique.

Hygromètre capacitif :

Il fonctionne sur le principe de la variation du diélectrique d'un polymère sensible à l'humidité, un hygromètre capacitif se compose d'un substrat en céramique vitrifiée sur lequel on a déposé une couche d'un polymère et fixé deux électrodes. Les deux couches ainsi réalisées constituent un condensateur sensible à l'humidité, condensateur dont la variation de capacité permet de mesurer la variation d'humidité relative de l'air ambiant. Suivant le domaine d'utilisation prévu. On modifie plus ou moins la structure des couches. La variation de capacité du condensateur est convertie en signal analogique de tension. Les éléments de mesure ne demandent aucune maintenance (comme l'étalonnage par exemple), sont très fiables et leur temps de réponse est très réduit. Il peut être également utilisé lorsque l'humidité relative est inférieure à 30%. La figure représente un exemple d'hygromètre électronique a cellule capacitive (Iselt et al., 1997).

II.3.9. Les techniques de régulation de l'humidité

- L'utilisation des matériau de construction anti-humidité,
- L'amélioration des méthodes pour éviter la pénétration de l'humidité pendant la période de construction, et la sensibilisation aux effets de l'humidité,
- En cas de la condensation, éviter la vapeur d'eau exédentaire,
- Le chauffage, inutile de surchauffement, la température intérieur ne doit pas etre remarquable par rapport à l'extérieur,
- L'insatalation de la Ventilation Mécanique Controlée (VMC) et des déshumidificateurs,
- Proposition des isolants dans les zones froides,

- Les parois exposées à l'extérieur, avec un type de vitrage résiste plus aux conditions climatiques tels que le vitrage polycarbonate, auto-nettoyant, feuilleté... etc,
- Eviter le contact des fondations avec l'eau,
- Améliorer la ventilation naturelle,
- Implantation des plantes absorbantes de l'humidité tels que le romarin et la lavande,
- L'eau résulte de la condensation sera absorbée par la végétation (des parois),
- Le bon expositionnement aux rayons solaires,
- Evacuation des eaux pluviales avec pentes de dalle d'une façon qu'elles ne restent plus.

II.4. Conclusion

De ce chapitre, nous retenons que l'humidité est un risque pour la santé et la construction et ce risque à des sources qu'on peut diminuer avec le retour à des techniques tels que la création d'une façade végétalisée face à l'hygrométrie pour améliorer le confort hygrométrique et la qualité de l'air. La façade végétalisée servira à dépressuriser l'atmosphère, absorber l'eau produit par l'humidité et isoler la construction pour lutter contre l'hygrométrie. La façade dynamique quant à elle est utile pour bien isoler le bâtiment et assurer une ventilation naturelle qui peut diminuer l'augmentation du taux d'humidité relative, l'usage des matériaux hygroscopiques tels que le liège qui est un bon isolant naturel, écologique et local qui peut atteindre le confort global.

**Les façades
confrontées à
l'hygrométrie**

III . CHAPITRE II : Les façades confrontées à l'hygrométrie :

III.1. Introduction :

La façade est la peau exposée aux conditions climatiques extérieure, c'est l'obstacle qui préserve le confort et la sécurité intérieurs contre les inconvénients de l'extérieur.

D'après (Tucker, 2014) la fonction de l'enveloppe et de la façade est de garder l'intérieur confortable et à l'abri de l'environnement extérieur : régulation de la température, prévention du bruit, de la lumière solaire excessive, de la pollution et d'autres facteurs environnementaux, en plus de maintenir la chaleur interne et le confort visuel. La façade fournit également une continuité visuelle avec l'environnement.

De nos jours, les concepteurs sont tenus d'intégrer la végétation dans les bâtiments parce que l'homme revient toujours à sa nature. De plus, les bénéfices qu'elle ajoute aux propriétés du bâtiment sont innombrables.

Dans ce présent chapitre, nous allons présenter les nouvelles façades qui ont un impact sur le contrôle et l'amélioration du confort hygrométrique dans le bâtiment. Il s'organise en deux parties :

- La première est consacré à la façade végétalisée,
- La deuxième est dédiée à la dynamisme des façades.

III.2. Façade végétalisée :

III.2.1. Définition et historique :

'Mur végétalisé', 'mur vivant', 'cloison végétale', ou encore 'jardin vertical', tous ces concepts sont des synonymes qui indiquent la façade végétalisée.

D'après (Bouattour and Alain, 2009) « *Le mur végétal est une paroi qui s'élève parallèlement aux murs du bâtiment à protéger. Selon son orientation et sa composition, le mur vert servira à la fois d'écran contre les vents dominants, les intempéries, le bruit, l'ensoleillement mais également la pollution. Ils peuvent servir de refuge ou de garde-manger pour les oiseaux, les invertébrés ou les mammifères, mais ils semblent également pouvoir jouer un rôle en matière de microclimat et de qualité de l'air* ».

De l'avis de IQDHO, les murs végétaux sont très prisés en architecture et de plus en plus en design intérieur. A l'ère de l'agriculture urbaine, leur popularité n'est pas seulement pour des raisons esthétiques, mais aussi pour des raisons environnementales. Pour les passionnés de jardinage, un nouveau domaine est à conquérir : les surfaces verticales.

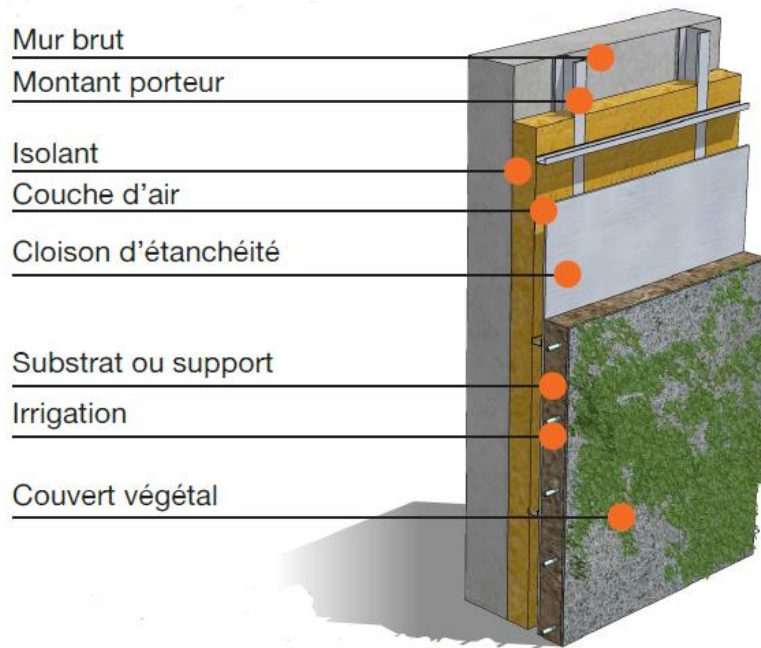


Figure 18: structure type d'un mur végétalisé, source : www.biodiversiteetbati.fr/, consulté le 03/05/2021

On distingue que le mur végétalisé fait le rôle d'esthétique et en même temps contribuer dans **les deux échelles microclimat et biodiversité**.

L'auteur (Bonte, 2010) a déclaré que les premiers murs végétalisés furent créés il y a une vingtaine d'années, par Patrick Blanc, chercheur au CRNS. Il s'est inspiré de la façon dont les plantes colonisent des surfaces. C'est en cherchant à reproduire ce phénomène naturel qu'il a mis au point cette technique de culture.

On peut résumer le protocole expérimental de Blanc dans le schémas suivant :

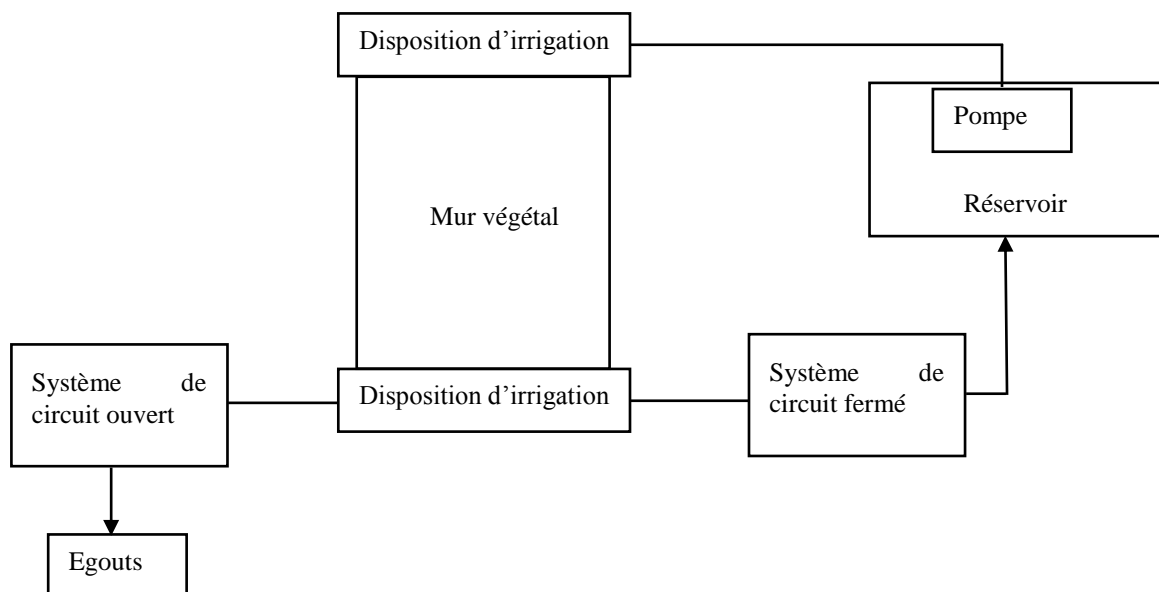


Figure 19: schéma explicatif de l'expérience de P. Blanc, source : auteur

Cette expérience était le premier pas dont le but de la réalisation d'un mur végétalisé et permet aux plantes de vivre dans un milieu crée et enracinent dans le substrat et se développe de façon aérienne et oblique.

III.2.2. Les différentes formes que peuvent prendre une façade végétalisée :

Le terme général 'mur vert', en anglais green wall, fait référence aux façades végétalisées. On distingue les façades vertes, qui sont enracinées sur le sol et sont directement ou indirectement liées à la façade, et les Living Wall Systems (LWS) ou 'mur végétaux', ancrés dans la façade.

III.2.2.1. Les murs grimpants :

Ce système est basé sur l'utilisation de plantes grimpantes, on distingue trois types de murs qui varient selon les divers modes d'attachement des plantes avec le mur.

Selon l'article de (Perini et al., 2011) le premier type attaché directement à la surface du bâtiment (Figure 20.a), comme dans l'architecture traditionnelle, ou soutenues par des câbles ou des treillis (Figure 20.b). Dans le premier cas, les plantes grimpantes plantées à la base du bâtiment permettent d'obtenir une végétalisation de façade peu couteuse, mais avec des implications possibles sur les travaux à effectuer, étant donné que certaines plantes grimpantes

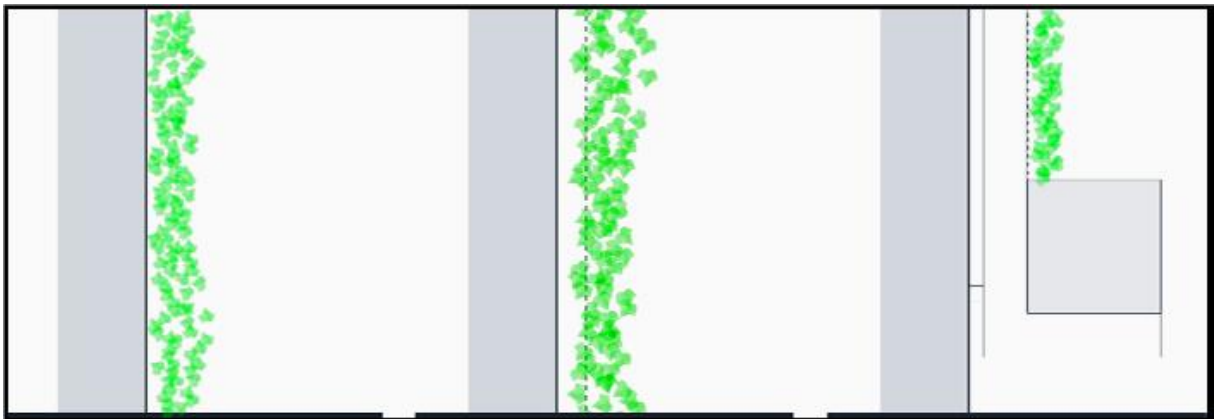


Figure 20: les trois système généraux de mur grimpant, **a.** Système de verdissement direct, **b.** Système de verdissement indirect, **c.** Système de verdissement indirect avec bacs de plantation, source: (Perini et al., 2011)

peuvent atteindre 5 ou 6m de haut, d'autres autour de 10m et certaines espèces à au moins 25m.

Les systèmes de végétalisation indirecte peuvent être combinés avec des bacs à plantes à différentes hauteurs de la façade (Figure 20.c). Dans ce cas, le système nécessite, si l'espace d'enracinement n'est pas suffisant, des nutriments et un système d'arrosage. Si des nutriments et un système d'arrosage sont nécessaires, le système peut être considéré comme un système de mur vivant.

III.2.2.2. Les murs vivants :

Les systèmes de murs vivants, également connus sous le nom de murs verts et de jardins verticaux, sont construits à partir de panneaux modulaires, dont chacun contient son propre sol ou d'autres milieux de culture artificiels, comme par exemple la mousse, le feutre, la perlite et la laine minérale (Perini et al., 2011).

D'après (Loh, 2008) les murs vivants peuvent être internes ou externes à l'enveloppe du bâtiment et peuvent être globalement classés en trois systèmes :

- Système de panneaux : qui comprend normalement des panneaux pré-plantés qui sont apportés sur place et connecté au système structurel et à un système d'arrosage mécanique (figure 21.a).
- Système de feutre : où les plantes sont insérées dans des poches en feutre de substret de culture et attachées à un support étanche qui est ensuite connecté à la substrat derrière. Le feuter est conservé en performance humidifier avec de l'eau contenant des nutriments végétaux (figure 21.b).
- Système de conteneurs et / ou de treillis : où les plantes cultivées dans des conteneurs grimpent sur des treillis. Les lignes d'égouttement d'irrigation sont généralement utilisées dans les conteneurs de plantes pour contrôler l'arrosage et l'alimentation (figure 21.c).

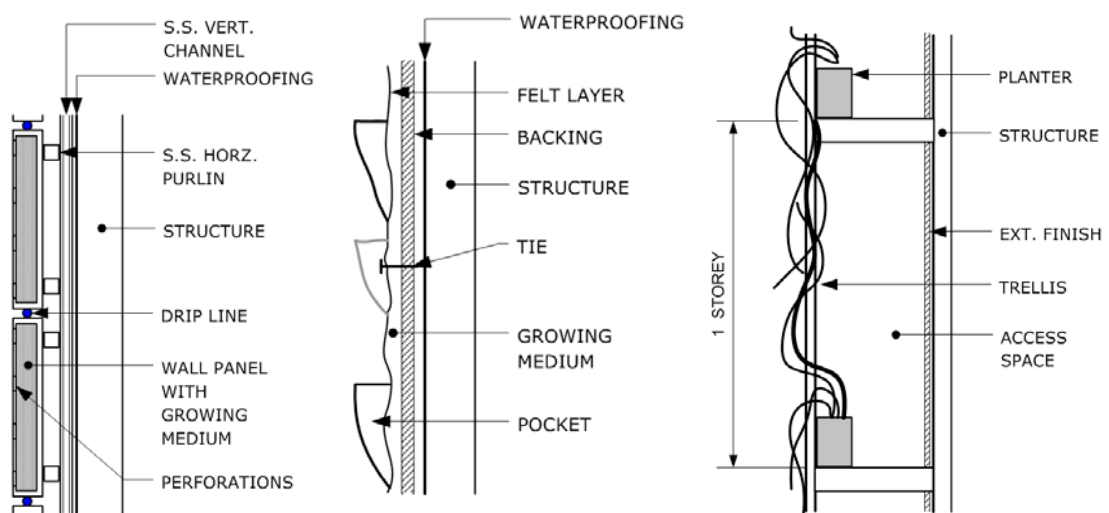










Figure 21: Les trois systèmes généraux de mur vivant, a. Système de panneaux, b. Système de feutre, c. Système de conteneurs, source: (Loh, 2008)

III.2.3. Les différentes propriétés et critères de choix des plantes :

Tableau 3: les plantes locales, source : auteur

Nom	Famille	Fiche d'identité											Utilité	Image	
		Couleur des fleurs	Couleur des feuilles	Végétation	Feuillage	Forme	Hauteur à maturité	Type de sol	Besoin en eau	Entretien	Plantation	Floraison			Exposition
Arbousier (arbre aux fraises)	Des éricacées	Blanches/ roses	Vert foncé	Vivace	Persistant	Buissonnant ouvert ou divergeant	2 à 10m	Sol argileux, calcaire, sableux, caillouteux Humus	Faible	Facile	Mars, avril, sept, oct	Oct, nov, déc	Soleil, mi-ombre	Alimentaire Médicinale Aromatique	 Figure 22: Arbousier, source : https://jardinage.lemonde.fr , consulté le : 02/04/2021
Aubépine à un seul carpelle	Des rosacées	Blanches	Vert foncé	Vivace	Semi-persistant, caduc	Buissonnant arrondi, en boule ou ovale, élançé ou colonnaire	2 à 10m	Sol argileux, calcaire	Faible	Facile	Mars, avril, oct, nov, déc	Avril, mai, juin	Soleil, mi-ombre	Médicinale	 Figure 23: Aubépine, source : https://www.gralon.net/ , consulté le : 02/04/2021
Laurier	Des apocynacées	Roses	Vert foncé	Vivace	Persistant	Buissonnat	0.60 à 5m	Sol argileux, calcaire, sableux, caillouteux Humus	Moyen	Facile	Avril, oct	Juin, juillet, aout, sep, oct	Soleil	Médicinale Aromatique	 Figure 24: Laurier, source : https://aujardin.info/ , consulté le : 02/04/2021
Inule visqueuse	Décomposé	Jaunes	Vert foncé	Vivace	Caduc	buissonnant	0.45 à 1m	Sol argileux, calcaire, sableux, caillouteux Humus	Faible	Facile	Mars, avril, mai, juin, sept, oct	Aout, sept, oct, nov	soleil	Médicinale Décorative	 Figure 25: Inule visqueuse, source : https://jardinage.ooreka.fr/ , consulté le : 02/04/2021
Pavot coquelicot	Les papavéracées	Orange	Argenté, vert pale, vert foncé	Vivace annuelle	Semi-persistant, caduc		0.15 à 1.5m	Sol calcaire, sableux, caillouteux Humus	Moyen	Facile	Mars, avril, mai, juin, juillet, sept, oct	Avril, mai, juin, juillet	Soleil	Médicinale Décorative	 Figure 26: Pavot coquelicot, source : https://www.plantes.ca/ , consulté le : 02/04/2021
Le lierre	Araliacées	Jaune/vert	Vert foncé	Vivace	Persistant		1 à 10m et plus	Sol argileux, calcaire, caillouteux Humus	Moyen à vaporiser	Facile	Mars, avril, oct, nov	Oct, nov	Soleil, mi-ombre, ombre		 Figure 27: le lierre, source : https://www.jardinature.net , consulté le : 02/04/2021
Le lavande	Lamiacées	Violet	Vert pale	Vivace	Persistant	Buissonnant, arrondi, en boule ou ovale	0.30 à 1.5m	Sol calcaire, sableux, caillouteux, humus, terreau	Faible	Facile	Avril, mai, juin, sept, oct	Avril, mai, juin, juillet, aout, sept	soleil	Médicinale	 Figure 28: le lavande, source : https://www.leaderplant.com/ , consulté le : 02/04/2021
Le romarin	Lamiacées	Blanche, rose et bleu	Vert foncé	Vivace	Persistant	Etalé ou tapissant, buissonnant	0 à 1.5m	Sol calcaire, caillouteux, humus, terreau	Faible	Facile	Mars, avril, mai, juin	Toute l'année	Soleil	Médicinale	 Figure 29: le romarin, source : https://aujardin.info/ , consulté le : 02/04/2021

III.2.4. Mise en œuvre :

D'après le livre de (Bouattour and Alain, 2009), ils ont dit que les murs végétalisés peuvent être aménagés tant à l'extérieur qu'à l'intérieur de bâtiment, avec ou sans source artificielle de lumière. L'auteur aborde trois différents principes de la mise en œuvre qui sont :

III.2.4.1. Principe de la végétation d'une façade :

Ce principe est basé sur l'absence d'intervention humaine, en présence d'air propre et d'une humidité suffisante de l'air, la croissance de mur végétal a besoin d'un type de bactéries.

Dans le cas où le mur reste sec, ou en atmosphère plus sèche, il peut également être colonisé par des plantes grimpantes (lierre, vigne vierge en climat tempéré).

III.2.4.2. Principe du mur végétal sur nappe horticole :

Le support est imperméabilisé par une bâche comme celle que l'on utilise pour les bassins et l'irrigation est assurée via une pompe immergée dans la réserve située en bas.

C'est dans celle-ci que reviennent les eaux de ruissellement après leur trajet sur le mur.

III.2.4.3. Principe du mur végétal monobloc :

Ce procédé repose sur un assemblage de cellules en maillage d'acier galvanisé, remplies d'un substrat stable et léger composé d'un mélange de matières organiques et minérales.

Ces cellules sont de plus ou moins grande taille fixées sur une structure métallique. L'épaisseur de la structure du mur végétal peut aller de 5 à 8cm environ. Le mur végétalisé se distingue par son caractère autoportant et sa conception monobloc. L'absence de rupture dans le remplissage de substrat permet une meilleure répartition de l'eau et évite les ponts thermiques et phoniques.

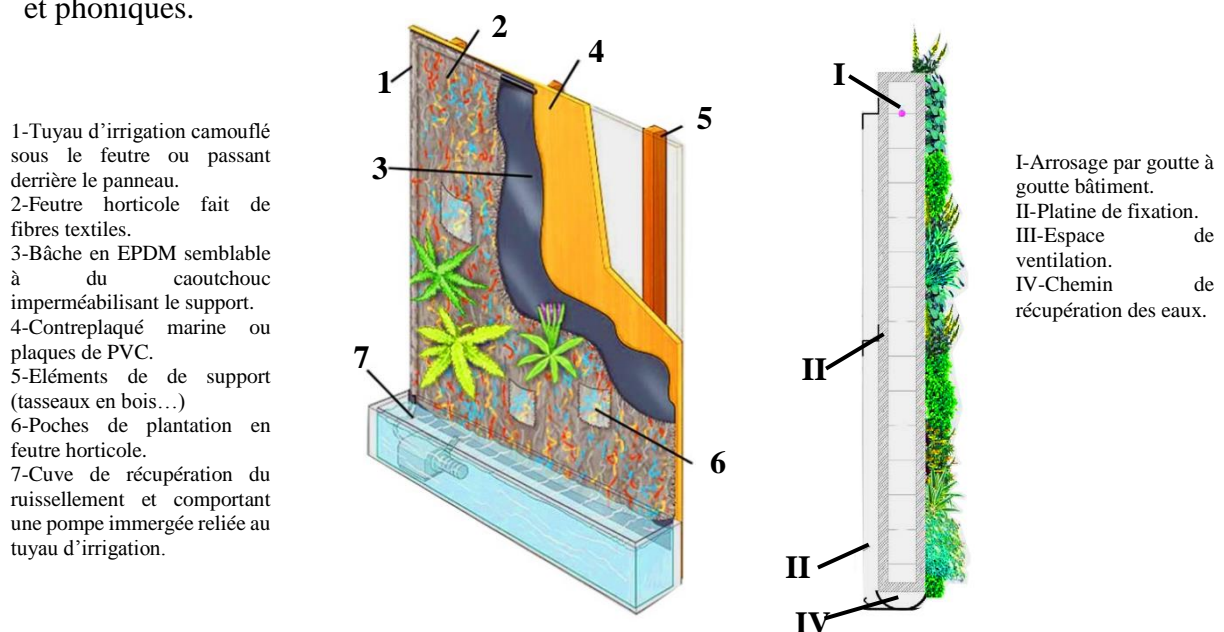


Figure 30: Les différents principes de la mise en œuvre, a. Composition d'un mur végétal sur nappe horticole, b. Principe du mur végétal monobloc, source : (Bouattour and Alain, 2009)

III.2.5. Système d'arrosage des façades végétalisées :

L'irrigation est le processus d'approvisionnement des plantes avec ses besoins en eau pour sa croissance. Dans les zones urbaines, en particulier dans les bâtiments, très difficiles d'utiliser l'irrigation manuelle donc on utilise des systèmes d'arrosage intégrés. (Site : <https://neogarden-mursvegetaux.com/> , consulté le :08/03/2021).

Le mur végétal demande beaucoup de soin, le système d'arrosage employé devra être adéquat pour que le tableau végétal conserve ses couleurs durant toute l'année.

On distingue trois types de kit d'irrigation :

III.2.5.1. Circuit fermé :

C'est le système avec bac, les pompes sont alors immergées dans le réservoir. Un système de filtration est alors indispensable pour éviter que le circuit ne se bouche à cause des déchets végétaux. Les programmeurs commandent la durée et la fréquence de fonctionnement des pompes. Il s'agit aussi du système le plus écologique.

III.2.5.2. Circuit semi-fermé avec remplissage automatique :

Au bac de rétention, on ajoute une possibilité de remplissage automatique et une évacuation de secours.

III.2.5.3. Circuit ouvert :

On branche la ligne d'arrosage du mur végétal directement sur un robinet en passant par une centrale d'irrigation. Elle se sert de la pression du circuit d'eau (entre 3 et 6 bars) pour arroser le mur végétal. Des électrovannes commandent l'ouverture du circuit à intervalle de temps régulier. Une pompe doseuse prélève dans un contenant à part la quantité d'engrais utile au mur végétal et l'injecte directement dans l'eau d'arrosage.

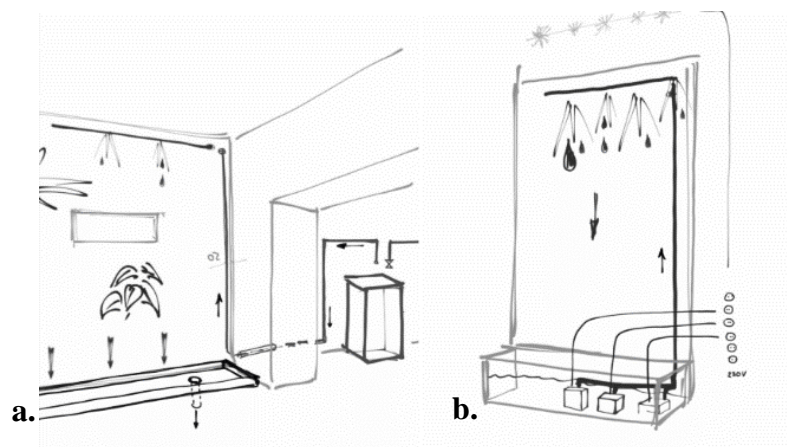


Figure 31: les types d'arrosage, a. Circuit ouvert, b. Circuit fermé, source : <https://neogarden-mursvegetaux.com/> , consulté le : 08/03/2021

Les deux systèmes, ouvert ou fermé, ont leurs avantages et leurs inconvénients. Ils ne s'intègrent pas au sein des mêmes projets.

Tableau 4: comparaison entre les deux circuits, source : auteur

	Circuit ouvert	Circuit fermé
La taille	Réservé aux projets de taille significative (plus de 3m d'auteur)	Pour les murs végétaux de petite superficie
La consommation	3L à 5L d'eau/jour/m ²	1L d'eau/jour/m ²
Installation	Une arrivée d'eau et une évacuation doivent être prévues	Pas d'évacuation, pas d'arrivée d'eau

– Alors, système d'irrigation ouvert ou fermé ?

Le choix entre les deux types de circuit se fait en fonction des particularités du projet. Lorsque l'on dépasse certaines dimensions, le circuit ouvert devient plus intéressant.

- Mur végétal de plus de 3-4m de haut = circuit ouvert
- Mur végétal de plus de 10m² = circuit ouvert
- Mur végétal sans arrivée d'eau/sans évacuation = circuit fermé

III.2.6. Les bénéfices de la végétation des façades :

III.2.6.1. Environnementaux :

– La régulation de la température :

Il est bien connu que les villes sont plus chaudes que les espaces ruraux environnants, en particulier la nuit. Toute scène urbaine, avec son bâti, sa voirie, sa végétation, ses plans d'eau éventuels, est un lieu d'échange de rayonnement.

D'après (Bernier, 2011a) les espaces verts sont des îlots de fraîcheur, alors que les surfaces imperméables foncées causent l'effet d'îlot de chaleur urbain. Ce phénomène est caractérisé par des températures urbaines estivales de 5 à 10°C supérieures à celles du milieu environnant.

Les toits verts, qui sont exposés à la lumière du soleil tout au long de la journée, agissent sur l'effet d'îlot de chaleur directement à la surface, alors que les murs végétaux contribuent plutôt à réduire l'effet d'îlot de chaleur atmosphérique.

Selon (Saudreau et al., 2015) la capacité des plantes d'interception du rayonnement solaire dépend des propriétés radiatives des feuilles et de leur agencement dans l'espace. Pour une feuille, plus de 80% du rayonnement solaire qui participe à la photosynthèse est intercepté. Les 20% restants sont transmis vers le sol ou réfléchis vers l'atmosphère.

D'après (Sheweka and Mohamed, 2012) dans l'expérience «Bioshader» menée à l'université de Brighton, ils ont mesuré la transmittance solaire du feuillage dans un bureau, les

résultats ont montré que dans le cas d'un feuillage monocouche, la transmittance est 0.43, par contre dans le cas de cinq couche, la valeur tombe à 0.14, correspondant à une réduction du rayonnement solaire traverse 37% pour une couche, jusqu'à 86% avec cinq couche de feuilles.

L'ombre est donc probablement l'avantage le plus évident de la végétation. En raison de l'ombre naturelle de la végétation, contribuer à économiser l'énergie végétalisée des façades en bâtiment. L'ampleur de cet effet dépend de la densité du feuillage. Le lierre est l'espèce qui fournit l'effet de refroidissement maximal, comparable à l'effet des arbres d'ombrage.

- La qualité de l'air :

L'effet de serre est un phénomène naturel provoquant une élévation de la température à la surface de notre planète. Lors de la photosynthèse, les plantes utilisent le dioxyde de carbone (un gaz à effet de serre) contenu dans l'air, ainsi que l'eau et les nutriments contenus dans le sol (site : <http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-future/> , consulté le : 05/04/2021).

D'après (Mestayer and Brunet, 2015) les plantes jouent un rôle épurateur vis-à-vis de l'air car elles sont capables de capter un certain nombre de polluants gazeux, par absorption dans les stomates et adsorption par la cuticule des feuilles. Les stomates sont fermés la nuit et ouverts le jour, en fonction principalement de l'ensoleillement mais aussi de la température et de l'humidité de l'air et du sol.

Des études montrent généralement des effets positifs de la végétation à la qualité de l'air en réduisant les concentrations de contaminants chimiques. Cependant les évaluations quantitatives de (Nowak et al., 2006) pour 55 villes américaines montrent que si les diminutions de concentration peuvent atteindre parfois, momentanément, jusqu'à 16% pour O₃ et SO₂, 9% pour NO₂ et 8% pour les particules (PM), elles sont en règle générale au mieux de 1 à 4%, et en moyenne nettement inférieure à 1% pour les polluants réglementés (0.03% pour CO).

Donc le verdissement urbain fonctionne sur le filtre à l'air du dioxyde de carbone émis par les véhicules, les industries et diverses activités humaines. Ce qui améliore la qualité de l'air.

- La gestion des eaux pluviales :

D'après (Dunnnett and Kingsbury, 2008) le milieu urbain a toutefois une forte proportion de surface imperméabilisées qui ne laissent pas pénétrer l'eau de pluie. Alors qu'on estime cette proportion à 10% en milieu rural, elle atteint de 71% à 95% en zones commerciales et industrielles.

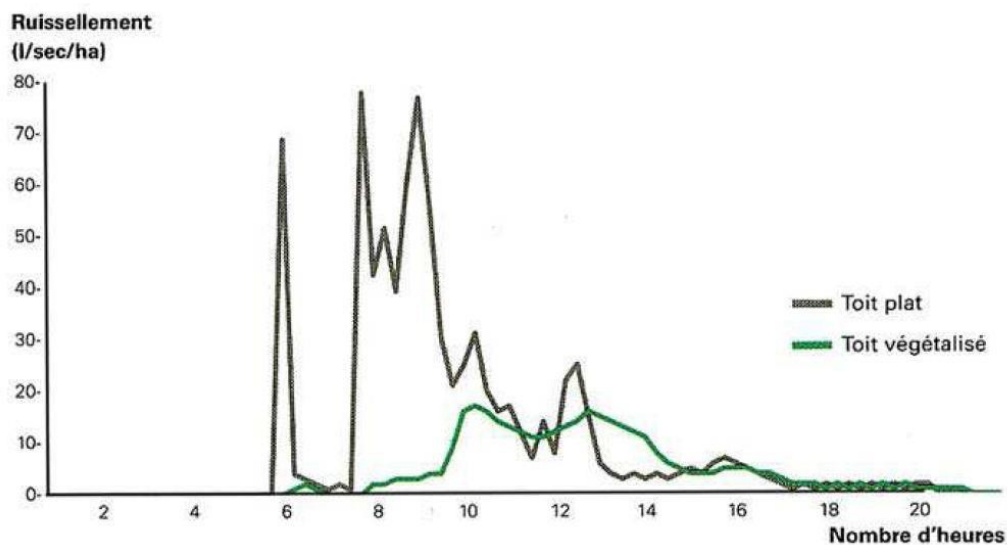


Figure 32: Ruissellement sur un toit plat conventionnel et un toit végétalisé extensif sur une période de 22h, source: (d'Azur, 2009)

Les façades végétales peuvent aussi diminuer le ruissellement, mais elles ont un impact moins important que les toits verts quant à l'absorption de l'eau de pluie. Les toitures représentent une surface importante d'une ville (entre 15 et 35%). Les toitures végétalisées jouent un grand rôle dans la diminution de problème d'engorgement des réseaux d'assainissement, et ce parce qu'elles réduisent la part des surfaces imperméables d'une parcelle, et qu'elles sont dotées d'une forte capacité de rétention des eaux de pluie. Comme exemple dans la ville de Nice un orage peut déverser entre 50 et 100L d'eau en quelques heures, en moyenne 29jr/an, on estime en moyenne que 1m² d'un système drainant de 8cm avec une porosité de 40% peut stocker 30L d'eaux pluviales (valeur pouvant varier selon la pente du toit, le type de substrat, les conditions climatiques). (d'Azur, 2009).

– La qualité de l'eau :

En plus de retarder et diminuer le ruissellement, les surfaces végétalisées améliorent la qualité de l'eau. L'eau, lorsqu'elle parvient au système de traitement, puis aux cours d'eau ou à la nappe phréatique, présente alors une meilleure qualité et diminue la contamination des eaux.

D'après (Bass and Baskaran, 2001) les métaux lourds tels que le cadmium, le cuivre, le plomb et le zinc peuvent être liés dans le substrat, jusqu'à 95%. Les surfaces végétalisées peuvent agir comme des filtres naturels pour toutes eau qui s'écoule. Des échantillons de ruissellement obtenus à partir d'un système de toiture expérimental en Allemagne ont indiqué que les principales sources de pollution par ruissellement du toit provenaient de sources locales

(par exemple les HAP² des systèmes de chauffage), de la dissolution des composants métalliques sur le toit et de la pollution atmosphérique ambiante. Des métaux tels que le cadmium, le cuivre, le plomb et le zinc ont été extraits des eaux de pluie par les jardins sur les toits.

– Qualité de l'espace :

Selon (McLennan, 2004) la vue sur un mur végétalisé ou sur un toit vert améliore la qualité visuelle de l'espace aménagé comme le fait d'une vue sur un paysage naturel. L'objectif de designer et construire des bâtiments est de créer un habitat pour les humains. Un des principes du design durable est l'honorer la vitalité humaine à travers la diversité des individus et de redonner aux humains le contrôle de leur confort personnel et de leurs environnements. Le souci du bien-être psychologique et spirituel passe par une architecture humaine à l'échelle appropriée.

Selon (Bernier, 2011b) la végétalisation augmente la valeur des propriétés résidentielles et les hôtels louent plus cher une chambre avec une vue sur des aménagements de toits verts, c'est donc qu'elle représente une valeur ajoutée.

– La biodiversité :

Selon (Bernier, 2011b) les façades végétales ne sont pas des habitats naturels, mais elles peuvent servir de corridors écologiques qui contribuent à la dispersion des espèces animales et végétales entre les jardins, les parcs. Elle a également mentionné que la diversité des plantes a un impact sur la faune, plus la diversité de plantes est importante, plus la faune qui s'y établira sera variée. Les murs et les toits verts extensifs non accessibles sont un excellent habitat pour la microfaune et les oiseaux qui y sont protégés.

III.2.6.2. A l'échelle du bâtiment :

– L'isolation thermique et la consommation d'énergie :

Selon (Bernier, 2011b) le rôle de l'isolation est de limiter l'échange de chaleur entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment, phénomène qui est fonction de la différence entre les températures intérieure et extérieure. En été, l'isolation diminue le transfert de chaleur vers l'intérieur, tandis qu'en hiver, elle diminue le transfert de chaleur vers l'extérieur. Les propriétés isolantes sont maximisées avec la présence d'un substrat de croissance ayant une faible densité, une bonne humidité et des plantes ayant un indice de surface foliaire élevé (plus les feuilles sont grandes, plus l'isolation est efficace). La végétalisation agit de plusieurs façons comme isolant.

² HAP : Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques.

- L'air contenu dans le substrat de croissance et de la masse de plantes agit comme isolant. En hiver, les feuilles tombées et le substrat gelé diminuent les propriétés isolantes de beaucoup.
- Le simple fait de couvrir la surface du bâtiment est d'y créer de l'ombre est en soi une façon de refroidir le bâtiment en été et de limiter la perte de chaleur interne en hiver.
- Le vent diminuant l'efficacité énergétique d'un bâtiment, une couche de végétaux agit comme un tampon qui empêche le vent de circuler directement le long des parois du bâtiment. En hiver, le tiers de la demande de chauffage est attribuée au vent qui refroidit les murs extérieurs.

D'après l'essai de (Djedjig, 2013) quelle fait sur l'investigation expérimentale des effets thermiques de la végétalisation sur les bâtiments et leur environnement microclimatique urbain.

La figure 08 permet de comparer la température mesurée sur la façade de référence et sur la façade végétalisée pour une journée typique d'été. Tandis que la température de la façade de référence RefF commence à augmenter avec la température de l'air dès 9h, la température de la surface extérieure du substrat n'augmente significativement qu'à partir de 15h quand la façade est directement exposée au rayonnement solaire. Ce comportement est dû, premièrement, aux inter-réflexions qui sont réduites par la façade végétale et deuxièmement au fait que l'évapotranspiration dépend différemment de la température et de l'éclairement.

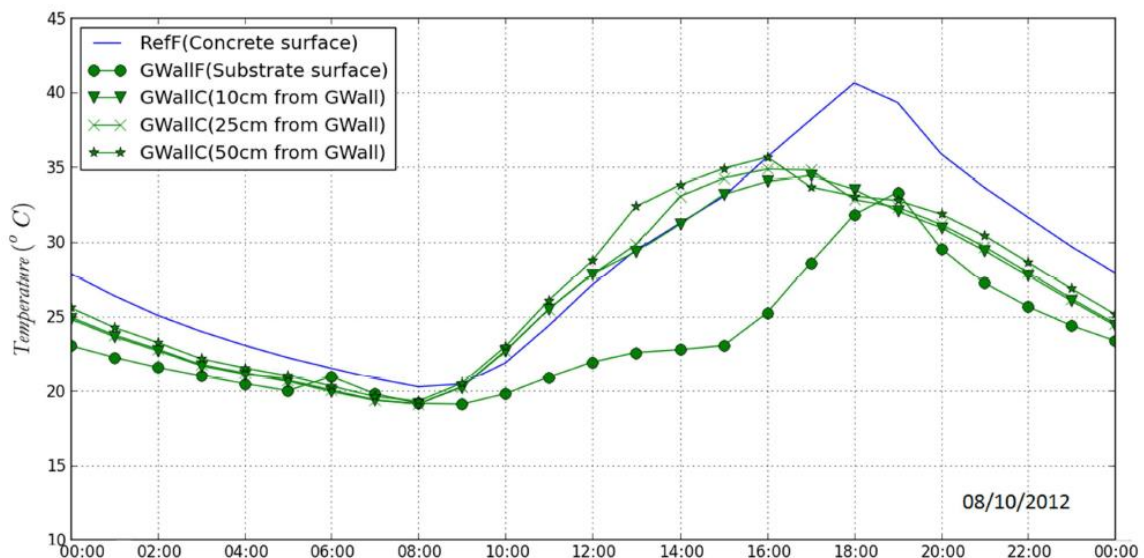


Figure 33: comparaison de la température de surface pour la façade de référence et pour la surface extérieure du substrat et températures d'air mesurées à 10, 25 et 50cm de la façade végétale, source : (Djedjig, 2013)

D'après (Bernier, 2011b) qui est dit aussi que le potentiel d'économie d'énergie grâce à la végétalisation du bâtiment dépend de plusieurs facteurs : la situation particulière du bâtiment, le climat, les matériaux et le design de la végétation, l'isolation autre que par végétalisation,

l'épaisseur du substrat, les sources d'énergie utilisées pour le chauffage et la climatisation, les types de plantes utilisées, etc.

– Isolation phonique :

D'après (Peck et al., 1999) le bruit constant de la ville est un facteur de stress psychologique. Les surfaces dures réfléchissent le bruit plus qu'elles ne l'absorbent, le sol, les plantes et l'air contenu entre les plantes et la surface du bâtiment permettent une isolation sonore. Le substrat tend à bloquer les basses fréquences, tandis que les plantes bloquent les plus hautes fréquences. L'atténuation du bruit dépend donc de la profondeur du substrat. Un toit vert dont le substrat a 12cm d'épaisseur, peut réduire le son jusqu'à 40 décibels (Bernier, 2011b).

– Protection de l'enveloppe du bâtiment :

La végétalisation protège l'enveloppe du bâtiment des rayons solaires ultra-violet, des températures élevées et des fluctuations journalières de température. Ces facteurs de stress pour la membrane peuvent causer sa désagrégation, son délaminage, des fissures et même des ruptures (Dunnett and Kingsbury, 2008).

III.3. La façade dynamique :

III.3.1. Définition :

D'après (Ogwezi et al., 2011) ce type de façades est définis comme des interfaces qui sont dynamiquement adaptables au moyen de pièces mobiles. Ces pièces peuvent être commandées au moyen d'une centrale de contrôle qui analyse les informations des capteurs dans l'enveloppe du bâtiment. Ces capteurs peuvent détecter les niveaux de lumière, les niveaux de température, la vitesse du vent et la qualité de l'air, à partir desquels les données sont analysées en maintenant la réaction appropriée.

Pour plus de précision et d'après (El Sheikh, 2011) ont peut résumer la réaction de la façade dynamique selon le schéma suivant :

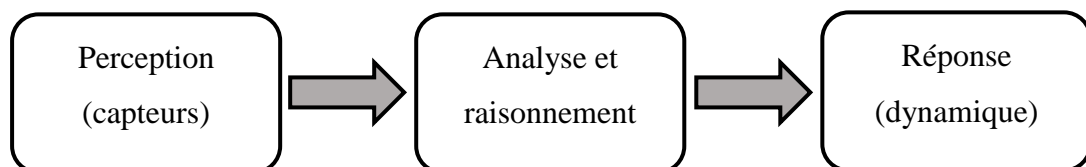
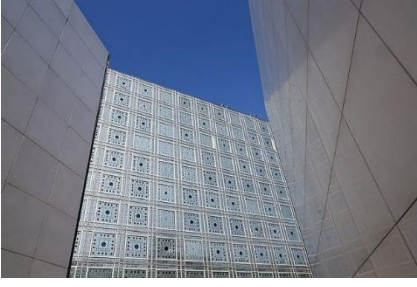
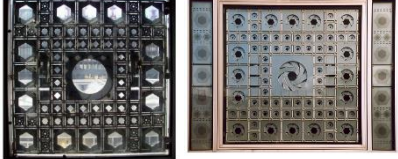
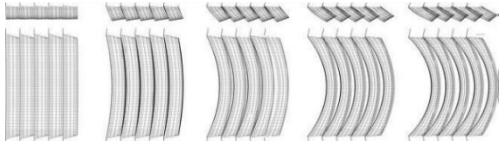


Figure 34: schéma : l'idée de base des interfaces dynamiques et sa réponse aux variables environnementales, source : (El Sheikh, 2011) après investigation de (mouhamed.M.K.S.A.A.A.A, 2019)

III.3.2. Type de façade dynamique :

Les façades dynamiques peuvent être équipées de mécanismes de contrôle et d'automatisation plus ou moins complexes et avec des degrés variables d'interaction avec ceux qui se trouvent à l'intérieur du bâtiment.

Tableau 5: les types de dynamisme et son exemple, source : auteur

Le type	Définition	Exemple d'application	Analyse d'exemple
Façade dynamique contrôlée de l'intérieur du bâtiment	Ce type de façade dynamique est le plus simple, car elle n'est pas équipée de capteurs ou d'autres mécanismes automatiques. Ceux qui se trouvent à l'intérieur du bâtiment peuvent contrôler et ajuster le mouvement de la façade en fonction de leurs besoins.	 <p>Figure 35: Kiefer Technic Showroom, Steiermark, Autriche, Source: https://www.architonic.com/, consulté le: 04/05/2021</p>	L'interface est exploitée à travers les commandes électronique à l'intérieur du bâtiment, qui peut être contrôlée individuellement pour chacune des 45 unités de façade. On pense que le type d'intelligence, utilisable n'incluait pas les systèmes réactifs, mais arrêtez la volonté des occupants du bâtiment.
Façade dynamique de projection de la lumière	ce genre de façade ne bouge vraiment pas, mais crée une illusion de mouvement optique. Il se compose de deux couches d'aluminium extrudé: les profilés de la couche extérieure sont droits, tandis que ceux de la couche interne sont coudés.	 <p>Figure 36: la Centercity Gallery à Cheonan, Corée du sud, Source : https://www.researchgate.net/, consulté le : 04/05/2021</p>	La stratégie du bâtiment consiste à créer une illusion d'optique. Les façades se composent de deux couches de profilés de d'extrusion en aluminium personnalisés sur la couche arrière du revêtement en aluminium composé. Les profils verticaux de la couche supérieure sont droits, mais ceux de la couche arrière sont inclinés. Il en résulte une apparence de vague, qui change avec la vue du spectateur.
Façade dynamique de contrôle de la lumière		 <p>Figure 37: Institution du monde arabe, Paris, source: https://archello.com/, consulté le: 07/05/2021</p>  <p>Figure 38: l'unité mobile moucharabieh sur ses différentes images, source: (Edupuganti, 2013)</p>	D'après (Edupuganti, 2013) la façade sud est composée de tôles en aluminium, former un moucharabieh placé entre les couches de verre pour le protéger, et ces moucharabieh sont composés de 240 réseaux sous-grilles (figure 37). Il contient 30000 cellules photosensible aux lumières sur 1600 éléments, fonctionnent sur le principe d'un objectif de caméra et sont contrôlés par ordinateur central, selon la qualité de la lumière à l'intérieur du bâtiment, les unités sont progressivement ouvertes ou fermées.
Façade dynamique automatique		 <p>Figure 39: l'unité mobile moucharabieh sur ses différentes images, source : (2019, محمد)</p>  <p>Figure 40: Tours d'Al Bahar, source: https://lewebpedagogique.com/, consulté le : 07/05/2021</p>	le système d'ombrage moucharabieh des tours a été développé par l'équipe de conception informatique de Aedas. A l'aide d'une description paramétrique de la géométrie des panneaux de façade actionnés, l'équipe a pu simuler leur fonctionnement en réponse à l'exposition au soleil et au changement des angles d'incidence au cours des différents jours de l'année. La nuit, ils se plient tous, donc vous verrez plus de façade. Alors que le soleil se lève le matin vers l'est, le moucharabieh le long du côté est du bâtiment commence à se fermer, et lorsque le soleil se déplace autour du bâtiment, toute cette bande verticale de moucharabieh se déplace avec le soleil.
Façade dynamique sensible au vent		 <p>Figure 41: Comment la façade répond aux variables environnementales, source :(2019, محمد)</p>  <p>Figure 42: Pavillon thématique One Océan, source : https://structurae.net/en/, consulté le : 07/05/2021</p>	La façade se compose de 108 panneaux mobiles en matériau en fibre de verre 140m de longueur, et d'une hauteur varie entre 3 et 13m, en haut et bas des panneaux il y a des moteurs appliquent une pression sur les panneaux pour permettre la lumière et la ventilation d'entrer dans le bâtiment et de gérer les vents au cours des différentes saisons.

III.3.3. Types de mouvement de la façade :

Parmi ceux qui s'intéressent à la question du dynamisme architectural, en particulier au niveau de la façade on trouve (Schumacher et al., 2010) et (Moloney, 2011). Selon (Schumacher et al., 2010) le mouvement est défini comme « *résultant du passage d'une position stationnaire à une nouvelle position stationnaire* »

Ils identifient deux grandes familles de mouvements de plans, soit la translation et la rotation, qui forment les différentes typologies de mouvement.

– Coulissant :

Dans la figure 44 l'architecte vise à l'occultation et à la conservation, l'utilisation de la couverture totale en mouvement dans la "sliding house" vise à l'exposition, à la conservation et à la protection.

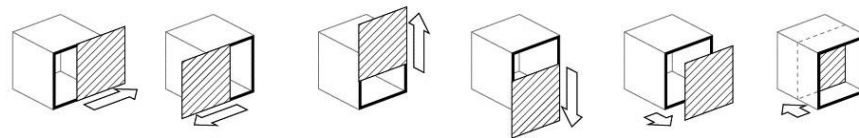


Figure 43: typologie de mouvement de plans coulissant, source: (Schumacher et al., 2010)



Figure 44: a. House in Oderbruch, Allemande, b. Sliding House Suffolk, Reaume-Uni, source : <https://www.pinterest.ca> , consulté le: 03/05/2021

– Pivotant :

La figure 46 représente des projets qui cherche à créer une occultation pour avoir un espace conservé à la réflexion.

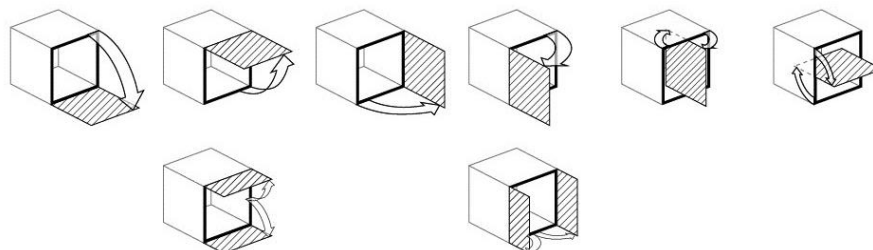


Figure 45: typologie de mouvement de plans pivotant, source: (Schumacher et al., 2010)



Figure 46: a. False Bay Cabin, San Juan, Island, b. Tucker House, Victoria, Australia, source: <https://www.pinterest.ca>, consulté le: 03/05/2021

– pliant :

Les projets ci-dessus (fig.47) vise à l'occultation, l'ouverture et à l'intimité.

Le choix du mouvement de l'interface a un impact significatif sur le confort des occupants, et ce mouvement offre une touche esthétique spéciale dans l'interface de construction qui le rend remarquable.

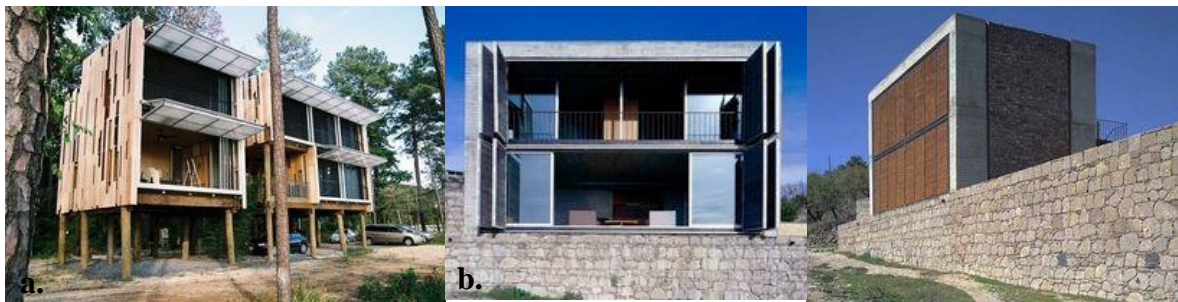


Figure 47: a. Loblolly House Taylors, Island, b. B2 House, Canakkale, Turquie, source: <https://www.pinterest.ca>, consulté le: 03/05/2021

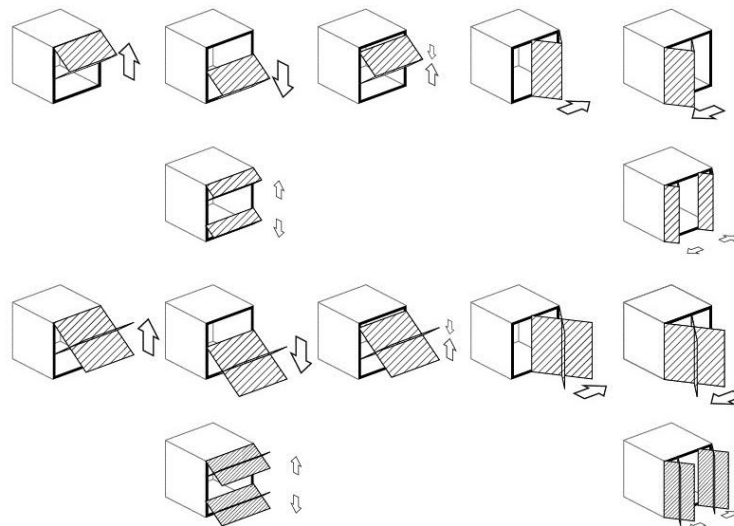


Figure 48: typologie de mouvement de plan pliant, source : (Schumacher et al., 2010)

III.3.4. Types de contrôle des systèmes adaptatifs :

Selon (Loonen et al., 2013) l'efficacité de contrôle est un élément clé pour la réussite de l'opération des Climate Adaptive Building Shells (CABS), deux types de contrôle différents se distinguent dans l'analyse :

III.3.4.1. Le contrôle extrinsèque :

La qualité distinguée des enveloppes adaptatives avec un contrôle extrinsèque est la capacité de bénéficier de la rétroaction, car le feedback implique que les effets de la configuration actuelle (d'action) peuvent être comparés à l'état désiré (point de consigne), et si nécessaire le comportement de l'enveloppe du bâtiment peut être ajusté activement. La structure extrinsèque contrôlée se compose de trois éléments de base : des capteurs, des processeurs et des actionneurs (Teuffel, 2004).

Le comportement est en mesure de changer l'intention en action à deux différents niveaux :

- Distribué par l'intermédiaire de calcul intégré dans les processeurs locaux,
- Centralisé, entraîné par une unité de contrôle de surveillance pour atteindre des valeurs globales ciblées.

III.3.4.2. Le contrôle intrinsèque :

Les enveloppes adaptatives avec un contrôle intrinsèque se caractérisent par le fait que la capacité d'adaptation est une caractéristique inhérente des sous-systèmes comprenant l'enveloppe du bâtiment. Les CABS de ces types sont auto réglable, car le comportement adaptatif est automatiquement déclenché par des stimuli environnementaux tels que : la température, l'humidité relative, les précipitations, vitesse et direction du vent, le rayonnement solaire, la couverture nuageuse ou de niveau CO₂. Ce type de contrôle autonome est parfois aussi appelé « contrôle direct », car les impacts environnementaux sont directement transformés en actions dans composante de prise de décision externe (Fox and Yeh, 1999).

III.3.5. Quel type de système de contrôle ?

D'après (Ben Bacha, 2017) le type de système extérieurs de contrôle du soleil est un point important à étudier pour la plupart des bâtiments. La mise en œuvre d'un système de contrôle solaire mécanique doit être étudiée précisément en incluant une analyse de plusieurs éléments en rapport avec l'environnement particulier dans lequel le système sera placé :

- Géométrie solaire.
- Températures extrêmes.
- Niveaux d'éclairement.

- Humidité relative.
- Les habitudes de vent.
- La concentration de la poussière dans l'air.
- Matériaux du système.
- Mécanisme appropriés.

III.4. Conclusion :

Aujourd'hui la végétation des façades prend une place importante parmi les technologies contemporaines et offre des bénéfices dans le domaine de la construction. Il existe plusieurs formes de murs végétalisés qui varient selon les besoins esthétiques (au niveau des couleurs et des ambiances), enrichissent le bâtiment avec la protection de la faune et la flore (assurer la biodiversité), la gestion des eaux dans le bâtiment avec le système d'arrosage, éliminer l'empreinte Carbone avec des plantes absorbantes de CO₂ et augmenter le taux de O₂.

La façade dynamique est un système de contrôle qui s'adapte au microclimat. Elle a des types de mouvement et de contrôle qui créent des variations d'un bâtiment à un autre, et qui peut distinguer un bâtiment d'un autre.

Nous choisissons le lierre pour les zones ombrées et parce qu'il capte le CO₂ plus que les autres espèces, le romarin et le lavande pour les zones ensoleillées et ses fortes absorptions de l'humidité et ses bonnes odeurs comme ils peuvent servir dans le domaine médicinal, ses couleurs ambiantes.

Le principe de mise en œuvre des espèces serait sur nappe horticole pour aider le mur à être dynamique avec un mouvement pivotant pour que le dynamisme soit aisé.

Analyse et mesure

IV . Analyse et mesure

IV.1. Introduction :

Dans ce chapitre analytique on va aborder en premier lieu les exemples les plus adéquates et qui a un lien avec notre recherche tout en mettant l'accent sur les avantages de ces projets de ce qu'ils nous intéressent (l'effet de la végétation et la façade dynamique adaptable à l'humidité relative). Puis on va présenter notre cas, pour cela nous avons d'abord présenté la wilaya de Jijel, la commune d'El Emir Abdelkader (E.A.K) et par la suite notre cas d'étude (la ZEST de Tassoust). En troisième lieu, pour le travail sur site ; Nous avons essayé d'abord de décrire le protocole expérimental des mesures et après nous avons traité les résultats quantitatifs mesurés sur site. Nous interpréterons ces résultats (qui sont concrétisés par des graphes représentatifs) qu'on va représenter en trois scénarios différents, puis nous allons faire une comparaison entre les résultats de chaque scénario et par la suite nous allons choisir le meilleur cas qui sauvegarde le confort de l'être humain et le bâtiment au même temps.

IV.2. Analyse des exemples :

On a choisi deux exemples selon leur type de façade ; le premier s'agit d'un pavillon météorosensible à l'humidité qu'il a été développé en 2013 par des architectes chercheurs de l'université de l'Université ICD de Stuttgart en France, sa façade est en bois ce qui assure sa durabilité et son respect de l'environnement, alors qu'elle est écologique, et dynamique, sensible aux conditions climatiques. Le deuxième exemple s'agit d'un poumon de ville de Core à Singapore c'est l'hôtel de Downtown qui a été conçue en 2016 par le cabinet des architectes WOHA, sa façade végétalisée et ses toits végétaux créer son écologie et sa richesse en O₂.

IV.2.1. Analyse d'un exemple de la façade végétalisée (Oasia Downtown Hôtel) :

Fiche technique :

- Nom du projet :Oasia Downtown hotel
- Architectes : le cabinet d'architectes WOHA
- Début de la construction : 01 février 2012
- Terminé : avril 2016
- Surface de plancher brute : 19416 m²
- Superficie du terrain : 2311.4 m²
- Nombre d'étages : 27 étages

- Nombre de bureaux : 100 bureaux
- Nombre de chambres d'hôtel : 314 chambres d'hôtel. (224 hotel typique, 88 hotel club, 2 suites)



Figure 49: la façade principale d'Oasia hôtel downtown, source : <https://archello.com/fr/> (consulté le 28/06/2021)

Présentation du projet :

L'Oasia hôtel downtown est un hôtel de 27 étages et un gratte-ciel de bureaux situé dans le quartier Downtown cœur de Singapour, se distingue par un contraste visuel inoubliable, contre un arrière-plan typiquement urbain de béton, d'acier et de verre.



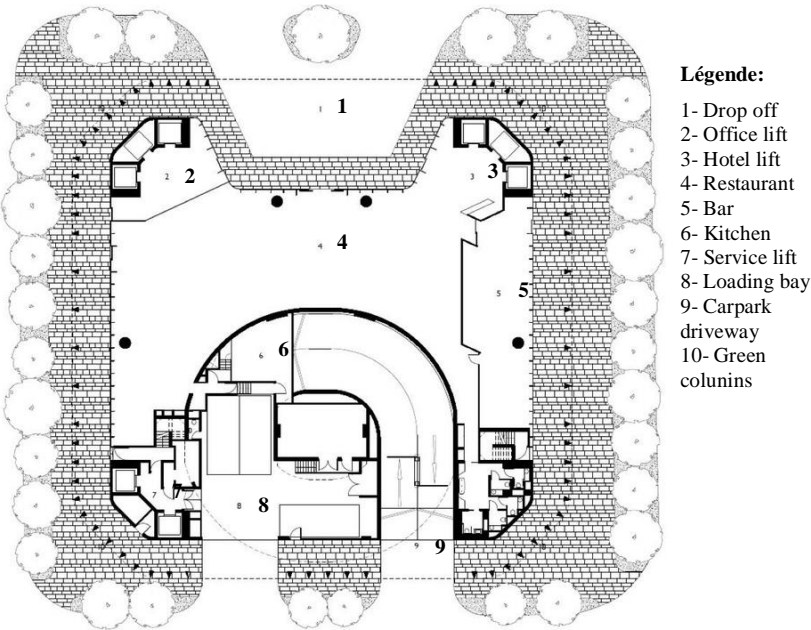
Figure 50: vue aérienne d'Oasia hôtel downtown, source : <https://www.immoweek.fr/> (consulté le 28/06/2021)

L'objectif de la conception de cette structure était de créer une réponse à l'uniformité concrète du quartier d'affaires de Singapour. L'architecte principal, Wong Mun Summ de WOHA, a déclaré que le bâtiment mettait l'accent sur la durabilité plutôt que sur la consommation. Imitant un écosystème naturel, les fleurs et les vignes plantées verticalement attirent la faune comme les insectes et les écureuils.

Sa façade est enveloppée par un nombre important d'espèces. L'extérieur du bâtiment, construit au sommet des panneaux de grille verticaux, apparaîtra plus « velu » au fil du temps, avec seulement des taches de son extérieur en maille d'aluminium rouge, orange, rose et marron restant visibles. Environ 40% du volume du bâtiment se compose d'espaces verts communaux élevés verticalement dans le gratte-ciel.

Au sein d'Oasia se trouve des chambres pour l'hôtel, le club hôtelier et des strates privées SOHO (petit bureau à domicile), ce qui entraîne une stratification horizontale de la tour en quatre sections. Avec cette superposition zonée, les 6 à 11 sont désignés aux propriétaires individuels de SOHO ; l'hôtel occupe les niveaux 12 à 20 et les niveaux 21 à 26 appartiennent aux chambres et activités de l'hôtel club. Le niveau 27 abrite des activités récréatives communes pour les clients de l'hôtel et du club.

Tableau 6: les plans de Oasia

Plan	Description
 <p>Légende:</p> <ul style="list-style-type: none"> 1- Drop off 2- Office lift 3- Hotel lift 4- Restaurant 5- Bar 6- Kitchen 7- Service lift 8- Loading bay 9- Carpark driveway 10- Green columns <p>Figure 51: plan du RDC étage d'Oasia Downtown Hôtel. source : https://www.archdaily.com/ (consulté le 28/06/2021)</p>	<p>Plan du RDC d'hôtel</p>

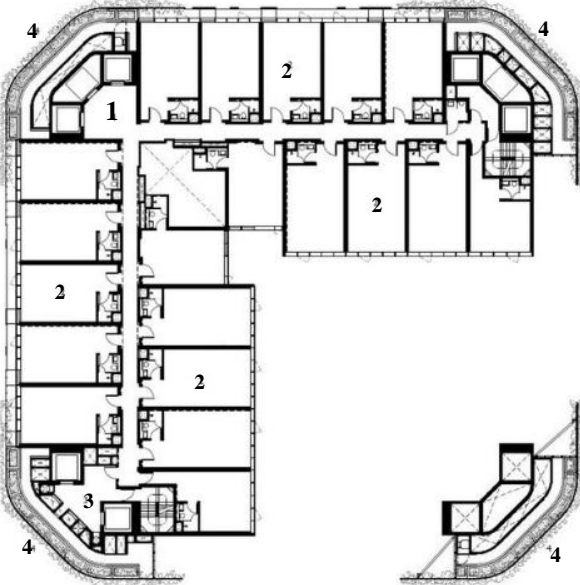
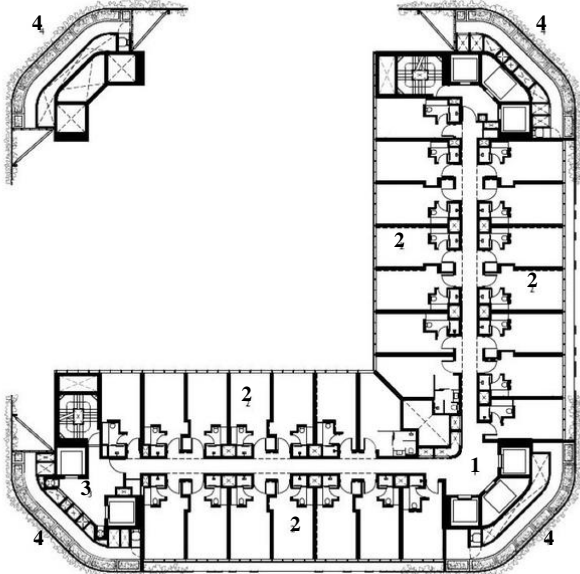
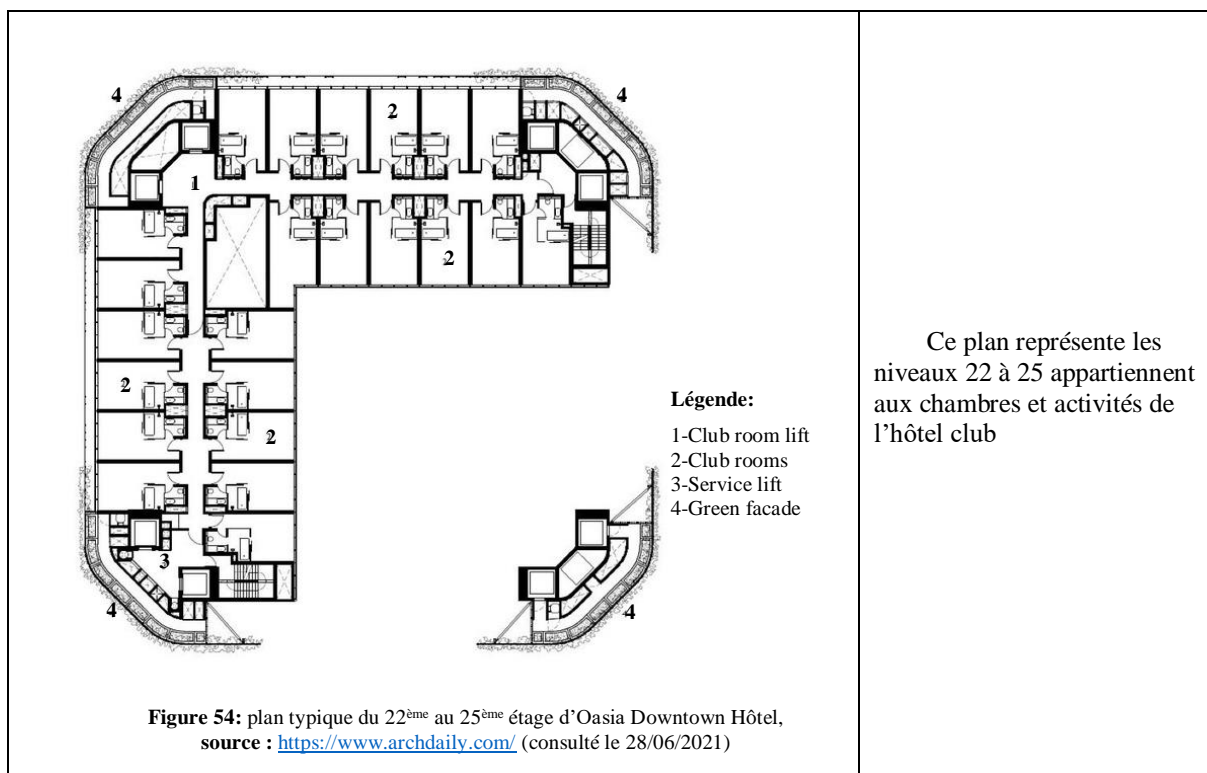
 <p>Légende: 1-Office lift 2-Office units 3-Service lift 4-Green facade</p>	<p>Ce plan représente la somme des étages depuis 7 à 11, sont désignés aux propriétaires individuels de SOHO (Small Office and Home Office).</p>
 <p>Légende: 1-Guestroom lift 2- Guestrooms 3-Service lift 4-Green facade</p>	<p>Ce plan représente les niveaux 13 à 20 appartiennent aux chambres et activités de l'hôtel club</p>

Figure 52: plan typique du 7^{ème} au 11^{ème} étage d'Oasia Downtown Hôtel, source : <https://www.archdaily.com/> (consulté le 28/06/2021)

Figure 53: plan typique du 13^{ème} au 20^{ème} étage d'Oasia Downtown Hôtel, source : <https://www.archdaily.com/> (consulté le 28/06/2021)



L'aspect végétal du projet :

La façade de l'hôtel est composée d'un total de 21 espèces de plantes grimpantes, et 33 autres espèces de plantes et d'arbres sont sélectionnées, soit un total de 54 espèces de plantes et d'arbres qui poussent dans 1973 pots fixés derrière la façade grillagée. En tout, le bâtiment a environ 60 niveaux de murs verts qui sont superposés sur la façade rouge du bâtiment.

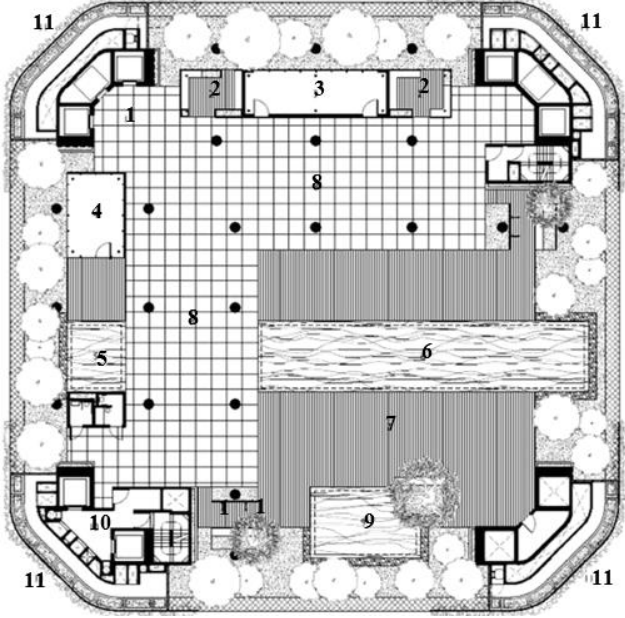
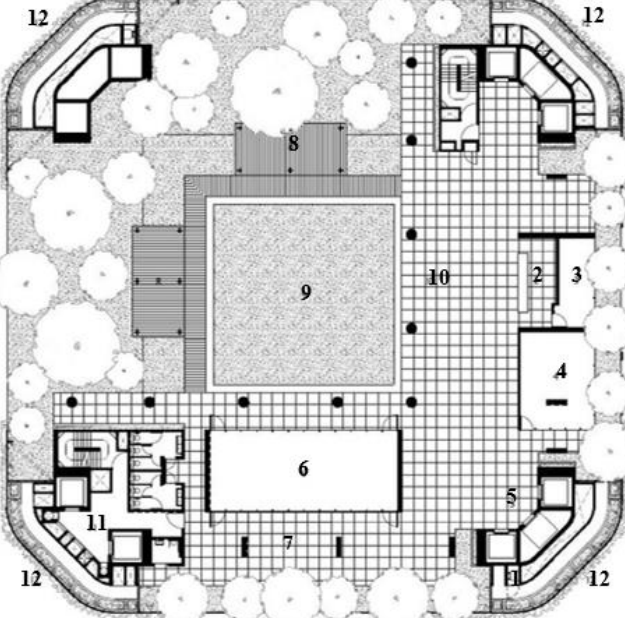


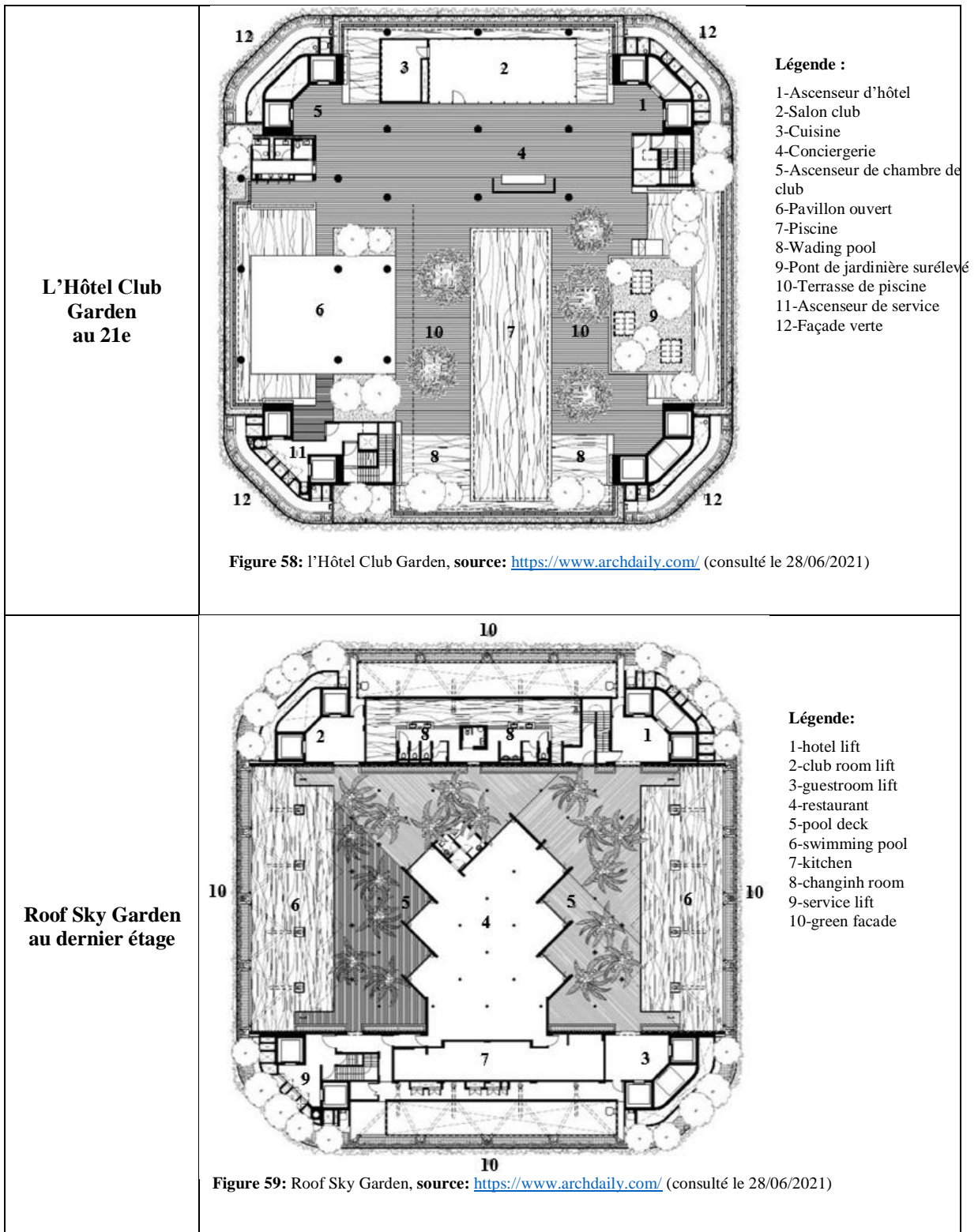
Figure 55: vue sur les plantes grimpantes du façade, Source : <https://www.floornature.eu/> consulté le (28/06/2021)

Ces différentes plantes et arbres ont pour objet d'améliorer la biodiversité dans le centre-ville, et aussi pour s'assurer que la façade verte soit toujours luxuriante et résistante aux différentes conditions météorologiques. La disposition des différentes espèces en altitude est fonction de leur préférence en matière de lumière du soleil, de résistance au vent et de vitesse de croissance pour maximiser leur adaptabilité.

En outre, quatre jardins de ciel communaux sont découpés dans le bâtiment : le Soho Sky Garden, au 6^e niveau, l'hôtel Sky Garden a 12^e, l'Hôtel Club Garden au 21^e, et le Roof Sky Garden au dernier étage. Ces jardins permettant une ventilation naturelle des espaces publics au lieu de la climatisation.

Tableau 7: plans des jardins

Étage	Plan jardin
<p>Le SOHO Sky Garden Au 6e niveau</p>	 <p>Légende :</p> <ul style="list-style-type: none"> 1-Ascenseur de bureau 2-Salon de détente 3-Meeting pool 4-GYM 5-Aqua gym 6-Piscine 7-Terrasse de piscine 8-Dining pool 9-Piscine de réflexion 10-Ascenseur de service 11-Façade verte <p>Figure 56: le SOHO Sky Garden, source : https://www.archdaily.com/ (consulté le 28/06/2021)</p>
<p>L'hôtel Sky Garden au 12e niveau</p>	 <p>Légende :</p> <ul style="list-style-type: none"> 1-Ascenseur d'hôtel 2-La conciergerie 3-Hotel back of house 4-Gym 5-Ascenseur des chambres 6-Salle de réception 7-Véranda 8-Salon extérieur 9-Pelouse 10-Salon 11-Ascenseur de service 12-Façade verte <p>Figure 57: l'Hotel Sky Garden, source : https://www.archdaily.com/ (consulté le 28/06/2021)</p>



Les plantes, les arbres et les éléments aquatiques des jardins surélevés attirent également la faune, y compris les insectes et les oiseaux. Le bâtiment, qui a remplacé un parc, offre environ dix fois la verdure de la zone de site précédente.

L'immeuble se transformera donc en véritable forêt verticale, capable de lutter contre la pollution, en fixant du CO² et des particules, et contre les îlots de chaleur. Avantage substantiel, en plus d'un confort visuel absolu, la conception ajourée de la tour permet à ses occupants de bénéficier d'une climatisation naturelle et gratuite.

Système d'arrosage :

Un système automatique d'irrigation a été installé, organisé par stations à chaque niveau avec des contrôles basés sur la demande en eau des plantes, en trois grands groupes de « lots, modérés et peu ». De plus, le positionnement des espèces sur les différentes façades a également été déterminé en ce qui concerne la tolérance à la lumière directe du soleil (ou l'absence de, à l'ombre des tours environnantes), ainsi que le taux de croissance de chaque espèce grimpante pour cibler rapidement la couverture générale du bâtiment, au hasard mais pas complètement.

IV.2.2. Analyse d'un exemple de la façade dynamique météorosensible (HygroSkin pavillon météorosensible) :

Fiche technique :

- Nom du projet : Pavillon HygroSkin-météorosensible
- Concepteurs : David correa, Olivier David Kried, Achim Menges, Katja Rinderspacher; des architectes chercheurs dans l'Université ICD de Stuttgart
- Situation : Orléans la source, France
- Date de réalisation : 2013
- Dimensions : $5,72 \times 4,22 \times 2,97 \text{ m}^3$

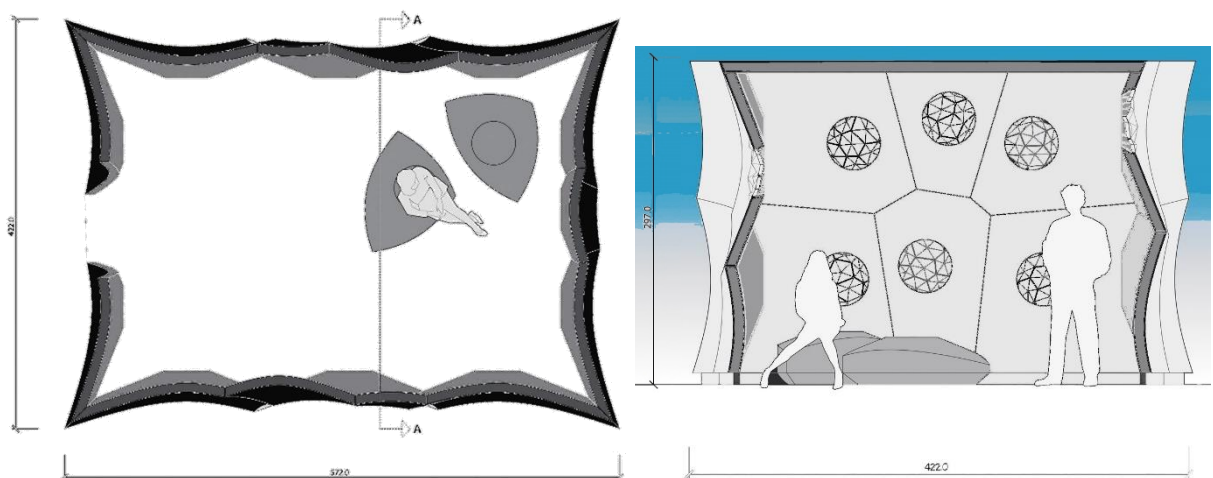


Figure 60: Les trois dimensions d'hygroskin, source: www.archdaily.com (consulté le 27/06/2021) avec investigation

Présentation du projet :

Le pavillon HygroSkin Météorosensible est un prototype architectural qui démontre l'intégration d'un système de matériaux réactifs dans une coque de bâtiment fonctionnelle, modulaire et hautement adaptable (fig.61). La principale caractéristique de cette coque est l'utilisation des qualités hygroscopiques du placage en bois pour s'adapter naturellement aux changements d'humidité relative et de température ; c'est pourquoi elle est appelée « HygroSkin » et est définie comme « météo sensible ». La coque météo-sensible ouvre et ferme ses pores de manière autonome en réponse aux changements météorologiques, mais ne nécessite pas l'apport d'énergie opérationnelle ni aucun type de contrôle mécanique ou électronique. Ici, ils ont intégré directement la détection, le contrôle et l'actionnement dans le matériau lui-même, le matériau agit comme une machine (Orhon, 2016).



Figure 61: Galerie du Pavillon HygroSkin-Météorosensible, source: www.archdaily.com (consulté le 27/06/2021)

La pomme de pin est un exemple de déclenchement métabolique, dont s'est inspiré Achim Menges dans la création d'un matériau hygroscopique, qui leur ont permis de réaliser différentes installations cinétiques.



Figure 62: Réaction hygro-sensitive de la pomme de pin, source : <https://issuu.com/> (consulté le 27/06/2021)

Par temps sec, la pomme de pin ajuste son niveau d'humidité avec son environnement. Le changement du taux d'humidité provoque un changement de la taille de la matière, entraînant à son tour un changement de taille de la pomme de pin. Ce déclenchement métabolique est dû à un mouvement hygroscopique. L'absorption et la restitution d'humidité permet à la pomme de pin d'être constamment en équilibre avec le taux d'humidité de son environnement. Ce système naturel permet donc de créer un mouvement par les propriétés du matériau, en utilisant l'environnement comme seule source d'énergie. Achim Menges a réussi à créer un matériau réactif, en combinant du bois et un polymère renforcé de fibres synthétiques. Le caractère hygroscopique du bois est connu mais pose des problèmes en tant que matériau de construction. Achim Menges développe le projet HygroScope pour au contraire, se servir de cette faculté pour qu'elle devienne un mécanisme déclencheur d'un changement de forme, sous influence de l'humidité environnante.

L'enveloppe du bâtiment, dérivée par calcul et fabriquée par des robots, qui est à la fois une structure porteuse et une peau météorosensible, est composée de vingt-huit panneaux coniques abritant mille-cent ouvertures sensibles à l'humidité, ses panneaux produits par la flexion élastique de feuilles planes de contreplaqué de quatre mm (fig.64). Chaque panneau est un composant sandwich renfermant une couche de mousse entre deux couches de contreplaqué (fig.63).

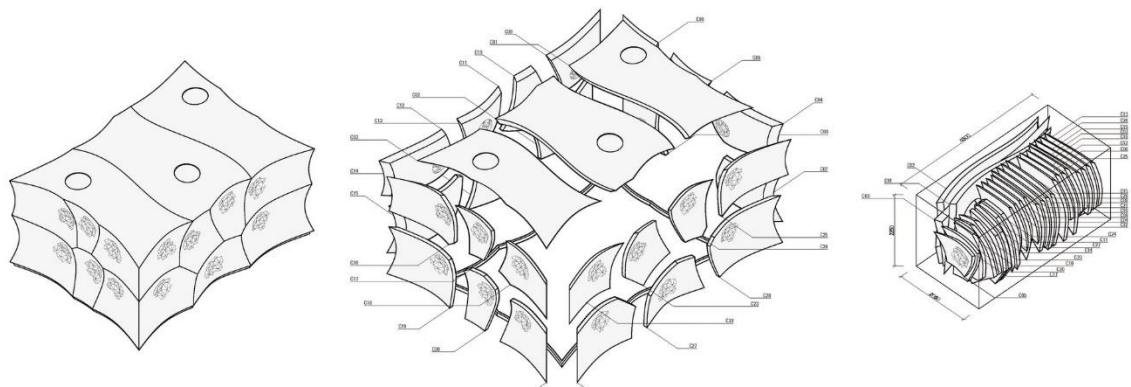


Figure 63: la structure de l'HygroSkin, source: www.archdaily.com (consulté le 27/06/2021)

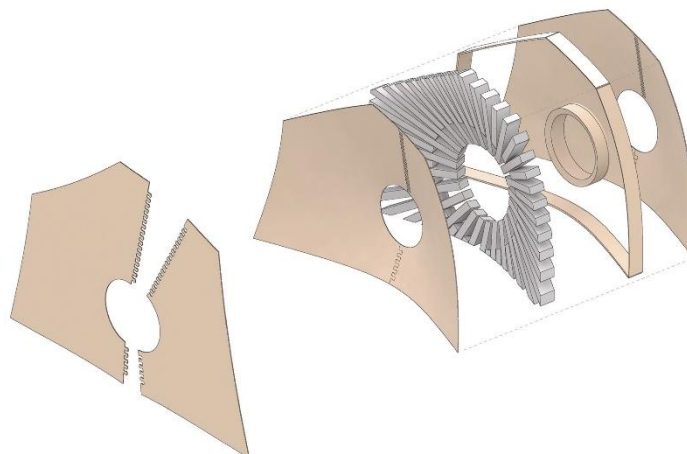


Figure 64: les composants d'un panneau de l'HygroSkin, source: www.archdaily.com (consulté le 27/06/2021)

Un processus de moulage sous vide léger normalise toutes irrégularités de la mousse tandis qu'un processus de découpe et de fraisage robotisé à sept axes assure la précision dimensionnelle. Les panneaux produisent des formes coniques auto formées par l'emboîtement de joints de type puzzle fraisés par CNC le long de leurs bords. Cet assemblage architectural assure la rigidité et l'adaptabilité de la structure tout en minimisant le poids de la coque. Dans la concave profonde de chaque panneau, une ouverture sensible aux conditions météorologiques est placée. Les ouvertures réagissent aux variations de l'humidité relative dans une fourchette de 30 à 90%, ce qui correspond à la fourchette d'humidité entre un temps ensoleillé et un temps pluvieux dans un climat modéré (fig.65). En rétroaction et de porosité, modulant la transmission de la lumière et la perméabilité visuelle de l'enveloppe. La précision du processus de préfabrication robotisée de l'enveloppe est une autre caractéristique saillante du projet. Des scans laser complets de la structure ont révélé un écart moyen de moins de 0,5 mm entre le modèle de conception dérivé par calcul et la géométrie physique réelle que le matériau a calculé en grandeur nature (Orhon, 2016).

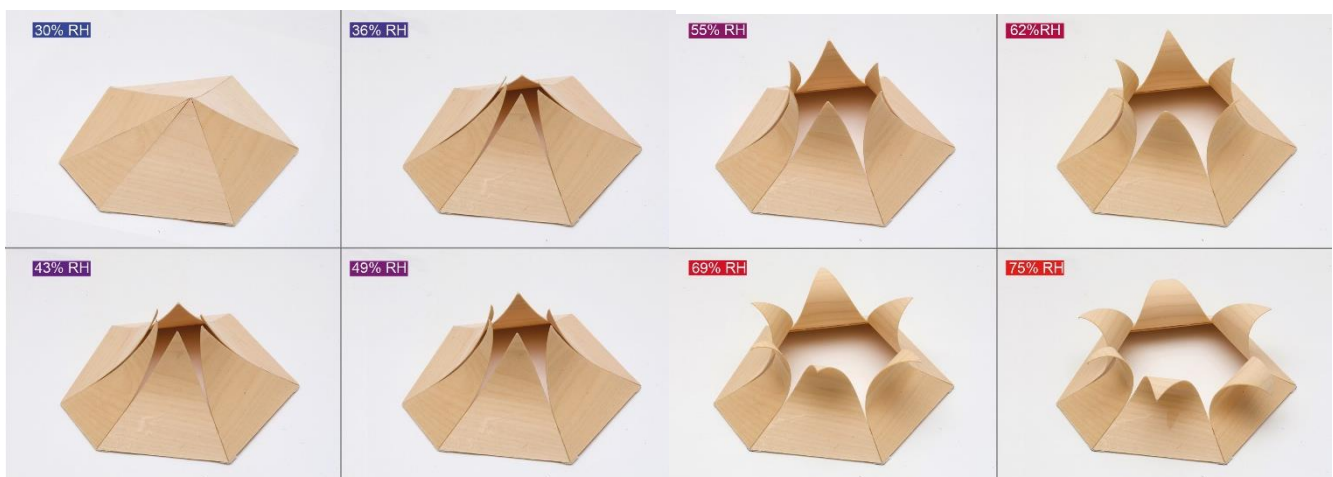


Figure 65: la réaction des ouvertures de l'HygroSkin au changement de taux d'humidité relative, source: www.archdaily.com (consulté le 27/06/2021)

Principe biomimétique : réactivité matériellement enracinée

La nature a développé une grande variété de systèmes dynamiques interagissant avec les influences climatiques. Pour l'architecture, une voie particulièrement intéressante est le mouvement entraîné par l'humidité qui peut être observé dans les cônes d'épicéa. Contrairement à d'autres mouvements de plantes qui sont produits par des changements de pression cellulaire actifs, ce mouvement se produit par une réponse passive aux changements d'humidité. Par conséquent, il ne nécessite aucun système sensoriel ni aucune fonction motrice. Le mouvement est indépendant de toute fonction métabolique et par conséquent, il ne consomme aucune énergie. Ici, la capacité de réponse est intrinsèque au comportement

hygroscopique du matériau et à ses propres caractéristiques anisotropes qui désigne la dépendance directionnelle des caractéristiques d'un matériau.



Figure 66: les ouvertures de l'HygroSkin de deux faces (ext et int), source: www.archdaily.com (consulté le 27/06/2021)

Synthèse :

Depuis ces exemples en constate que :

- La végétation renforcer la durabilité plutôt que la consommation, tout ça pour créer un écosystème qui enrichisse la biodiversité naturels qui attirent la faune et serait le lieu de domicile pour la flore ;
- La façade végétalisée rend le bâtiment une forêt qui lutte contre la pollution, elle le rend un participant majeur dans la protection de la planète de GES ;
- Le choix de type des plantes est par rapport à la localisation, le climat, et la nature de bâtiment ;
- La pomme de pin est un exemple de la réaction des plantes au changement de l'humidité relative ; et l'hygroskin est l'exemple le plus représentant de la réaction autonome des matériaux naturels au changement de l'hygrométrie à zéro énergie, ce qu'il le fait un exemple d'écosystème qui assure la durabilité.

IV.3. Analyse de cas d'étude :

IV.3.1. Présentation de la wilaya de Jijel :

La wilaya de Jijel est une wilaya côtière par excellence, elle se trouve au nord-est algérien avec une occupation de 2396,63 km². Son littorale s'étend sur 123,90 km soit 10,32% du linéaire côtière Algérien, elle est délimitée :

- Au nord par la mer méditerranée,
- Au sud par la wilaya de Mila,
- Au sud-ouest par la wilaya de Sétif,
- A l'est par la wilaya de Skikda,
- A l'ouest par la wilaya de Bejaia.

Elle est composée de 28 communes (fig.65) et 11 Daira, dont la commune de l'Emir Abdelkader qui fait partie de la daira de Taher, là où se situe la ZET de Tassoust.

IV.3.2. Présentation de la Z.E.T de Tassoust :

IV.3.2.1. Situation :

La ZET de Tassoust couvre la partie Nord de la commune de l'Emir Abdelkader. Elle couvre une superficie totale de 391 H.

Elle est limitée par :

- La mer méditerranée au nord,
- CW 147 au sud,
- Oued Djendjen à l'est,
- Oued Mencha à l'ouest.

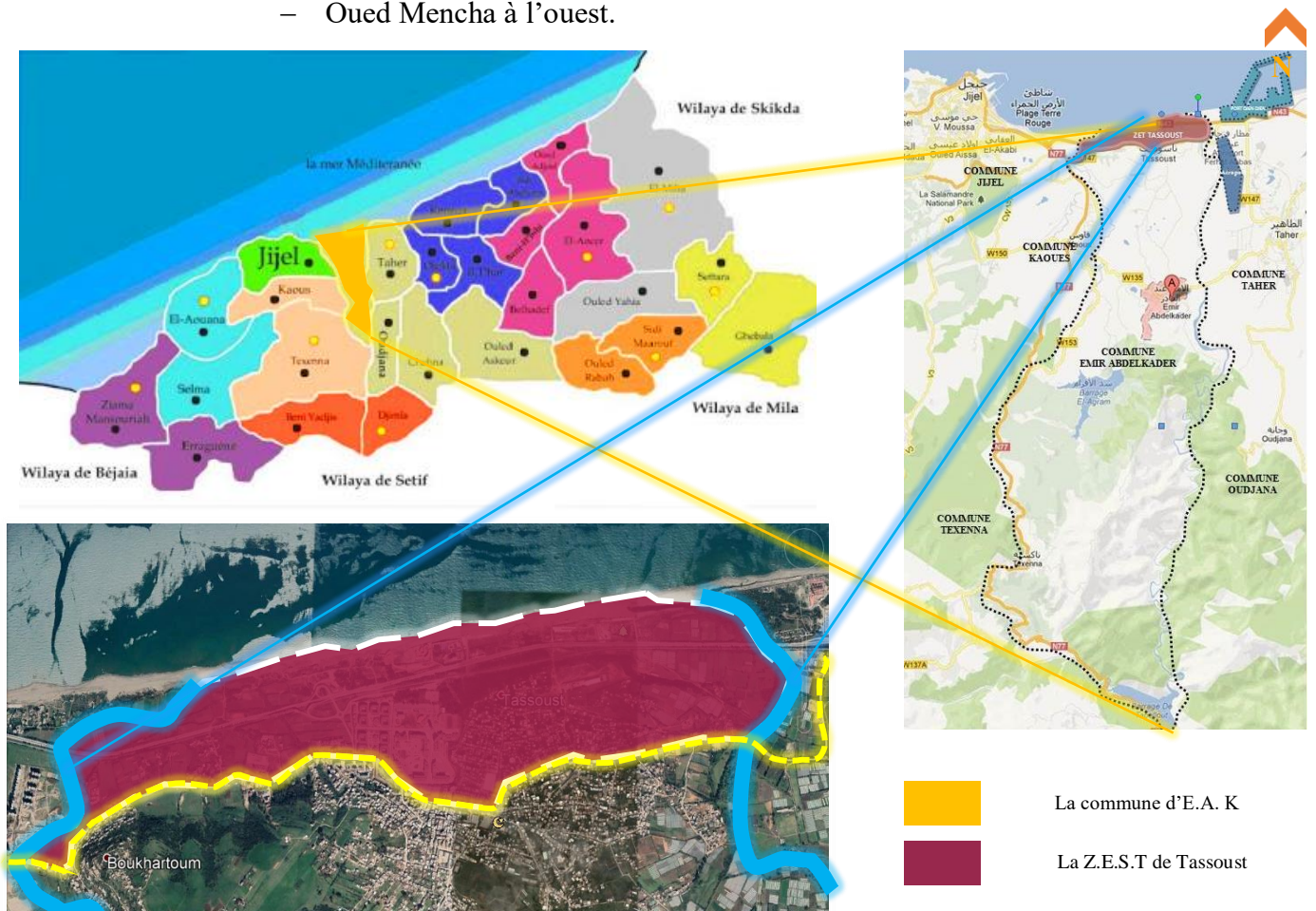


Figure 67: la localisation de la zone d'étude, source: <http://ijjle18.unblog.fr/> , Google maps, Google earth avec investigation

IV.3.2.2. Climat :

La région de Jijel appartient au climat méditerranéen qui se caractérise par un climat pluvieux et doux en hivers et chaud et humide en été.

Température et précipitation :

La moyenne maximale quotidienne de la température au mois de janvier est de 16°C, des étés assez chauds où on enregistre jusqu'à 35°C en juillet et août.

Le graphique des précipitations est utile pour la planification des effets saisonniers. Précipitations mensuelles supérieures à 150mm sont pour la plupart humides, en dessous de 30mm généralement séchés.

La région de Tassoust est considérée parmi les régions les plus pluvieuses, la précipitation moyenne annuelle enregistrée dans la wilaya se situe entre 800 et 1200 mm/an.

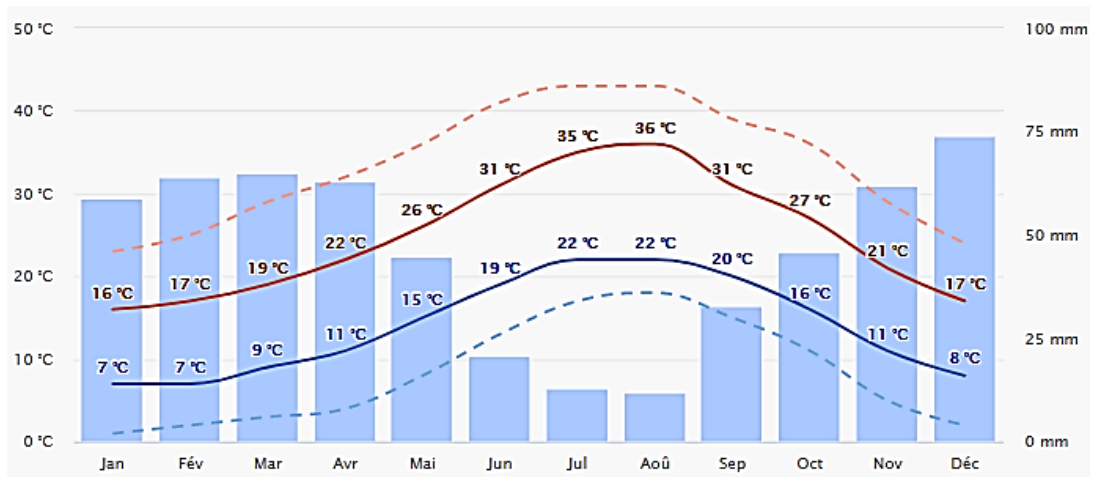


Figure 68: la température et la précipitation dans la région de Bouhamdoune, source: www.meteoblue.com consulté le (07/02/2021)

L'enseillement :

La région de Tassoust est bien exposée au soleil.

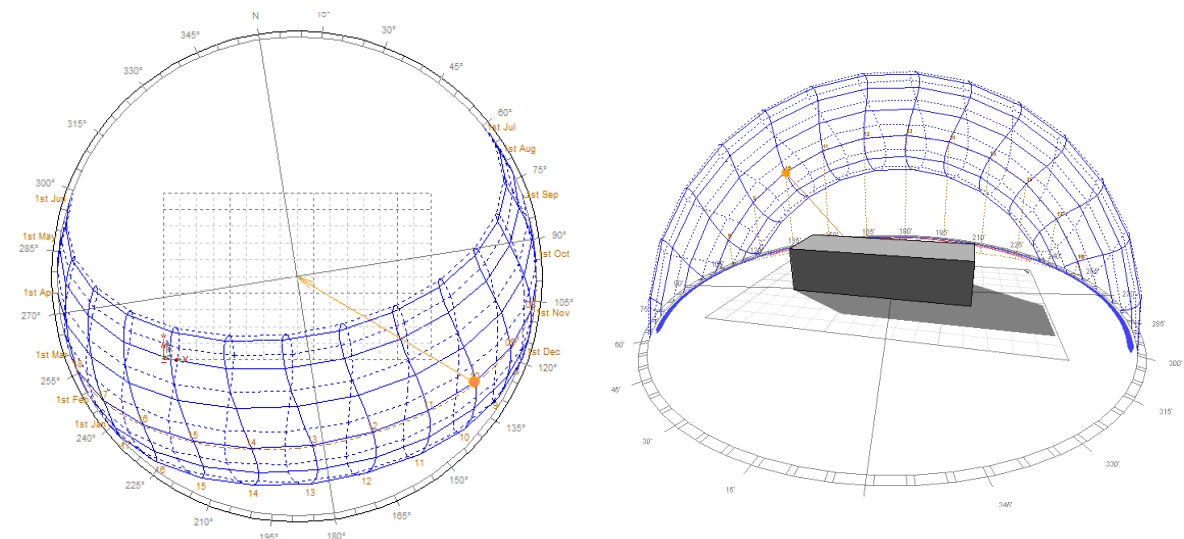


Figure 69: le diagramme solaire de la zone d'étude avec la longueur d'ombre dans cette zone, source : Ecotect

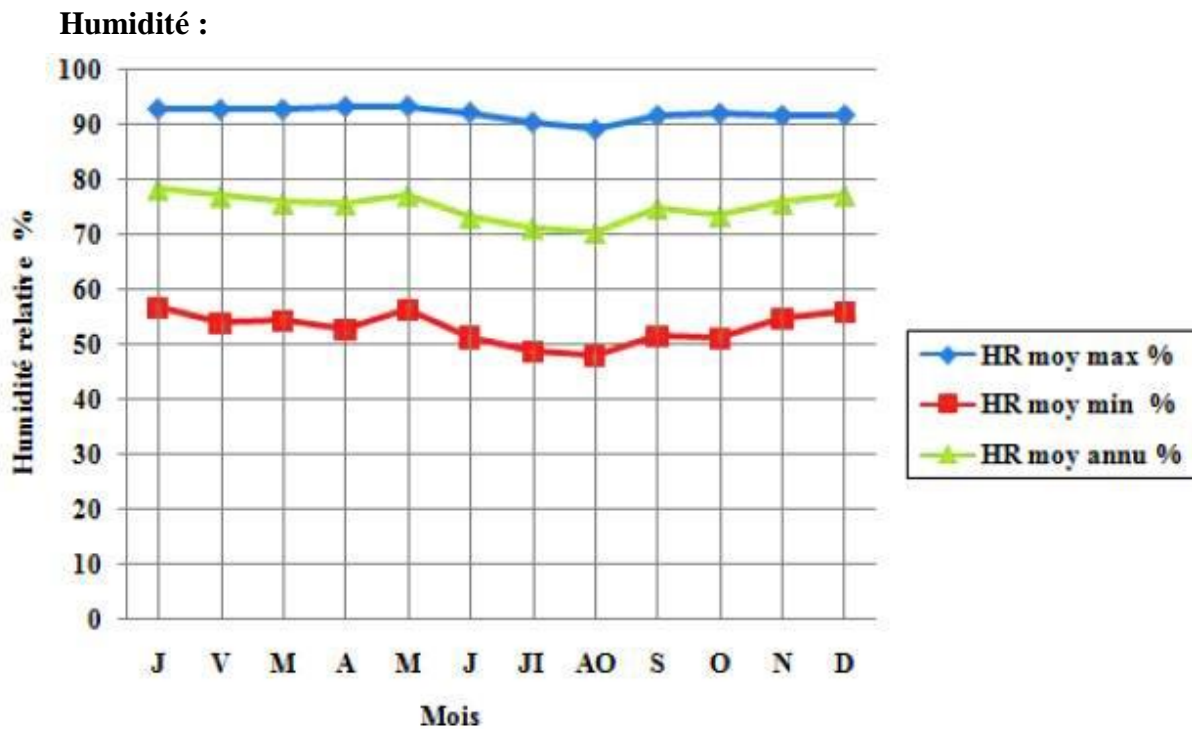


Figure 70: Le taux d'humidité relative, source : <https://fr.climate-data.org/>
Le taux d'humidité est trop élevé pendant les deux périodes :

- En hiver, la moyenne annuelle des humidités relatives est de 78.4% enregistrée au mois de janvier.
- En été, le taux d'humidité relative le plus élevé est de 77.3%, enregistré au mois de mai. Cette augmentation du taux d'humidité pendant toute l'année (une moyenne annuelle qui dépasse les 70%) dans la région Djijelienne, s'explique par la présence de la mer. En été, on remarque non seulement des températures élevées, mais aussi une sensation de moiteur. Il est donc nécessaire de favoriser la ventilation naturelle et des processus de déshumidification .

Vent :

Le diagramme des vents de la région de Bou Hamdoune montre les jours par mois pendant lesquels le vent atteint une certaine vitesse, où la mousson crée des vents forts et réguliers de décembre à avril et des vents calmes de juin à octobre, on remarque que la vitesse la plus dominante varie entre 12 et 19 km/h.

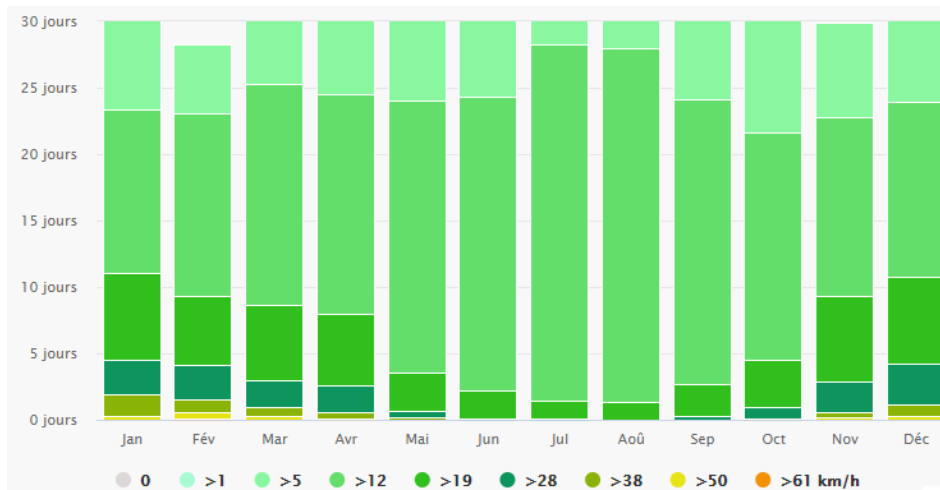


Figure 71: la vitesse des vents dans la zone de Bouhamdounne, source: www.meteoblue.com consulté le (07/02/2021)

IV.3.2.3. Risque naturels :

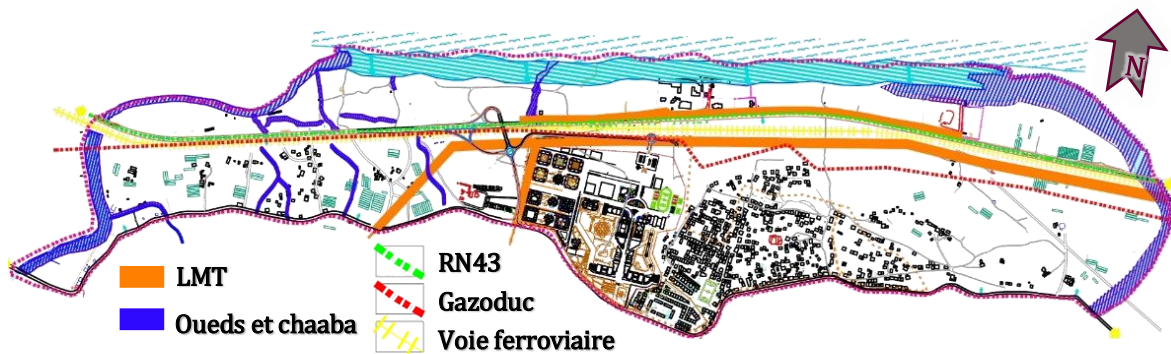


Figure 72: carte des risques naturels de la ZEST ,source : auteur

IV.4. L'expérience (mesures et résultats) :

Le travail de mesure consiste à une série de mesures de trois journées significatives de deux conditions climatologiques ; l'humidité relative et la température de l'air, qui seront traité sous forme des graphes (à l'aide de logiciel informatique Excel) afin de comprendre mieux quantitativement les mesures hygrométriques due à la présence de la végétation pour le but d'analyser les données résultantes pour comprendre l'influence de la végétalisation des façades sur l'hygrométrie dans les bâtiments à caractère touristique dans les zones côtière de la wilaya.

IV.4.1. Le protocole expérimental :

Des mesures ont été effectuées sur notre site, la première a été effectuée le 23 Aout 2021. Elle est considérée comme une journée d'essai de l'appareil (fig.73.b) de mesure (hygromètre ; humidity temperature meter TES 1367), et de savoir les difficultés qu'on va la reconnaître, et après nous avons convenu que chaque deux heures on prend des mesures dans les baignoires publiques qui sont juste près de notre terrain de projet (et parce qu'elle les zones les plus

humides) de côté nord-ouest et si la végétation fait de la différence dans cette pièce, elle la fait dans les autres, comme le choix des bains aussi se retour aux conditions sanitaire que le monde entier connue actuellement (le Covid-19), et les équipements touristique sont fermé.

Nous avons fait cinq séquences de mesure à intervalle de deux heures.

Tableau 8: Séquences horaires de prises de mesures

Séquence 01	Séquence 02	Séquence 03	Séquence 04	Séquence 05
08:00 – 10:00	10:00 - 12:00	12:00 - 14:00	14:00 - 16:00	16:00 - 18:00

Après cette essai nous avons commencé nos trois scénarios de mesures, le premier a était fait le jour même de l'essai (le 23 Aout 2021) à 08:00 h de matin, ce scénario a était fait dans le cas normal (sans végétation). Le deuxième jour est juste le jour après avec une maquette d'un panneau de végétation qui représente 50% à peu près de la surface totale du châssis existant (fig. 73.a), la troisième journée (le 25 Aout 2021) était la journée de remplacement de panneau de la végétation de 50% par un autre dans laquelle elle fait 100%.

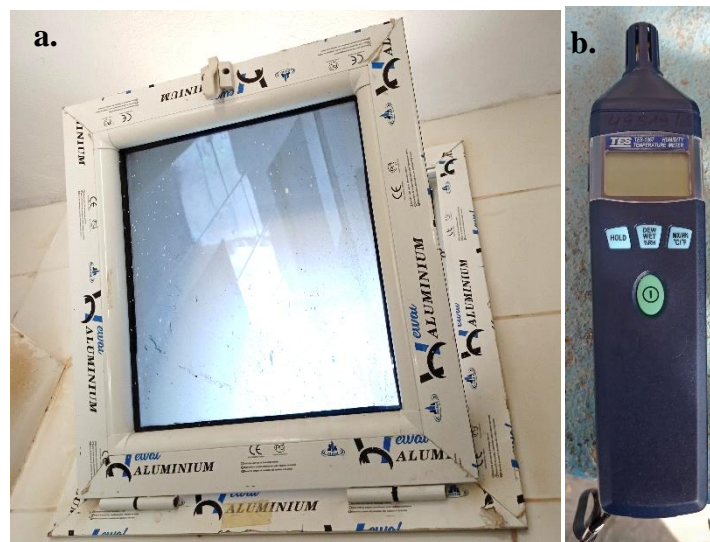


Figure 73: a. la châssis de bains, b. le thermo-hygromètre TES 1367

Remarque :

On a choisi la méthode expérimentale (de la maquette) parce que le seul logiciel (Envi-met) qui traite les murs végétaux et simuler le changement climatologique (l'humidité relative en particulier) est payant et n'est pas disponible chez notre département.

IV.4.2. La maquette expérimentale :

C'est une maquette approximative de ce que nous voulons de cette recherche dans laquelle en a choisi le romarin, parce qu'il est disponible, parfumé, médicinal et au même temps absorbant l'humidité. Cette maquette a été fait deux fois la première de 50% de végétation et la deuxième de 100%.

On a placé des tiges de romarin de 30 cm de longueur sur un grillage de fer (3x3mm) de 30/30 cm et on le fixé à l'aide des câbles de cuivre (0,6mm) et puis en le fixer sur le vitrage du châssis de bains.

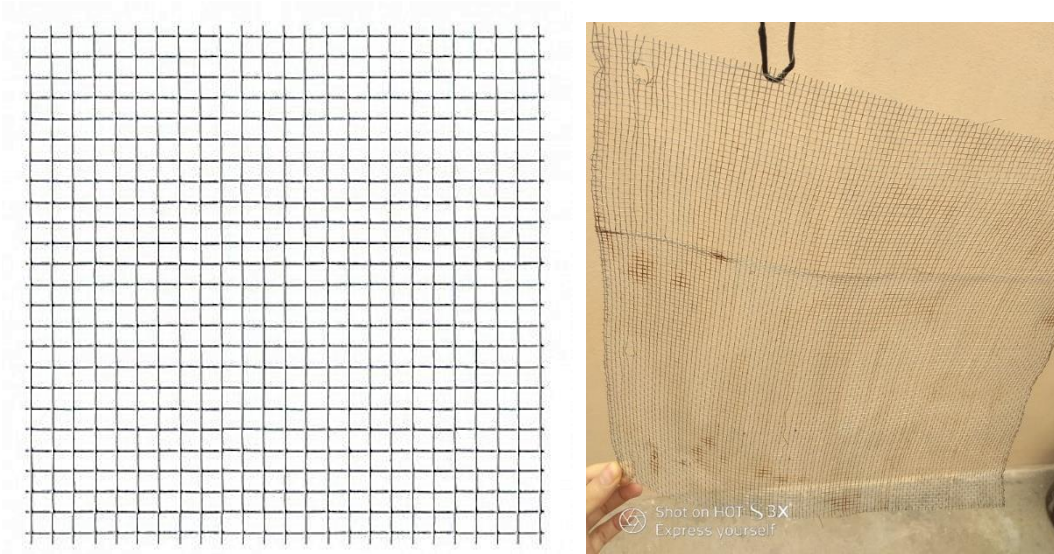


Figure 74: le grillage à fer (3x3mm) de l'expérience

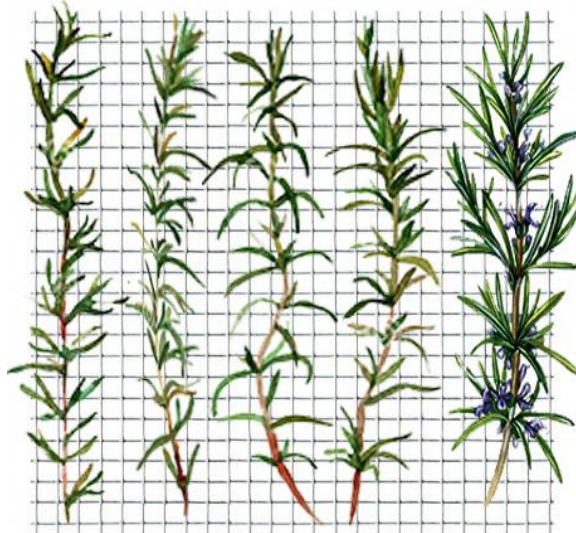


Figure 75: représentation de la maquette de deuxième scénario (50% romarin)



Figure 76: représentation de la maquette de troisième scénario (100% romarin)

IV.4.3. Interprétation des résultats :

Après la prise des mesures, nous avons utilisé le logiciel Excel pour classer les données et puis les présenter sous forme de graphes. Les résultats montrés par la suite sont les plus représentatifs et les plus significatifs, nous avons classé les graphes qui résumant les données selon les trois scénarios (sans végétation, avec végétation 50%, 100%)

IV.4.3.1. Sans végétation (la mesure de 23 Aout 2021) :

Nous avons fait une comparaison entre les données existantes de fichier weather data (WD) de notre site de cas d'étude et les données collectées, cette comparaison était sur les deux axes de l'humidité relative (HR) dans le premier lieu et puis les valeurs de la température de l'air (T) dans le deuxième lieu.

Après la prises, on constate que les valeurs sur site sont plus élevées de ceux du fichier weather data ;

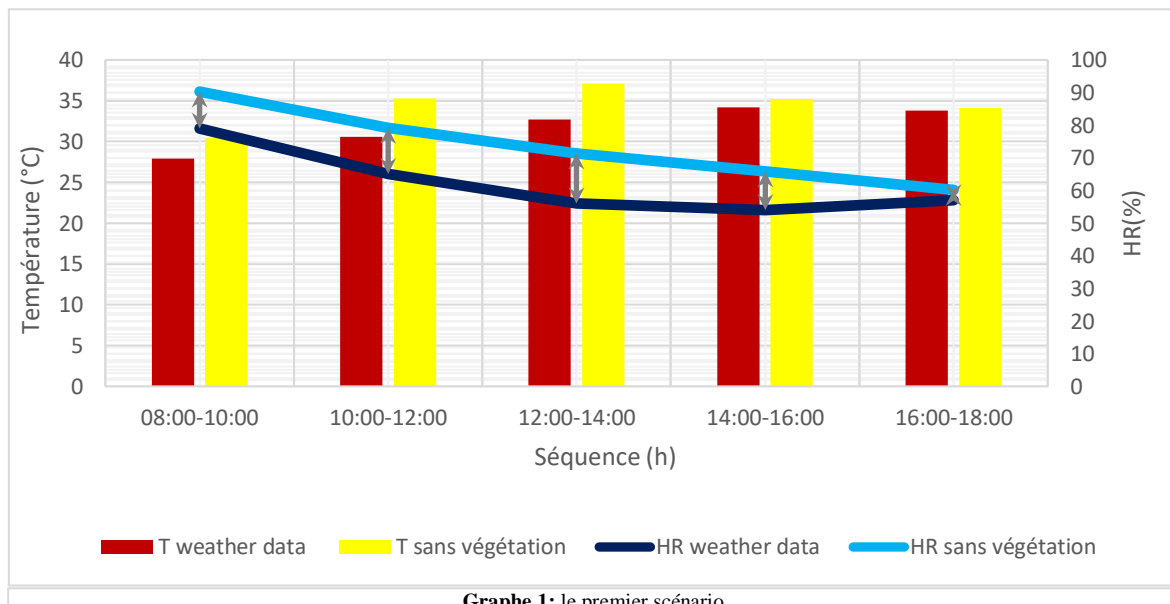


Tableau 9: Les valeurs d'HR et T de 23 Aout 2021, source : auteur

	08:00 – 10:00	10:00 - 12:00	12:00 - 14:00	14:00 - 16:00	16:00 - 18:00
HR weather data (%)	79	65	56	54	57
HR sans végétation (%)	90,3	79,2	71,4	65,8	60,2
T weather data (°C)	27,9	30,6	32,7	34,2	33,8
T sans végétation (°C)	30,4	35,3	37,1	35,2	34,1

Pour l'HR, on remarque qu'il existe deux phases, la première est entre 08:00 et 16:00h les valeurs d'humidité du fichier WD est bien inférieure à l'HR de la zone étudiée, cet écart est de 11 à 15%, la deuxième phase est la cinquième séquence de la mesure (de 16h à 18h) où la différence entre les valeurs de HR se diminue à 3%.

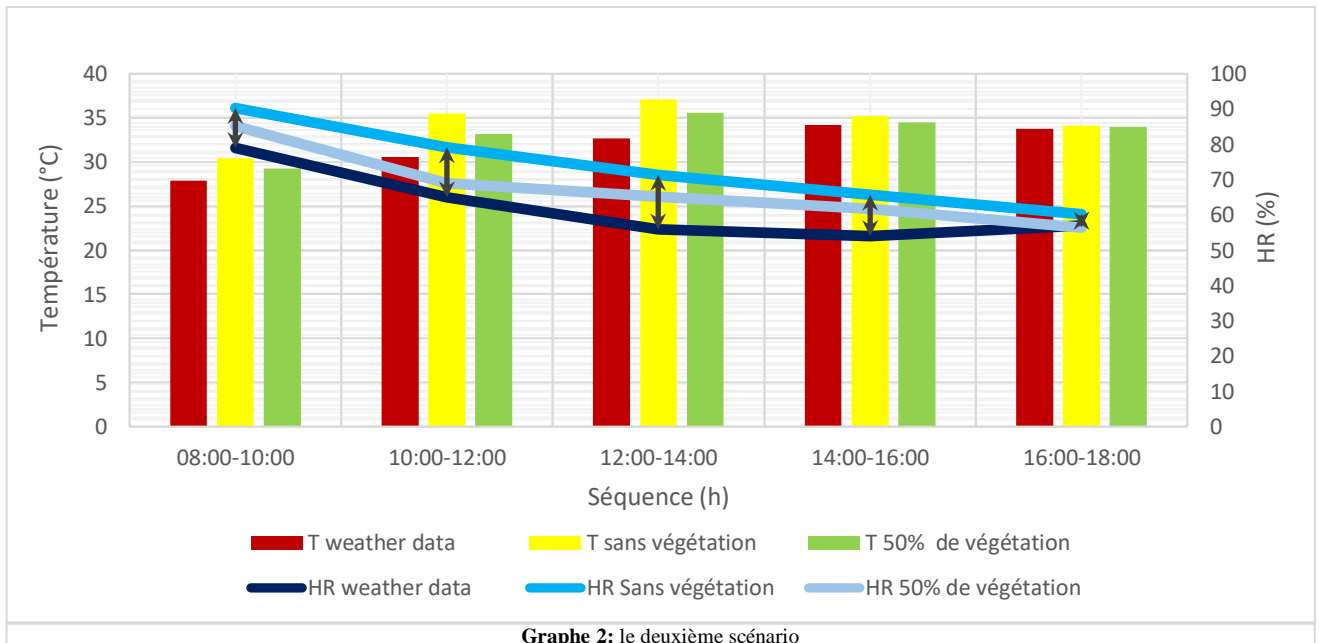
Pour la T, on remarque trois phases dans laquelle T de WD est inférieur de T dans le site, la première entre 08:00 et 10:00h où la différence de température est 2°, la deuxième de 10:00

à 14:00h où la température in situ est toujours supérieurs à celé de WD et cela se revient au heures de pointe de la journée, la troisième phase est de 14h à 18h ou la différence est un peu négligeable car elle est entre 0,3° à 1°.

Ces données se diversifier de ceux de WD à causes de l’entourage et de milieu humide qu’on a pris depuis les valeurs. Ceci s’explique par l’effet d’évaporation (l’air prend des molécules d’eau), ce qui provoque l’augmentation de taux HR et le surchauffement des surfaces des murs des bains.

IV.4.3.2. Avec végétation 50% (la mesure de 24 Aout 2021) :

Nous avons comparé les données précédentes (du scénario précédent) avec les valeurs prises dans le cas de 50% de la surface vitré du châssis sera assembler avec la maquette du romarin. On est arrivé à ce graphe :



Graph 2: le deuxième scénario

Tableau 10: Les valeurs d'HR et T de 24 Aout 2021, source : auteur

	08:00 – 10:00	10:00 - 12:00	12:00 - 14:00	14:00 - 16:00	16:00 - 18:00
(1) HR weather data (%)	79	65	56	54	57
(2) HR sans végétation (%)	90,3	79,2	71,4	65,8	60,2
(3) HR 50% de végétation (%)	85,2	69,0	65,1	61,7	56,4
(1') T weather data (°C)	27,9	30,6	32,7	34,2	33,8
(2') T sans végétation (°C)	30,4	35,3	37,1	35,2	34,1
(3') T 50% de végétation (°C)	29,3	33,2	35,6	34,5	34,0

Pour l’HR, entre (1) et (3), on remarque qu’il y a trois phases, la première est entre 08:00 et 12:00h les valeurs d’humidité du fichier WD est bien inférieure à l’HR de deuxième cas où la végétation faite 50% de la surface vitré du châssis, cette écart est de 4 à 6% par rapport aux HR de WD. La deuxième phase de 12h à 14h, la différence entre (3) et (1) s’élève à un taux de

9%, parce que c'est le temps où la T et l'usage des bains sont à la pointe. La troisième phase, de 14h à 18h l'écart se diminue de 6% à 0,6%.

Entre (2) et (3), on remarque qu'il y a trois phases, la première depuis 08h à 10h du matin les valeurs de la HR de (3) sont toujours inférieures de (2) ce qui signifie que la végétation a un effet sur abaissement du taux d'humidité, l'écart est de 5%, la deuxième phase, de 10h à 12h la différence arrivera à 10%, la troisième phase de 12h jusqu'à la fin de séquence 5 l'écart connue un abaissement de 6 à 4%

Les valeurs enregistrées sont près de la moyenne entre les HR de WD et cel de de premier scénario.

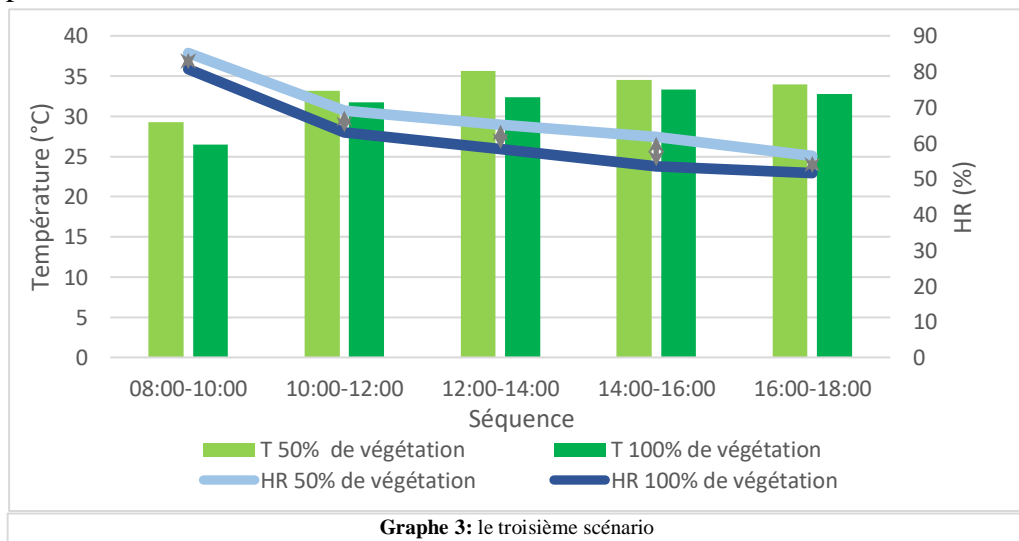
Pour T, **entre (1') et (3')**, on remarque trois phases dans laquelle T de (3') est inférieur à T (1'), la première de 8h à 10h la différence est de 1,4°C, la deuxième phase, de 10h à 14h (la phase des heures de pointes dans la journée) l'écart s'augmente à 2,9°C et par la suite dans la troisième phase (de 14h à 18h) cette différence connu un abaissement à 0,2°C.

Entre (2') et (3'), on remarque trois phases dans laquelle T de (2') est supérieur à T (2''), la première de 8h à 10h la différence est de 0,9°C, la deuxième phase, de 10h à 12h cet écart s'augmente à 2,1°C et par la suite dans la troisième phase (de 14h à 18h) cette différence connu un abaissement de 1,5 à 0,1 jusqu'elle sera négligeable.

On constate que la végétation a un effet sur l'abaissement de l'hygrométrie dans le bâtiment et aussi sur la diminution de la température de l'air et sur tout dans les heures de pointe.

IV.4.3.3. Avec végétation 100% (la mesure de 25 Aout 2021) :

Le but de ce scénario est de connaître l'effet de la densité de la végétation sur l'hygrométrie et la température, donc on va comparer les valeurs de cas précédent avec cel de ce cas à l'aide des graphes :



Graph 3: le troisième scénario

Tableau 11: Les valeurs d'HR et T de 25 Aout 2021, source : auteur

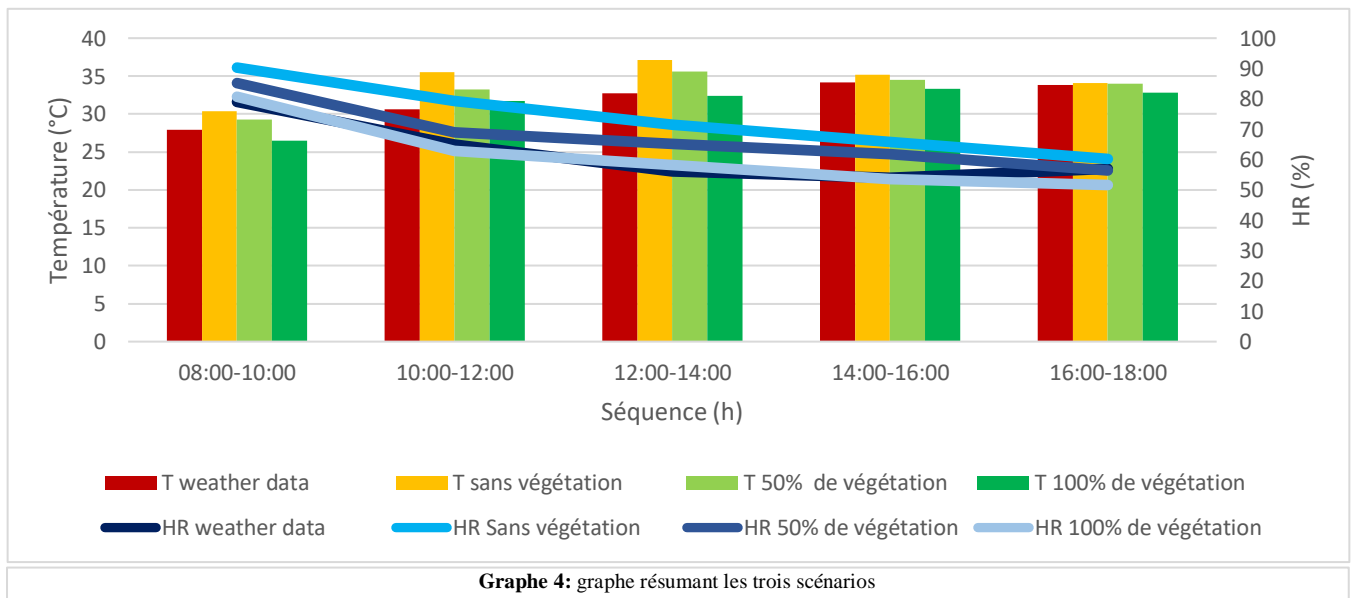
	08:00 – 10:00	10:00 - 12:00	12:00 - 14:00	14:00 - 16:00	16:00 - 18:00
(3) HR 50% de végétation (%)	85,2	69,0	65,1	61,7	56,4
(4) HR 100% de végétation (%)	80,7	62,9	58,3	53,5	51,6
(3') T 50% de végétation (°C)	29,3	33,2	35,6	34,5	34,0
(4') T 100% de végétation (°C)	26,5	31,7	32,4	33,3	32,8

Pour HR, on remarque que dans ce cas (3) est supérieur à (4) depuis la première séquence jusqu'à la quatrième avec un écart de 5% à 8% puis cet écart se diminue dans la cinquième séquence à 5%.

Le taux de la HR est au maximum à 8h et revient aux gouttelettes de condensation chaque matin.

Pour T, on remarque que dans ce cas (3) est supérieur à (4) tout le long des séquences l'écart entre eux est de 2,8°C entre 8h et 10h et se diminue à 1,5°C entre 10h et 12h puis il s'augmente à une différence de 2,2°C (cela revient aux heures de pointes de la journée) puis il s'abaisse à 1,2°C dans le reste de la journée.

Donc avec plus que le pourcentage de densité de végétation s'augmente plus que le taux d'humidité se diminue et plus que la température se baisse.



Graph 4: graphe résumant les trois scénarios

On constate depuis ce graphe que le troisième cas est le meilleur par rapport aux taux d'humidité relative parce que les valeurs enregistrées dans ce scénario sont appartenues à la zone de confort de l'être humain (dans l'élément de l'hygrométrie) qu'elle est entre 40 et 60%, et comme la végétation a des effets sur l'humidité, elle a aussi sur la température de l'air ambiant dans la zone d'étude et ça ce que nous avons vu dans les comparaisons précédentes.

Remarque :

Malgré sa diminution, le troisième scénario a des méfaits sur le confort visuel dans l'enveloppe intérieure du bâtiment alors qu'il est préférable d'appliquer le deuxième scénario parce qu'il y a que 50% végétalisée et le reste est vitrée, donc il permet à la lumière de passer.

IV.5. Conclusion :

A travers ce chapitre on constate que :

- La façade végétalisée enrichit l'écosystème de bâtiment et la biodiversité naturels qui attire la faune et serait la domicile pour la flore alors qu'elle renforce le projet et il sera durable
- La façade végétalisée assure toujours la luxueuse et la résistance aux différentes conditions météorologiques dans son milieu urbain, alors qu'elle renforcer le confort ;
- Les données enregistrées à l'intérieurs des espaces humides ne sont pas les memes que cel de l'extérieur ;
- Les panneaux de la végétation que ce soit de 50% ou bien de 100% fait de la différence et sur tout dans les heures de pointes que se soit par rapport à l'humidité ou bien à la température de l'air ambiant ;
- La densité de la végétation fait la différence dans la diminution du taux de l'humidité relative ;
- Le dynamisme sera enrichi le contrôle de l'hygrométrie dans le bâtiment

**Enquête sous
forme d'un
questionnaire**

V . CHAPITRE IV : Enquête sous forme d'un questionnaire :

V.1. Introduction :

Pour compléter notre étude, ce chapitre est dédié à une enquête sous forme d'un questionnaire sur le web, qui permet d'évaluer les différents paramètres de la façade dynamique et végétalisée et sa relation avec l'humidité relative du point de vue des professionnels et évaluer leurs pensées sur notre thème, et connaître les points qu'ajoute le dynamisme sur la végétation des façades.

Dans ce qui suit nous allons essayer de présenter cette enquête à travers l'élaboration de ce questionnaire, de l'échantillon représentatif, et des modes statistiques.

V.2. Lecture et interprétation du questionnaire :

C'est grâce à un questionnaire électronique en ligne sur le site Google Forms que 102 personnes ont rempli le questionnaire proposé en langues française concernant le contrôle de l'hygrométrie par le biais des façades dynamiques-végétalisées « cas des équipements touristiques ».

L'essentiel du sujet d'intérêt est traité à travers 24 questions, auprès des personnes impliquées dans ce domaine (les étudiant en architecture ou en génie civil, les enseignants d'architectures ou de génie civil, maitre d'œuvre (architecte, BET, ingénieure en génie civil, entreprise...), pour estimer leur degré de connaissances vis-à-vis ce nouveau créneau.

Le questionnaire a été fait suivants trois gros axes, à savoir : des questions concernant l'humidité dans les équipements touristiques dans la wilaya de Jijel, des questions concernant les façades végétalisées, et des questions concernant les façades dynamiques.

V.3. Traitements des résultats :

V.3.1. Votre secteur d'activité ?

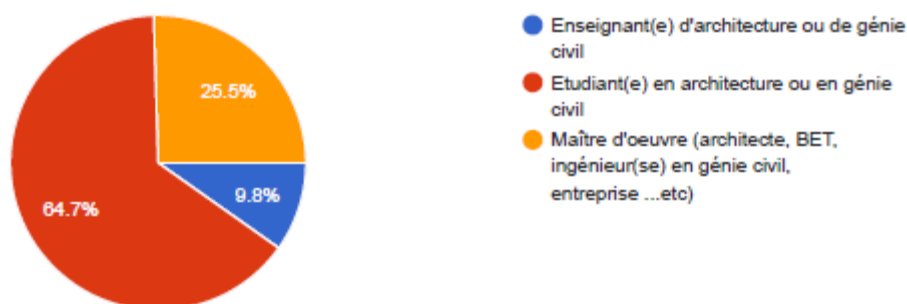


Figure 77: secteur d'activité des échantillons, source : Google Forms

Commentaire : Selon la figure 77 la majorité des personnes qui ont rempli le questionnaire sont des étudiants (64.7%), le moins des participants sont des enseignants (9.8%), alors que le reste de pourcentage (25.5%) sont des maitres d'œuvres.

V.3.2.L'humidité dans les équipements touristiques :

Ce groupe des questions est consacré aux informations générales sur l'humidité relative dans la wilaya de Jijel et son effet sur l'état de confort des touristes dans la wilaya.

V.3.2.1. Dans la wilaya de Jijel, sentez-vous de l'inconfort en présence de l'humidité ?

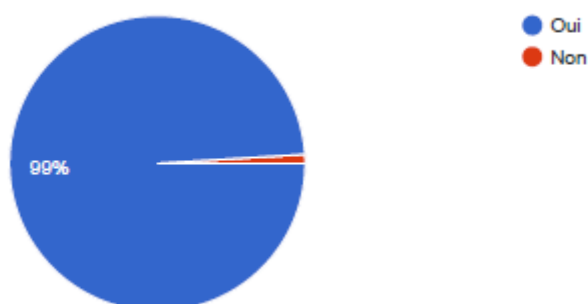


Figure 78: Réponses à la question 02, source : Google Forms

Commentaire :

99% des personnes interrogées, selon la figure 78, constatent que la présence de l'humidité dans la wilaya de Jijel est source d'inconfort. On remarque que le pourcentage des personnes qui ont dit non est négligeable (1%).

V.3.2.2. Pensez-vous que le taux d'humidité relative élevée dans la wilaya de Jijel en général et dans les zones côtières en particulier dérange les touristes venus dans la wilaya ?

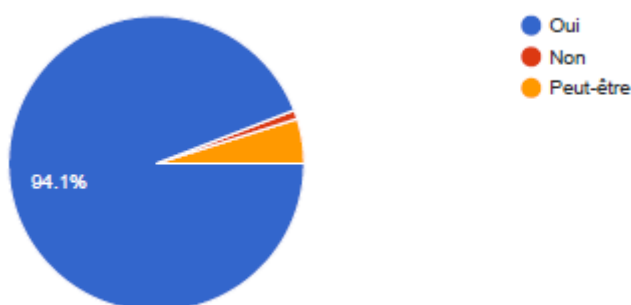


Figure 79: réponse à la question 03, source : Google Forms

Commentaire :

Selon la figure 79 la plupart des participants (94.1%) jugent que le taux élevé d'humidité dérange les touristes et constitue une source de répulsion.

V.3.2.3. Pensez-vous que les appareils de régulation de l'humidité (déshumidificateurs) sont la bonne solution ?

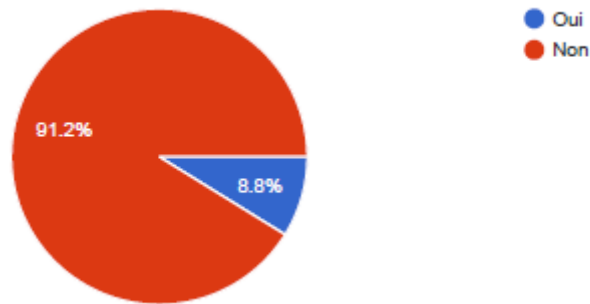


Figure 80: réponse su question 04, source : Google Forms

Commentaire :

91.2% des personnes interrogées indiquent que les appareils de régulation de l'humidité n'ont pas la bonne solution pour la correction de l'humidité dans les équipements, et le reste (8.8%) ont dit oui.

V.3.2.4. Pensez-vous que les appareils de régulation augmentent le coût ?

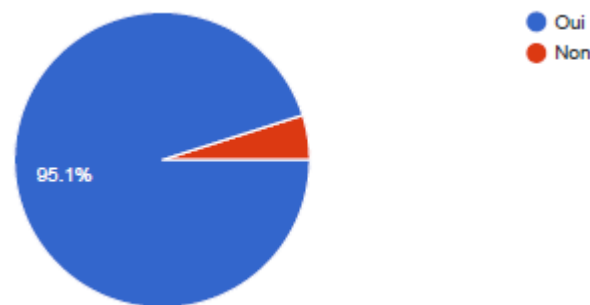


Figure 81: Réponse su question 05, source : Google Forms

Commentaire :

A partir du point de vue de 95.1% des personnes interrogées qui affirment que l'utilisation des appareils de régularisation augmente le coût, contre (4.9%) des personnes qui pensent que non, il y'a lieu de prendre en charge l'aspect économie lors de la conception des équipements.

V.3.2.5. Pensez-vous que la régulation de l'humidité dans les équipements touristiques améliorerait le confort ?

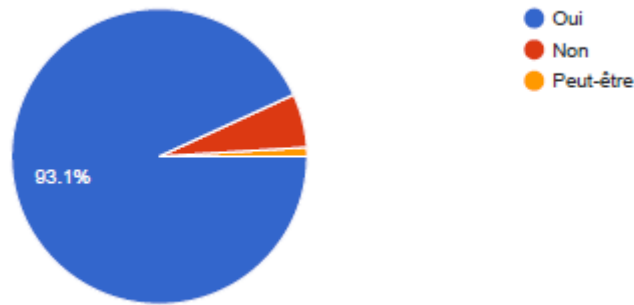


Figure 82: Réponses à la question 06, source : Google Forms

Commentaire :

La figure 82 nous indique que 93.1% des personnes interrogées affirment qu'avec la régulation de l'humidité dans les équipements touristiques, le confort des touristes sera meilleur, 6.9 % des personnes restent cependant divisés entre ceux qui pensent que cela n'améliore aucunement le confort, et ceux qui croient qu'avec la régulation de l'humidité dans les équipements touristiques les touristes peuvent être dans de meilleures conditions de confort.

V.3.3. La façade végétalisée :

V.3.3.1. Avez-vous une idée sur la façade végétalisée ?

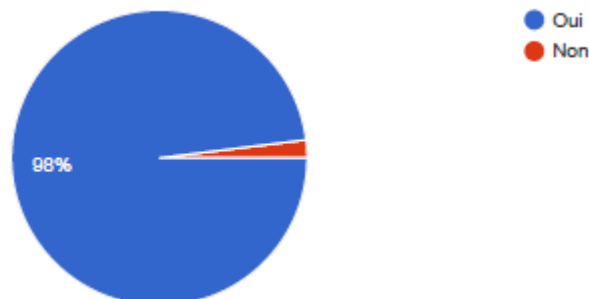


Figure 83: réponse à la question 07, source : Google Forms

Commentaire :

D'après la figure 83 on remarque que la majorité des interrogés ont des idées sur la notion de façade végétalisée avec un pourcentage de 98%

V.3.3.2. Pensez-vous qu'une façade végétalisée est meilleure?

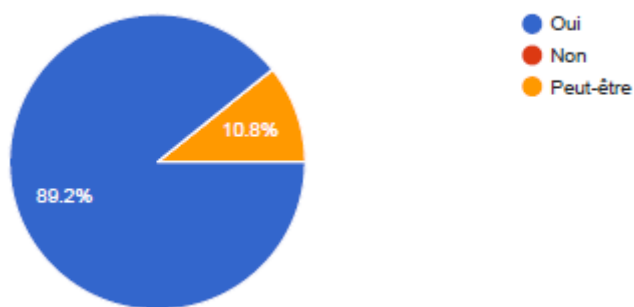


Figure 84: réponse su question 08, source : Google Forms

Commentaire :

Selon la figure 84, environ 89.2% des participants affirment qu'une façade végétalisée est meilleure qu'une autre ordinaire, et 10.8% sont moins catégoriques et trouvent que la façade végétalisée est meilleure qu'une ordinaire.

V.3.3.3. En présence de la façade végétalisée, sentez-vous du confort ?

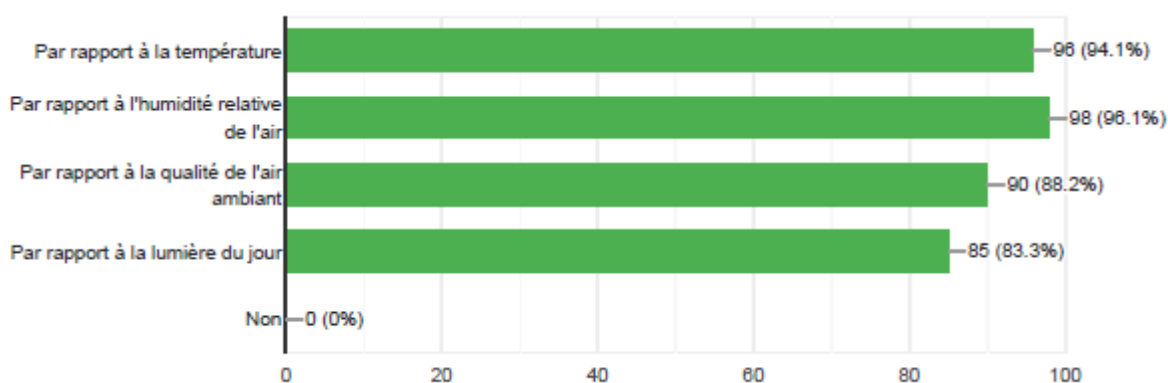


Figure 85: réponse su question 09, source : Google Forms

Commentaire :

La figure 85 montre que pour la grande majorité des personnes interrogées, disent qu'en présence de la façade végétalisée, l'être humain sent du confort par rapport à l'humidité relative de l'air (96.1%), puis par rapport à la température avec un pourcentage de (96%), puis par rapport à la qualité de l'air ambiant, et un pourcentage de (85%) par rapport à la lumière du jour.

V.3.3.4. La consommation énergétique dans le bâtiment est minimisée grâce à la façade végétalisée ?

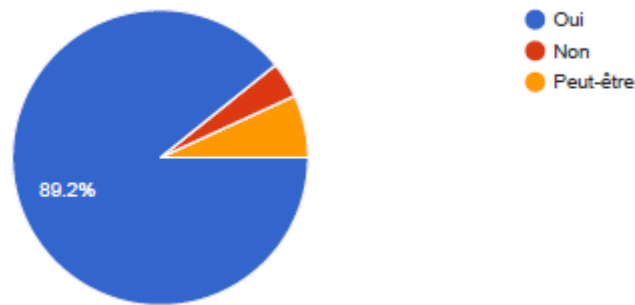


Figure 86: réponse sur question 10, source : Google Forms

Commentaire :

Selon la figure 86 on trouve que 89.2% des sondés affirment que la consommation énergétique se minimise grâce à la végétalisation.

V.3.3.5. La façade végétalisée rend le bâtiment environnemental et durable ?

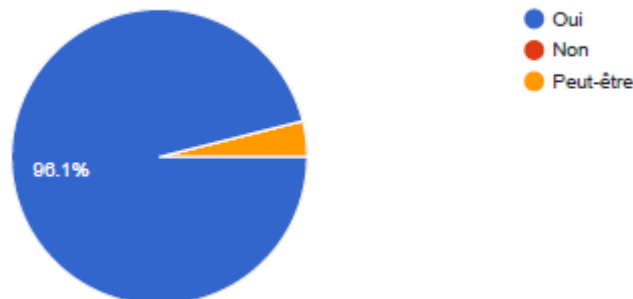


Figure 87: réponse sur question 11, source : Google Forms

Commentaire :

On remarque que la plupart des personnes questionnées 96.1% affirme que la façade végétalisée rend le bâtiment environnemental et durable, et 3.9% des personnes croient que la façade végétalisée peut rendre le bâtiment environnemental et durable.

V.3.3.6. Le type de disposition de la végétation joue-t-il un rôle dans l'amélioration de la qualité de l'espace intérieur du bâtiment ?

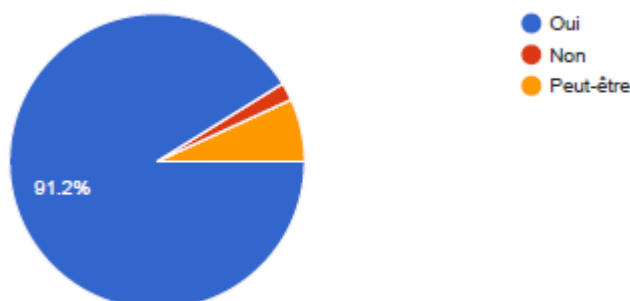


Figure 88: réponse su question 12, source : Google Forms

Commentaire :

D'après la figure 8 la plupart des personnes (91.2%) conviennent que le type de disposition de la végétation joue un rôle dans l'amélioration de la qualité intérieure de l'espace. Le reste des réponses divisées en deux, ceux qui croient que le type de disposition de la végétation peut jouer un rôle dans l'amélioration de la qualité intérieure de l'espace, et ceux qui disent non.

V.3.3.7. Le type de plante joue-t-il un rôle dans l'amélioration de la qualité intérieure de l'espace intérieur du bâtiment ?

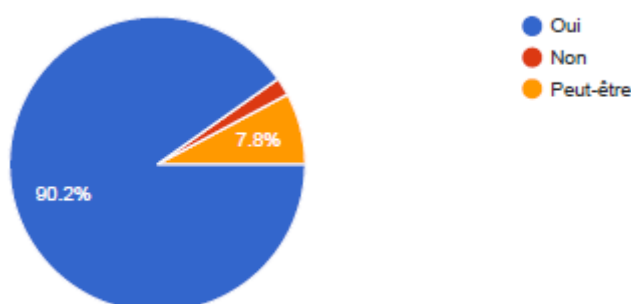


Figure 89: réponse su question 13, source : Google Forms

Commentaire :

On remarque que 90.2% des personnes interrogées affirment que le type des plantes de la végétation joue un rôle dans l'amélioration de la qualité intérieure de l'espace du bâtiment, et (7.8%) des personnes croient que le type des plantes de la végétation peuvent jouer un rôle dans l'amélioration de la qualité intérieure de l'espace du bâtiment, les reste de pourcentage (2%) sont pas d'accord avec cette idée.

V.3.3.8. Si oui, quel type de végétation proposez-vous afin de réduire ou absorber plus l'humidité relative de l'air ?

Les réponses de ces questions sont :

- Le lierre
- Les plantes hydrofuges
- Le nephrolepis et le ficus
- Le spathiphyllum
- Le fuchsia
- Le tillandsia
- L'éoiphyllum

Donc les participants dans ce questionnaire ont une idée sur les performances des types de la végétation.

V.3.3.9. Pensez-vous que la végétation puisse réguler le microclimat ?

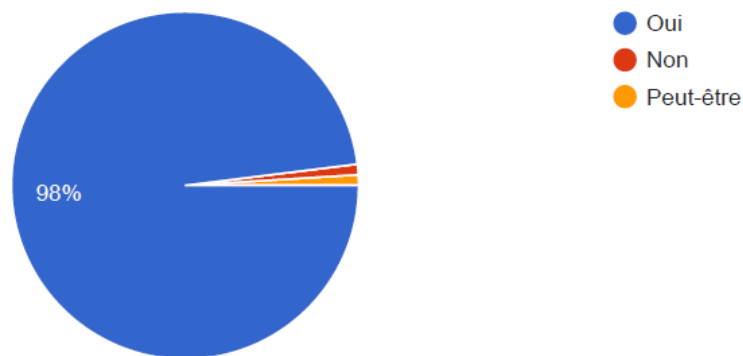


Figure 90: réponse su question 15, source : Google Forms

Commentaire :

D'après la figure 90, (98%) des personnes interrogées affirment que la végétation peut régulariser le microclimat, et 2% des personnes sont devisée en deux groupes, le premier disent peut-être et le deuxième disent non.

V.3.3.10. La façade végétalisée, peut protéger la peau interne du bâtiment des effets de l'humidité relative (les acariens, les moisissures...) ?

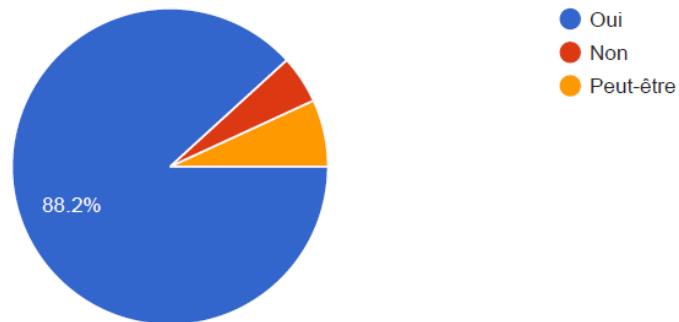


Figure 91: réponse su question 16, source : Google Forms

Commentaire :

Selon la figure 91 la majorité des personnes (88.2%) affirment que la façade végétalisée peut protéger la peau interne du bâtiment des effets de l'humidité relative.

V.3.3.11. Pensez-vous que la végétation des façades donne un aspect esthétique au bâtiment ?

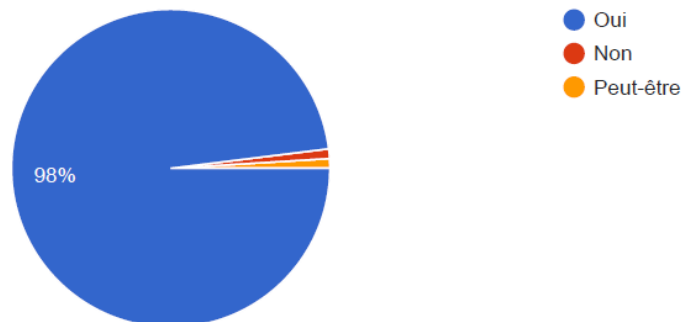


Figure 92: réponse su question 17, source : Google Forms

Commentaire :

D'après la figure 92, on remarque que (98%) trouvent que la façade végétalisée donne un aspect esthétique au bâtiment.

V.3.3.12. Pensez-vous que la réalisation d'une façade végétalisée en même temps dynamique est plus coûteuse qu'une autre ordinaire ?

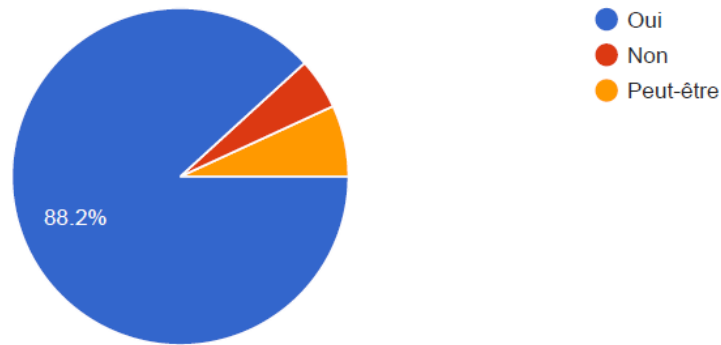


Figure 93: réponse sur question 18, source : Google Forms

Commentaire :

Selon la figure 93 (88.2%) des personnes indique que la réalisation d'une façade végétalisée au même temps dynamique est plus performante qu'un autre ordinaire.

V.3.4. La façade dynamique :

Ce groupe de questions est dédié à l'identification de la façade dynamique

V.3.4.1. Avez-vous une idée de la façade dynamique ?

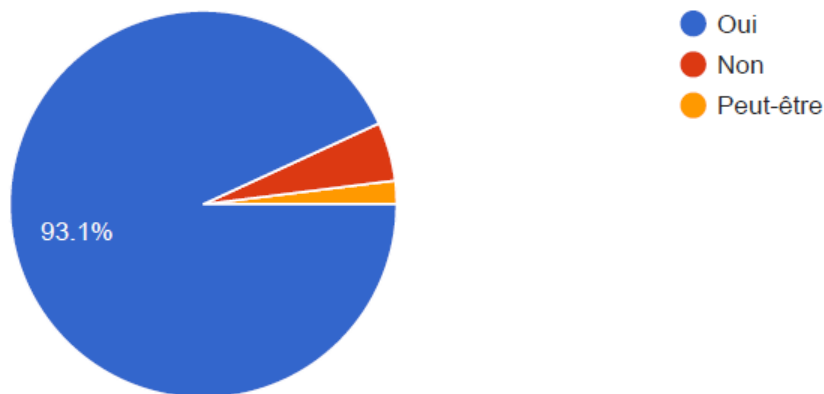


Figure 94: réponse sur question 19, source : Google Forms

Commentaire :

D'après leur réponse, environ 93.1% des personnes questionné ont une idée sur le type de façade dit 'dynamique'.

V.3.4.2. Pensez-vous que le bâtiment à façade dynamique est meilleur qu'un bâtiment à façade stable ?

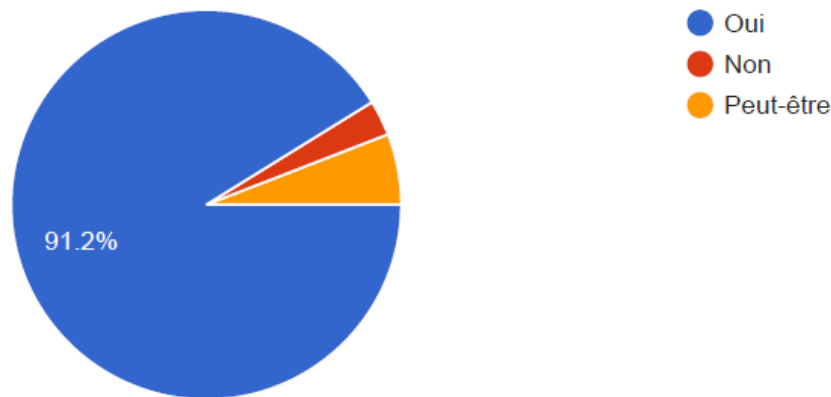


Figure 95: réponse sur question 20, source : Google Forms

Commentaire :

D'après la figure 95, Ce sont 91.2% des personnes interrogées qui trouvent qu'un bâtiment à façade dynamique est meilleur qu'un autre stable, le reste des personnes (8.8%) sont partagées entre deux groupes, un dit non et l'autre groupe croit qu'un bâtiment à façade dynamique peut être meilleur qu'un bâtiment à façade stable.

V.3.4.3. Pensez-vous que le bâtiment à façade dynamique consomme plus d'énergie par rapport à un bâtiment à façade stable ?

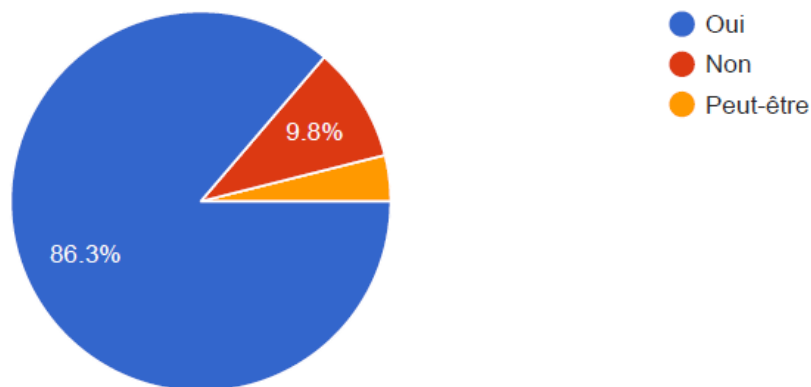


Figure 96: réponse sur question 21, source : Google Forms

Commentaire :

Selon la figure 96, on remarque que 86.3% des personnes interrogées affirment que le bâtiment à façade dynamique consomme beaucoup d'énergie par rapport à un bâtiment à façade stable, cependant 9.8% des personnes dit le contraire. Le reste (3.9%) croit que le bâtiment à façade dynamique consomme beaucoup d'énergie par rapport à un bâtiment à façade stable.

V.3.4.4. Pensez-vous que la réalisation d'un bâtiment à façade dynamique est plus rapide qu'un bâtiment à façade stable ?

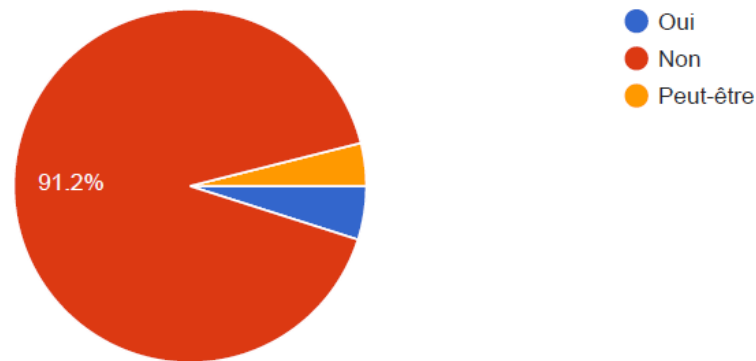


Figure 97: réponse sur question 22, source : Google Forms

Commentaire :

Selon la figure 97, on trouve que (91.2%) des personnes interrogées trouvent que la réalisation d'un bâtiment à façade dynamique n'est pas plus rapide qu'un bâtiment à façade stable.

V.3.4.5. Pensez-vous que la réalisation d'un bâtiment à façade dynamique est plus couteuse qu'un bâtiment à façade stable ?

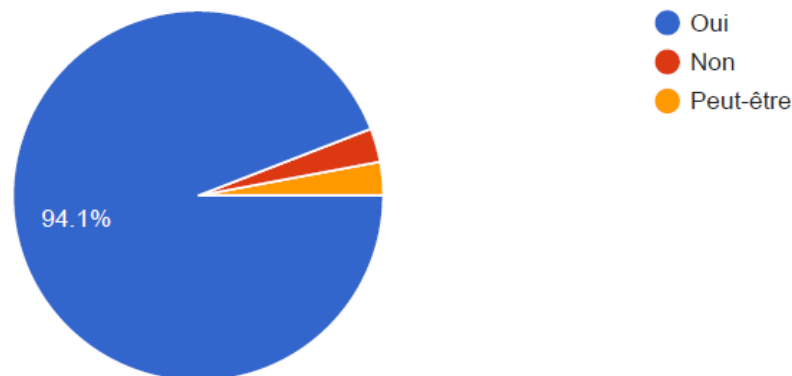


Figure 98: réponse sur question 23, source : Google Forms

Commentaire :

Selon la figure 98, on remarque que la majorité des personnes ayant rempli le questionnaire affirme que la réalisation d'un bâtiment à façade dynamique est plus couteuse qu'un bâtiment à façade stable.

V.3.4.6. Sentez-vous que le changement formel de la façade dynamique enrichisse l'esthétique de bâtiment ?

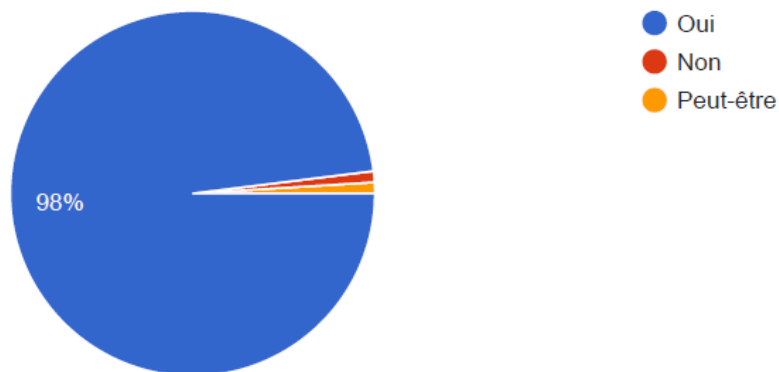


Figure 99: réponse sur question 24, source : Google Forms

Commentaire :

D'après la figure 99, la grande majorité des personnes interrogées (98%) affirment que le changement formel de la façade dynamique enrichit l'esthétique de bâtiment.

V.3.5. Conclusion :

- D'après les réponses obtenus, le taux d'humidité élevé sur le littoral de Tassoust exerce une mauvaise influence sur les estivants, et la résolution de ce problème peut augmenter le taux de fréquentation des touristes dès qu'ils sont dans de meilleures conditions de confort.
- D'après le point de vue des professionnels, il est possible de faire marier façade végétalisée et façade dynamique et le dynamisme ajoute de la valeur à la façade végétalisée.
- Le mariage entre la façade dynamique et celle végétalisée est plus coûteux et long à la mise en oeuvre mais les problèmes de cette façade une fois résolus, nous fait oublier ces surcoûts qui deviennent négligeables à long terme.
- Le manque d'application du concept du façade végétalisée et dynamique ne signifie pas un manque de connaissance de fond de la part des architectes à ce sujet, bien au contraire, nous avons constaté à travers notre étude qu'il existe beaucoup de connaissances chez eux et une tendance à aller vers des conceptions prenant en compte ces aspects.
- Le fusionnement de ces façades peut augmenter les valeurs esthétiques des bâtiments par ses ambiances, ses couleurs, et le changement formel de la peau externe.

Conclusion

générale

VI . Conclusion générale :

A travers les chapitres théoriques, on constate que l'hygrométrie indique le pourcentage de la présence de l'eau dans l'air ambiant et il y a des facteurs influents sur le confort hygrométrique. On compte des facteurs qui sont liés à l'individu comme les activités du corps humain tels que la respiration, des facteurs liés à l'environnement (comme le climat) et d'autres liés à l'enveloppe architecturale. L'humidité a des nuisances et des méfaits sur la construction et ses matériaux et surtout sur la santé de l'être humain, donc il fallait la traiter de telle sorte que la solution doit être durable, enrichisse l'écosystème et en même temps écologique.

De nos connaissances, la durabilité, l'écosystème, et la richesse en biodiversité qui attire la faune et protège la flore, signifie une solution de source naturelle, donc on a choisi la végétalisation des façades.

La façade végétalisée a des bénéfices incommensurables en premier lieu pour l'environnement par sa régularisation de température de façon qu'elle soit adaptée au besoin, par son rafraîchissement de l'air avec le dégagement de l'oxygène et l'absorption des gaz à effet de serre. On peut dire qu'elle fait du bâtiment un poumon dans son milieu, donc elle améliore la qualité de l'air, par sa gestion des eaux pluviales, par ce qu'elle serait le bardage d'isolation du bâtiment des méfaits, de précipitation par son absorption de l'eau pluvial comme elle peut être un filtre naturel des eaux. Par son assurance de la luxure visuelle et sa richesse en ambiance de couleur et texture, elle invite au confort psychologique. Par son attirance insectes et oiseaux elle est une réserve naturelle des plantes.

Elle aussi des bienfaits sur le bâtiment en matière de l'isolation thermique et la consommation énergétique, elle réduit la température en été et garde la chaleur de l'enveloppe en hiver, donc elle devient un isolant et un économat de l'énergie. Ses feuilles et tiges devient une couche isolante contre les nuisances externes.

Les bienfaits de la végétation sur le confort se diversifient selon le type des espèces planter, il y a des espèces absorbantes de l'humidité et le CO₂ plus que les autres tels que le lavande, le lierre, le romarin qui sont des espèces locales existantes dans notre wilaya, plus que son absorption, ils ont des autres caractères (ils sont diffusés leur : parfume, médicinal, attirant de la faune).

La façade dynamique est l'une des technologies qui rend le bâtiment adaptable à son environnement, son dynamisme peut être par rapport au microclimat et les rayonnements solaires. Avec cette adaptation, l'utilisateur des bâtiments à façade dynamique sera en confort par rapport aux conditions externes.

Nous avons commencé le premier chapitre par une analyse des projets livresque qui ont un lien avec notre thème, le premier exemple est un hôtel à Singapour qu'est considéré comme le parc de la ville parce qu'il est une richesse botanique, dans ce projet l'architecte donné l'importance à l'écosystème qui vas créer sa durabilité, il est attirant de la faune (les oiseaux et les insectes) donc il favorise la biodiversité.

Puis dans le deuxième exemple nous avons conclu que les façades dynamiques peuvent être dynamisées grâce au matériau lui-même et car les meilleures recherches se basent sur la nature parce qu'elle est la base de la durabilité. Ce projet nous a affirmé que la façade dynamique peut résoudre le problème des taux d'humidité élevé. Suite à quoi nous avons fait une représentation de notre cas d'étude sur le site de la ZEST de Tassoust.

Le travail pratique à débiter avec l'interprétation des résultats de mesures tout en mettant l'accent sur l'effet de la végétation sur l'humidité relative et la température de l'air ambiant et en fin on a conclu que la végétation a des effets sur la diminution de degré d'hygrométrie, et le romarin, plante absorbante de l'humidité, s'est avéré une plante efficace qui offre en plus une bonne odeur avec son rôle médicinal pour le traitement des douleurs de l'intestin.

Dans le dernier chapitre ou nous avons fait un questionnaire pour évaluer le point de vue des professionnels de la possibilité de fusionner la façade végétalisée avec l'autre dynamique et juger de ce que le dynamisme va donner de la valeur à la façade végétalisée en ce qui concerne l'humidité relative.

Donc du chapitre expérimental nous retenons ces points :

- La végétalisation des façades donne des performances au bâtiment qui lui permet de dispenser les utilisateurs des appareils à forte consommation d'énergie qui sont les ennemis de la planète.
- Le dynamisme des batiments nous permet de bien contrôler l'hygrométrie dans les zones cotières et surtout dans les batiments à caractère touristiques.

C'est ce qui permet d'affirmer notre hypothèse de départ et joindre un bout de brique modeste au mur de la recherche sur le confort des bâtiments et surtout ceux touristiques car ils sont les plus énergétivores.

Références bibliographi- ques

VII . Références bibliographiques :

- ABELÉ, C. 2009. *Transferts d'humidité à travers les parois évaluer les risques de condensation*, Marne-la-Vallée (84 Av. Jean-Jaurès, Champs-sur-Marne, 77447 Cedex 2); Paris; Grenoble, CSTB.
- AQUAPORTAIL. 2021. *humidité* [Online]. France: AQUAPORTAIL. Available: <https://www.aquaportail.com/definition-5770-humidite.html> [Accessed 26/04/ 2021].
- AYADI, I., ZITOUNI, S. & BENDADA, T. 2015. Enseignement supérieur: Le confort dans l'architecture.
- BARET, Y. 2007. *Traiter l'humidité*, Paris, Numilog : Eyrolles.
- BASS, B. & BASKARAN, B. 2001. CCAF IMPACTS AND ADAPTATION PROGRESS REPORT APRIL 1, 1999–MARCH 31, 2001.
- BEN BACHA, C. 2017. Les façades dynamiques; moyen de contrôle solaire pour accroître l'efficacité énergétique des équipements administratifs en climat aride - Biskra.
- BERNIER, A.-M. 2011a. Les plantes grimpantes. Recuperado de http://acaba.typepad.fr/files/les_plantes_grimpantes_une_solution_rafraichissante.pdf.
- BERNIER, A.-M. 2011b. Végétalisation du bâtiment en milieu urbain: bénéfiques et perspectives. UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL.
- BLAY, K., AGYEKUM, K. & OPOKU, A. 2019. Actions, attitudes and beliefs of occupants in managing dampness in buildings. *International Journal of Building Pathology and Adaptation*.
- BONTE, L. H. 2010. Réaliser et entretenir son mur végétal, Eyrolles.
- BOUATTOUR, M. & ALAIN, F. 2009. La végétalisation des bâtiments. *Direction Régionale de l'Équipement d'Ile-De-France*.
- CLAUDOT 2019. Construction bioclimatique en Guyane. *Séquence 2 Identifier les différentes notions du confort*. 13 avenue Léopold HEDER, 97300 Cayenne, Guyane Française Siret : 453 127 177 000 13: AQUAA PRO.
- CLÉMENT, C. 2011. Les transferts d'humidité dans les bâtiments. Ingénierie énergétique.
- D'AZUR, N. C. 2009. ETUDE POUR LA DEFINITION D'UNE DEMARCHE DE DEVELOPPEMENT DES TOITURES VEGETALISEES.
- DJEDJIG, R. 2013. Impacts des enveloppes végétales à l'interface bâtiment microclimat urbain. Université de La Rochelle.
- DUNNETT, N. & KINGSBURY, N. 2008. *Planting green roofs and living walls*, Timber press Portland, OR.
- EDUPUGANTI, S. R. 2013. Dynamic shading: an analysis.

- EL SHEIKH, M. M. 2011. Intelligent building skins: parametric-based algorithm for kinetic facades design and daylighting performance integration, University of Southern California.
- FALZON, P. 1996. Des objectifs de l'ergonomie. *L'ergonomie en quête de ses principes*, 233-242.
- FOX, M. A. & YEH, B. P. 1999. Intelligent kinetic systems. *Preparation for MANSEE*, 99, 1st.
- GEOFFREY 2008. assurer le confort acoustique. In: ENVIRONNEMENT, B. (ed.). Bruxelles.
- ISELT, P., ARNDT, U. & CAUCHEPIN, J. 1997. Manuel de l'humidification de l'air : avec de nombreux exemples d'applications, Paris, Pyc édition livres.
- KHAN, A. 2015. L'habitat durable en Arabie Saoudite: dimension climatique et socio-culturelle: cas d'étude: la ville de Djeddah. Bordeaux.
- LAROUSSE. 2021. *humidité* [Online]. LAROUSSE. Available: <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/humidite%20C3%A9/40650> [Accessed 26/04 2021].
- LOH, S. 2008. Living walls—a way to green the built environment. *Environment Design Guide*, 1-7.
- LOONEN, R. C., TRČKA, M., CÓSTOLA, D. & HENSEN, J. L. 2013. Climate adaptive building shells: State-of-the-art and future challenges. *Renewable and sustainable energy reviews*, 25, 483-493.
- MARESCA, B., DUJIN, A. & PICARD, R. 2009. La consommation d'énergie dans l'habitat entre recherche de confort et impératif écologique, CREDOC.
- MCLENNAN, J. F. 2004. The philosophy of sustainable design: The future of architecture, Ecotone publishing.
- MESTAYER, P. & BRUNET, Y. 2015. Impact de la végétation urbaine sur la qualité de l'air. *Innovations Agronomiques*, 45, 35-45.
- MOLONEY, J. 2011. Designing kinetics for architectural facades: state change, Taylor & Francis.
- MOUHAMED.M.K.S.A.A.A.A. 2019. *les façades dynamiques*
- NOWAK, D. J., CRANE, D. E. & STEVENS, J. C. 2006. Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban forestry & urban greening*, 4, 115-123.
- OGWEZI, B., BONSER, R., COOK, G., SAKULA, J. & HAPPOLD, B. Multifunctional, Adaptable Facades. TSBE EngD Conference, TSBE Centre, University of Reading, Whiteknights, RG6 6AF, 5th July, 2011.

- ORHON, A. V. 2016. Adaptive building shells. Efe, RE, Matchavariani, LM, Yaldir, AY and Lévai, LL (eds), 555-567.
- PECK, S. W., CALLAGHAN, C., KUHN, M. E. & BASS, B. 1999. Greenbacks from green roofs: forging a new industry in Canada.
- PERINI, K., OTTELÉ, M., HAAS, E. & RAITERI, R. 2011. Greening the building envelope, façade greening and living wall systems. *Open Journal of Ecology*, 1, 1.
- PICARD, C.-F., ABADIE, M., DHALLUIN, A., NICOLLE, K. C. M., BATTEZZATI, F., LE DRÉAU, J. & COVALET, D. 2020. Livrable T3. 3–Définition des indicateurs de confort.
- POTIER, F. 2004. fiche technique sur l'humidité. France.
- QUIROUETTE, R. L. Record identifier / Identificateur de l'enregistrement : e31f7513-1c83-4a36-a941-d260edbd935c. Humidité, condensation et ventilation dans les maisons : Regard '83 : science du bâtiment : compte rendu et renseignements supplémentaires. Compte rendu (Conseil national de recherches du Canada. Division des recherches en bâtiment); n° 7, 1984/05 1984. Collection / Collection : NRC Publications Archive / Archives des publications du CNRC: National Research Council of Canada. Division of Building Research
- Conseil national de recherches du Canada. Division des recherches en bâtiment.
- RECKNAGEL, H., SPRENGER, E. & CAUCHEPIN, J.-L. 1987. *Manuel pratique du génie climatique*, Paris, Pyc.
- RIOUX, L., LE ROY, J., RUBENS, L. & LE CONTE, J. 2013. Le confort au travail. *Presses Universitaires de Laval*.
- SAUDREAU, M., KASTENDEUCH, P., NGAO, J., NAJJAR, G. & AMÉGLIO, T. 2015. Régulation du climat thermique urbain par les arbres : ombrage et température du couvert. *Innovations Agronomiques*, 45, 23-34.
- SCHUMACHER, M., SCHAEFFER, O. & VOGT, M.-M. 2010. *Move: architecture in motion-dynamic components and elements*, De Gruyter.
- SHEWEKA, S. M. & MOHAMED, N. M. 2012. Green facades as a new sustainable approach towards climate change. *Energy Procedia*, 18, 507-520.
- TEUFFEL, P. 2004. Entwerfen adaptiver strukturen.
- THELLIER, F. Peut-on réduire les consommations d'énergie sans sacrifier le confort?
- TOMASINI, F. 2010. l'humidité dans les batiments.
- TUCKER, T. J. 2014. Performative Shading Design: Parametric Based Measurement of Shading System Configuration Effectiveness and Trends. University of Southern California.





Annexes











Annexes :



Annexe 01 : Pression de vapeur saturante en phase pure au-dessus d'une surface d'eau.
D'après (Abelé, 2009)

Pression de vapeur saturante en phase pure au-dessus d'une surface d'eau									
T °C	P _{sat} Pa	θ °C	P _{sat} Pa	T °C	P _{sat} Pa	T °C	P _{sat} Pa	T °C	P _{sat} Pa
0	611	20	2 339	40	7 385	60	19 948	80	47 415
1	657	21	2 488	41	7 788	61	20 889	81	49 368
2	705	22	2 645	42	8 210	62	21 868	82	51 388
3	758	23	2 811	43	8 651	63	22 886	83	53 477
4	813	24	2 986	44	9 113	64	23 944	84	55 636
5	872	25	3 170	45	9 596	65	25 043	85	57 868
6	935	26	3 364	46	10 100	66	26 184	86	60 174
7	1 002	27	3 568	47	10 627	67	27 370	87	62 557
8	1 073	28	3 783	48	11 178	68	28 600	88	65 017
9	1 148	29	4 009	49	11 753	69	29 877	89	67 559
10	1 228	30	4 247	50	12 353	70	31 202	90	70 182
11	1 313	31	4 497	51	12 979	71	32 577	91	72 890
12	1 403	32	4 760	52	13 632	72	34 002	92	75 685
13	1 498	33	5 035	53	14 313	73	35 479	93	78 568
14	1 599	34	5 325	54	15 023	74	37 010	94	81 542
15	1 706	35	5 629	55	15 763	75	38 597	95	84 609
16	1 819	36	5 948	56	16 534	76	40 240	96	87 771
17	1 938	37	6 282	57	17 337	77	41 942	97	91 031
18	2 065	38	6 633	58	18 173	78	43 704	98	94 391
19	2 198	39	7 000	59	19 042	79	45 528	99	97 853
								100	101 419

Annexes 02 : la biodiversité du PNT. Source : (plan de gestion du parc nationale de Taza, phase A, 2006-2010)

Les plus importants espèces terrassières protégés (flore)				
Nom	Famille	Nom scientifique	Utilité	Image
Astérisque maritime	Asteracées	Asteriscus maritimus	Décorative Aromatique	
Crithme	Apiacées	Crithmum maritime	/	
Inule fausse crithme	Asterracées	Inula crithoides	Alimentaire	
Scabieuse maritime	Dispacées	Scabiosa maritimum	/	

Myrte commune	Myrtanées	Myrtus communis	Alimentaire Médicinale Endémique Aromatique	
Palmier nain	Arecacées	Chamarops humilis	Lutter contre l'érosion Désertification	
Nerprum altaterne	Rhamnacés	Rhamnus alaternus	Décorative Médicinale	
La queue du lierre	Poacées	Lagurus Ovatus	Décorative Ornementale	
Le pistachier lentique	Terébinthacées	Pistacia lentiscus	Médicinale Aromatique	
Inulevisqueuse	Décomposé	Inula viscosa	Médicinale Décorative	
Chêne liège	Des lagacés	Quercus suber	Médicinale Décorative Confort acoustique et thermique	
Arbousier (arbre aux fraises)	Des ericacées	Arbutus unedo	Alimentaire Médicinale Aromatique	
Pavot coquelicot	Les papaveracés	Papaver rhoas	Médicinale Décorative	
Laurier rose	Des apocynacées	Nerium oleander	Médicinale Aromatique	

Mauve sauvage	Des malvacées	Malvasylvestris	Médicinale Décorative	
Aubépine à un seul carpelle	Des rosacées	Crataegus monogyna	Médicinale	

Annexe 03 : Les plantes médicinales les plus utilisées dans le PNTaza

Nom	Famille	الاسم	Utilisation
Malva silverstris	Malvacées	الخبازي البري	
Melissa officinalis	Labiées	حبق ترنجان	Calme la tête
Origanum Floribundum	Labiées	ز عتر	Anti-diarrhée Douleur d'estomac
Mentha rotundifolia	Labiées	نعناع مستدير الورق	Guérir les plaies d'estomac
Mentha puleginum	Labiées	نعناع الحقول	Calme de maux tête
Saturja Mentefolia	Labiées	الندغ	Inti gonflement des dents Toux
Lavandula stoechas	Labiées	حلحال الجبل	L'indigestion
Cytisus Troflorus	Légumineuses	اللزبان	Commode Blessures
Pistachia lentiscus	Anacardiacee	بطم شريقي(الطرو)	Elimine les douleurs à l'estomac
Tapsia graganica	Ombellifères	الدرياس	Elimine les maux de dos
Olea Europea	Oléacées	زيتون أوربي(الزبوش)	Suppression des trous qui se produisent dans la bouche
Myrtus communis	Myrtacées	الريحان	Indigestion

Centaurium umbelatum	Gentianacées	النواراة الحمراء	Maux de tête, fièvre
Inula Viscoca	Urticacées	بيرمان	Guérir les plaies d'estomac
Arbutus Unedo	Ericacées	سايسنوا	Anti rhumatismale
Eucalyptus globulus	Mirtacées	الكاثوس	Un désinfectant respiratoire
Lonicera Implexa	Caprifoliacées	سلطانة الرحابة	Anti-Toux
Rhammus Alaternus	Acanthacées	عود النعام	Renforce la structure musculaire
Ruta Mantana	Rutacées	الفيجل الجبلي	Douleurs abdominales pour les enfants
Prunus avium	Rosacées	الكرز الغابي	Inflammation des nerfs Haut du formulaire
Ricinus communis	Euphorbiacées	الخروع	Anti-diarrhée
Artimisia Vulgaris	Composées	حبق الراعي	Douleurs abdominales pour les enfants

Annexe 04 : l'appareil de mesure le thermo-hygromètre (TES-1367) :

- Marque: TES
- Design compact
- Double affichage T°C et HR%
- Point de rosée et bulbe humide
- Fonction MIN / MAX et HOLD
- Mémoire 99 valeurs
- Extinction automatique
- Montage mural possible grâce à un trou oblong à l'arrière du boîtier
- Gamme de mesure :
 - Température : -20°C à 60°C
 - Humidité : 1% à 99% HR
 - Résolution 0.1°C / 0.1%HR
- Précision :
 - Température : ±0.5°C
 - Humidité : ±3% de 30 à 99% et ±5% de 1 à 30%HR
- Capacité mémoire 99 valeurs
- Lecture directe sur l'afficheur
- Echantillonnage 2 mesures / seconde
- Conditions d'utilisation De 0°C à 60°C et HR% < 99% sans condensation
- Alimentation par pile 9V
- Autonomie 300 heures
- Dimensions : 193x59x26 mm
- Poids: 140g

Annexe 05 : le questionnaire sur Google Forms :

Questionnaire sur le contrôle de l'hygrométrie par le biais des façades dynamiques végétalisées. Cas des équipements touristiques

Dans le cadre des travaux du mémoire de recherche sous l'intitulé «Le contrôle de l'hygrométrie par le biais des façades dynamiques végétalisées. Cas des équipements touristiques» en vue de l'obtention du diplôme de Master II en architecture, thématique: architecture, environnement et technologies, nous les étudiantes: BOUFRIS Imene et KHROUF Leyla, vous garantissant anonymat ainsi que la confidentialité de vos données, étant donné que notre recherche vise l'unique intérêt pédagogique et académique.

Merci d'avance

votre secteur d'activité? *

- Enseignant(e) d'architecture ou de génie civil
- Etudiant(e) en architecture ou en génie civil
- Maître d'oeuvre (architecte, BET, ingénieur(se) en génie civil, entreprise ...etc)

Next

Clear form

1. Humidité dans les équipements touristiques

L'humidité reflète la présence d'un liquide, en particulier de l'eau, souvent à l'état de traces. Par opposition à l'aridité, l'humidité indique le degré de présence d'eau dans ou sur un matériau (textiles par exemple), une substance ou un gaz (vapeur d'eau) ou une pièce (sous-sol d'un bâtiment par exemple)

a. Dans la wilaya de Jijel, sentez-vous de l'inconfort en présence de l'humidité? *

- Oui
- Non

b. Pensez-vous que le taux d'humidité relative élevée dans la wilaya de Jijel en général et dans les zones côtières en particulier dérange les touristes venus dans la wilaya? *

- Oui
- Non
- Peut-être

c. Pensez-vous que les appareils de régulation de l'humidité (déshumidificateurs) sont la bonne solution? *

- Oui
- Non

d. Pensez-vous que les appareils de régulation augmentent le coût? *

- Oui
- Non

e. Pensez-vous que la régulation de l'humidité dans les équipements touristiques aura dans le meilleur confort? *

- Oui
- Non
- Other: _____

Back

Next

Clear form

2. La façade végétalisée

Le mur végétal est une paroi qui s'élève parallèlement aux murs du bâtiment à protéger. Selon son orientation et sa composition, le mur vert servira à la fois d'écran contre les vents dominants, les intempéries, le bruit, l'ensoleillement mais également la pollution. Ils peuvent servir de refuge ou de garde-manger pour les oiseaux, les invertébrés ou les mammifères, mais ils semblent également pouvoir jouer un rôle en matière de microclimat et de qualité de l'air (Bouattour et Alain,2009)

Un exemple de la façade végétalisée (musée quai Branly à Paris)



a. Avez vous une idée sur la façade végétalisée? *

- Oui
- Non

b. Pensez-vous qu'une façade végétalisée est meilleur ? *

- Oui
- Non
- Peut-être

c. A la présence de la façade végétalisée

sentez-vous du confort? *

- Par rapport à la température
- Par rapport à l'humidité relative de l'air
- Par rapport à la qualité de l'air ambiant
- Par rapport à la lumière du jour
- Non
- Other: _____

La consommation énergétique dans le bâtiment se minimise, grâce à la façade végétalisée? *

- Oui
- Non
- Peut-être

d. La façade végétalisée rend le bâtiment environnemental et durable? *

- Oui
- Non
- Peut-être

e. Le type de disposition de la végétation joue-t-il un rôle dans l'amélioration de la qualité intérieure de l'espace intérieur du bâtiment? *

- Oui
- Non
- Peut-être

f. Le type de plante joue-t-il un rôle dans l'amélioration de la qualité intérieure de l'espace intérieur du bâtiment? *

- Oui
- Non
- Peut-être

Si oui, quelle type de végétation proposez vous qu'il pour réduire ou absorber plus l'humidité relative de l'air?

Your answer

g. Pensez vous que la végétation puisse réguler le micro-climat? *

- Oui
- Non
- Peut-être

h. La façade végétalisée, peut protéger la peau interne du bâtiment des effets de l'humidité relative (les acariens, les moisissures...etc,)? *



- Oui
- Non
- Peut-être

i. Pensez-vous que la végétation des façades donne un aspect esthétique au bâtiment? *

- Oui
- Non
- Peut-être

j. Pensez vous que la réalisation d'une façade végétalisée en même temps dynamique est plus coûteuse qu'une autre ordinaire ? *

- Oui
- Non
- Peut-être

Back

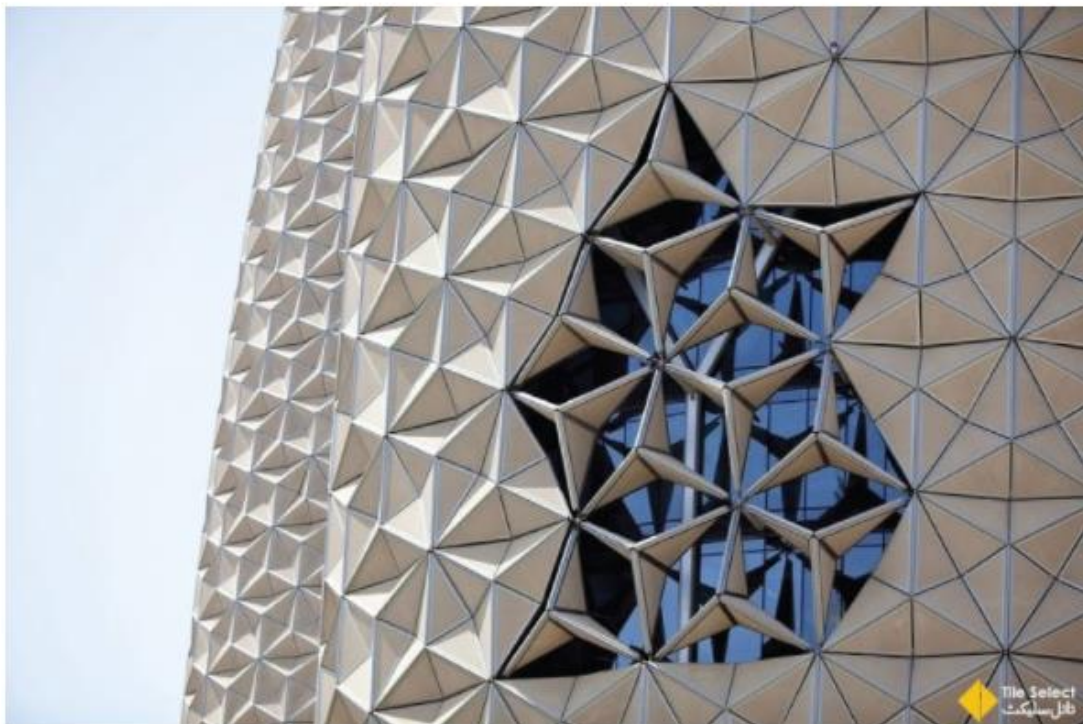
Next

Clear form

3. La façade dynamique

D'après (Ogwezi et al., 2011) ce type de façades est définis comme des interfaces qui sont dynamiquement adaptables au moyen de pièces mobiles. Ces pièces peuvent être commandées au moyen d'une centrale de contrôle qui analyse les informations des capteurs dans l'enveloppe du bâtiment. Ces capteurs peuvent détecter les niveaux de lumière, les niveaux de température, la vitesse du vent et la qualité de l'air, à partir desquels les données sont analysées en maintenant la réaction appropriée.

Un exemple d'une façade dynamique (Al bahar towers à Abu dhabie)



a. Avez vous une idée de la façade dynamique ? *

- Oui
- Non
- Peut-être

b. Pensez-vous que le bâtiment à façade dynamique est meilleur qu'un bâtiment à façade stable? *

- Oui
- Non
- Peut-être

c. Pensez-vous que le bâtiment à façade dynamique consomme plus d'énergie par rapport à un bâtiment à façade stable? *

- Oui
- Non
- Peut-être

d. Pensez-vous que la réalisation d'un bâtiment à façade dynamique est plus rapide qu'un bâtiment à façade stable? *

- Oui
- Non
- Peut-être

e. Pensez-vous que la réalisation d'un bâtiment à façade dynamique est plus coûteuse q'un bâtiment à façade stable? *

- Oui
- Non
- Peut-être

f. Sentez-vous que le changement formel de la façade dynamique enrichisse l'esthétique du bâtiment? *

- Oui
- Non
- Peut-être

Send me a copy of my responses.

[Back](#)

[Submit](#)

[Clear form](#)

Abstract:

In the tourism sector, the tourist is the main user and his comfort is the main priority, but in the coastal areas in Algeria generally and in Jijel in particular, these uses suffer from the hygrometric discomfort and the absence of its resolutions, which indirectly exclude the tourists every summer season.

The hygrometry is a natural phenomenon that can be treated by several ways but the most sustainable way is to try to be always close to the nature and the dependence on an architectural envelope with natural origin that will enrich the ecosystem in the building is the most favorable. One of these envelopes considering the vegetal facades. Not only they reinforce the biodiversity by its protection of fauna and flora, but they have an effect of protection like a park, but it is fought against the relative humidity rates and the high degrees of air temperature, as it improves the visual comfort and the quality of the ambient air whether it is outside or in the building itself therefore it becomes a botanical insulator.

In the practical aspect of this research we took two methods one to be faithful to the scientific research and the other to see the mind of the professionals. The first method is an on-site experiment in which it was concluded that vegetation decreases relative humidity and air temperature degrees and the more the density of the leaves of the species increases more the hygrometry will be regulated. The second method is a reinforcement of the previous data and a taking of the opinions of the sector people in relation to the value added by the dynamism.

So this research was a fusion of nature with technology.

Key words:

Tourism - hygrometric comfort - sustainability - architectural envelope - vegetated façade - biodiversity - dynamic façade.

المخلص:

في قطاع السياحة، السائح هو المستخدم الرئيسي وراحته من الأولويات الرئيسية، ولكن في المناطق الساحلية بالجزائر على العموم وفي جيجل على وجه الخصوص، يعاني هؤلاء المستخدمون من غياب الراحة الرطوبية وحلول لها، مما يؤدي إلى طرد السياح بشكل غير مباشر كل موسم اصطياف.

الرطوبة هي ظاهرة طبيعية يمكن علاجها بعدة طرق ولكننا نبحث دائما عن الطريقة الأكثر استدامة وقريبة من الطبيعة كما يفضل الاعتماد على غلاف معماري من أصل بيئي من شأنه أن يثري النظام البيئي للمبنى الذي يعتبر الأكثر ملاءمة. واحد من هذه المغلفات نذكر الواجهات النباتية الخضراء، التي تثري التنوع البيولوجي من خلال حمايتها للحيوانات ومختلف النباتات، ذلك لأن لديها تأثير على المحميات مثل الحدائق، كما أنها تسعى لتعديل مستويات الرطوبة النسبية ودرجات الحرارة العالية، زيادة على ذلك فهي تحسن من الراحة البصرية وجودة الهواء المحيط سواء خارج أو في المبنى نفسه وبذلك يصبح عازل نباتي.

في الجانب العملي من هذه المذكرة اتخذنا طريقتين، واحدة لنكون وفيين للبحث العلمي أما الأخرى فلأخذ بعين الاعتبار طريقة تفكير المحترفين في المجال. الطريقة الأولى هي تجربة في الموقع حيث استنتجنا أن الواجهة الخضراء تقلل من مستويات الرطوبة النسبية ودرجات الحرارة في الهواء وكلما زادت كثافة الأوراق في هذه الواجهات كلما زاد اعتدال الرطوبة. الطريقة الثانية، هي تعزيز للبيانات السابقة ولأخذ آراء ناس هذا القطاع فيما يتعلق بالقيمة التي تضيفها الحركية للواجهات الخضراء.

لذا قد كان هذا البحث مزيجا بين الطبيعة والتكنولوجيات الحديثة.

الكلمات المفتاحية:

السياحة - الراحة الرطوبية - الإستدامة - الغلاف المعماري - الواجهة الخضراء - التنوع البيولوجي - الواجهة المتحركة .

Résumé :

Dans le secteur du tourisme le touriste est l'utilisateur principal et son confort est la priorité, mais dans les zones côtières algériennes en général et à Jijel en particulier, ces usages souffrent de l'inconfort hygrométrique et l'absence de ses résolutions, qui excluent indirectement les touristes chaque saison estivale.

L'hygrométrie est un phénomène naturel qui peut être traité de plusieurs façons mais la plus durable est d'essayer d'être toujours près de la nature et la dépendance sur une enveloppe architecturale à origine naturelle qui enrichisse l'écosystème dans le bâtiment est la plus favorable. L'un de ces enveloppes en compte les façades végétales, qu'elles sont favorisées la biodiversité par son protection de la faune et la flore, elle n'a pas que l'effet de la protection comme un parc, mais elle est luttée contre les taux d'humidité relative et les degrés de température de l'air élevés, comme elle améliore le confort visuel et la qualité de l'air ambiant que ce soit à l'extérieur ou dans le bâtiment lui-même donc elle devient un isolant botanique.

Dans l'aspect pratique de cette recherche nous avons suivi deux méthodes l'une pour être fidèle à la recherche scientifique et l'autre pour voir l'esprit des professionnels. La première méthode est une expérience sur site dans laquelle on a conclu que la végétation diminue les taux d'humidité relative et les degrés de température de l'air et plus que la densité des feuilles des espèces augmente plus que l'hygrométrie sera réglé. La deuxième méthode est un renforcement des données précédemment et une prise des opinions des gens du secteur par rapport à la valeur ajoutée par le dynamisme.

Donc cette recherche était une fusion de la nature avec la technologie.

Mots clés :

Tourisme - confort hygrométrique –durabilité – façade végétalisée – biodiversité – humidité relative –façade dynamique.