

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche scientifique

Université Abderrahmane MIRA- Bejaia

Faculté de Technologie

Département d'Architecture

جامعة عبد الرحمن ميرة - بجاية

كلية التكنولوجيا

قسم الهندسة المعمارية



Régulation thermique et contrôle intelligent des systèmes HVAC Focus sur la climatisation

Présenté par : Chekri Yasmina

Sous la direction de : Dr. MOUHOUBI Nedjima

Mme Ouaret Manel	Département architecture de Bejaia	Président de jury
Mme Mouhoubi Nedjima	Département architecture de Bejaia	Encadreur
Mr Hadji Slimane	Departement ATE	Encadreur
Mr Aissou Said	Département ATE de Bejaia	Examinateur
Mr Ferddad Sofiane	Gèrent BET	Invité

Date de soutenance : 09 juillet 2025

[2024.2025]

Populaire et Démocratique Algérienne République
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Déclaration sur l'honneur

**Engagement pour respecter les règles d'authenticité scientifique dans
l'élaboration d'un travail de recherche**

Arrêté ministériel n° 1082 du 27 décembre 2020 ()
fixant les règles relatives à la prévention et la lutte contre le
plagiat*

Je soussigné,

Nom : Chekri
Prénom : Yasmina
Matricule : 202033010152
Spécialité et/ou Option : Architecture, Technologie et Environnement
Département : Architecture
Faculté : Technologie
Année universitaire : 2024/2025

Et chargé de préparer un mémoire de (*Licence, Master, Autres à préciser*) : Master

Intitulé : Régulation thermique et contrôle intelligent des systèmes HVAC

Déclare sur l'honneur, m'engager à respecter les règles scientifiques, méthodologiques, et les normes de déontologie professionnelle et de l'authenticité académique requises dans l'élaboration du projet de fin de cycle cité ci-dessus.

Fait à Béjaia le
20.07.025

Signature de l'intéressé
(*) *Lu et approuvé*

Résumé :

Le confort est une notion subjective, essentielle dans la vie de chaque individu .dans le secteur hôtelier en particulier, le confort thermique revêt une importance capitale ,notamment dans les espaces d'hébergement ,ou le client s'étend à un niveau supérieur de bien-être .pour garantir ce confort ,la régulation thermique à travers des systèmes HVAC(chauffage ,ventilation, climatisation) est indispensable ,ces systèmes sont aujourd'hui omniprésents dans notre quotidien ,mais leur efficacité dépend fortement de la qualité du contrôle mis en place ,en effet ,un système de régulation performant doit pouvoir répondre de manière précieuse besoins réels et aux sensations thermiques des usagers, c'est dans cette optique que notre mémoire s'articule pour garantir un meilleur confort pour les usagers hôteliers tout en optimisant la consommation énergétique .

Mots-clés :

Confort thermique, HVAC (Heating, Ventilation and Air conditioning). Régulation thermique., système contrôle classique. Système contrôle avancé, système contrôle intelligent, système VRV (variable Réfrigérant volume)

ملخص

الراحة هي فكرة ذاتية، ضرورية في حياة كل فرد. في قطاع الفنادق على وجه الخصوص، تعتبر الراحة الحرارية ذات أهمية كبيرة، خاصة في أماكن الإقامة، حيث يصل العميل إلى مستوى أعلى من الرفاهية. ولضمان هذه الراحة، يُعد التنظيم الحراري من خلال أنظمة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء (التدفئة والتهوية وتكييف الهواء) أمراً ضرورياً، وهذه الأنظمة موجودة الآن في كل مكان في حياتنا اليومية، لكن فعاليتها تعتمد بشدة على جودة التحكم المطبق. في الواقع، يجب أن يكون نظام التنظيم الفعال قادرًا على الاستجابة بطريقة قيمة للاحتجاجات الحقيقية والأحساس الحراري للمستخدمين. ومن هذا المنطلق، تم تصميم ذاكرتنا لضمان راحة أفضل لمستخدمي الفندق مع تحسين استهلاك الطاقة.

الكلمات الرئيسية:

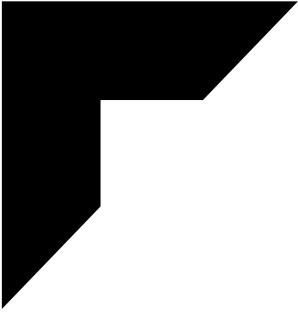
الراحة الحرارية، التدفئة والتهوية وتكييف الهواء. التحكم الحراري. نظام التحكم الذكي، نظام التحكم الكلاسيكي. نظام التحكم المتقدم، نظام التحكم الذكي، نظام حجم سائل التبريد المتغير

Summary :

Comfort is a subjective notion, essential in the life of each individual. In the hotel sector in particular, thermal comfort is of capital importance, particularly in accommodation spaces, where the customer reaches a higher level of well-being. To guarantee this comfort, thermal regulation through HVAC systems (heating, ventilation, air conditioning) is essential, these systems are now omnipresent in our daily lives, but their effectiveness depends strongly on the quality of the control put in place. Indeed, an efficient regulation system must be able to respond in a valuable manner to the real needs and thermal sensations of users. It is with this in mind that our memory is articulated to guarantee better comfort for hotel users while optimizing energy consumption.

Keywords :

Thermal comfort , HVAC (Heating, Ventilation and Air conditioning). Thermal regulation, classic control system. Advance control system, intelligent control system, VRV system (variable refrigerant volume)

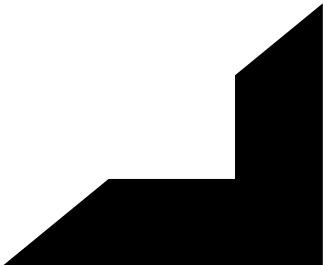


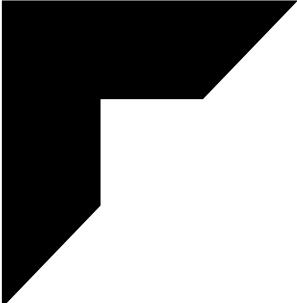
DÉDICACE

Je dédie ce mémoire à toutes les personnes qui m'ont soutenu et encouragé tout au long de mon parcours académique. À ma famille notamment mon frère Mourad, pour leur amour incommensurable et leur patience sans faille, ainsi qu'à mes amis, qui m'ont offert leur soutien moral et leur amitié précieuse en particulier mon amie Sirem

Je souhaite également exprimer ma gratitude à mes enseignants et directeurs de recherche pour leur guidance éclairée, leur savoir-faire et leur disponibilité. Leur expertise et leurs conseils ont été essentiels dans la réalisation de ce travail.

Enfin, cette œuvre est dédiée à ceux qui, par leur force et leur persévérance, m'ont inspiré à donner le meilleur de moi-même chaque jour.





REMERCIEMENT

Tout d'abord je remercie Allah qui m'a accordé le pouvoir et la santé de finaliser ce mémoire pour le présenter aujourd'hui

Avant tout développement sur cette expérience professionnelle, je tiens à remercier ma famille pour leur amour, leur soutien constant et leur compréhension. Ils ont toujours cru en moi et m'ont permis d'aller de l'avant, même dans les moments de doute. Notamment ma mère, mon frère, et je demande à toute personne qui lira ce mémoire une prière pour le repos de l'âme de mon père, afin que Dieu lui accorde infinie

Je tiens à exprimer mes plus sincères remerciements à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire, tant par leur soutien moral que par leur aide académique Madame 'Mouhoubi Nedjima' qui m'a soutenue tout au long de ce travail, je la remercie pour sa précieuse guidance, son expertise et sa disponibilité tout au long de ce travail. Ses conseils avisés m'ont permis de structurer et d'enrichir cette recherche. Je lui suis particulièrement reconnaissant pour sa patience et sa bienveillance.

Je remercie mes professeurs et tous les membres du corps académique pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire. Leurs enseignements et leur engagement ont été une véritable source d'inspiration pour moi.

Je n'oublie pas mes collègues et amis, qui m'ont accompagné tout au long de cette aventure et m'ont apporté leur aide et leur soutien dans les moments difficiles. Leur camaraderie et leurs encouragements ont été précieux

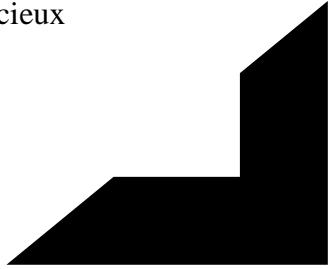


Table des matières

Résumé.....	I
Décidas.....	IV
Remerciements	V
Liste des figures.....	X
Liste des Tableaux.....	XIII
Liste des graphes.....	XIV

Chapitre introductif

Introduction générale.....	1
Problématique	2
Hypothèses	3
Objectifs de recherche	4
Méthodologie.....	4
Structure de mémoire	6

Partie I : : Approches théoriques du confort thermique et des systèmes HVAC

Chapitre I : le confort thermique dans les bâtiments

Introduction	8
1.la notion de confort d'usage bâtiment	8
2.la notion de confort thermique	8
3 Le mode d'échange thermique du corps humain avec leur environnement	9
4.les paramètres affectent le confort thermique.....	11
5.les approches de confort thermique.....	16
6.les indices dévaluation de l'ambiance thermique	18
7.Les échelles de sensation thermique	19
8.deffrents typologies architecturales pour optimiser un confort thermique	21
Conclusion	22

Chapitre II : Régulation thermique et contrôle systèmes HVAC

Introduction	23
1.definition de la régulation thermique.....	23

2.definition de système HVAC	23
3.les différents types de système HVAC	23
3.1. Chauffage.....	24
3.1.1.les déférents système de chauffage	24
3.2. Ventilation	26
3.2.1.les types de ventilation	26
3.3. Climatisation	29
3.3.1 Pourquoi climatiser	29
3.3.2. Déférentes systèmes de climatisation	30
4.1. Les déférents techniques de contrôle classique	33
4.1.1 TOR vs PID.....	33
4.1.2 Les thermostats.....	34
4.2. Les déférents techniques de contrôle avancées	34
4.2.1. Le contrôle prédictif MPC (Model prédictive control).....	35
4.2.2. Le contrôle adaptatif	35
4.2.3. Le contrôle optimal	35
4.3.les méthodes intelligentes	36
4.3.1. Logique Floue (Fuzzy logique ou FL).....	36
4.3.2. Réseaux de Neurones Artificiels (Artificial Neural Network ou ANN).....	37
4.3.3. Neuro-Floue(ANN-FL).....	37
Conclusion	38

Partie II : Analyse des exemples ‘cas climatisation’

Chapitre III : Le confort thermique dans un équipement hôtelier : analyse des exemples

Introduction	39
1. apparition de l'espace hôtelier.....	39
2. définition des hôtels.....	39
3.les types des hôtels et son classement	40
4.le confort thermique dans un hôtel.....	41
1.Exemple 01 National : hôtel touristique AIN OULMEN SETIF	
1.1. Situation	41

1.2. Plan de masse	42
1.3 analyse des façades	43
1.4. Analyse spatiale	43
1.5. Analyse système climatisation	52
Synthèse	53
2.Exemple 02 International : Hôtel Lido Tunis	
2.1. Situation	53
2.2. Plan de masse	53
2.3. Analyse des façades	54
2.4. Analyse spatiale	54
2.5Analyse système climatisation	59
Synthèse	60
3. comparaison entre le système de contrôle classique de climatisation et le système Intelligent	60
Conclusion.....	61

Partie III : simulation pratique, analyse des résultats et recommandation

Chapitre IV : Analyse de site

Introduction.....	62
1.motivation de choix	62
2.situation	63
3.morphologie de terrain	63
4.Accessibilite et délimitation de terrain	63
5.topographie de terrain	64
6.environnemnt immédiat.....	65
7. Type de végétation sur notre site.....	65
8.analyse climatique	65
9.les potentialités et les menaces	68
Conclusion	69

Chapitre V : simulation cas d'étude chambres ‘Hôtel Melbou’

Introduction	70
--------------------	----

1.presentation logiciel de simulation	70
2.situation d'hôtel	71
3.presentation des plans	71
4 Système et type de contrôle de climatisation	72
5.analyse système climatisation	72
6.structure et principe de calcule	73
7.intrpreration des résultats	87
8.Recommendation	88
Conclusion	90
Conclusion général	91
Bibliographie	92
Annexes	96

Liste des figures

Figure 1:Temperature de confort correspondant à l'énergie dégagée pour chaque type d'activité métabolique d'un individu (René, 2020)	10
Figure 2:Bilan des échanges thermiques entre l'homme et son environnement(René,2020) ...	11
Figure 3:type de thermomètre (René, 2020)	14
Figure 4:Experience sur l'importance de la température d'une paroi(René,2020)	15
Figure 5:chauffage A, ventilation B, climatisation C (Joy, 2024)	24
Figure 6:Action du vent [Russel, 2005]cité par (Dhalluin, 2012).....	26
Figure 7:Effet du tirage thermique [Concannon,2002] cité par (Dhalluin, 2012).....	27
Figure 8:effet combiné du vent et du tirage thermique (Russel,2005) cité par (Dhalluin, 2012)	27
Figure 9:principe de la ventilation mono-façade (Awbi,2003) cité par (Dhalluin, 2012).....	27
Figure 10:ventilation naturelle par conduits verticaux (Dhalluin, 2012)	28
Figure 11:schema de principe de fonctionnement d'un climatiseur (Rouault, 2014).....	29
Figure 12:exemple de fonctionnement de système VRV (Sami, 2017).....	31
Figure 13:exemple d'un fonctionnement à froid ,existe aussi à chaud (Clim+, 2021).....	32
Figure 14:schema de base de la régulation adaptative (Amezzane , Fakhri, & EL Aroussi, 2016).....	35
Figure 15:architecture d'un système ANN-FL (Amezzane , Fakhri, & EL Aroussi, 2016)....	37
Figure 16:situation d'hôtel	
Google earth	41
Figure 17:image d'hôtel	41
Figure 18:plan de masse d'hôtel google maps traité par l'auteur	42
Figure 19:façade nord BET :Herbadj djamel	42
Figure 20:façade sud BET :Herbadj djamel	42
Figure 21:Façade Est BET :Herbadj djamel	43
Figure 22:plan climatisation RDC réalisé par l'ingénieur en génie climatique	44
Figure 23:plan climatisation R+1 réalisé par l'ingénieur en génie climatique	45
Figure 24:plan climatisation R+2	46
Figure 25:plan climatisation R+3 réalisée par ingénieur en génie climatique	47
Figure 26:R+4 plan climatisation R+4 réalisé par l'ingénieur en génie climatique.....	48
Figure 27:plan climatisation R+5 réalisé par l'ingénieur en génie climatique	49
Figure 28:detail d'installation d'une cassette	52
Figure 29:situation d'hôtel LIDO google maps	53
Figure 30:plan de masse d'hôtel Google maps	54
Figure 31:façade hôtel LIDO	54
Figure 32:Plan climatisation RDC réaliser par ingénieur tunisienne en génie climatique.....	55
Figure 33:plan climatisation R+1 réalisé par l'ingénieur tunisienne en génie climatique	56
Figure 34:plan climatisation R+2 réalisé par l'ingénieur tunisienne en génie climatique	56
Figure 35:plan climatisation R+3 jusqu'un R+5 réalisé par l'ingénieur tunisienne en génie climatique	57
Figure 36:plan climatisation R+6 réalisé par l'ingénieur tunisienne en génie climatique	57
Figure 37:plan climatisation R+7 réalisé par l'ingénieur tunisienne en génie climatique	58
Figure 38:plan terrasse climatisation réalisé par l'ingénieur tunisienne en génie climatique ..	58

Figure 39:Aménagement propose par l'ADNT(3D).....	63
Figure 40:situation du terrain Google earth traité par auteur	64
Figure 41:situation d'Aokas.....	64
Figure 42:situation de la ZET Google earth traité par auteur	64
Figure 43:morphologie de terrain Autodesk forma traité par l'auteur	64
Figure 44:la ZET d'Aokas	64
Figure 45:délimitation de la parcelle Autodesk form traité par l'auteur.....	64
Figure 46:accessibilite du terrain Autodesk form traité par l'auteur.....	64
Figure 47:coupe topographique vertical du terrain Google earth traité par l'auteur.....	65
Figure 48:coupe topographique horizontal de terrain Google earth traité par l'auteur	65
Figure 49:environnemnt immédiat autodesk forma traité par l'auteur.....	66
Figure 50:eucalyptus(auteur,2025).....	66
Figure 51:pins maritimes(auteur,2025)	66
Figure 52:acceuil d'entrée d'application	70
Figure 53:situation hôtel melbou Google earth.....	71
Figure 54:Hôtel melbou	71
Figure 56:plan climatisation R+1 au R+4	71
Figure 55:plan climatisation RDC.....	71
Figure 57:plan climatisation R+5	72
Figure 58:accueil de RETA (auteur,2025)	73
Figure 59:hôtel Melbou(auteur,2025)	73
Figure 61:donnes technique d'hôtel(auteur,2025)	74
Figure 60:description résumé de projet(auteur,2025)	74
Figure 62:les donnes de notre enveloppe	75
Figure 63:fenêtre d'enveloppe (auteur,2025)	75
Figure 65:fenêtre avant d'ajouter un modèle(auteur,2025)	76
Figure 64:fenêtre de modèles de parois opaque(auteur,2025)	76
Figure 66:fenêtre d'ajouter un modèle(auteur,2025)	77
Figure 67:les différents composants de paroi intérieur(auteur,2025)	77
Figure 68:les différents composants de mur opaque(auteur,2025)	77
Figure 69:les différents composants de plancher entre étage (auteur,2025)	78
Figure 70:les différents composants de toiture(auteur,2025).....	78
Figure 71:fenêtre pour la création de nouvelle paroi(auteur,2025).....	79
Figure 72:fenêtre de nouvelle paroi(auteur,2025)	79
Figure 73:fenetre des différents caractéristiques de paroi vitrée (auteur,2025)	80
Figure 74:fenêtre de composition de vitrage(auteur,2025)	80
Figure 75:chambre d'hôtel Melbou(auteur,2025)	81
Figure 76:fenetre de définir la protection du d'hiver (auteur,2025)	81
Figure 77:fenetere de définir la protection du vitrage été (auteur,2025).....	82
Figure 78:fenetre de composant de surface ensoleillée (auteur,2025)	82
Figure 79:les balcons des chambres d'hôtel Melbou (auteur ,2015)	82
Figure 80:fenêtre de synthèse des compositions (auteur,2025)	83
Figure 81:fenetre avant définir composition de paroi(auteur,2025).....	84
Figure 82:fenetre de nouvelle paroi 'paroi porte'(auteur,2025)	84
Figure 83:fenêtre de composition de la porte(auteur,2025)	85
Figure 84:fenetre définir le local adjacent(auteur,2025)	85
Figure 85:fenetre avant définir local adjacent(auteur,2025)	85

Figure 87:fenetre renouvellement d'air(auteur,2015).....	86
Figure 88:fenêtre de chauffage de l'enveloppe(auteur,2025)	86
Figure 89:fenetre de définir la climatisation d'enveloppe (auteur,2025)	87
Figure 90:fenetre de définir le dimensionnement(auteur,2015)	87

Liste des tableaux

Tableau 1:valeur de référence de température de l'air (René, 2020).....	14
Tableau 2:sensation thermique de l'ASHAR auteur selon <i>(Dr R.Cantin, B. Moujalled, & Dr HDR G. Guaracino, 2005)</i>	
.....	17
Tableau 3:la relation entre la température standard effective SET et la sensation thermique (Renè,2020)	18
Tableau 4:les échelles de sensation thermique (Moujalled, 2007).....	20
Tableau 5:les différents systèmes de chauffage (auteur,2025).....	24
Tableau 6:les types hôtels selon différents critères (KACHI FATIMA, 2017) (JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 33, 2019).....	40
Tableau 7:deffernts entités de RDC (auteur,2025).....	50
Tableau 8:deffernts entités R+1 (auteur ,2025).....	51
Tableau 9:deffernts entités R+2(auteur,2015).....	51
Tableau 10:deffernts entités R+3(auteur,2025).....	51
Tableau 11:deffernts entités R+4(auteur,2025).....	52
Tableau 12:deffernts entités R+5(auteur,2025	52
Tableau 13:les chambres de différents puissances de climatisation (auteur,2025).....	53
Tableau 14:deffernts entités RDC(auteur,2025)	59
Tableau 15:deffernts entités R+1(auteur,2025).....	59
Tableau 16:différents entités R+2	59
Tableau 17:différents entités R+3 au R+5 (auteur,2025)	59
Tableau 18:deffernts entités R+6(auteur,2025).....	60
Tableau 19:deffernts entités R+7(auteur,2025).....	60
Tableau 20:chambres de déférents puissances climatisation (auteur,2025).....	60
Tableau 21:les différents caractéristiques des différents hôtels classique et intelligent(auteur,2025)	61
Tableau 22:analyse climatique de notre terrain(auteur,2025)	67
Tableau 23:les potentialités et le menaces du terrain(auteur,2025)	69
Tableau 24:les différents chambres avec les puissances de climatisation(auteur,2025).....	73
Tableau 25:résultat de notre simulation (auteur,2025).....	87
Tableau 26:les différents puissances de climatisation réels et nécessaires(auteur,2025).....	87

Liste des graphes

graphe 1 : évaluation du niveau d'activité d'un individu auteur selon (Renè,2020)	12
graphe 2 : estimation du niveau d'habillement auteur selon (Renè,2020).....	13
graphe 3 : Refroidissent équivalent de la paroi en fonction de la vitesse de l'air auteur selon (Renè,2020).....	16

Chapitre introductif

Introduction générale :

Face aux enjeux environnementaux et aux exigences croissantes en métiers de qualité de vie dans les espaces intérieurs, la question de confort qui est une notion subjective, notamment le confort thermique s'impose comme un enjeu central dans la conception et l'exploitation des bâtiments et le premier paramètre de satisfaction des conditions thermiques ,il ne dépend pas uniquement des caractéristiques physiques du bâtiment ,mais aussi de facteurs humains tels que l'activité ,l'habillement ,ou les préférences individuelles ,il constitue un équilibre sensible entre l'environnement intérieur et la perception humaine ,et sa maîtrise est aujourd'hui considérée comme une condition essentielle à la qualité des ambiances.

dans le contexte des bâtiments à vocation touristique en particulier les hôtels ,la question du confort thermique prend une dimension particulière ,les usagers souvent de passage attendent un niveau de confort élevé et immédiat ,souvent le confort thermique dans les espaces d'hébergement ou' le client cherche un climat intérieur agréable , ni chaud ,ni froid et une température inadéquate peut générer une impression négative ,altérer la qualité du séjour et influencer directement l'image de l'établissement ,à ce titre le confort thermique devient un vecteur de confort global . , donc pour ça la question de la régulation thermique s'impose comme un premier paramètre responsable du confort d'usager ,et pour assurer cette régulation thermique dans les bâtiments de secteur hôteliers ,les systèmes HVAC (Heating, Ventilation, Air Conditioning) jouent un rôle fondamental de chauffer ,ventiler ,rafraîchir et filtrer l'air . ,ils ont devenus indispensables pour garantir un niveau de confort ,mais bien que ces systèmes soient largement utilisés ,leur efficacité réelle dans le contrôle total de la température reste parfois limitée ,et leur fonctionnement standard ne suffit pas toujours et même si ils ont la base technique de confort thermique ,ils ne permettent pas ,à eux seuls ,un contrôle totalement satisfaisant dans tous les cas, cela soulève la nécessité de combinaison d'une approche architecturale(orientation ,matériaux ..) et technique par la meilleure technique de régulation qui répond aux besoins de ces systèmes pour une meilleure régulation thermique parce que sans ces dispositifs de contrôle l'existence de confort est nul, ce n'est pas uniquement la présence d'un système de chauffage ,de ventilation ou de climatisation ,mais la manière dont ce système est réglé selon les besoins réels .

Ce mémoire porte donc sur une thématique actuelle 'la régulation thermique et le contrôle intelligent des systèmes HVAC, avec un focus particulier sur la climatisation dans les hôtels notamment les espaces d'hébergement où le confort thermique constitue un critère central de qualité, dans le but d'analyser et comprendre comment ces systèmes peuvent être régulés de manière optimale et d'avoir le meilleur technique de contrôle de ces systèmes pour garantir un confort optimal des usagers dans les hôtels sans avoir des variations thermiques qui résultent en inconfort qui peut entraîner des effets significatifs sur la satisfaction des clients et par conséquent ,sur la valorisation de l'image de marque d'hôtel.

Problématique :

Le confort défini comme une notion subjective .il peut être définie de différents façons :l'absence de plaintes liées à l'inconfort ,une sensation de bien-être général, ou encore équilibre thermique optimal du corps humain, les conditions pour lesquelles les mécanismes d'autorégulation du corps sont à un niveau minimum d'activité (Roulet, 2008), « *le confort est lié aux sentiments ,a la perception ,a l'humeur et à la situation.sa définition fais à la fois appel à une approche négative (absence d'inconfort ,qui se caractérise par exemple par l'absence de douleur ,d'anxiété,..)et a une approche positive (bien être ,satisfaction)* » (Moser 2009) cité par (Batier C. , 2016, p. 41). le taux d'insatisfaction des occupants est évalué ,si le pourcentage d'insatisfaction est faible, le confort est considérer comme acceptable (Roulet,2002),« *le confort semble donc dépendant de l'ensemble des commodités qui procure de l'agrément, génèrent une impression plaisante ressentie par les sens et l'esprit ,voire même une certain plaisir... tout ce qui fait défaut ,qui est difficile à utiliser ,qui ne correspond pas aux attentes ,qui gêne ou qui désagréables est contraire à la notion de confort* » (Candas, 2000, p. 1_2).

Le confort thermique ne se limite pas à la température, mais englobe plusieurs paramètres influençant la perception de bien-être dans un bâtiment, tels que :-(Roulet, 2008)

- Le confort acoustique (absence de nuisances sonores liée à la recherche de la bonne température)
- Le confort visuel (bonne visibilité et éclairage adéquat non influencé par la recherche de bonne température)
- Le confort aéraulique (qualité de l'air intérieur non influencé par la recherche de bonne température)

Le confort thermique est un état d'esprit ou l'homme exprime la satisfaction des conditions thermique (Thelier,2012),et est un exigence majeure surtout dans le secteur de bâtiment ,est un parmi les besoin fondamentaux de bienêtre de l'homme .ce type de confort depuis la nuit des temps ,de nombreux philosophes ont montré que la recherche du bonheur est la plus essentielle motivation d'un être humain ,le confort thermique est parmi les composantes de ce bonheur parce qu'il contribue au bienêtre d'un individu avec leur environnement construit .en effet ,la satisfaction des occupants par le bienêtre thermique est parmi les objectifs de l'architecture ,cela signifie que les concepteurs des bâtiments ont déjà bien réfléchi sur l'assurance d'une sensation de chaleur en hiver et la préservation des fortes chaleurs en été .le confort thermique d'un bâtiment ,comme son nom l'indique est donc le confort lie à la répartition de la température et le flux agréable ,à l'intérieur d'un appartement ,dans tout le corps d'un individu_(Renè, 2020) ,et selon Thellier,Monchoux & Bedrun (2012) cité par Batier (2016) 50% de la population mondiale vit dans des villes et passe près 90% de son temps à l'intérieur de bâtiment. Et les conditions dans lesquelles le corps atteint l'équilibre thermique, dépendent des facteurs qui sont d'ordre individuel ; l'activité et le vêtement, et d'autres liée à l'environnement tels que la température de l'air, la température de rayonnement des parois périphériques, la quantité de l'humidité présente dans l'air et la vitesse de l'air, Givoni (1978) dit il est possible d'obtenir une environnement thermique confortable en combinant ces facteurs.

Ainsi, le confort thermique repose sur une gestion optimisée du chauffage, de la ventilation et de la climatisation (HVAC). Ces systèmes sont essentiels pour :

Chapitre Introductif

- Maintenir une température ambiante agréable
- Réguler l'humidité et assurer une bonne qualité de l'air
- Optimiser la consommation énergétique

pour cela le contrôle thermique de ces bâtiments par le système de chauffage, ventilation, climatisation HVAC est considérer comme une solution active et optimal, les premiers paramètres pour garantir une bonne qualité de l'air et le confort des gens dans les bâtiments ,et est un système conçu pour prévenir la contamination et fournir des conditions de vie et de travail confortable ,le chauffage maintien la température ambiante appropriée ,particulièrement par temps froid ,la ventilation implique l'échange ou le remplacement de l'air dans un espace pour réguler la température ou éliminer les contaminants ,la climatisation refroidit les espaces intérieurs en éliminant la chaleur et l'humidité de l'air (Joy, 2024)mais il est essentiel de sensibiliser sur une surveillance adéquate intelligent de ces systèmes par divers techniques et méthodes pour un confort optimal des gens dans différents bâtiments et surtout dans les bâtiments résidentielles ou 'on passe notre temps .

Dans le secteur hôtelier, le confort des clients est une priorité essentielle pour garantir leur satisfaction et leur fidélité. Les systèmes HVAC jouent un rôle central dans cette expérience, nécessitant une gestion efficace et intelligente. Ainsi la problématique de notre recherche est formulée comme suit :

Comment optimiser le contrôle des systèmes HVAC pour assurer un confort thermique idéal dans les hôtels, tout en garantissant une gestion énergétique efficace ?

Des questions secondaires sont à considérer :

- ✚ Quelles sont les principaux paramètres impactent le confort thermique dans un établissement hôtelier ?
- ✚ Quelle sont les innovations technologiques récents dans le contrôle des systèmes HVAC ?
- ✚ Comment évaluer l'efficacité des différentes méthodes de gestion des systèmes HVAC ?

Hypothèses

Le système HVAC assure un confort de l'environnement thermique du bâtiment, mais il est essentiel de Controller ces systèmes par différentes technique et méthodes, mais aussi la diversité de ces techniques pose des hypothèses sur la meilleure façon d'optimiser ces systèmes :

- 1) Les premiers techniques qui ont émergées étaient des techniques traditionnelles souvent qualifiées de techniques classiques, ont constitué les bases des évolutions technologiques futures pour contrôle de système HVAC, ainsi, ces techniques classiques ont été essentielles pour le développement de compétences et de processus qui ont ensuite été modernisées ou automatisées
- 2) Des techniques avancées de système HVAC, apparues après des systèmes classiques avec l'intégration des technologies pour un meilleur confort avec des systèmes intelligents de contrôle.

Chapitre Introductif

3) L'adoption de méthodes innovantes a permis l'intégration de système HVAC intelligents. Celle-ci sont des nouvelles approches apparus pour optimiser l'efficacité énergétique, améliorer le confort et réduire l'empreinte environnementale. L'intelligence intégrée permet une gestion en temps réel et réduire les couts à long terme tout en augmentant la durabilité des systèmes

Les objectifs

Dans un hôtel, la régulation thermique joue un rôle crucial, et les systèmes HVAC (chauffage, ventilation, climatisation), constituant le cœur de cette gestion, et notre étude aujourd’hui base sur les objectifs suivants :

- Comprendre les techniques de contrôle des systèmes HVAC classiques ou avancées et intelligent dans le but de la régulation thermique dans un hôtel pour garantir le confort des résidents
- Analyser et comparer les différents exemples des systèmes HVAC des hôtels de différents technique et méthodes de contrôle pour voir le meilleur technique de régulation thermique
- Proposer une simulation et une évaluation d'un système HVAC dans un cas d'étude hôtelier pour identifier et confirmer la meilleure stratégie d'optimisation.

Méthodologie

Note méthodologie repose sur un choix de technique et d'outils basés sur la nature de la problématique posée « l'optimisation de contrôle des systèmes HVAC afin d'assurer un confort thermique idéal dans les hôtels tout en garantissant une gestion énergétique efficace », cette méthodologie est détaillée comme suite :

- ❖ Une recherche bibliographique basée sur une collecte documentaire pour comprendre les notions principales de notre recherche (le confort thermique, le système HVAC et son déroulement dans un hôtel, et les différents techniques de contrôle)

Cette bibliographie est consistée d'ouvrages et d'articles scientifiques comme celle de : Claude-Alain Roulet, mai 2008, Thelier 2012, Givoni 1978. Aussi nous avons étudier des travaux de recherches à savoir des thèses doctorat par exemple Modélisation dynamique du confort thermique dans les bâtiments naturellement ventilés de Bassam MOUJALLED 2007, étude de confort thermique d'un bâtiment en brique artisanales d'argile cuite naturellement ventile : détermination de l'orientation optimale par Donation Renè Riantsoa 2021. Nous nous sommes aussi basés sur les guides comme Les bases de HVAC, Que veut dire HVAC ? les mémoires, les sites spéciaux.

- ❖ Une approche analytique basée sur les différentes sorties : vers notre site a la ZET d'AOKAS et prendre les photos et les informations par les habitants pour comprendre mieux l'environnement de notre terrain, aussi la sortie vers notre cas d'étude un hôtel proche à notre site (des raisons de climat) pour comprendre le système HVAC de l'hôtel et prendre les mesures nécessaires
- ❖ Pour le recueil de l'opinion publique sur le confort dans l'hôtel nous nous sommes basés sur une enquête utilisant les différents échelles de sensation thermique.
- ❖ Analyse des données : devisée en deux parties :

Chapitre Introductif

- Analyse de site : l'analyse climatique de notre terrain (terrain à la ZET d'aokas) par logiciel Autodesk forma, analyse de vent, ensoleillement, micro climat aussi on va analyser la topographie, l'environnement immédiat. Une remarque que notre terrain avec une nature forestière proche à la mer (analyse de type des arbres).
- Analyses des exemples : analyse des plans des exemples avec le système HVAC pour comprendre les différentes techniques de contrôle de système, et pour voir le meilleur technique de contrôle par la comparaison entre les exemples
- ❖ Enfin, une simulation : dans un hôtel plus précisément une chambre par logiciel RETA= réglementation thermique algérienne, on va calculer les déperditions Thermiques d'un de système HVAC

Structure de mémoire :

Nous avons choisi de structure notre mémoire sur les démarches suivantes :

- **La partie introductive** : une introduction générale sur notre thématique, ensuite la problématique, les hypothèses, les objectifs, la méthodologie suivi, structure de mémoire
- **Partie I** : Approches théoriques du confort thermique et des systèmes HVAC : se compose de 2 chapitre :
 - **Chapitre I** :_le confort thermique dans le bâtiment dans ce chapitre on va comprendre c'est quoi le confort en générale et dans le bâtiment et spécifiquement la notion de confort thermique et les paramètres qui l'affectant ses approches, et ses différents méthodes et indices.
 - **Chapitre II** : régulation thermique d et contrôle des système HVAC, on va comprendre c'est quoi la régulation thermique en premier et le système HVAC ensuite ces différentes types (chauffage, climatisation, ventilation) mais on va focaliser sur la climatisation ensuite pour obtenir un confort thermique par système HVAC, il faut des techniques de contrôle que ce soit classique ou avances ou par les méthodes intelligentes et ça le contenu deuxième de ce chapitre
- **Partie II** : se compose d'un : analyse des exemples 'cas climatisation'
 - **Chapitre III** : le confort thermique dans un équipement hôtelier : analyses des exemples on va parler sur :
 - **Secteur hôtelier** : parler brièvement sur la théorie hôtelière
 - **Analyse les exemples**, on va analyser 3 exemples chacun avec son système ensuite on va finir par une comparaison par ces trois exemples
- **Partie III** : Simulation pratique, analyse des résultats et recommandations, se compose de deux chapitres :
 - **Chapitre IV** : analyse de site, analyse les donnes de notre terrain plus précisément les donnes climatiques
 - **Chapitre V** : simulation cas d'étude 'chambres dans hôtel de Melbou'
- **Conclusion générale** :la dernière partie ou' on va parler sur tous le mémoire avec les résultats qui on a trouvée et la conformité des hypothèses

Structure générale du mémoire

Partie introductive

Introduction générale
Problématique
Hypothèse
Objectifs de la recherche
Méthodologie
Structure du mémoire

Partie I : Approches théoriques du confort thermique et des systèmes HVAC

Chapitre I :
Le confort thermique dans le bâtiment
Chapitre II :
Régulation thermique et contrôle des système HVAC

Partie II :
Analyse des exemples ‘cas climatisation’

Chapitre III :
Le confort thermique dans un équipement hôtelier :
analyses des exemples

Chapitre IV :
Analyse de site
Chapitre V :
Simulation cas d’étude ‘Hôtel Nafta’

Partie III :
Simulation pratique, analyse des résultats et recommandations

Conclusion générale

Partie I

**Approches théoriques du confort thermique et
Des systèmes HVAC**

Chapitre I :

Le Confort thermique dans le Bâtiment

Introduction

Le confort joue un rôle crucial dans l'architecture, car il a un impact direct sur le bien-être et la qualité de vie des utilisateurs. Dans ses diverses manifestations, le confort thermique revêt une importance particulière, car il se rapporte à l'harmonie entre l'organisme humain et les conditions environnantes (température, humidité, ventilation).

Dans un bâtiment, ce confort est influencé par les conditions météorologiques extérieures, les installations techniques (chauffage, ventilation, climatisation) et avant tout par les décisions architecturales. Pour ça, nombreuse chercheure a étudié la notion de confort thermique au fil du temps et ont élaboré plusieurs théories visant à définir les divers concepts qui s'y rapportent.

Dans ce chapitre, nous définissons d'abord la notion de confort dans le bâtiment en général, puis celle du confort thermique. Nous avons ensuite examiné la manière dont le corps humain échange de la chaleur avec son environnement et les différents facteurs influençant le confort thermique. Par ailleurs, nous avons mentionné diverses méthodes et indices ainsi que différentes échelles de perception thermique. Tout cela dans le but de comprendre la notion de confort thermique sous tous ses aspects que nous avons détaillés, et maîtriser les principes qui garantissent une sensation de bien-être thermique pour les occupants d'un hôtel. On a finalement détaillé les diverses approches architecturales pour une optimisation accrue du confort thermique.

1.notion de confort d'usage bâtiment :

Durant la période médiévale, le mot confort trouve son origine dans le terme latin « confortare », qui voulait dire : « renforcer et fortifier ». Au XVIII^e siècle, ce terme est défini en anglais comme « bien-être matériel ». À cette période, ce lexique se limite aux classes sociales de l'époque. On peut donc soutenir que le premier confort accessible à l'homme a probablement été la possibilité de disposer d'un espace fermé et couvert. (Renè, 2020). Et pour ça Roulet, (2008) Assurer qu'une bonne qualité de l'environnement intérieur implique notamment de répondre aux besoins des occupants, donc de leur assurer un confort. Il a ensuite défini Le confort comme une notion subjective qui englobe toute une variété de sensations. Le bâtiment est avant tout conçu pour ses utilisateurs, il se doit donc d'être sain et agréable à vivre. Et il doit protéger les occupants contre le milieu extérieur, garantir un climat et une qualité d'air plaisantes à l'intérieur, et offrir des prestations comme le déplacement, les marchandises et les échanges.

Donc le confort à usage bâtiment c'est l'ensemble des conditions qui permettant de se sentir bien à l'intérieur, en gros un bâtiment confortable comme un corps humain en bonne santé.

2.la notion de confort thermique :

Grace à la définition des processus physiologiques, physiques et psychologiques, on peut définir le confort thermique (Batier C. , 2016) ,Par ailleurs, Roulet (2008) mentionne : le confort thermique implique donc qu'il n'existe ni une température excessive, ni trop faible, le confort aéraulique de l'intérieur doit être agréable ,et pour ça Renè, (2020) affirme que l'idée de confort thermique est étroitement liée à des changements temporaires dans la régulation corporelle, aussi bien à l'échelle globale qu'à un niveau local : divers facteurs tels que l'âge, la forme

Chapitre I : Le Confort Thermique dans un bâtiment

physique, l'alimentation, les habits et les activités modulent notre ressenti du froid et de la chaleur. On peut également mentionner d'autres facteurs socioculturels et psychologiques. Et selon Thelier, (2012) Le confort thermique est donc un état d'esprit où l'homme manifeste sa satisfaction face aux conditions thermiques. L, Adolphe (2002) cité par Bouttaba (2003) Explique que la perception thermique résulte de divers éléments qui contribuent à ce qu'un individu manifeste son confort. :

- **Facteurs physiques** : Il s'agit des éléments physiques de l'environnement, qu'ils soient stables comme les façades thermiques, la végétation, le mobilier, etc., ou susceptibles de varier dans le temps.
- **Facteurs psychologiques** : se définit par la manière dont l'individu appréhende et juge psychologiquement son environnement et les circonstances dans lesquelles il se trouve.
- **Facteurs physiologiques** : Ce sont les processus de régulation thermique du corps et d'accumulation : la transpiration, la sudation, les frissons, etc.

Nous pouvons donc définir le confort thermique comme l'équilibre entre la chaleur générée par le corps et celle qu'il transfère à son environnement.

3. Le mode d'échange thermique du corps humain avec leur environnement :

On ne peut pas définir le mode d'échange thermique avant de voir la définition de métabolisme d'un individu :

Le métabolisme :

Le métabolisme est une activité corporelle qui consiste à transformer la nourriture consommée, d'une part pour constituer le corps et d'autre part en énergie. Cette énergie générée nous donne la capacité de travailler et de conserver une température interne corporelle d'environ 37 °C, afin que les réactions biochimiques indispensables puissent se produire dans des conditions optimales. (René, 2020), Ainsi, trois niveaux de métabolisme sont à distinguer (René, 2020) :

1) Le métabolisme de base : Le métabolisme basal représente la production minimale de chaleur chez un individu allongé et au repos dans des conditions définies, indispensables aux fonctions vitales du corps. Ceci dépend du poids, de la taille, de l'âge et du sexe. [AFNOR ,1990].

2) Le métabolisme de repos : Il s'agit de la chaleur minimale générée dans des conditions pratiques de repos.

3) Le métabolisme de travail d'un corps humain est influencé par l'exercice physique pratiqué par la personne.

Chapitre I : Le Confort Thermique dans un bâtiment

La figure suivante fournit les températures de confort associées à l'énergie produite pour chaque type d'activité métabolique d'un individu. :

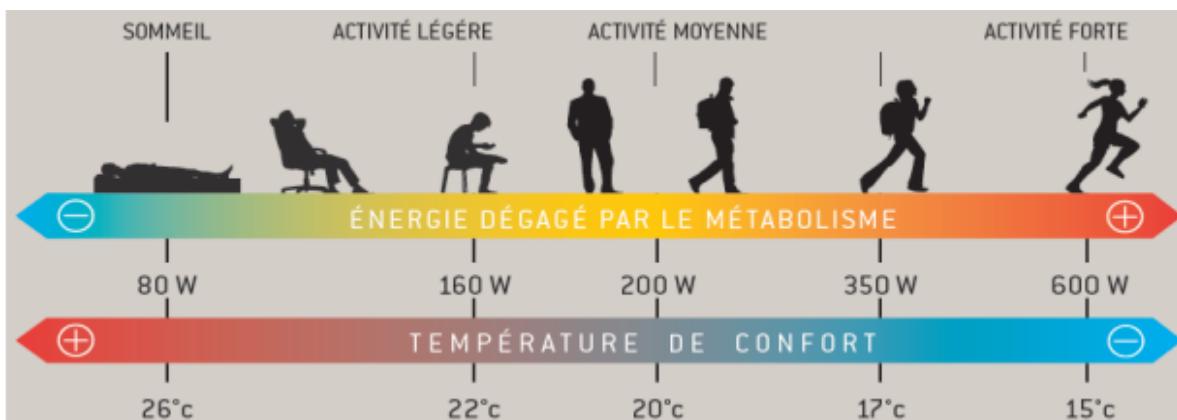


Figure 1: Température de confort correspondant à l'énergie dégagée pour chaque type d'activité métabolique d'un individu (René, 2020)

3.1. L'échange de chaleur par conduction :

Roulet, (2008) explique que : Les échanges de chaleur par conduction se font au contact de la peau (ou à travers les vêtements, le cas échéant) et les objets. Si l'objet est frais ou absorbe rapidement la chaleur (métal, pierre), nous percevons une sensation de matériau froid. Si par contre il est chaud ou qu'il a des propriétés isolantes, nous ressentirons de la chaleur.

3.1. L'échange de chaleur par convection :

Notre peau et l'air ambiant (ou l'eau lorsque nous sommes sous l'eau) transmettent la chaleur par convection (et conduction). Ces échanges se renforcent en présence de vent ou lorsque nous nous déplaçons par rapport à l'air. Le vent relatif accentue la sensation de froid (ou de chaleur si l'air est excessivement chaud). (Roulet, 2008)

3.2. L'échange de chaleur par rayonnement :

Selon René (2020), il s'agit de la méthode de transfert de chaleur à distance entre deux corps via des ondes électromagnétiques. En effet, le corps humain diffuse constamment une chaleur radiative associée à sa température de surface et son émissivité, tout comme les murs qui l'entourent. Si le corps capte plus de radiations qu'il n'en dégage, il se réchauffe, et dans le cas contraire, il se refroidit.

3.5. Bilan des échanges thermiques du corps humain :

L'homme maintient sa stabilité thermique corporelle, d'où découle son confort, grâce à l'équilibre qu'il établit entre la production de chaleur interne et les pertes de chaleur vers l'environnement extérieur. Toutefois, si la thermolyse domine, c'est l'atmosphère froide que nous ressentons. Sinon, une atmosphère chaude s'établit, stimulée par une thermogenèse croissante. L'organisme possède deux canaux pour réaliser ces interactions avec l'environnement extérieur, à savoir : la peau et le système respiratoire. Par conséquent, l'équation d'équilibre entre le corps et l'ambiance interne (Victor CANDAS) mentionnée par (René, 2020), s'écrit comme suit :

$$\text{Cres} + \text{Eres} + \text{K} + \text{C} + \text{R} + \text{E} + \text{H} = 0$$

- ❖ H : étant la production de la chaleur interne du corps (en Watt)

Chapitre I : Le Confort Thermique dans un bâtiment

- ❖ Cres : L'échange de chaleur au niveau des voies respiratoires par convection44 (W/m²)
- ❖ Eres : L'échange de chaleur au niveau des voies respiratoires par évaporation45 (W/m²)
- ❖ K : L'échange de chaleur au niveau de la peau par conduction (en W/m²)
- ❖ C : L'échange de chaleur au niveau de la peau par convection (en W/m²)
- ❖ R : L'échange de chaleur au niveau de la peau par rayonnement (en W/m²),
- ❖ E : L'échange de chaleur au niveau de la peau par évaporation (en W/m²)

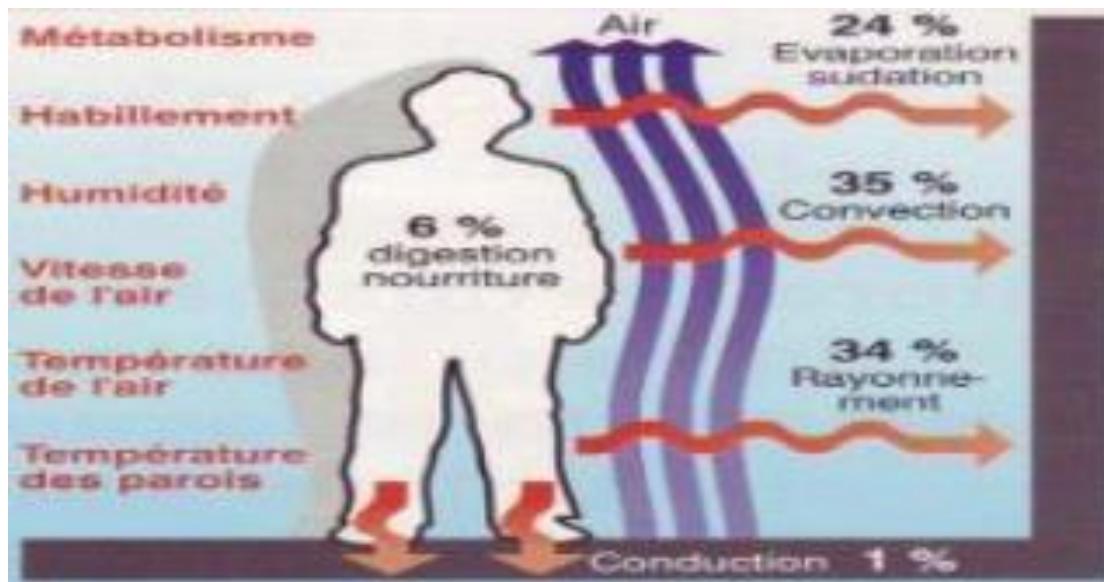


Figure 2:Bilan des échanges thermiques entre l'homme et son environnement

(René, 2020)

4.les différents paramètres affectent le confort thermique

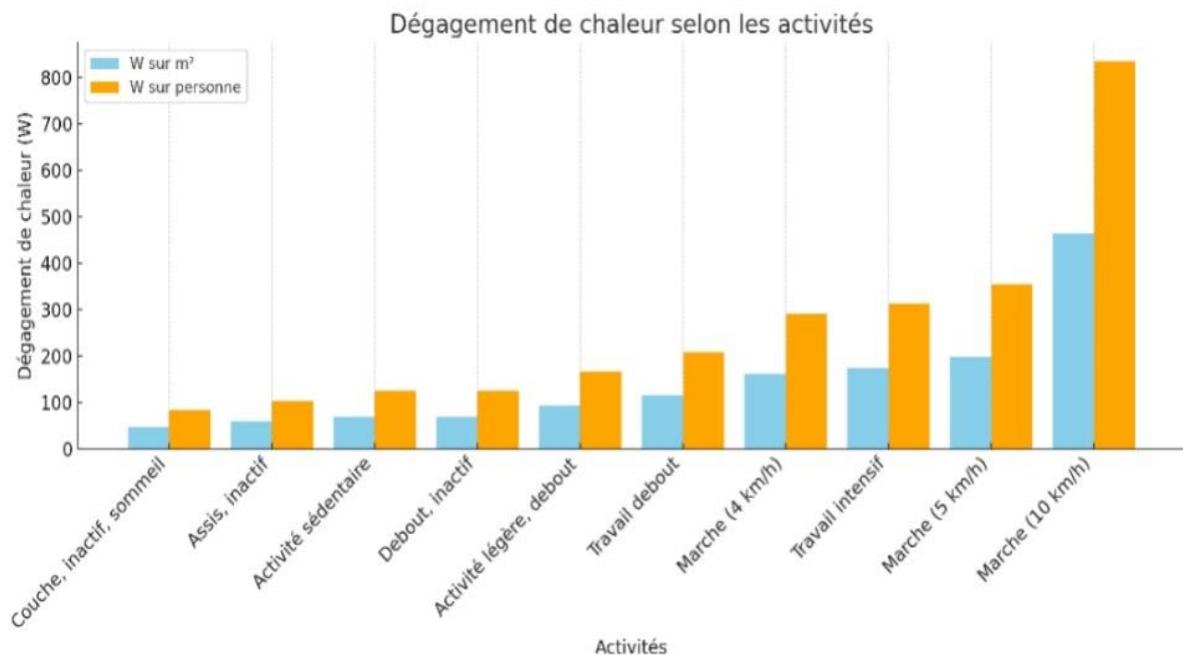
Le ressenti du confort thermique dépend de plusieurs facteurs, dont :

- Les paramètres liés à l'individu : activité et la vêture
- Les paramètres physiques d'ambiance :la température de l'air ambiant, la température des parois, la vitesse de l'air, et l'humidité relative de l'air

4.1.les facteurs liées à l'individu :

A- L'activité :

L'activité est l'un des facteurs clés qui influence la perception du confort thermique d'un individu dans un local par l'intermédiaire direct de son métabolisme, soit la quantité de chaleur générée par le corps humain, lui permettant ainsi de maintenir une température proche de 37° C. Les températures générées par le métabolisme lié à une activité spécifique, ainsi que celles liées au métabolisme basal du corps lorsqu'il est au repos, sont diffusées dans l'espace où se trouve la personne. Dans ce graphe ci-dessus, la norme ISO fournit les taux moyens de chaleurs libérées associés aux différentes activités d'une personne dans une pièce : (René,2020)



graphe 1 : évaluation du niveau d'activité d'un individu

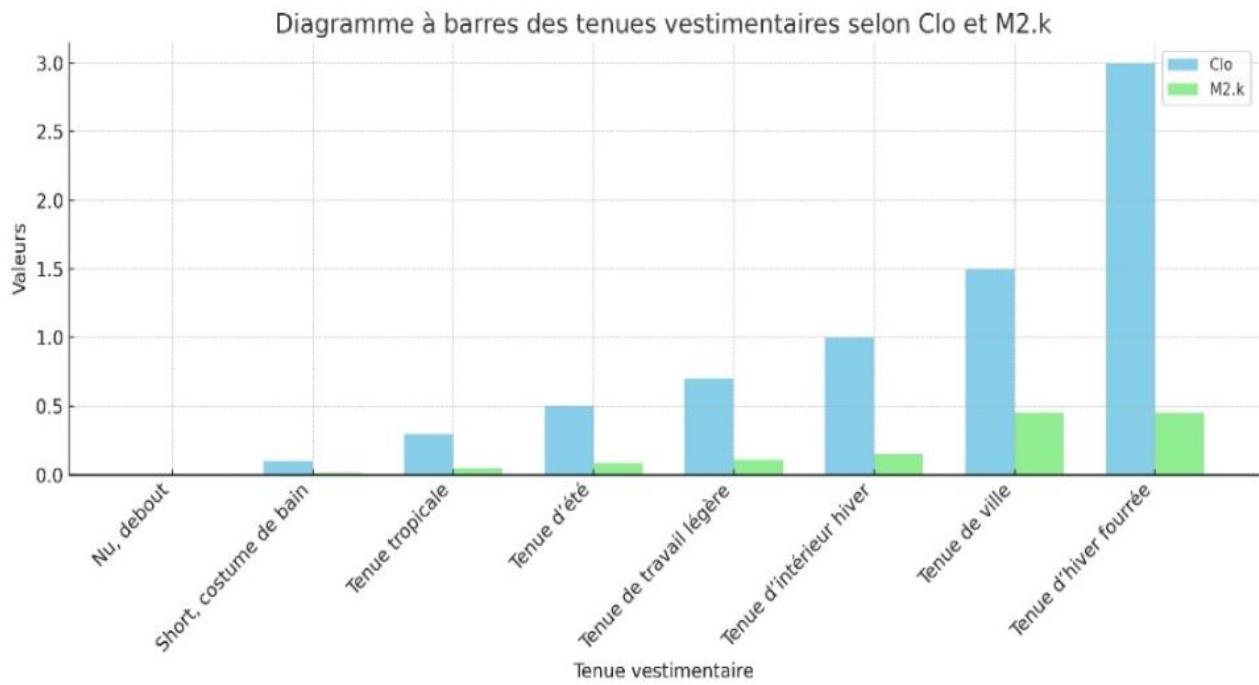
Auteur selon (René, 2020)

B-L 'habillement :

Les vêtements ont la capacité de créer un microclimat sous-vestimentaire grâce à leurs résistances thermiques, en altérant les échanges de chaleur et de masse entre la peau et son environnement. Leur fonction primordiale est de préserver le corps dans des conditions de température supportables, surtout pendant l'hiver. Le comportement thermique des habits d'un individu en mouvement est à la fois complexe et dynamique. La conduction est le moyen par lequel la chaleur se propage à travers les tissus, tandis que la diffusion assure le transfert de masse pour la phase vapeur et la migration pour la phase liquide sur la surface externe, les interactions avec l'environnement se produisent par le biais de la convection, du rayonnement et de l'évaporation. Plusieurs éléments peuvent avoir un impact sur les transferts de chaleur et de matière à travers les vêtements. En plus de leurs capacités à supporter la chaleur et résister à l'évaporation, il existe potentiellement un effet tampon résultant de l'adsorption d'eau, un effet de pompage causé par le mouvement du corps ou l'infiltration d'air à travers les tissus ou les ouvertures. Les divers types de transferts sont également influencés par la nature du matériau, le style des vêtements, les mouvements et la posture de l'individu. (Thellier, 1999) cité par (Moujalled, 2007).

Le graphe suivant extrait de la norme ISO 1993 donne les valeurs de ces indices pour quelques types d'habillement portes par les individus :

Chapitre I : Le Confort Thermique dans un bâtiment



graphe 3 : estimation du niveau d'habillement

Auteur selon (René, 2020)

Clo : unité d'isolation vestimentaire

4.2.les paramètres physique :

4.2.1. La température ambiante de l'air (Ta) :

La température ambiante (Ta), qui correspond à la température de l'air dans une pièce, est généralement déterminée par leurs apports thermiques (externes et internes). Elle joue un rôle crucial dans le bilan thermique de l'individu en ce qui concerne les transferts convectifs, conductifs et respiratoires. L'indice de confort que représente la température ambiante est souvent employé dans le cadre d'un contrôle moins rigoureux du confort thermique (Cordier, 2007), cité par (René, 2020). Ainsi, il sert à fixer les directives de températures pour les systèmes de chauffage en hiver et de climatisation en été dans un bâtiment équipé de climatisation.

Selon l'article 64 du Règlement Général pour la Protection du Travail (RGPT), des températures ambiantes de l'air minimales et maximales sont requises, en fonction de la nature du travail accompli.

Chapitre I : Le Confort Thermique dans un bâtiment

Tableau 1:valeur de référence de température de l'air (René, 2020)

Type de local	Température de l'air
Locaux ou des gens normalement au repos ou exerçant une activité physique très légère. Par exemple : bureaux, salles de cours, salles d'attente, salles de réunion ou de conférence	21,00 °C
Locaux ou des gens peu ou pas habillés au repos ou exerçant une activité physique très légère. Par exemple : salles d'examen ou soins médicaux, vestiaire.	23,00 à 25,00 °C
Locaux où des gens habillés exercent une activité physique très légère. Par exemple : ateliers, laboratoires, cuisines	17,00 °C
. Les lieux où des individus vêtus pratiquent une activité physique intense. Par exemple : salles de gymnastique, Salles de sport	17,00 °C
Locaux qui servent que de passage pour les gens habillés normalement. Par exemple : corridors, cages d'escalier, vestiaire, sanitaire.	17,00 °C
Locaux qui gardent uniquement à l'abri du gel. Par exemple : garages, archives.	5,00 °C

Ces températures ambiante ont été déterminées pour une moyenne de surface de parois inférieure à 2 °C. Dans le cadre d'une politique de gestion efficace de l'énergie, on les admet parfois comme température de confort. Pour effectuer une mesure manuelle de la température de l'air, on peut se servir de :

- Les thermomètres à dilatation de liquides (mercure, alcool)
- Les thermomètres électriques ou électroniques54 (à résistance ou à semi-conducteur).



4.2.2. La température des parois (appelée aussi température radiante)

Lorsqu'une paroi est plus chaude que l'organisme, elle dégage un rayonnement thermique vers celui-ci, provoquant une sensation de chaleur. Au contraire, une surface froide (comme un vitrage simple en hiver) capte le rayonnement thermique du corps et engendre un sentiment de froid. La sensation de confort ou d'inconfort thermique, que ce soit en été ou en hiver, est fortement influencée par cette température. Une cloison mal isolée affiche une température nettement plus basse que celle de l'air ambiant, ce qui entraîne fréquemment un inconfort local lié à l'écart de températures. (René, 2020)

L'expérience effectuée au Massachusetts Institute of Technologies, illustrée par la figure ci-dessous :

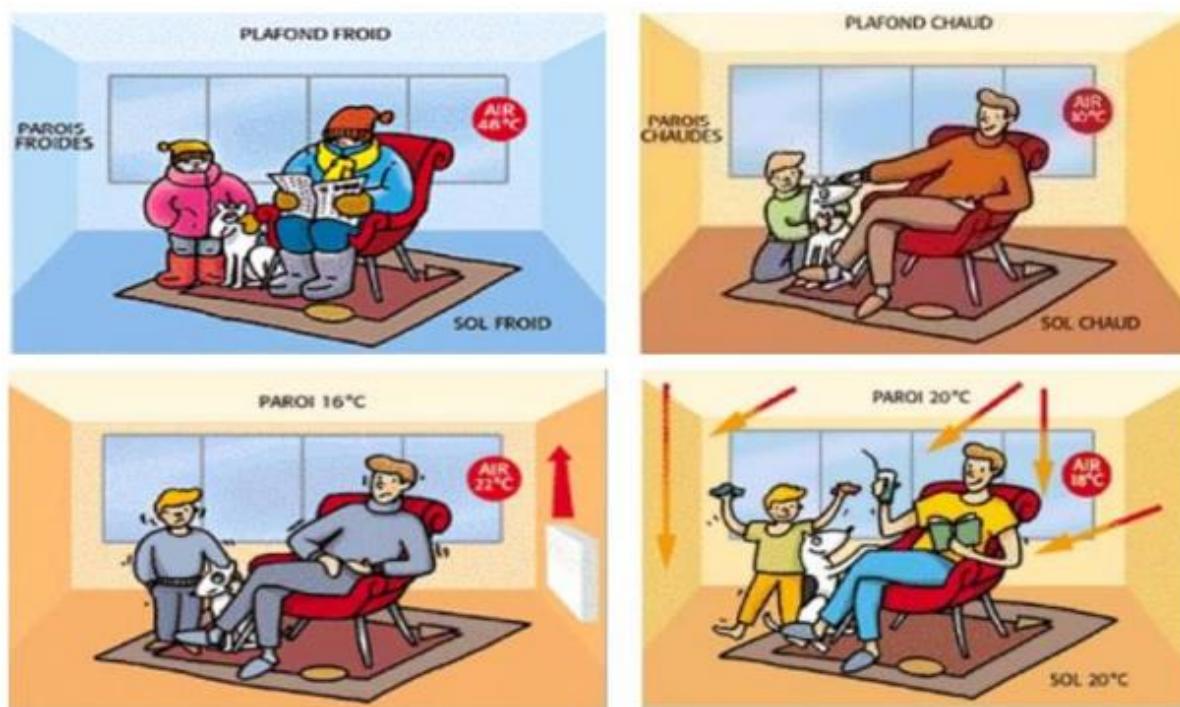


Figure 4: Experience sur l'importance de la température d'une paroi

(René, 2020)

4.2.3. Humidité relative (Hr)

L'humidité relative définit par Roulet, (2008) comme un rapport de teneur en eau présente dans l'air par rapport à la teneur en eau maximale possible, qui est uniquement déterminée par la température. Ce rapport est présenté sous forme de pourcentage.

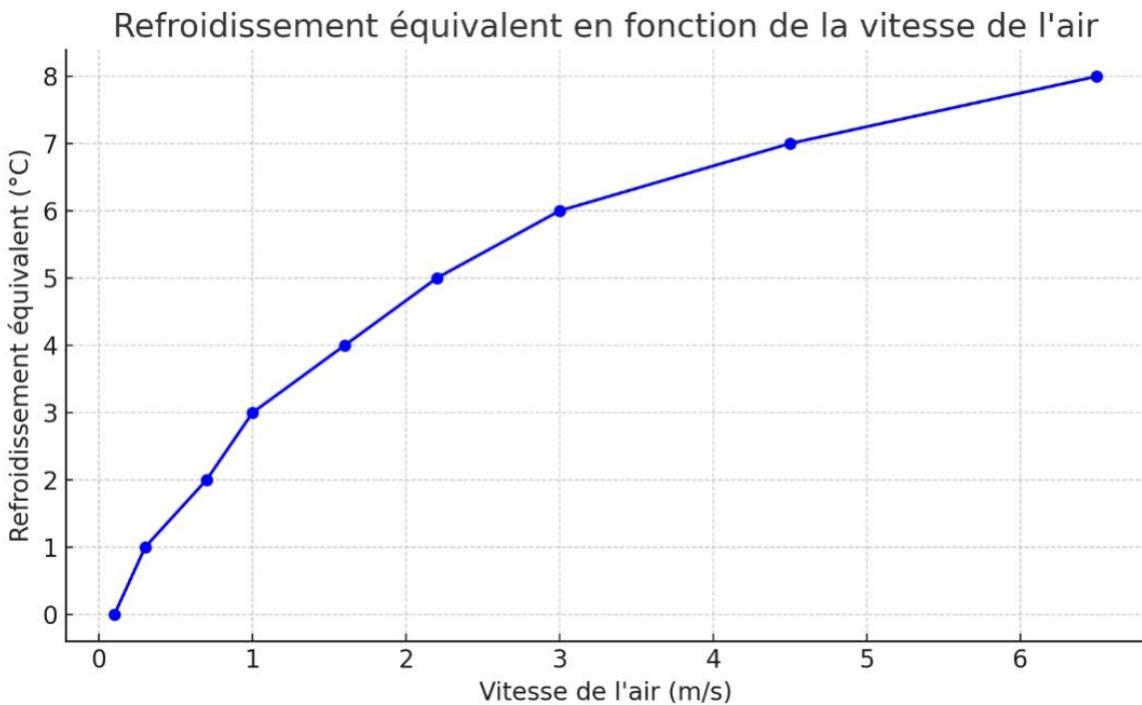
L'humidité relative à un endroit spécifique du bâtiment est également déterminée par la température intérieure locale, elle-même soumise à l'influence de :

- La température et l'exposition au soleil à l'extérieur,
- Les spécificités du bâtiment : Isolation thermique, existence de ponts thermiques, et cetera.
- La température à l'intérieur de l'air.

4.2.4. la vitesse de l'air :

Il s'agit de la vitesse à laquelle le courant d'air se déplace, et elle peut varier. Dans un espace donné, ce facteur affecte les transferts de chaleur par convection, puis l'efficacité de l'évaporation à la surface de la peau et par conséquent la température corporelle (Givoni, 1978) cité dans (René 2020).

Le « Guide pratique de ventilation – Woods », donne les valeurs de refroidissement équivalent de la paroi, en fonction de la vitesse de l'air dans une pièce.



graph 5 : Refroidissement équivalent de la paroi en fonction de la vitesse de l'air

Auteur selon (René, 2020)

6.les approches de confort thermique :

De nombreuses études ont été consacrées au confort thermique. Ils ne se limitent pas aux bâtiments, mais englobent également les moyens de déplacement (automobiles, avions) ou encore les lieux professionnels dans des conditions extrêmes. Pour ce qui est des bâtiments, le domaine de recherche sur le confort thermique se divise entre deux approches. La première examine le confort thermique de manière analytique. Elle ne se limite pas aux édifices. La seconde méthode, qui repose sur l'incapacité de la méthode analytique à refléter le confort thermique réel dans les édifices, est connue sous le nom d'approche adaptative.. (Dr R.Cantin, B. Moujalled, & Dr HDR G. Guaracino, 2005)

6.1. Approches analytiques (statiques) :

L'approche analytique a pour l'objectif de prédire la sensation thermique des occupants et ce, d'identifier les conditions du confort thermique. Elle est caractérisée par le calcul de bilan thermique du corps humain, basé sur des modèles physiques et physiologiques. Ces modèles physiques sont utilisés pour calculer les échanges de chaleur entre l'occupant et son milieu. Les variables d'entrée de ces modèles sont les grandeurs physiques de l'ambiance thermique (température de l'air, température du rayonnement, humidité de l'air et vitesse d'air) et les caractéristiques de l'individu (taille et poids de l'individu, production de chaleur métabolique, caractéristiques de vêtement, etc.). En sortie, sont proposés de nombreux indices qui prévoient la sensation thermique ou le niveau de confort pour les conditions étudiées. (Tchakblo, 2021)

Dans les bâtiments, les modèles du confort thermique les plus couramment utilisés sont celui de Fanger [ISO 7730 : 1994], le PMV (vote moyen prévisible), et celui de Gagge [ASHRAE Handbook], le SET (température effective standard). Le modèle de Fanger a servi de base pour

Chapitre I : Le Confort Thermique dans un bâtiment

la norme internationale ISO 7730, et celui de Gagge pour la norme américaine ASHRAE standard 55. (Dr R.Cantin, B. Moujalled, & Dr HDR G. Guarracino, 2005)

Donc l'approche analytique de confort thermique repose sur des modèles physiques et physiologiques permettant de prédire la sensation thermique en fonction de l'environnement et des caractéristiques individuelles. Les modèles Fanger et de Gagge sont les plus utilisées.

Tableau 2:sensation thermique de l'ASHAR auteur selon

(Dr R.Cantin, B. Moujalled, & Dr HDR G. Guarracino, 2005)

ECHELLE D'ASHARE
-3 = très froid
-2=froid
-1=légèrement froid
0=ni chaud, ni froid
1=légèrement chaud
2=chaud
3= très chaud

6.1.1. Le modèle de Fanger :

Fanger a établi expérimentalement les conditions physiologiques (température de la peau et transpiration) requises pour un confort thermique dans des conditions thermiques uniformes et fixes. Dans son bilan thermique, il a utilisé l'indice PMV pour quantifier la sensation thermique en fonction de la différence entre le flux de chaleur émis par le corps et celui correspondant aux conditions de confort.

- Le PMV représente la perception thermique moyenne ressentie par un grand ensemble d'individus selon l'échelle de sensation thermique de l'ASHRAE.
- Fanger a introduit un autre indice complémentaire au PMV, le « PPD » (pourcentage prévu des insatisfaits), car la seule perception thermique ne suffit pas à évaluer le confort. Cet indice sert à anticiper le taux d'insatisfaction pour une sensation spécifique.

6.1.2. Le modèle de Gagge :

Dans ce modèle, Gagge a conçu une représentation du corps humain en deux compartiments concentriques qui symbolisent le centre du corps et la peau. Ce modèle est une adaptation simplifiée de celui élaboré par Stolwijk et Hardy pour la NASA [ASHRAE Handbook]. Contrairement au modèle statique proposé par Fanger, il s'agit d'un modèle dynamique qui permet d'estimer les variables physiologiques dans des conditions non stationnaires. Les résultats du modèle, soient la température cutanée et l'humidité cutanée, sont employés pour le calcul d'un indice créé par Gagge, le SET. (R. Cantin, B. Moujalled & HDR G. Guarracino,2005),

Parsons (2002) dit : elle représente la température équivalente à une température dans un environnement standard.

Chapitre I : Le Confort Thermique dans un bâtiment

Tableau 3:la relation entre la température standard effective SET et la sensation thermique (Renè,2020)

SET (°C)	Sensation	L'état physiologique d'une personne sédentaire
>37.5	Extrêmement chaud, très inconfortable	Echec de la régulation
34.5-37.5	Très chaud, très inacceptable	Sudation profuse
30.0-34.5	Chaud, inconfortable, inacceptable	Sudation
25.6-30.0	Légèrement chaud, légèrement inacceptable Sudation légère vasodilatation	
22.2-25.6	Confortable et acceptable	Neutralité
17.5-22.2	Légèrement froid, légèrement inacceptable	Vasoconstriction
14.5-17.5	Froid et inacceptable	Refroidissement ralenti du corps
10.0-14.5	Très froid, très inacceptable	Frissons

6.2. Approche adaptative :

Bonte, (2014) dit : l'approche adaptative a été développée en tenant compte de la sensation thermique des occupants et des différentes actions pour s'adapter aux les conditions thermiques où il se trouve, pour maintenir son état de confort thermique.

Cette approche met en doute la causalité linéaire de l'approche analytique. L'adaptation s'exprime par des boucles de rétroaction qui se met en œuvre face à une situation d'inconfort. Ces boucles peuvent être les réactions comportementales, l'acclimatation, l'accoutumance ou les attentes des occupants. Ainsi, dans un bâtiment offrant plus de moyens d'adaptation (ouverture de fenêtres, ventilateur, store...), un occupant aura plus de possibilités de se trouver dans une situation de confort. Les normes actuelles étant basées sur l'approche analytique, des algorithmes alternatifs ont été développés afin de rendre compte de l'adaptation, via l'exploitation statistique des bases de données. L'algorithme est de la forme d'une expression linéaire de la température de confort en fonction du climat extérieur. Ces algorithmes sont ainsi de la forme d'une boîte noire qui donne les conditions de confort en fonction du climat extérieur. (Dr R.Cantin, B. Moujalled, & Dr HDR G. Guarracino, 2005)

Le projet européen SCATS qui a porté sur le confort adaptatif dans les bâtiments, a contribué au développement de l'algorithme du contrôle adaptatif ACA avec une version adaptée pour chacun des pays participants.

Aux Etats-Unis, le projet de recherche ASHRAE RP-884 a permis d'établir le standard du confort adaptatif ACS qui a été inclus dans l'ASHRAE standard55.

Donc L'approche adaptative c'est comme une façon dont un être humain s'adapte naturellement aux variations de température

7.les indices dévaluation de l'ambiance thermique :

7.1. La température résultante ou température opérative :

L'indice de confort qui tient compte de la convection et du rayonnement (ta et tr) est connu sous le nom de température opérative. Elle est en réalité caractérisée par la température d'un

Chapitre I : Le Confort Thermique dans un bâtiment

environnement isotherme où un occupant échange autant de chaleur par rayonnement et convection qu'à l'emplacement réel (Bruant, 1997). On peut la rédiger comme suit.

$$\text{Top} = \alpha \cdot \text{ta} + (1 - \alpha) \text{tmrt}$$
 Avec : ta = température d'air, °C
tmrt = température moyenne radiante °C

α = paramètre dépendant exclusivement de la vitesse d'air (souvent voisine de 0,5)

Parsons, (2003) affirme que cet indice est considéré comme équivalent à la température mesurée à l'intérieur d'une sphère noire dont le diamètre est défini de manière à ce que les transferts de chaleur par convection et rayonnement soient proportionnels à ceux du corps humain. Un globe de 40 mm de diamètre est adéquat pour une convection naturelle à basse vitesse d'air (entre 0,1 et 0,15 m/s). De plus, il offre un temps de réponse plus rapide comparé au globe traditionnel de 150 mm généralement employé.

7.2. La température effective TE :

On définit la température effective comme la température sèche équivalente d'un espace isotherme à 50% d'humidité relative, où un sujet échangerait la même quantité de chaleur et présenterait le même niveau d'humidité cutanée que dans l'espace réel où il se situe. L'indice ET, qui tient compte de la température et de l'humidité, nécessite pour son calcul la connaissance du taux d'humidité cutanée et de l'indice de perméabilité à la vapeur d'eau des habits (im). L'ASHRAE a défini des échelles de confort basées sur cet indice pour des individus effectuant une activité faible (1 Met), portant une tenue de 0,6 Clo et dans un environnement calme ($v_a < 0,2$ m/s). (Moujalled, 2007)

7.3. L'indice PMV :

Qui anticipe le vote moyen de sensation thermique (globale) d'un groupe d'individus selon l'échelle de sensation thermique de l'ASHRAE. Cette relation a été établie sur la base de données statistiques provenant d'expériences menées sur près de 1300 participants dans des chambres climatiques. (Moujalled, 2007)

$$\text{PMV} = [0,303 \cdot \exp(-0,036 \cdot M) + 0,028] \cdot L$$

M : métabolisme

L=l'écarte dans le bilan thermique

7.4. L'indice PPD :

Qui prévoit le pourcentage des personnes qui seront insatisfaites dans l'ambiance considérée. On considère comme insatisfaites les individus dont le vote de sensation est en dehors de l'intervalle [-1,1]. Le lien prévoit un pourcentage minimal de 5% des insatisfaits pour un vote qui équivaut à zéro (sensation neutre), ensuite ce pourcentage croît symétriquement de part et d'autre du vote zéro jusqu'aux sensations chaudes et froides. (Moujalled, 2007)

$$\text{PPD} = 100 - 95 \cdot \exp [-(0,03353 \cdot \text{PMV4} + 0,2179 \cdot \text{PMV2})]$$

8.Les échelles de sensation thermique :

8.1. L'échelle de Bedford et l'échelle de l'ASHRAE :

Différentes échelles ont été élaborées pour mesurer la sensation thermique. L'échelle de Bedford et l'échelle de l'ASHRAE (Tableau) sont parmi les plus couramment employées. On utilise fréquemment l'échelle de l'ASHRAE en attribuant la valeur zéro à la sensation neutre (sensation chaude = +3, sensation froide = -3, etc.) (AFNOR, 1995). On privilégie l'échelle de l'ASHRAE à celle de Bedford qui mélange sensation et plaisir. Il est essentiel de distinguer l'équilibre de la neutralité thermique. La thermorégulation du corps humain permet de maintenir l'équilibre thermique dans une vaste gamme de conditions d'ambiance, cependant la neutralité thermique correspond en revanche à une bande plus étroite pour laquelle les phénomènes de thermorégulation décrits précédemment ne sont pas (ou peu) mis en jeu. (Moujalled, 2007)

Tableau 4:les échelles de sensation thermique (*Moujalled, 2007*)

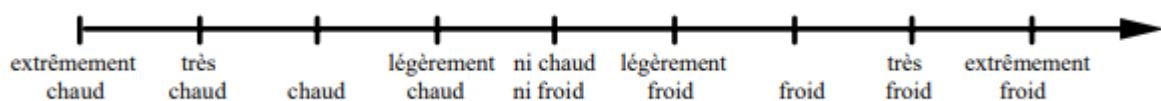
L'échelle de Bedford	L'échelle de l'ASHRAE
7 Très chaud	7 (+3) Très chaud
6 Chaud	6 (+2) Chaud
5 Confortablement chaud	5 (+1) Légèrement chaud
4 Confortable	4 (0) Neutre
3 Confortablement froid	3 (-1) Légèrement froid
2 Froid	2 (-2) Froid
1 Très froid	1 (-3) Très froid

8.2. Echelles de jugement subjectif :

Les échelles de jugement ,la norme ISO 10551 suggère la mise en place et l'emploi d'échelles d'appréciation liées à l'aspect subjectif du confort ou de la contrainte thermique. (Matinet & Meyer , 2016).

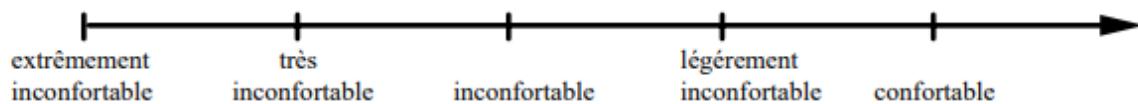
8.2.1. Échelle de perception :

" comment vous sentez vous ?" (Échelle à 9 niveaux)

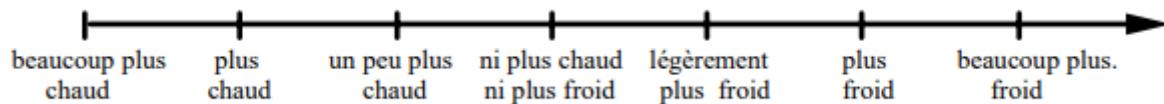


8.2.2. Échelle évaluative :

" trouvez-vous cela ?" (Échelle à 5 niveaux)

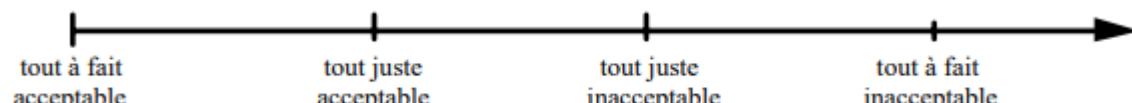


8.2.3. Échelle de préférence : " veuillez indiquer comment vous préféreriez être maintenant ?" (7 niveaux)

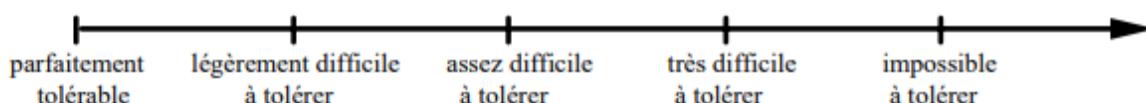


8.2.4. Expressions de l'acceptabilité personnelle et échelle de tolérance : sont abordés par des questionnaires dont des exemples sont présentés ci-dessous.

- **Jugement d'acceptabilité personnelle :** "comment jugez-vous cet environnement d'un point de vue personnel ?" (Échelle à 4 niveaux)



- **Jugement de tolérance personnelle :** "Cet environnement est.... ?". (Échelle à 5 niveaux)



8. Déférants typologies architecturales pour optimiser un confort thermique :

Selon Batier (2016) déférants typologies architecturales défini pour optimiser un confort thermique :

8.1. Typologie d'occultation et protections contre le soleil :

Les types d'occultation offrent la possibilité de se prémunir ou, à l'inverse, de bénéficier des apports solaires. Plusieurs classifications sont possibles en matière d'occultation. Des stratégies comme l'utilisation d'une structure architecturale fixe telle qu'un auvent ou d'un dispositif mobile (comme un volet) peuvent aider à atténuer le comportement inconvenant des occupants. (Batier C. , mars 2016)

8.2. Typologie de baie et ventilation naturelle :

L'instauration d'une ventilation naturelle contribue de manière importante à diminuer le malaise estival. À l'inverse, en hiver, il faut minimiser la ventilation pour ne garantir que le renouvellement hygiénique de l'air dans les appartements. L'élaboration d'une stratégie architecturale de ventilation naturelle requiert souvent la participation de l'usager pour réussir à fusionner ces deux approches saisonnières contraires. (Batier C. , mars 2016)

8.3. Façade double peau :

La double peau permet de créer un espace tampon entre la façade existante et celle ajoutée en mettant en place une paroi vitrée devant l'existante. Au cours de sa thèse (ARANTES, 2013), elle développe le concept du « Core-Skin-Shell » qui repose sur l'ajout d'une double peau à un édifice préexistant. Elle démontre ainsi que ce dispositif peut réduire les besoins énergétiques

Chapitre I : Le Confort Thermique dans un bâtiment

pendant la saison froide. Cependant, durant les mois d'été, des échauffements excessifs peuvent survenir surtout si l'espace entre le bâtiment et la paroi vitrée n'est pas ventilé et si cette dernière n'est pas protégée par des protections solaires appropriées. (Batier C. , mars 2016)

8.4. Végétalisation de la façade ou du pied de façade :

La verdure sur la façade contribue à l'établissement d'un microclimat plus frais en rafraîchissant l'air grâce au processus d'évapotranspiration. À l'instar des êtres humains, les plantes régulent leur température par le biais de la transpiration. Pour que cette eau en surplus puisse s'évaporer, elle nécessite des calories additionnelles qu'elle puise dans son entourage immédiat. Un microclimat plus frais se forme alors que la température ambiante baisse. Quand la flore est présente à proximité des structures et particulièrement près des ouvertures, l'aération par l'ouverture des fenêtres facilite le refroidissement des zones occupées.

Ainsi, l'aménagement paysager à la base de la façade permet, d'une part, de créer un microclimat et, d'autre part, de diminuer la chaleur qui est absorbée par le sol. (Batier C. , mars 2016)

8.5. Matériaux innovants : matériaux à changement de phase :

Il s'agit de matériaux à changement de phase (M.C.P.), soit, des matières qui modifient leur état physique (de solide à liquide) à une température spécifique. Lorsqu'il fait chaud et que la température ambiante excède le point de fusion, une portion de la chaleur emmagasinée à l'intérieur du bâtiment est absorbée par le matériau. Elle est libérée lorsque la température extérieure chute sous le seuil de solidification (la nuit durant l'été). (Batier C. , mars 2016)

Conclusion

Pour conclure, ce chapitre a permis d'explorer un aspect essentiel de cette recherche : le confort thermique dans le bâtiment et son influence directe sur le bien être humain. Ce concept, fondamental dans la conception des espaces intérieurs, agit non seulement sur le bien-être, mais aussi sur la santé et la productivité des occupants

Nous avons vu que le confort thermique dépend d'un équilibre entre plusieurs facteurs, comme les échanges thermiques entre le corps humain et son environnement, les paramètres qui influencent cette sensation, ainsi que les indices et échelles de mesure existants, nous avons aussi abordé différentes typologies architecturales permettant d'améliorer ce confort.

Tout ce travail d'analyse pose les bases nécessaires pour intégrer de manier réfléchie les aspects thermiques dans le projet étudié. Il nous permettra 'identifier les bonnes conditions de confort, de choisir les critères d'évaluation les plus adaptés notamment pour le questionnaire et de mieux évaluer si les espaces proposés seront réellement confortables, il nous permet aussi pour optimiser les systèmes HVAC tout en réduisant l'empreinte énergétique du bâtiment.

Chapitre II :

**Régulation thermique et contrôle des système HVAC
(Chauffage, ventilation, climatisation)**

Introduction

Le confort thermique dans le bâtiment ne peut être dissocié des systèmes de chauffage, ventilation et de climatisation (HVAC), qui jouent un rôle essentiel dans la régulation thermique, et le bon fonctionnement de ces systèmes repose non seulement sur la qualité de leur conception technique, mais également sur les stratégies de contrôle et tout ça pour garantir un meilleur contrôle thermique

Ce chapitre présente tout d'abord la définition de la notion de régulation thermique puis la notion et les principes de fonctionnement des systèmes HVAC et on a détaillé un seul système qui est la climatisation, ensuite on a cité les différents systèmes de contrôle : classique, avancés, intelligent dans le but de comprendre chaque méthode de contrôle des systèmes HVAC.

1. definition Régulation thermique :

Régulation thermique constitue justement un moyen d'obtenir un confort thermique optimal chez soi où que l'on soit dans la maison tout en économisant de l'énergie. Par définition, la régulation thermique désigne un procédé permettant de réguler la température intérieure par le biais d'un appareil dédié à cet effet (Eloise, 2025)

Donc la régulation thermique des systèmes HVAC est l'ensemble des mécanismes permettant de contrôler la température d'un espace pour maintenir des conditions de confort optimales et une efficacité énergétique maximale.

2. definition système HVAC :

Le système HVAC (chauffage, ventilation et climatisation) est un système tout-en-un installé à l'intérieur d'un bâtiment ou d'un établissement pour assurer une bonne qualité de l'air, une bonne circulation de l'air et le confort de ses occupants. Les systèmes CVC assurent une bonne qualité de l'air en faisant circuler l'air à l'intérieur et en l'évacuant à l'extérieur du bâtiment.

La plupart des bâtiments résidentiels et commerciaux sont équipés d'un système de CVC (chauffage, ventilation et climatisation). Le fait d'avoir une unité centrale est typique des endroits qui connaissent des changements de température saisonniers et extrêmes. Les systèmes CVC fonctionnent principalement pour contrôler le climat de la zone dans laquelle ils sont placés. Ils ne servent pas seulement à chauffer et à refroidir, ils garantissent également la qualité de l'air intérieur, qui contient des quantités adéquates d'oxygène et ne contient pas de gaz toxiques. Certains systèmes CVC peuvent même mesurer la quantité de monoxyde de carbone présente dans la zone. (safetyculture, 2024)

3. les différents types de système HVAC :

Joy, (2024) dit : Un système HVAC (chauffage, ventilation et climatisation) est élaboré pour éviter la pollution et assurer des conditions de vie et de travail confortable.

- Le chauffage assure le maintien d'une température ambiante adéquate, surtout durant les périodes froides.
- La ventilation consiste à échanger ou renouveler l'air dans un espace afin de contrôler la température ou d'éliminer les polluants.

- La climatisation réduit la température et l'humidité à l'intérieur des espaces en éliminant la chaleur présente dans l'air. (Joy, 2024)

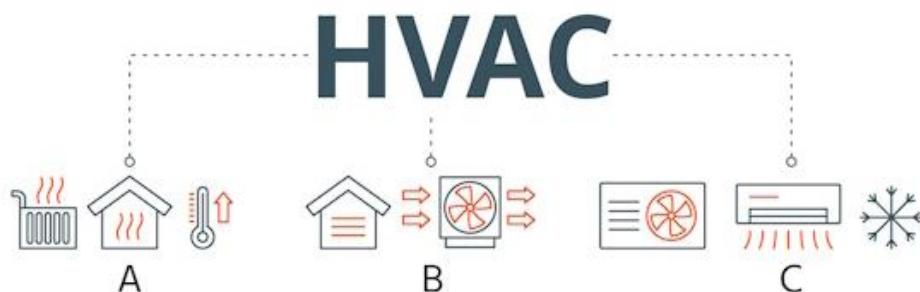


Figure 5:chauffage A, ventilation B, climatisation C (Joy, 2024)

3.1. Chauffage :

Le chauffage offre aux occupants d'une habitation un certain bien-être thermique dans leur vie quotidienne. Un chauffage est un appareil intégral constitué de diverses composantes. Il comprend un générateur qui assure la production de chaleur, pouvant se présenter sous la forme d'une chaudière ou d'une pompe à chaleur par exemple. Celui-ci transfère la chaleur produite via un réseau de distribution vers les émetteurs, ce qui permet la diffusion de l'air réchauffé dans la pièce. On peut contrôler cette température à l'aide de thermostats. (XPair, s.d.).

En résumé le chauffage est un système ou un processus permettant d'augmenter et de maintenir la température d'un espace intérieur à un niveau confortable, en compensant les pertes de chaleur.

3.1.1. Les différents systèmes de chauffage :

Donc parmi des systèmes HVAC, qui assure le confort thermique ‘le chauffage’ que ce soit son type.

Tableau 5:les différents systèmes de chauffage (auteur,2025)

Système de chauffage	Définition
Les Radiateurs électriques :	Le radiateur est un appareil qui facilite le transfert de chaleur entre deux environnements. Tous les radiateurs électriques opèrent sur la base d'un courant qui, en traversant une résistance, génère de la chaleur : il s'agit de l'effet Joule. La diffusion de la chaleur dans l'espace est assurée par divers procédés : la convection, le rayonnement et l'inertie.... (TotalEnergies, 2024)
Le chauffage au gaz	Futura, (2012) définit Le chauffage au gaz repose sur un procédé de combustion. Une chaudière brûle le gaz pour réchauffer de l'eau. La diffusion de l'eau chaude dans la maison se fait grâce à des conduits connectés à des radiateurs ou un dispositif de chauffage par le sol. C'est l'une des méthodes de chauffage les plus économiques et écologiques dans le domaine de l'énergie.

Chapitre II : Régulation thermique et contrôle des systèmes HVAC

Les poêles et le chauffage au bois	Tout comme pour toute autre chaudière, c'est la combustion du combustible (qu'il s'agisse de bûches ou de granulés de bois) qui génère de la chaleur. Cette dernière est alors acheminée vers les radiateurs de l'habitation via le système de chauffage central connecté à la chaudière. En ce qui concerne les poêles, leur mode de fonctionnement est comparable à celui d'une cheminée à foyer fermé. Que son corps soit en acier ou en fonte, et qu'il soit recouvert de céramique ou pas, il diffuse une chaleur douce par rayonnement. (TotalEnergies, 2024)
Les pompes à chaleur	Selon Kim, (2013) explique que : La pompe à chaleur effectue un transfert de chaleur depuis une source à basse température vers une source à haute température, en récupérant de l'énergie thermique d'un côté pour la libérer de l'autre. On identifie deux catégories : les pompes à chaleur thermodynamiques et les pompes à chaleur thermoélectriques.
Les chauffe-eau	Qu'ils soient électriques, à gaz ou thermodynamiques : vous avez plusieurs options pour le chauffe-eau. Les chauffe-eau solaires ou thermodynamiques, qui utilisent des technologies plus efficientes sur le plan énergétique et plus écologiques, sont les modèles les plus demandés. Le chauffe-eau solaire, qui fonctionne avec des panneaux solaires installés sur votre toit, s'avère être un choix très bénéfique puisqu'il est capable de réduire votre consommation énergétique jusqu'à 75%. Pour sa part, le chauffe-eau thermodynamique est un dispositif associé à une pompe à chaleur air/eau, qui exploite les calories présentes dans l'espace où il a été installé. (TotalEnergies, 2024)
Les chaudières	Une chaudière est un « appareil qui génère de la chaleur ». C'est effectivement un dispositif ou une installation qui assure le transfert continu de l'énergie thermique vers un fluide caloporteur (porte-chaleur). Par conséquent, tout appareil produisant de l'eau chaude, de la vapeur, ou de l'eau surchauffée est qualifié de chaudière. On considère aussi comme chaudières les dispositifs qui modifient la température d'un fluide thermique par le biais de la combustion. Il existe plusieurs sortes de chaudières : Chaudières à combustion, chaudières de récupération, chaudières électriques. (CEDEO, 2018)
le chauffage au sol	Garanka, (2024) définit Le chauffage par le sol comme un système qui opère à travers un réseau de tuyaux chauffants ou de fils électriques positionnés entre la chape et la dalle de béton. Ces dispositifs assurent une distribution uniforme de la chaleur dans l'ensemble de la pièce.
La climatisation réversible	Elle opère selon le mécanisme d'une pompe à chaleur air/air : en phase « climatisation », elle capte la chaleur de l'environnement pour la rejeter à l'extérieur ; en phase « chauffage », le processus est inversé et les calories sont exploitées pour réchauffer l'espace. (TotalEnergies, 2024)

3.2. Ventilation

La ventilation intègre l'air provenant de l'extérieur dans un bâtiment ou une pièce et assure sa distribution au sein de cet édifice ou cette salle. L'objectif principal de la ventilation des bâtiments est de purifier l'air intérieur en réduisant la concentration des polluants générés à l'intérieur et en éliminant ces substances (Etheridge,1996 ; Awbi,2003) cité par (De James Atkinson, et al., 2011).

Trois aspects fondamentaux définissant la ventilation des bâtiments :

- Le débit de ventilation : volumes d'air extérieur amenés dans l'espace, et qualité de cet air extérieur.
- Orientation du courant d'air : trajectoire générale du flux d'air au sein d'un édifice, qui doit se diriger des zones propres vers les zones souillées.
- La méthode de diffusion ou de circulation de l'air : l'air extérieur doit être acheminé efficacement pour éliminer les polluants aéroportés générés.

Donc la ventilation est le processus par lequel l'air est déplacé dans un espace fermé pour renouveler l'air intérieur.

3.2.1.les types de ventilation :

Trois méthodes peuvent être utilisées pour ventiler un bâtiment :la ventilation naturelle, la ventilation mécanique, la ventilation hybride (mixte). (De James Atkinson, et al., 2011).

3.2.1.1. Ventilation naturelle :

Caciolo, (2011) dit : On désigne par ventilation naturelle le renouvellement d'air qui est favorisé par des forces naturelles (vent, différence de température) via des ouvertures, sans intervention de mécanismes mécaniques.

- L'effet du vent

Les écarts de pression observés sur la façade exposée au vent (surpression) et sur les façades abritées du vent (dépression) entraînent un déplacement d'air à travers les diverses ouvertures (fuite d'étanchéité, prise d'air, sortie de conduit), des zones à haute pression vers celles à basse pression, comme l'illustre la Figure. (Dhalluin, 2012)

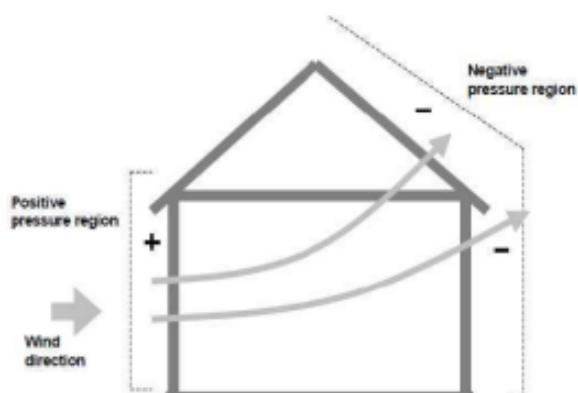


Figure 6:Action du vent [Russel, 2005]cité par (Dhalluin, 2012)

- Le tirage thermique

Les écarts de température entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment provoquent des variations de densité de l'air, entraînant ainsi un gradient de pression entre ces deux espaces qui engendre la circulation de l'air. Par conséquent, quand l'air intérieur est plus chaud que celui extérieur, ce dernier va s'introduire par les ouvertures situées en bas du bâtiment et s'échapper par celles localisées en haut (Figure). Une zone plane se forme le long de laquelle il n'y a pas de différence de pression, on la désigne comme plan neutre. (Dhalluin, 2012)

- Effets combinés de ces deux forces motrices

En pratique, ces deux ventilateurs fonctionnent de manière simultanée et peuvent engendrer des effets qui sont soit cumulés, soit contradictoires (Figure). On estime que lorsque la vitesse du vent dépasse 3 m/s, son influence prend le dessus sur les autres forces motrices dans les systèmes de ventilation. [Concannon, 2002] cité par (Dhalluin, 2012)

- La ventilation naturelle par ouverture des fenêtres

Par l'ouverture des fenêtres aide à minimiser les pertes d'air dues aux imperfections d'étanchéité de la structure et offre aux résidents la capacité de gérer eux-mêmes l'ouverture des fenêtres et des entrées d'air en façade. C'est une approche très facile et économique, cependant elle présente certains désavantages en ce qui concerne le contrôle des débits d'air. [Villenave, 2000] cité par (Koffi, Awbi, 2003) cité par (Dhalluin, 2012) 2009).

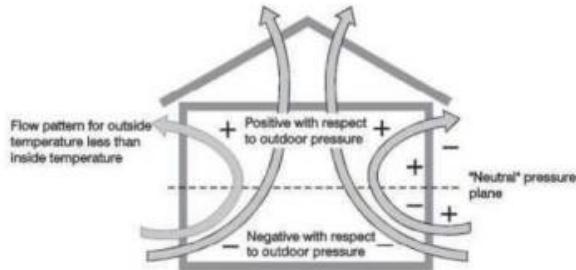


Figure 7:Effet du tirage thermique
[Concannon,2002] cité par (Dhalluin, 2012)

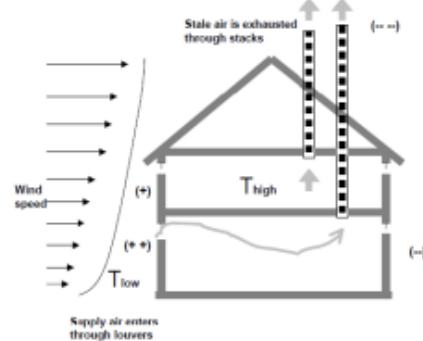


Figure 8:effet combines du vent et du tirage thermique (Russel,2005) cité par (Dhalluin, 2012)

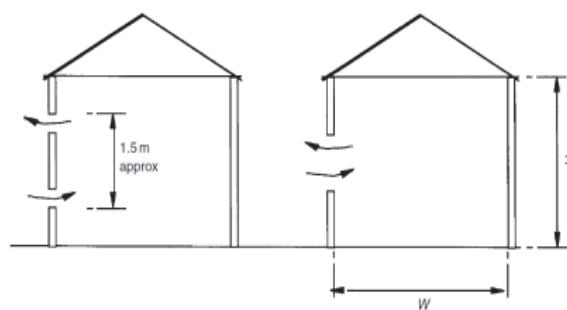


Figure 9:principe de la ventilation mono-façade
[Villenave, 2000] cité par (Koffi, Awbi, 2003) cité par (Dhalluin, 2012)

- La ventilation naturelle par conduits verticaux

Koffi,(2009) dit : Les conduits se terminent au niveau du toit, dans une zone de pression négative, afin de favoriser le flux d'air de l'intérieur vers l'extérieur par le biais du mélange des effets du vent et du tirage thermique. Toutefois, les forces motrices peuvent être très faibles. Il est donc crucial de dimensionner correctement les divers éléments pour garantir au mieux les différents flux d'aération.

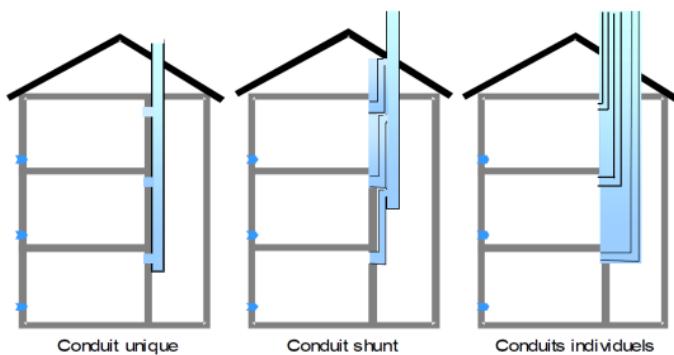


Figure 10:ventilation naturelle par conduits verticaux
(Dhalluin, 2012)

3.2.1.2. Ventilation mécanique :

Dhalluin, (2012) explique que La ventilation mécanique est un procédé qui permet de contrôler régulièrement, et éventuellement de manière modulable, l'entrée et/ou la sortie d'air à l'aide d'un ou plusieurs ventilateurs, pour garantir une mise à jour régulière et maîtrisée de l'air.

- Ventilation mécanique simple flux par insufflation

L'insufflation mécanique dérive d'une alimentation mécanique et d'une évacuation naturelle à travers des bouches d'air placées dans les murs, les fenêtres ou via des conduits de ventilation. (Rahmeh, 2014)

- Ventilation mécanique simple flux par extraction

L'extraction mécanique de l'air est un mécanisme motorisé qui assure le renouvellement de l'air au sein des différentes pièces d'une habitation. Il opère en permanence, l'air extérieur est introduit par des ouvertures naturelles situées dans les espaces de vie (chambre, salon), généralement au niveau des fenêtres. Toutefois, l'évacuation est effectuée mécaniquement à l'aide de bouches d'extraction (équipées de ventilateurs d'extraction) installées dans les pièces humides (toilettes, cuisine, salle de bain), qui sont connectées à un moteur. (Rahmeh, 2014)

Il existe deux types de VMC simple flux :

- 1) VMC simple flux auto-réglable : Le flux d'air demeure constant, indépendamment des conditions météorologiques et du nombre d'individus dans l'habitation (moins fréquemment utilisé).
 - 2) VMC simple flux hygroréglable : La quantité d'air varie selon le niveau d'humidité à l'intérieur de l'habitation.
- La VMC double flux

Dhalluin,(2012) définit Ce système constitue une fusion des mécanismes d'insufflation et d'extraction mécanique. Il se compose de deux ventilateurs autonomes dotés de deux systèmes de conduits distincts, l'un dédié à la diffusion d'air frais et l'autre à l'élimination de l'air pollué.

- Ventilation hybride

Le système de ventilation hybride, aussi connu sous le nom de ventilation naturelle assistée, combine deux méthodes, naturelle et mécanique. Il est conçu pour optimiser l'utilisation d'énergie tout en préservant la qualité de l'air intérieur et le confort thermique.

Quand les forces naturelles comme le vent et la différence de température ne sont pas suffisantes, la ventilation artificielle entre en action pour accroître les taux de ventilation. Ce genre de ventilation est principalement utilisé dans les bâtiments collectifs où des extracteurs mécano-statiques sont placés à la sortie des toits des conduits verticaux. (Rahmeh, 2014)

Donc la ventilation permet de renouveler l'air intérieur pour assurer le confort et la santé des occupants, elle peut être naturelle ou mécanique, hybride, selon les besoins de bâtiment.

3.3 Climatisation :

Les systèmes de climatisation ou climatiseur sont des machines frigorifiques. En effet, ils fonctionnent suivant un cycle thermodynamique de compression/détente (figure). Ils sont donc généralement composés d'un compresseur (seul élément consommant de l'énergie), un évaporateur, un condenseur et d'un détendeur. La climatisation assure également une fonction de régulation de l'hygrométrie de l'air.

C'est le système principal de maintien du confort dans les bâtiments. Selon le rapport de la Commission Européenne concernant l'éco-conception des climatiseurs et des ventilateurs de confort (Commission of the European Communities, 2009) cité par (Rouault, 2014)

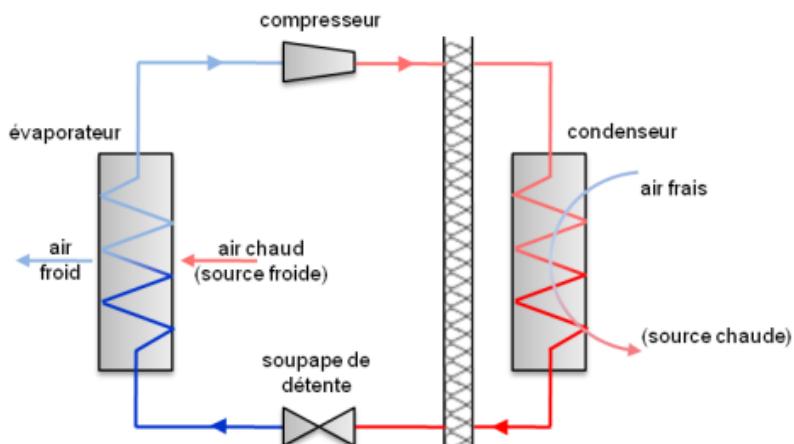


Figure 11:schema de principe de fonctionnement d'un climatiseur
(Rouault, 2014)

3.3.1 Pourquoi climatiser :

La climatisation offre un confort estival sans pareil. Outre le renouvellement de l'atmosphère, l'air intérieur, automatiquement filtré, est plus pur et est débarrassé de l'excès d'humidité. La climatisation offre également une protection contre les nuisances sonores et la pollution, tant extérieure qu'intérieure. La climatisation est donc un processus qui gère simultanément la température, le filtrage, l'humidité et la répartition de l'air. Un climatiseur offre la possibilité de maîtriser thermodynamiquement l'environnement en faisant circuler de l'air qui élimine chaleur et humidité. En outre, grâce à un système de filtration efficace, il élimine toute

Chapitre II : Régulation thermique et contrôle des systèmes HVAC

surcharge de poussière, de poils et de pollen, purifiant ainsi l'air. Des avantages incontestables. La climatisation rehausse le confort et la qualité de vie à domicile, particulièrement pour les enfants, les personnes âgées et les femmes enceintes qui sont généralement plus affectés par la chaleur. Elle diminue les nuisances sonores venant de l'extérieur, limite la présence de poussière dans le logement, optimise la qualité de l'air contribuant à réduire les symptômes d'asthme et certaines allergies chez les individus affectés. Elle contribue même à prolonger la durée de vie des appareils électroniques.. (Aline, 2001)

3.3.2. Déférentes systèmes de climatisation

Il existe plusieurs façons de classer les systèmes de climatisation ; généralement on distingue quatre familles de produits : (BERGNER, 2017)

Les systèmes à détente directe

Les systèmes air/air

Les systèmes tout-eau ;

Les systèmes de pompe à chaleur sur boucle d'eau.

3.3.2.1.les systèmes à détente directe

Un climatiseur à détente directe abaisse la température d'une pièce en retirant la chaleur présente dans l'air environnant. Ce dispositif extrait les calories de l'air qui contribuent à la hausse de température, puis les évacue hors de la pièce via un condenseur à air. Cette opération est possible grâce à l'existence d'un fluide frigorigène qui assure le lien entre le condenseur et un évaporateur. (Etablissement Lebel, 2020)

Dans cette famille de climatiseurs, on retrouve notamment

- Le monobloc : Le dispositif se compose d'un condenseur et d'un évaporateur. Un seul bloc contenant tous les éléments est installé dans une ouverture d'une paroi externe : un mur ou une fenêtre (Rouault, 2014)
- Le mono-split : Pour des raisons d'intégration, l'évaporateur est déplacé. Cela rend possible l'installation du bloc compresseur/condenseur sur le toit (protégé de l'ensoleillement) (Rouault, 2014)
- Le multi-split : le bloc compresseur/condenseur alimente plusieurs évaporateurs répartis dans différentes pièces (Rouault, 2014)

1) Système DRV :

C'est un système de climatisation à débit de fluide frigorigène variable (DRV). Également connu sous le nom de VRV (Volume de Réfrigérant Variable), ce genre de technologie modifie automatiquement le flux du réfrigérant en fonction des exigences thermiques des diverses zones desservies par l'équipement. En fonction du type d'appareil installé (climatiseur standard, réversible, à récupération de chaleur), il devient alors envisageable de chauffer et/ou refroidir chaque pièce d'un édifice de manière précise et sur mesure. Le système VRV est également inclus parmi les systèmes multi split.

Chapitre II : Régulation thermique et contrôle des systèmes HVAC

Cette technologie simplifie et améliore la gestion de la chaleur des bâtiments (qu'ils soient neufs ou rénovés), offrant ainsi des économies d'énergie et une qualité de vie supérieure.. (Dalkia Froid Solutions, 2024)

2) Comment fonctionne une climatisation VRV ?

Ce dispositif de climatisation et de chauffage multizones à détente directe, comportant une ou plusieurs unités extérieures selon la nécessité, alimente jusqu'à 60 unités intérieures par unité extérieure. Connectées au système central via des conduits en cuivre isolés, les unités intérieures bénéficient d'un apport direct du fluide frigorigène nécessaire pour le chauffage ou le refroidissement de l'espace délimité dans lequel chacune est installée.

Dans l'unité extérieure, la modulation de puissance du compresseur adapte la fourniture d'énergie nécessaire en fonction des demandes des diverses unités intérieures. Equipées d'un détendeur et d'un évaporateur, ces unités produisent le refroidissement ou le chauffage nécessaire, selon les exigences thermiques exprimées. (Dalkia Froid Solutions, 2024)

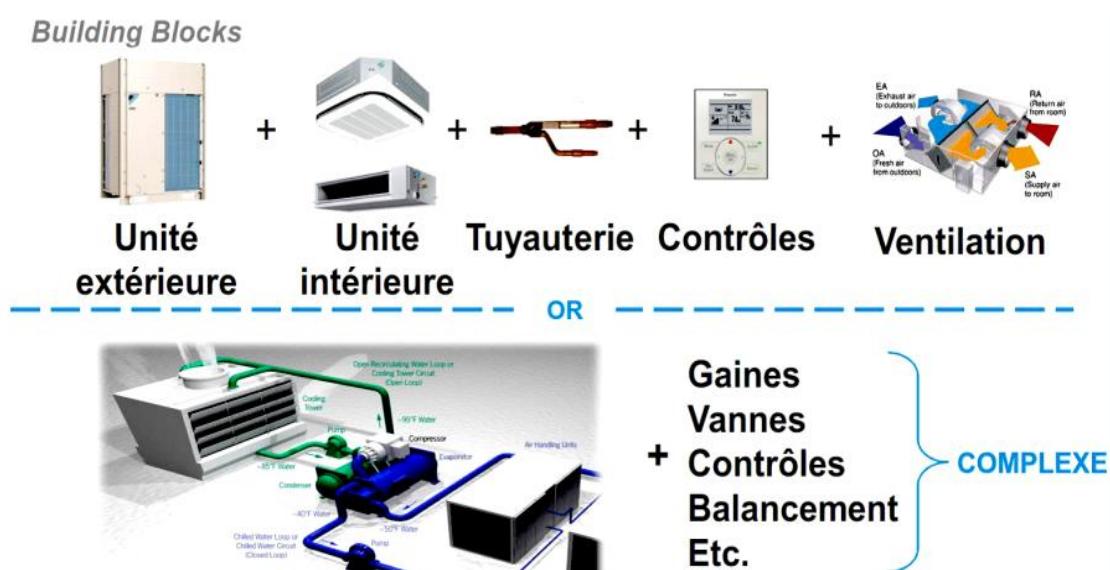


Figure 12: exemple de fonctionnement de système VRV (Sami, 2017)

3) Avantages et bénéfices de la climatisation VRV / DRV

(Dalkia Froid Solutions, 2024) Propose plusieurs avantages de ce système :

- Installation aisée
- Efficacité énergétique et réduction de la consommation d'énergie
- Personnalisation et modularité de confort
- Facilité d'entretien

3.3.2.2. Les systèmes air/air

Les systèmes de climatisation « air-air » sont chargés de la préparation, du transport et de la diffusion de l'air rafraîchi. Ils mettent en œuvre un réseau de conduits et d'évents, conçu pour capter et disséminer simultanément l'air ambiant et l'air extérieur. Ces dispositifs sont attrayants

Chapitre II : Régulation thermique et contrôle des systèmes HVAC

car ils offrent la possibilité d'intégrer progressivement de l'air provenant de l'extérieur afin de se conformer à certaines normes d'hygiène. Pour ce qui est des climatiseurs résidentiels, cette catégorie comprend les systèmes de pompes à chaleur air-air gainables destinés aux particuliers. (Établissement Lebel, 2020)

3.3.2.3. Le système « tout-eau »

Un dispositif de climatisation à base d'eau glacée, aussi connu sous le nom de refroidisseur, est un système destiné à produire du froid.

À l'opposé des systèmes de climatisation traditionnels à détente directe, le système de climatisation à eau glacée fonctionne sur un principe de détente indirecte. En d'autres termes, ce n'est pas l'usage d'un agent réfrigérant qui est privilégié, mais plutôt l'eau. (eau pure ou eau glycolée). (Lipon, 2023)

1) Comment fonctionne une climatisation eau glacée :

Il s'agit d'un dispositif de refroidissement qui, plutôt que de rafraîchir l'air, utilise de l'eau (glycolisée) pour diffuser le froid via des émetteurs tels que les ventilo-convecteurs, les cassettes ou les gainables, à partir d'une unité de réfrigération (comprenant un compresseur, un évaporateur et un condenseur). Par exemple, c'est le mode de fonctionnement d'une pompe à chaleur Air/Eau ou Eau/Eau en mode refroidissement. L'eau agit en tant que fluide réfrigérant..

(Clim+, 2021)

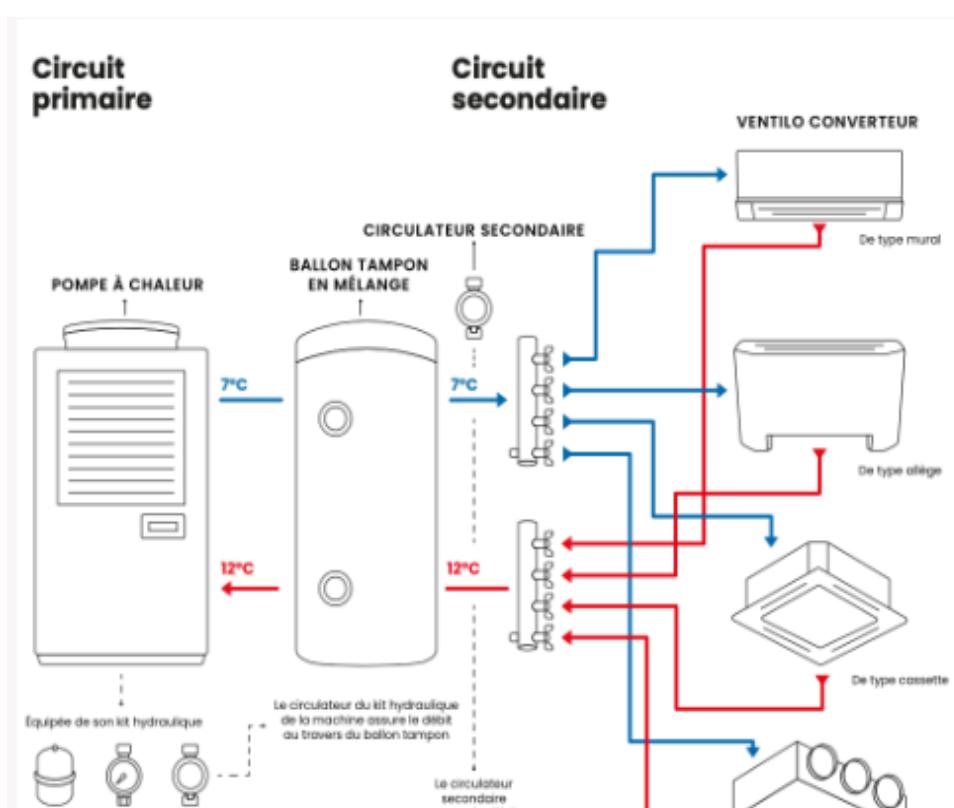


Figure 13:exemple d'un fonctionnement à froid ,existe aussi à chaud (Clim+, 2021)

2) Avantages du groupe d'eau glacée :

Selon l'entreprise FTH SYNERGIE (2019) le system eau glacée a plusieurs avantages :

Chapitre II : Régulation thermique et contrôle des systèmes HVAC

- L'eau est un fluide plus facile à manipuler que les fluides frigorigènes
- Un système d'eau glacée présente moins de danger
- C'est un dispositif qui facilite la diminution des volumes de fluides frigorigènes employés.
- L'utilisation de l'eau glacée offre une régulation plus précise que les fluides frigorigènes.
- Les groupes d'eau glacée sont réversibles, ce qui signifie qu'ils peuvent également être utilisés pour produire du chauffage.

3.3.2.5. Le système de pompe à chaleur sur boucle d'eau :

Le dispositif de pompe à chaleur pour la climatisation opère via un circuit fermé où une eau régulée entre 18 et 40 °C circule pour rafraîchir naturellement l'air. On trouve dans cette classe d'équipements, notamment les pompes à chaleur réversibles qui, selon les besoins, peuvent capter ou diffuser la chaleur ou le froid généré par le circuit d'eau. Ce mécanisme, appliqué aux climatiseurs basiques au sein d'un ensemble de logements, facilite l'adaptation aux fluctuations de températures enregistrées. (Établissement Lebel, 2020)

En résumé la climatisation vise à maintenir un confort thermique optimal en contrôlant la température par un des différents types.

4.Les différents techniques de contrôle système HVAC :

On distingue trois types de contrôles des systèmes HVAC :

4.1. Les différents techniques de contrôle classique :

On a ces premiers techniques apparus comme les premiers techniques de la régulation :

4.1.1.TOR vs PID

Les régulateurs à deux positions Tout ou Rien (TOR) et les régulateurs PID sont les deux types principaux de régulateurs classique fréquemment utilisés dans les édifices. Ceux-ci se distinguent par leur structure simple et leur coût initial modeste, ce qui explique leur large utilisation dans les systèmes de CVC des bâtiments commerciaux et résidentiels. Toutefois, l'entretien des actionneurs est relativement onéreux (en raison des oscillations fréquentes) et l'efficacité énergétique de ces deux dispositifs est basse. (Mirinejad, Sadati, Ghasemian, & Torab, 2008), et selon Amezzane , Fakhri, & EL Aroussi, (2016) : Les deux sont des systèmes de contrôle par rétroaction (Feedback), qui identifient l'erreur, à savoir la différence entre la variable observée et la valeur cible désirée, et modifient le signal de commande en conséquence. Le type de régulation TOR, qui n'autorise que les entrées binaires, est illustré par l'exemple bien connu du thermostat. Néanmoins, l'algorithme de régulation PID utilise trois méthodes distinctes de régulation., et Antoine, (2024) définit Le PID (Proportionnel, Intégral, Dérivé) est un instrument mathématique qui modifie le paramètre de consigne en tenant compte de la discordance entre la valeur cible et la valeur détectée par un capteur.il affine la précision et la stabilité d'un système en réduisant l'erreur grâce à trois éléments :

Proportionnel (P) : répond à l'écart actuel entre la consigne et la valeur effective.

Intégral(I) : amasse les erreurs du passé pour assurer une correction constante.

Dérivé (D) : prédit les erreurs à venir en s'appuyant sur la rapidité de variation de l'erreur.

Chapitre II : Régulation thermique et contrôle des systèmes HVAC

L'impact distinctif de ces trois termes est la raison principale pour laquelle le mécanisme de régulation PID persiste, et il constitue également un élément crucial dans l'évolution des méthodes contemporaines de régulation. Pour certaines applications, il peut être avantageux de n'appliquer qu'une ou deux actions parmi les trois, en réglant les autres paramètres sur zéro. Les algorithmes de contrôle P et PI sont les plus couramment employés. La réponse des processus thermiques dans un bâtiment est habituellement lente. Ainsi, un contrôle proportionnel peut être utilisé pour réguler la température du bâtiment, offrant une stabilité satisfaisante et un décalage minime et justifié. (Amezzane , Fakhri, & EL Aroussi, 2016).

4.1.2. Thermostats

Un composant partagé par une multitude de systèmes de contrôle thermique est le thermostat, qui gère le système de chauffage ou de climatisation selon la consigne et les conditions présentes. Il est courant que la gestion des thermostats soit proportionnelle (P), ce qui indique que le signal de contrôle (comme l'ouverture d'une soupape de régulation) est proportionnel à la différence de régulation. (Amezzane , Fakhri, & EL Aroussi, 2016). Mahdi & KAOULA ,(2023) Expliquant que : Plusieurs composants constituent un thermostat de base. Il est équipé d'un capteur thermique pour évaluer les conditions ambiantes, d'un dispositif de commutation ou d'actionnement pour contrôler l'équipement de chauffage ou de climatisation, d'un système de rétroaction pour repérer les variations et déterminer quand le démarrage ou l'arrêt doit se produire, ainsi que d'une interface utilisateur destinée à présenter les données actuelles.

En résumé que Les premiers techniques à émerger étaient des techniques traditionnelles souvent qualifiées de techniques classiques, ont constitué les bases des évolutions technologiques futures pour contrôle de système HVAC, ainsi, ces techniques classiques ont été essentielles pour le développement de compétences et de processus qui ont ensuite été modernisées ou automatisées.

4.2. Les stratégies avancées :

Il est possible d'utiliser les méthodes traditionnelles pour le contrôle de la température, bien qu'elles soient soumises à certaines contraintes. Effectivement, leur réglage (tuning) est aisément pour les systèmes SISO, mais leur ajustement pour les systèmes MIMO peut s'avérer difficile, voire impraticable. Il reste difficile de maîtriser les délais importants et les dynamiques à haute fréquence en utilisant des régulateurs PID. Cela peut être accompli en employant des méthodes dites « avancées » qui font généralement appel à un modèle dynamique du système à maîtriser, et possèdent des propriétés non linéaires. (j & T.F, 2001)

Trois approches différentes sont décrites : la régulation prédictive ; la régulation adaptative et la régulation optimale :

4.2.1. Régulation prédictive :

Selon Mahdi & KAOULA , (2023) Le contrôle prédictif MPC est une technique de contrôle avancé qui se base sur un modèle dynamique du système afin de prévoir son comportement à venir et de moduler la commande en fonction de ces prévisions. Cette méthode est spécialement conçue pour les systèmes présentant des délais importants et des dynamiques complexes, et elle peut être mise en œuvre pour gérer plusieurs variables de sortie de manière simultanée. On peut recourir au contrôle prédictif afin d'optimiser la consommation énergétique d'un système

HVAC, en minimisant l'utilisation d'énergie tout en préservant le confort thermique, Gwerder & Tödtli , (2005) ajouté que Le contrôle prédictif dans les applications de construction pourrait s'avérer plus performant en matière d'énergie et de coût, tout en maintenant des performances d'égal ou supérieures à celles du contrôle non prédictif.

4.2.2. Le contrôle adaptatif

Le contrôle adaptatif est une forme de système de régulation non linéaire spécifique qui peut être appliquée à des processus dont la dynamique évolue sous des conditions normales de fonctionnement exposées à des perturbations aléatoires. Ces systèmes fonctionnent avec une boucle fermée pour superviser les processus, et les détails concernant leurs attributs sont recueillis en temps réel pendant leur opération. Même si les paramètres du modèle dynamique du processus ne sont pas déterminés et/ou changent avec le temps, le système de contrôle adaptatif peut toujours atteindre ou préserver le niveau de performance souhaité.

(Amezzane , Fakhri, & EL Aroussi, 2016), Landau et al,(2011) expliquant que Le système de contrôle adaptatif évalue un indice de performance (PI) spécifique du système de commande en s'appuyant sur les entrées, les états, les sorties et les perturbations identifiées.

On peut comprendre le système de commande adaptatif comme un système de rétroaction où l'indice de performance (PI) est la variable contrôlée. La boucle de rétroaction principale supervise les fluctuations du signal de processus tandis que la boucle de rétroaction secondaire ajuste les paramètres du processus, ce qui rend le contrôle adaptatif.

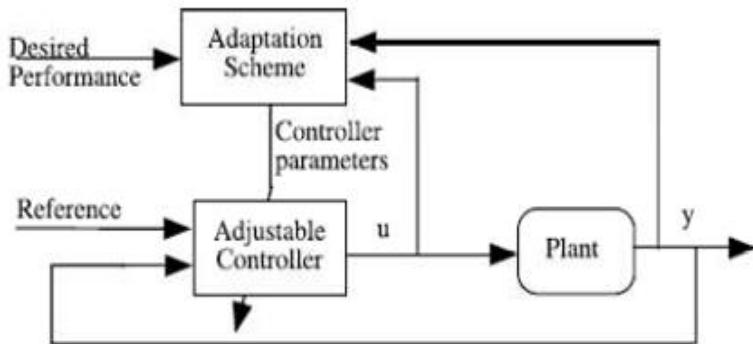


Figure 14:schema de base de la régulation adaptative (Amezzane , Fakhri, & EL Aroussi, 2016)

4.2.3. Le contrôle optimal :

Selon Amezzane , Fakhri, & EL Aroussi, (2016) Dans une régulation idéale, on dérive les signaux de commande pour respecter certaines contraintes physiques tout en optimisant un critère de performance sélectionné. La formulation du problème de contrôle optimal nécessite : un modèle mathématique du système à réguler ; la définition d'un critère de performance ; la détermination de toutes les conditions limites sur les états ainsi que des contraintes à respecter pour les états et les commandes ; et en dernier lieu, l'énoncé des variables qui sont libres.

L'application de la régulation optimale dans les bâtiments pour améliorer le confort et minimiser la consommation d'énergie suscite un intérêt croissant. On peut atteindre ce double objectif en réduisant la fonction de coût au minimum. La stratégie optimale de régulation pourrait se baser sur les modèles dits « boîte blanche », « boîte grise » ou « boîte noire ».

Chapitre II : Régulation thermique et contrôle des systèmes HVAC

(Wang & Zhenjun, 2008), et Berthou , Stabat, Salvazet, & Marchio, (2013) Ils soulignent que les modèles dits « boîte grise » conviennent parfaitement à l'optimisation, étant donné qu'ils fonctionnent de manière rapide et sont soumis à des contraintes.

En résumé, les techniques de contrôle avancées telles que le contrôle prédictif, le contrôle adaptatif et le contrôle optimal sont mieux adaptées pour les systèmes HVAC qui sont non linéaires et à entrées multiples et sorties multiples. Ces techniques peuvent aider à améliorer les performances du système, à économiser de l'énergie et à prolonger la durée de vie des équipements.

4.3.les différentes types des méthodes intelligentes :

Selon Mirinejad, Conn Welch, & lucas, (2012) : Trouver un modèle mathématique approprié pour les systèmes HVAC est ardu, car il s'agit de systèmes MIMO non linéaires et complexes, soumis à de nombreuses perturbations, imprévus et délais. De plus, le ressenti humain du confort thermique est une notion floue et subjective, ce qui rend sa prise en compte compliquée. Mahdi & KAOULA , (2023) Ajoutent qu'Dans le cadre de la régulation intelligente, il n'est pas nécessaire d'utiliser un modèle mathématique pour configurer le régulateur, cette dernière étant uniquement fondée sur l'appréciation humaine du confort thermique. Ainsi, elle contourne les obstacles liés à la conception du modèle physique pour la réalisation de structures séparées. Ainsi, les techniques de régulation intelligente constituent une option prometteuse pour la gestion des systèmes HVAC.

Les techniques intelligentes peuvent également être utilisées pour améliorer les régulateurs traditionnels existants

4.3.1. Logique Floue (Fuzzy logique ou FL) :

Le principe d'un système FL : Il s'agit de calculer des paramètres de sortie en fournissant au système un ensemble de règles formulées en langage naturel. Pour assurer la cohérence entre les données des capteurs, les règles et les paramètres de sortie, il est nécessaire de diviser un système FL en trois éléments : la fuzzification, le moteur d'inférence et la défuzzification. La première phase consiste à convertir une donnée numérique issue d'un capteur en une variable linguistique. Par le biais d'une fonction d'appartenance mise en place par le créateur du système FL, on peut convertir une donnée capteur quantitative en une variable linguistique qualitative. La deuxième phase consiste à mettre en œuvre chacune des règles d'inférence. Ces règles d'inférence illustrent les savoirs que nous possédons sur le système grâce à l'expertise humaine. Chaque règle produira une commande de sortie. Pour finir, la troisième étape consiste à combiner les diverses commandes produites par le moteur d'inférence pour n'en créer qu'une seule et à convertir cette variable linguistique finale en donnée numérique. (Amezzane , Fakhri, & EL Aroussi, 2016)

4.3.2. Réseaux de Neurones Artificiels (Artificial Neural Network ou ANN)

Comme leur appellation le suggère, les réseaux de neurones artificiels (souvent raccourcis en ANN pour artificiel neural networks en anglais) visent à reproduire la structure du neurone biologique. Le neurone est une structure qui gère l'information, se distinguant par un grand nombre d'entrées et une unique sortie. On utilise fréquemment ces réseaux pour traiter des problèmes liés à la reconnaissance et à la classification. Ils fonctionnent grâce à des algorithmes

d'apprentissage, qui leur permettent de mémoriser et de classer les données. Ils sont largement employés dans le secteur de la thermique des bâtiments pour résoudre diverses problématiques.. (Morosan, 2011) et Amezzane , Fakhri, & EL Aroussi, (2016) affirment que : En se fondant sur l'indice PMV, cette étude suggère un système de contrôle qui démontre la capacité des réseaux de neurones basés sur un algorithme de rétro-propagation à ajuster les conditions environnementales d'un espace clos, en prenant en compte non seulement les variables climatiques internes, mais également l'indice du niveau d'activité et de la tenue vestimentaire des occupants de cet espace. En tant que contrainte, on a noté que le réseau nécessite beaucoup de temps pour se former, ce qui entraîne une réaction tardive du système, même avant les fluctuations du degré d'activité des utilisateurs et les différents indices vestimentaires au cours de la journée, afin de maintenir l'indice PMV à zéro.

4.3.3. Neuro-Floue(ANN-FL)

Le défi posé par la méthode FL est de générer des règles floues optimales et de définir les fonctions d'appartenance pour une régulation améliorée. Pour résoudre ce problème et élaborer un ensemble optimal de règles, une technique combinant à la fois FL et ANN a été mise en place. La méthode ANN est mise en œuvre avec la technique FL, et cette démarche est désignée par le terme : Système d'Inférence Neuro-Fou Adaptatif (Adaptive Neuro Fuzzy Inférence System ou ANFIS).

Une description est donnée d'un modèle ANN-FL destiné à la régulation de la température intérieure. On utilise un réseau neuronal autorégressif avec des entrées externes pour générer

les

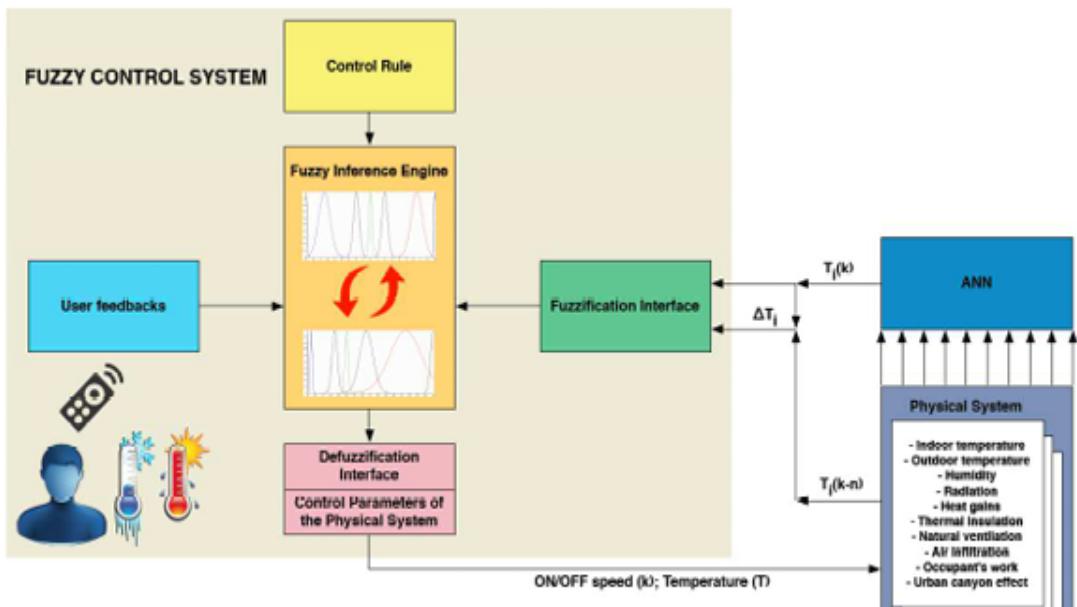


Figure 15:architecture d'un système ANN-FL (Amezzane , Fakhri, & EL Aroussi, 2016)

prédictions de la température intérieure, en se basant sur des paramètres tels que : la température extérieure, l'humidité relative, la vitesse du vent et les prévisions antérieures. Comme illustré dans la figure (Amezzane , Fakhri, & EL Aroussi, 2016)

En résumé l'adoption des méthodes innovantes a permis l'intégration de système HVAC intelligents. Sont des nouvelles approches apparus pour optimiser l'efficacité énergétique, améliorer le confort et réduire l'empreinte environnementale. L'intelligence intégrée permet

Chapitre II : Régulation thermique et contrôle des systèmes HVAC

une gestion en temps réel et réduire les couts à long terme tout en augmentant la durabilité des systèmes

Conclusion :

En conclusion, ce chapitre a permis de mettre en évidence l'importance des systèmes HVAC dans la gestion du confort thermique des bâtiments, nous avons vu que grâce à leurs fonctions de chauffage, de ventilation et de climatisation, ces systèmes jouent un rôle essentiel dans le maintien du conditions intérieurs adaptées au bien être des occupant

L'étude des différents techniques de contrôle a montré une évolution progressive, passent de méthodes classiques, basées sur des régulations simples, vers des approches plus avancées et intelligents capable d'adapter en temps réel les paramètres thermiques selon les besoins réels

Cette analyse théorique nous permet de comprendre les déférents systèmes HVAC et leur fonctionnement et surtout nous baser sur le système de climatisation pour nous permettre de comprendre le type de système de cas d'étude et leur fonctionnement, en suite la compréhension les déférents type de contrôle système HVAC nous permettre de bien analyser les déférents technique de contrôle de notre projet d'étude et tous ce pour une meilleure régulation thermique.

Partie II

Analyse des exemples (cas climatisation)

Chapitre III :

Le confort thermique dans un équipement hôtelier
: Analyse des exemples

Introduction

Dans le cadre de notre recherche, nous avons choisi de focaliser notre attention sur les hôtels, en raison de l'importance primordiale du confort thermique dans les espaces d'hébergement, ce confort repose en grande partie sur l'efficacité des systèmes HVAC (chauffage, ventilation, climatisation), qui nécessitant un contrôle adapté fin de garantir le bien être des usagers

Pour mieux cerner cette problématique, nous avons d'abord parler en générale sur les hôtels, l'histoire d'apparition des hôtels, la définition lui-même de la notion d'hôtel, puis on a présenté les différents types des hôtels ainsi que leur classement, nous avons ensuite développé la question du confort thermique dans les hôtels, en mettant l'accent sur les exigences thermiques spécifiques à chaque type d'espace.

Dans la seconde partie on a analyser deux exemples l'un à l'échelle national et l'autre a échelle international en terme architectural et on a on concentre sur le système de climatisation pour l'analyse et de définir les différents contrôles de système, cette analyse nous a permis de distinguer les différents types de contrôle des systèmes HVAC (classique, intelligente) que nous avons ensuite compares à travers l'exemple étudié.

1.1, apparition de l'espace hôtelier

Au début, il ne s'agissait que d'un modeste abri avec une cheminée, d'un repas chaud et d'un toit. C'est ainsi que débute l'histoire de l'industrie hôtelière. On peut remonter à environ 100,000 à 200,000 ans les origines des premiers abris destinés aux voyageurs, depuis l'époque où nos ancêtres ont commencé à peupler la Terre.

Par la suite durant l'Antiquité, on observe l'apparition de bains thermaux et de spas qui offrent aussi des services d'hébergement. Ces lieux étaient très appréciés des voyageurs cherchant à se reposer et à se détendre.

Au Moyen-Age Les abbayes et les cloîtres servaient aussi de refuges. On a également observé durant cette période l'émergence d'auberges et de maisons d'hôte le long des voies commerciales.

Le secteur hôtelier, qui a constamment réussi à s'ajuster aux changements des besoins et des requêtes de la société, c'est entre-temps imposé comme une composante essentielle de l'économie. Aujourd'hui, le secteur de l'hôtellerie englobe une variété de catégories, depuis les chambres d'hôtes jusqu'aux hôtels cinq étoiles de luxe. Ces transformations ont conduit à l'adaptation des stratégies de gestion hôtelière, qui poursuivent leur évolution en alliant constamment innovation et complexité. L'augmentation de la demande et l'exploration de différents domaines tels que l'hôtellerie ou la gestion hôtelière témoignent de la professionnalisation du secteur. (Pieszko, 2016)

2. définition des hôtels

Tout établissement offrant à ses clients un espace privé pour un usage personnel, pour une durée déterminée, est considéré comme un hôtel. (Larrivè, 1992).

Un hôtel est un lieu d'hébergement qui propose des unités de logement, telles que des chambres et éventuellement des suites, situées dans un édifice ou éventuellement dans des constructions séparées. (JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 33, 2019)

Chapitre III : Le confort thermique dans un équipement hôtelier : Analyse des exemples

En résumé l'hôtel est un lieu qui propose un hébergement temporaire à des clients en échangeant d'un paiement, il peut offrir des services supplémentaires comme la restauration, le spa...

3. les types des hôtels :

Tableau 6: les types d'hôtels selon différents critères (*KACHI FATIMA, 2017*) (JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 33, 2019)

Selon le site	Hôtel urbains	Situés dans un environnement urbain, ils comportent des zones dédiées aux travaux et aux services généraux.
	Hôtel semi urbains	Elle se situe en périphérie de la ville et offre bien plus que simplement un hébergement pour diverses activités de loisir, etc.
	Hôtel dans des sites naturels	Positionnés dans des environnements naturels touristiques. Possédant des perspectives panoramiques.
Selon les catégories des clients	Hôtels touristiques	Fréquentés par les touristes pour des séjours récréatifs dans un environnement touristique.
	Hôtels d'affaires:	Se trouve dans des centres économiques et politiques où les clients sont principalement des businessmen, des investisseurs économiques ou encore des personnalités politiques.
	Hôtels de santé	Positionnés à proximité des thermes naturels et côtiers Offrant à ses résidents des services de santé et de repos.
Selon Classement	1ère catégorie : 5 Etoiles 2ème catégorie : 4 Etoiles 3ème catégorie : 3 Etoiles 4ème catégorie : 2 Etoiles 5ème catégorie : 1 Etoile	Le système d'évaluation par étoiles est employé comme référence globale et facilite aux clients la distinction du standard de service proposé par un hôtel. Les établissements classés cinq étoiles sont généralement perçus comme étant de luxe. Par rapport à cela, les hôtels classés de 3 à 4 étoiles sont des structures de gamme intermédiaire qui visent une clientèle plus vaste, sans aucune certitude en ce qui concerne la qualité du service. L'objectif principal des hôtels 1 à 2 étoiles est de satisfaire les besoins les plus essentiels de leurs clients. (Lacalle, 2022)

4. le confort thermique dans un hôtel :

Dans le domaine de l'hôtellerie, où la santé et le confort thermique règnent en maîtres, chaque hôtel s'efforce de se transformer en une seconde maison pour ses clients. Les hôtels et les complexes d'hébergement se modernisent, offrant désormais bien plus qu'une simple réservation de nuit.. (Air Ambiance , 2024) et pour cela , les températures standards selon la nature de la pièce. D'après les directives du CIBSE, il est conseillé de chauffer les pièces à 24°C pendant l'hiver et de les rafraîchir à 20-22°C durant l'été. En raison de l'affluence, la température

Chapitre III : Le confort thermique dans un équipement hôtelier : Analyse des exemples

du restaurant de l'hôtel doit être maintenue entre 21 et 22°C tout au long de l'année, qu'il s'agisse d'hiver ou d'été. De même, il est essentiel que les couloirs et les escaliers conservent une température comprise entre 20 et 23°C durant ces saisons.

Que ce soit pour un espace commun ou privé, les zones de circulation comme le hall ou l'entrée doivent être tempérés à 20°C durant l'hiver et conservés à 23°C pendant l'été. Pour ce qui est de la cuisine, on s'attend à ce que la température se maintienne entre 15 et 18°C en hiver et atteigne les 23°C pendant l'été (Connors, 2018)

En résume que le confort thermique dans un hôtel est très important pour la satisfaction des clients par exemple quand on a arrivé dans un hôtel, surtout après un long voyage, on veut juste une chambre agréable, ni trop chaude, ni trop froide, ou' l'on peut se détendre.

ANALYSE DES EXEMPLES :

1.Exemple 01 National : hôtel touristique AIN OULMEN SETIF (En train de la réalisation)

1.Présentation et Situation :

C'est un hôtel touristique portant le nom de 'Berlin Hôtel', qui situe à la wilaya de Sétif, plus précisément à la commune Ain Oulmène, et situé géographiquement en latitude Nord 35 ° 92' en longitude 5° 29' est et ayant une altitude de 964 m au carrefour de la nouvelle poste sud de la ville



Figure 17:image d'hôtel

BET :Herbadj Djamel

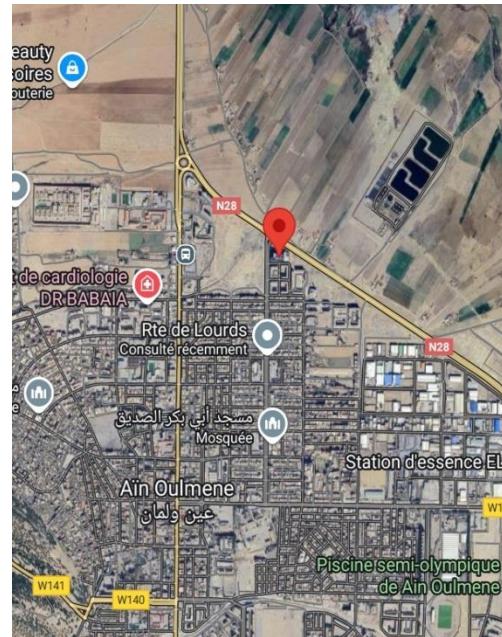


Figure 16:situation d'hôtel
Google earth

2.Accessibilité :

L'hôtel est accessible par :

- La route national N28
- La route mécanique de lourds

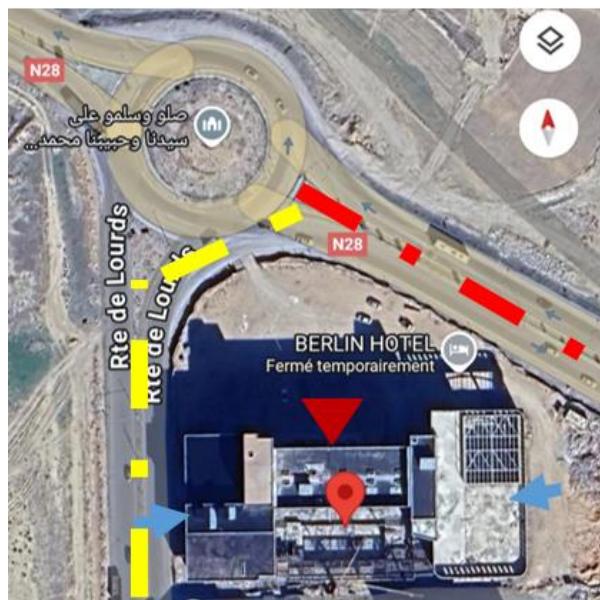
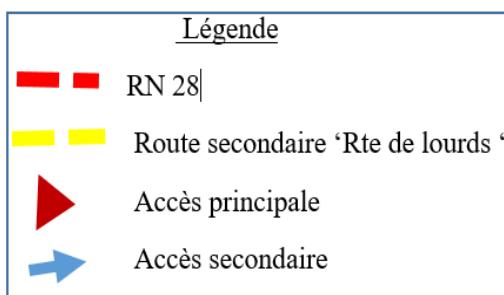


Figure 18:plan de masse d'hôtel

3.Analys des façades :

Google maps traite par l'auteur

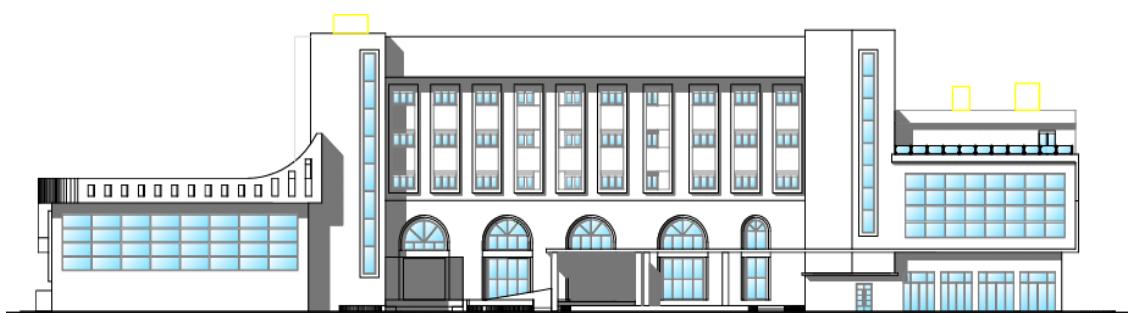


Figure 19:façade nord

BET :Herbadj Djamel



Figure 20:façade sud

BET : Herbadj DJamel

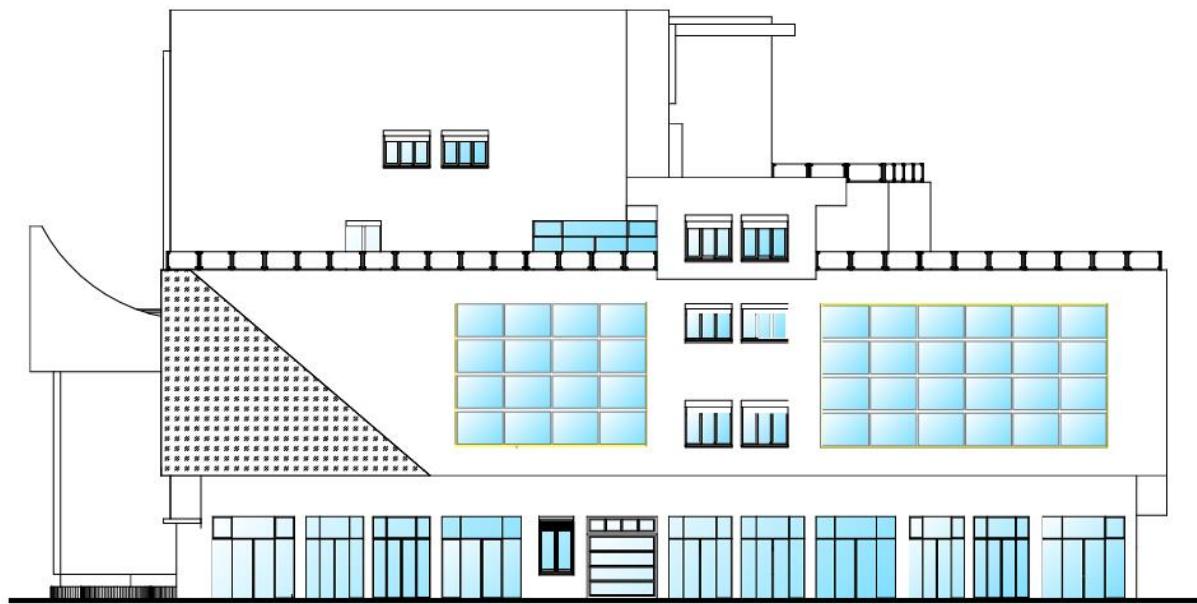


Figure 21: Façade Est

BET : Herbadj DJamel

- Combinaison entre les éléments modernes et des éléments traditionnelles : les arcs créent des zones d'ombre sur les ouvertures
- L'organisation régulière des fenêtres et des arcs crée harmonie visuelle : des fenêtres à simple vitrage
- L'utilisation des couleurs claires et réfléchissantes ce qui limite l'absorption de chaleur

2. Analyse spatiale :

L'hôtel se compose de R+5 avec un sous-sol qui n'est pas pris en compte dans cette analyse de climatisation :

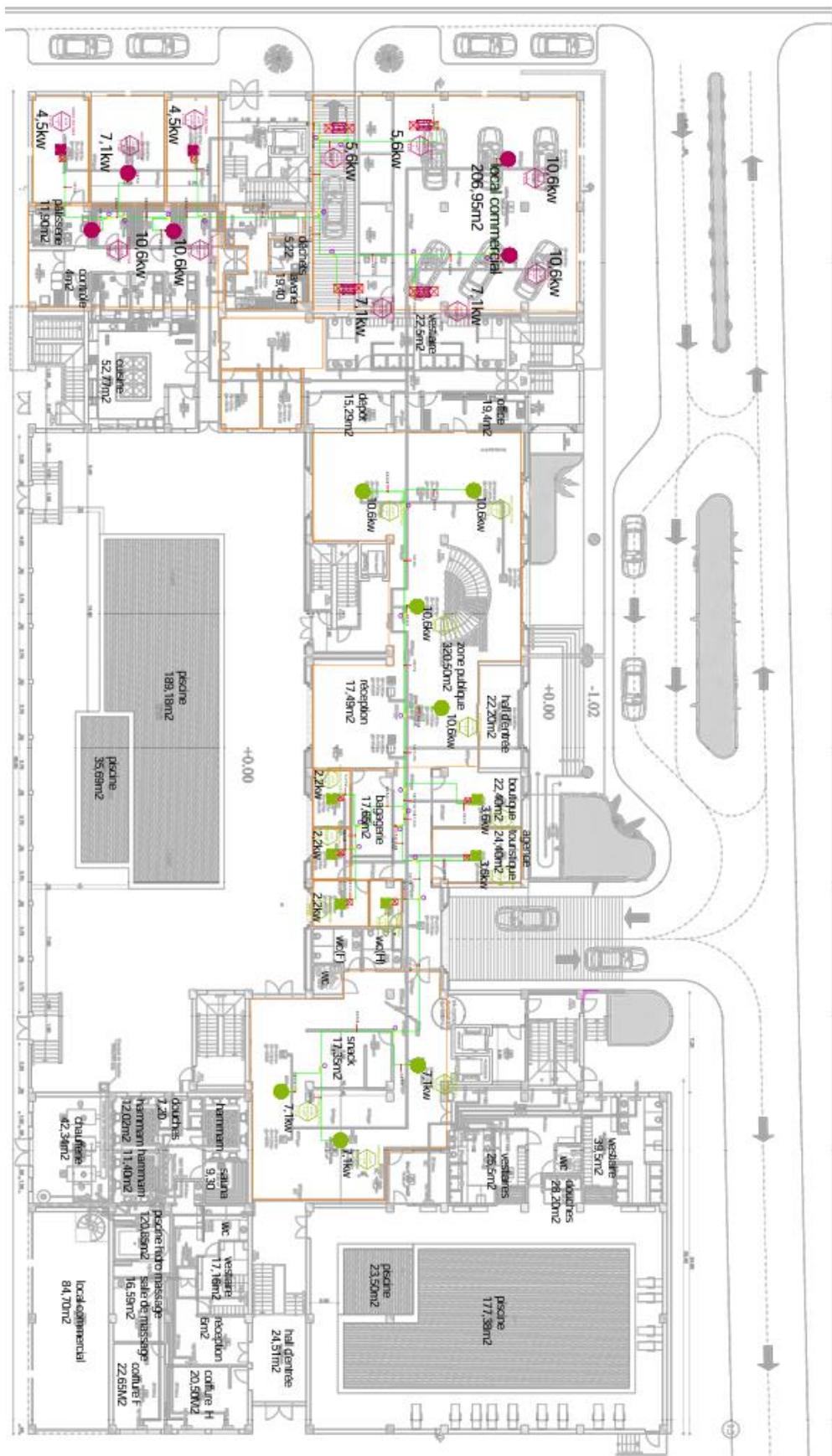


Figure 22: plan climatisation RDC réalisé par l'ingénieur en génie climatique



Figure 23: plan climatisation R+1 réalisé par l'ingénieur en génie climatique



Figure 24:plan climatisation R+2 réalisé par l'ingénieur en génie climatique



Figure 25:plan climatisation R+3 réalisée par ingénieur en génie climatique

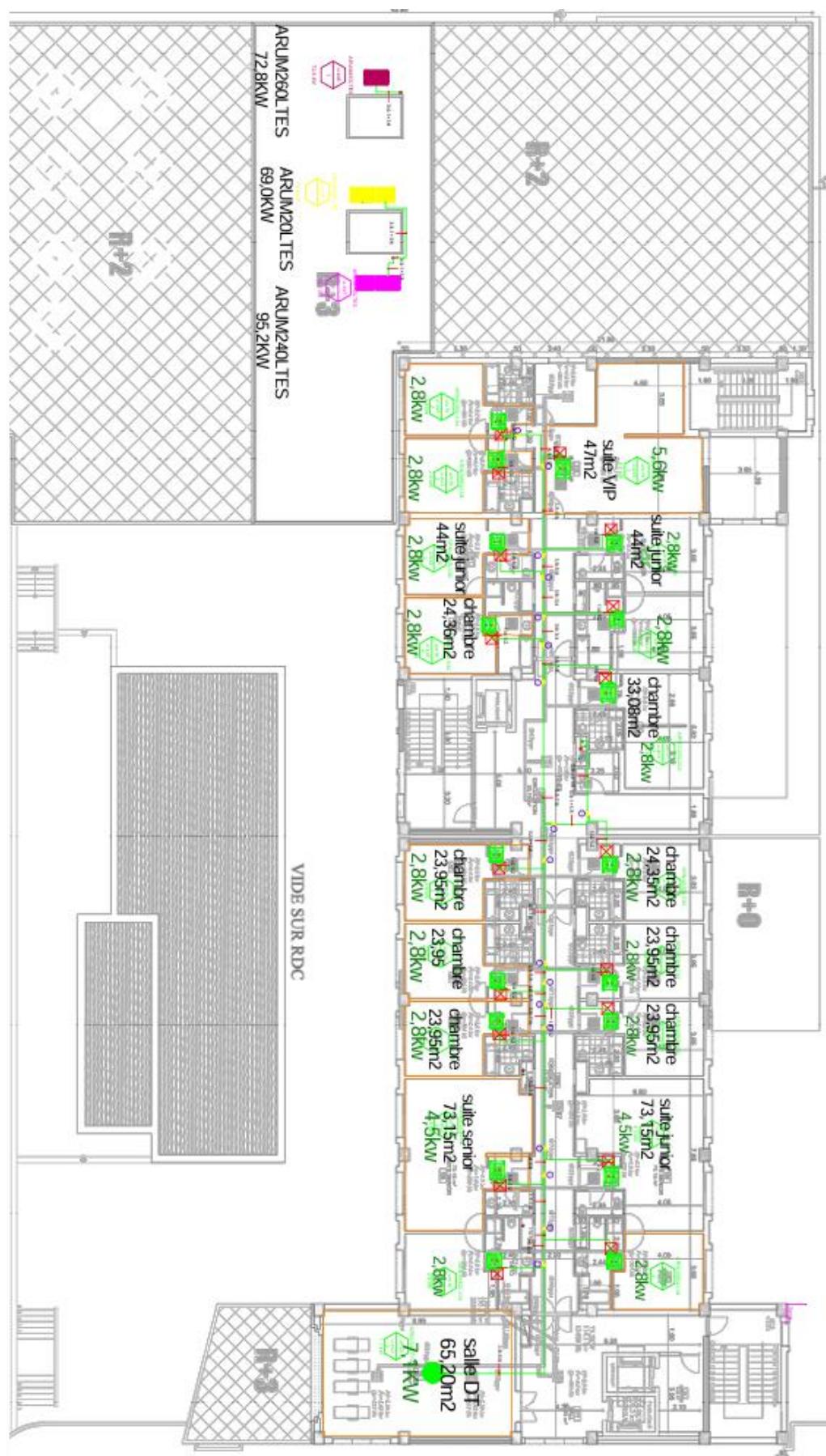


Figure 26: R+4 plan climatisation R+4 réalisé par l'ingénieur en génie climatique

Chapitre III : Le confort thermique dans un équipement hôtelier : Analyse des exemples

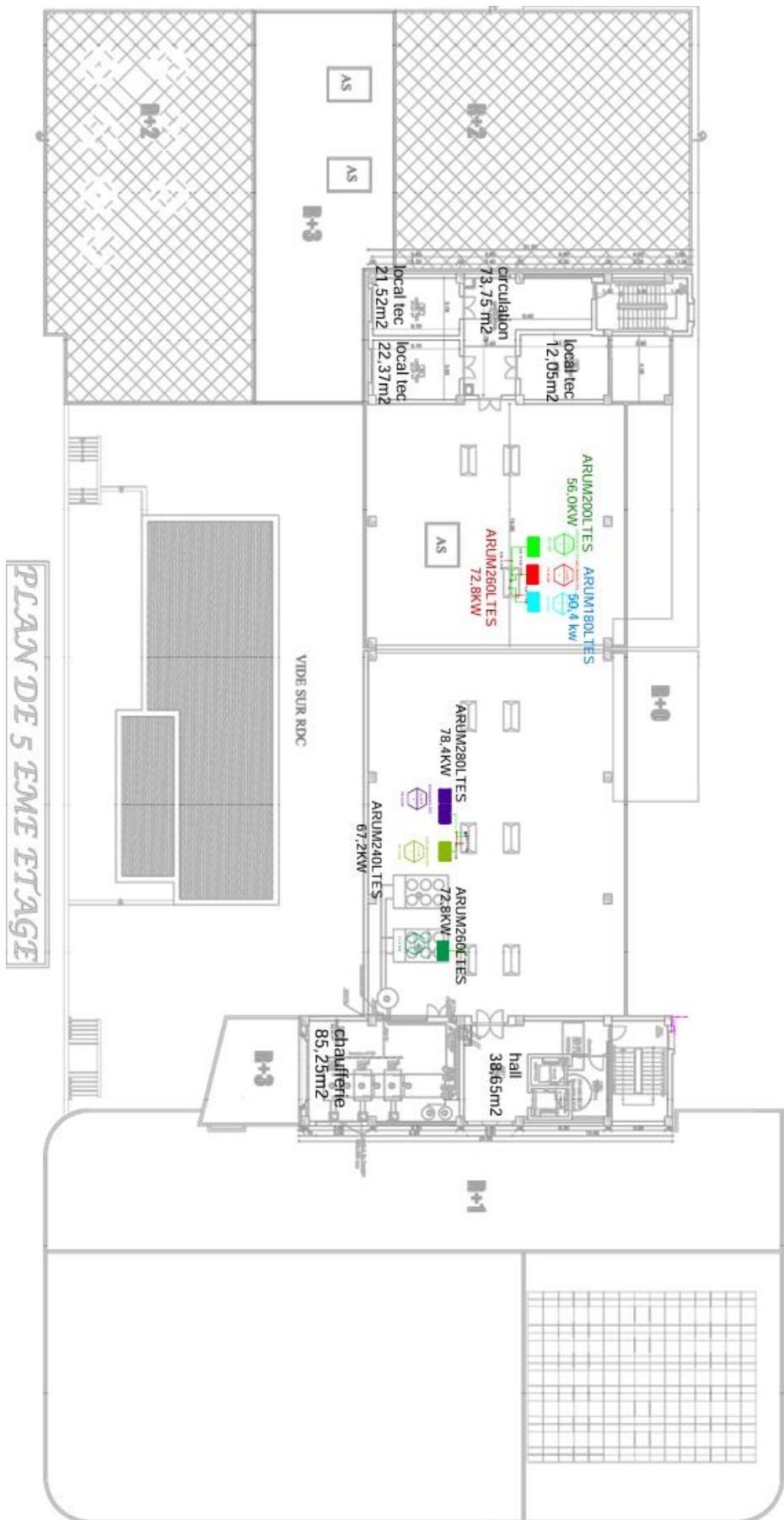


Figure 27:plan climatisation R+5 réalisé par l'ingénieur en génie climatique

Chapitre III : Le confort thermique dans un équipement hôtelier : Analyse des exemples

➤ Légende des plans d'hôtel

	Cassette 4 voies
	Ventilé convecteur non corrroosif avec plombum en aluminium
	Grille de aspiration 600x600
	Conduites de chauffage et climatisation en ppr (calorifugées pour les réseaux climatiques)
	Conduites en PVC pour condensat G25
	Autocollant isolant pour 3cm.3mm²
	Grille de soufflage 400x150
	Gaine flexible de soufflage d'air chaud en aluminium Ø110 ou #125
	Rideau d'air froid P=20kw
	Ventilé convecteur gainable avec plombum en aluminium
	Vannes d'isolation
	Joint anti-vibration pour ppr

On va analyser les différents étages de notre exemple :

Tableau 7:defférents entités de RDC (auteur,2025)

Entités	Sous Entités	Composant	Nombre	Surface
Accueil	Réception	Hall d'entrée	2	6m2
	Zone publique		1	17,40m2
Restauration	Préparation	Cuisine Pâtisserie	1 1	52,77m2 11,89m2
	Consommation	Chambre froide Laverie Snack	2 1 1	8m2,8m2 19,40m2 24,65m2
Détente	Espace de relaxation (SPA)	Hammam Sauna Piscine massage Salle de massage Douches	3 1 1 1 2	12,02m2,11,40m2,12m2 9,3m2 20,86m2 16,59m2 7,20 m2, 28,50m2
Hygiène	Vestiaires Chaufferie		3 1	17,18m2,25,50m2,39,50m2
Service	Coiffure F Coiffure H Boutique Local commercial Agence touristique		1 1 1 4 1	22,65m2 25,50m2 22,40m2 84,70m2,18,48m2 ,16m2,206,95m2

Chapitre III : Le confort thermique dans un équipement hôtelier : Analyse des exemples

Loisirs	Piscine		2	224,87m ² ,150,96m ²
---------	---------	--	---	--

Tableau 8:deffernts entités R+1 (auteur ,2025)

Entités	Sous entités	Composant	Nombre	Surface
Restauration	Consommation	Restaurant Sanck	1	336,35m ²
			1	17,35m ²
Détente	Terrasse gastro		1	89,15m ²
	Salon de thé		1	197,40m ²
Loisirs	Salle de sport	Musculation gymnastique	1	126,29m ²
			2	118,86m ² ,26 7,17m ²
Service	Cyber		1	22,24m ²
Hygiène	Vestiaires		2	63,78m ² ,30,8 5m ²
Gestion	Administrions		1	56,36m ²
Conférence	Salle réunion		1	15,55m ²

Tableau 9:deffernts entités R+2(auteur,2015)

Entités	Sous entités	Nombre	Surface
Restauration	Salle de banquettes Pause-café Snack	1	244m ²
		1	132,50m ²
		1	17,35m ²
Hébergement	Chambre	13	23,95m ²
		4	24,36m ²
		1	33,05m ²
Loisirs	Terrain multisport	1	861,90m ²
Détente	Jardin terrasse	1	423,6m ²

Tableau 10:deffernts entités R+3(auteur,2025)

Entités	Sous entités	Nombre	Surface
Détente	Salon	1	102,25m ²
Hébergement	Chambres	7	23,95m ²
		1	24,03m ²
		2	23,58m ²
		1	24,55m ²
		1	24,25m ²
		1	20,55m ²
		1	33,05m ²
		1	20,95m ²
		2	24,35m ²

Tableau 11:deffernts entités R+4(auteur,2025)

Entités	Sous entités	Composant	Nombre	Surface
Hébergement	Chambres	Suite VIP	1	47m2
		Suite junior	2	44m2
		Suite senior	2	73,35m2
		Chambre	4	23,95m2
		Chambre	3	24,35m2
		Chambre	1	33,95m2

Tableau 12:deffernts entités R+5(auteur,2025)

Entités	Sous entités	Nombre	Surface
Locaux technique	Chaufferie	1	65,35m2
		1	21,51m2
	Local technique	1	22,37m2
		1	12,05m2

3.Analyse système de climatisation :

3.1. Type système de climatisation :

L'étude du système de climatisation qui est installer dans cet hôtel est présentée par : une climatisation centralisée avec un système multi V5 développée par LG ou avec son nom : système VRV.

3.2. Principe de fonctionnement de système VRV dans cet hôtel :

A partir d'une unité extérieure qui on le trouve sur les dalles

4eme étage : ARUM260LTES 72,8Kw, ARUM20LTES 60,00Kw, ARUM240LTES 95,2Kw

5eme étage : ARUM200LTES 56,0Kw, ARUM180LTES 50,4Kw, ARUM260LTES 72,8Kw, ARUM280LTES 78,4Kw, ARUM260LTES 72,8Kw, ARUM240LTES 67,2Kw

Et ces noms sont appartient de la marque LG de la serie Multi V, Alimente des tubes frigorifiques de petite dimension plusieurs unités intérieurs. Et fonctionne comme un système multi split.

Notre unité intérieure c'est la cassette encastrée de 4 voies de soufflage.

1.3. Analyse les paramètres des déférents puissances de climatisation

On prend l'exemple des chambres de déférents puissances :

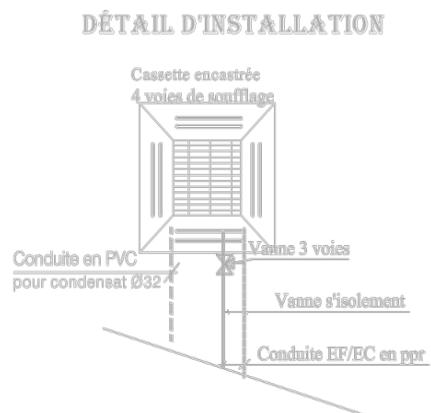


Figure 28:detail d'installation d'une cassette réalisé par l'ingénieur en génie climatique

Chapitre III : Le confort thermique dans un équipement hôtelier : Analyse des exemples

Tableau 13:les chambres de différents puissances de climatisation (auteur,2025)

Type de chambre	Orientation	Surface	Puissance de climatisation
Chambre	Nord ,Sud	23,95m2	2,8 kW
Chambre	Nord	33,05m2	3,6 kW
Suite senior	Sud	73,15m2	4,5kw

Et la puissance de climatisation est différente d'une pièce à l'autre dans cet hôtel en fonctionne de ces paramètres :

- ✚ Les apports internes : occupants, éclairage
- ✚ Les apports externes : ensoleilements et apports de chaleur ou de froid à travers les murs, les ouvertures, la toiture, le plafond, les sols et les renouvellements d'air qui sont dépendant de l'isolation et orientation qui n'est pas près en considération, exemple les chambres d'une surface 23,95m2 de sud et nord dans différents étages la puissance de climatisation est 2,8W

1.4. Analyse système de contrôle de climatisation :

Chaque unité intérieure individuelle détermine sa puissance requise via la télécommande manuelle en fonctionne de la température ambiante actuelle et de la température souhaitée

- Donc le type de contrôle de la climatisation dans cet hôtel : c'est un contrôle classique

Synthèse

L'hôtel dispose d'un système de climatisation centralisée de type VRV avec un contrôle classique. Les différences de puissances de climatisation d'une pièce à l'autre résultant des paramètres que nous avons déjà mentionnés.

2.Exemple 02 international : hôtel touristique Vieux Porte

2.1. Situation :

1.Présentation et Situation :

C'est un hôtel touristique portant le nom de vieux porte 'LIDO', situe à la Tunisie plus précisément à la plage de ville la Goulette, c'est un hôtel avec 4 Etoile.



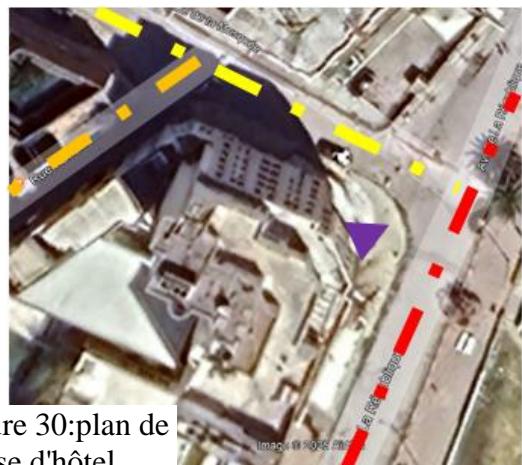
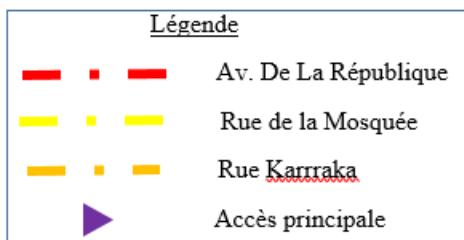
Figure 29:situation d'hôtel LIDO google maps

2.2. Accessibilité :

Chapitre III : Le confort thermique dans un équipement hôtelier : Analyse des exemples

L'hôtel LIDO bénéficie d'un emplacement stratégique, il est accessible par 3 rue :

- Avenue de la république comme un axe principal
- 2 rue mécanique secondaire



2.3. Analyse des façades :

- L'utilisation de la simplicité et de là l'alignement et de la cohérence
- L'utilisation des balcons avec des portes fenêtres favorise une ventilation naturelle
- L'utilisation de la couleur blanche qui a un fort pouvoir réfléchissant ce qui signifie absorbe très peu la chaleur du soleil et la façade reste Toujours fraîche



2.4. Analyse spatiale :

L'hôtel se compose de R+7

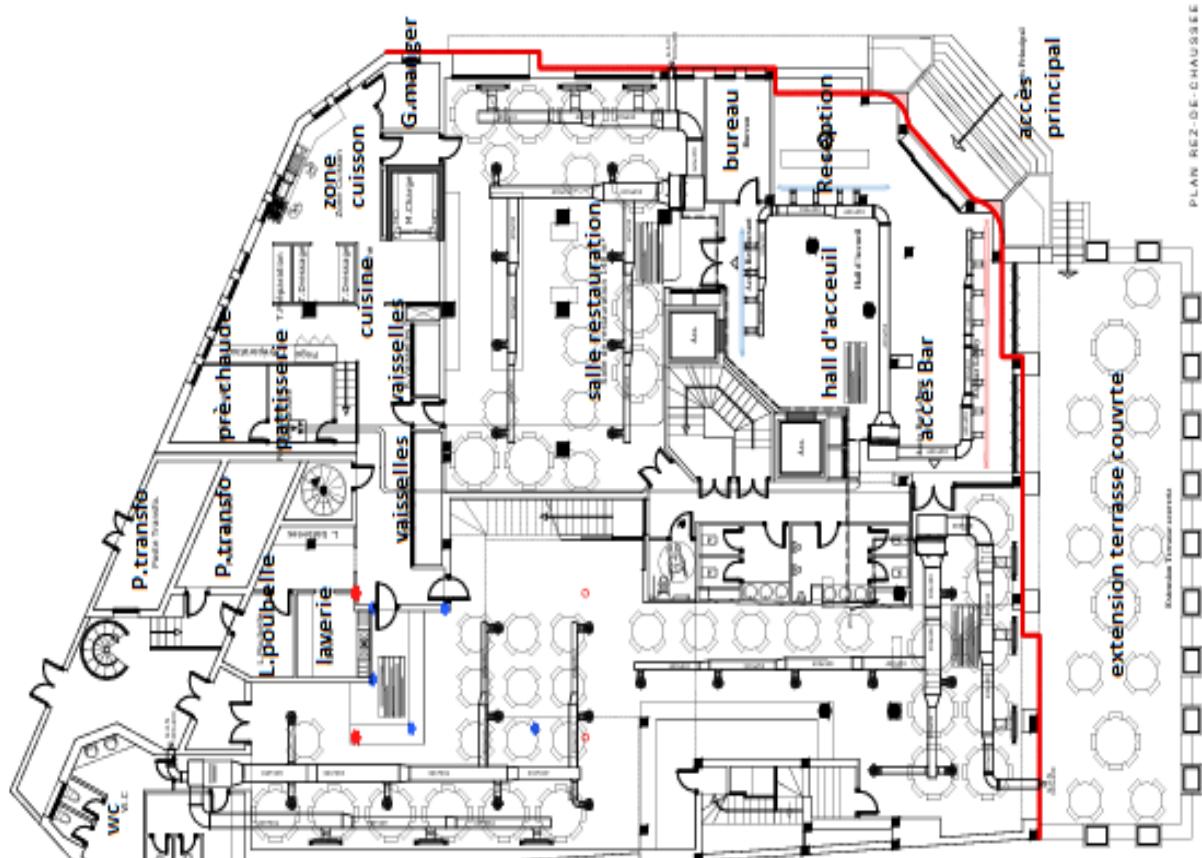


Figure 32: Plan climatisation RDC réalisé par ingénieur tunisien en génie climatique

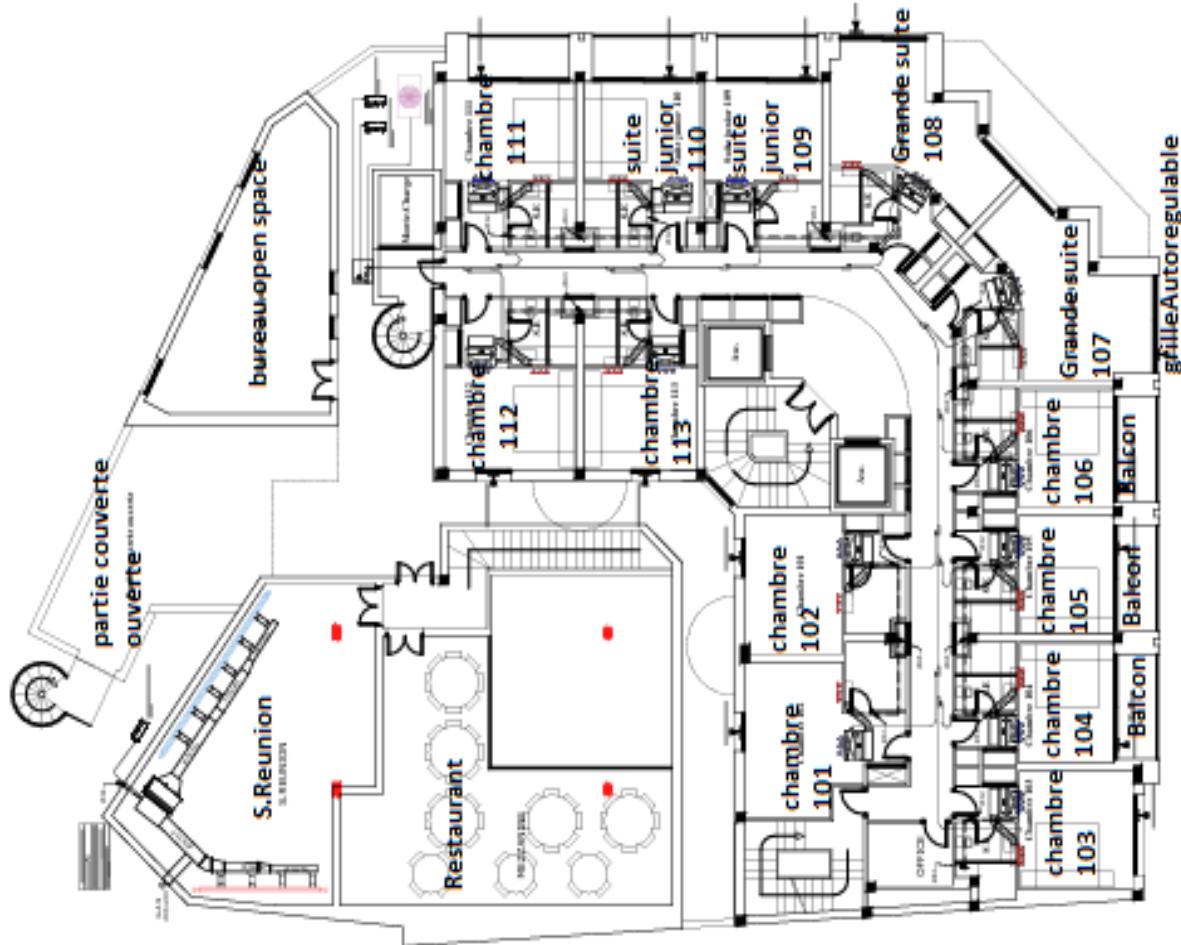


Figure 33:plan climatisation R+1 réalisé par l'ingénieur tunisienne en génie climatique

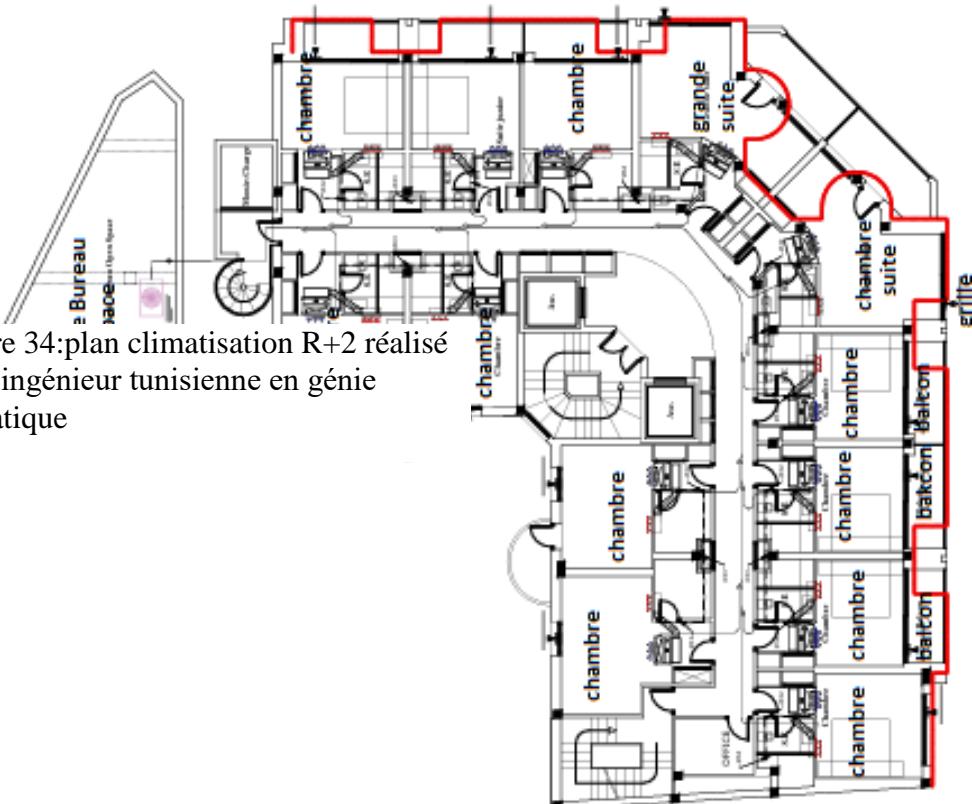


Figure 34:plan climatisation R+2 réalisé par l'ingénieur tunisienne en génie climatique

Chapitre III : Le confort thermique dans un équipement hôtelier : Analyse des exemples

LOCAL	PUIS-FRIGO.(W)	GRILLES SOUFFLAGE	GRILLES REPRISE
CH301	3300	600/150	600/150
CH302	3700	600/150	600/150
CH303	2900	600/150	600/150
CH304	3100	600/150	600/150
CH305	3100	600/150	600/150
CH306	3100	600/150	600/150
CH307	3800	600/150	600/150
CH308	3600	600/150	600/150
CH309	2600	600/150	600/150
CH310	2700	600/150	600/150
CH311	2800	600/150	600/150
CH312	3300	600/150	600/150
CH313	3400	600/150	600/150

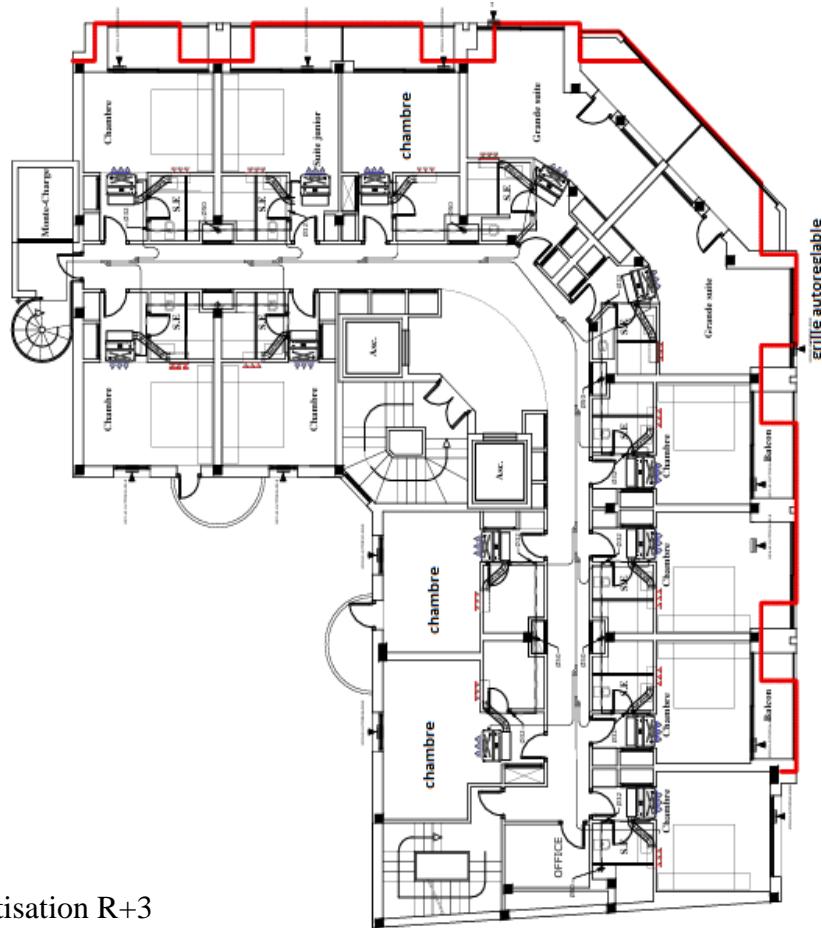


Figure 35:plan climatisation R+3 jusqu'à R+5 réalisé par l'ingénieur tunisienne en génie climatique

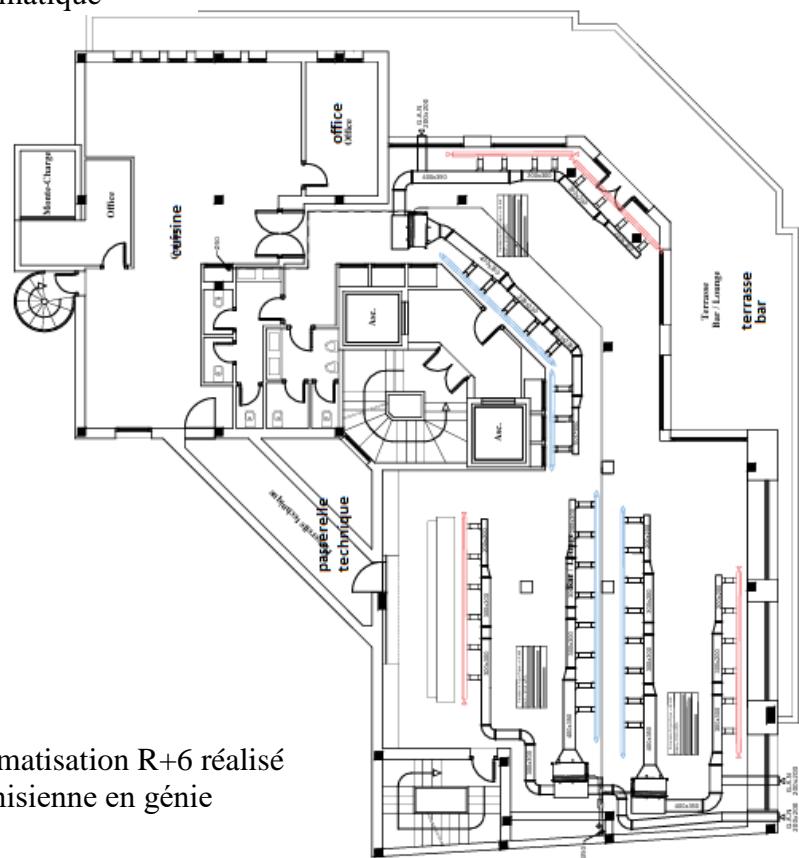


Figure 36:plan climatisation R+6 réalisé par l'ingénieur tunisienne en génie climatique

Chapitre III : Le confort thermique dans un équipement hôtelier : Analyse des exemples

LOCAL	PUIS-FRIGO(W)	GRILLES SOUFFLAGE	GRILLES REPRISE
CH301	3300	600/150	600/150
CH302	3700	600/150	600/150
CH303	2900	600/150	600/150
CH304	3100	600/150	600/150
CH305	3100	600/150	600/150
CH306	3100	600/150	600/150
CH307	3800	600/150	600/150
CH308	3600	600/150	600/150
CH309	2600	600/150	600/150
CH310	2700	600/150	600/150
CH311	2800	600/150	600/150
CH312	3300	600/150	600/150
CH313	3400	600/150	600/150

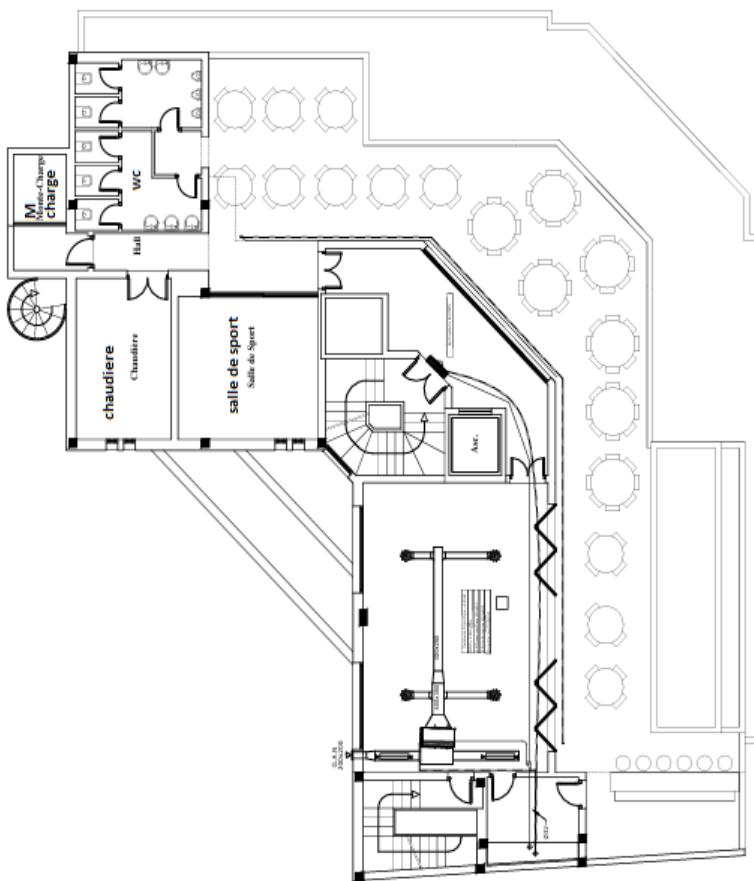


Figure 37:plan climatisation R+7 réalisé par l'ingénieur tunisien en génie climatique

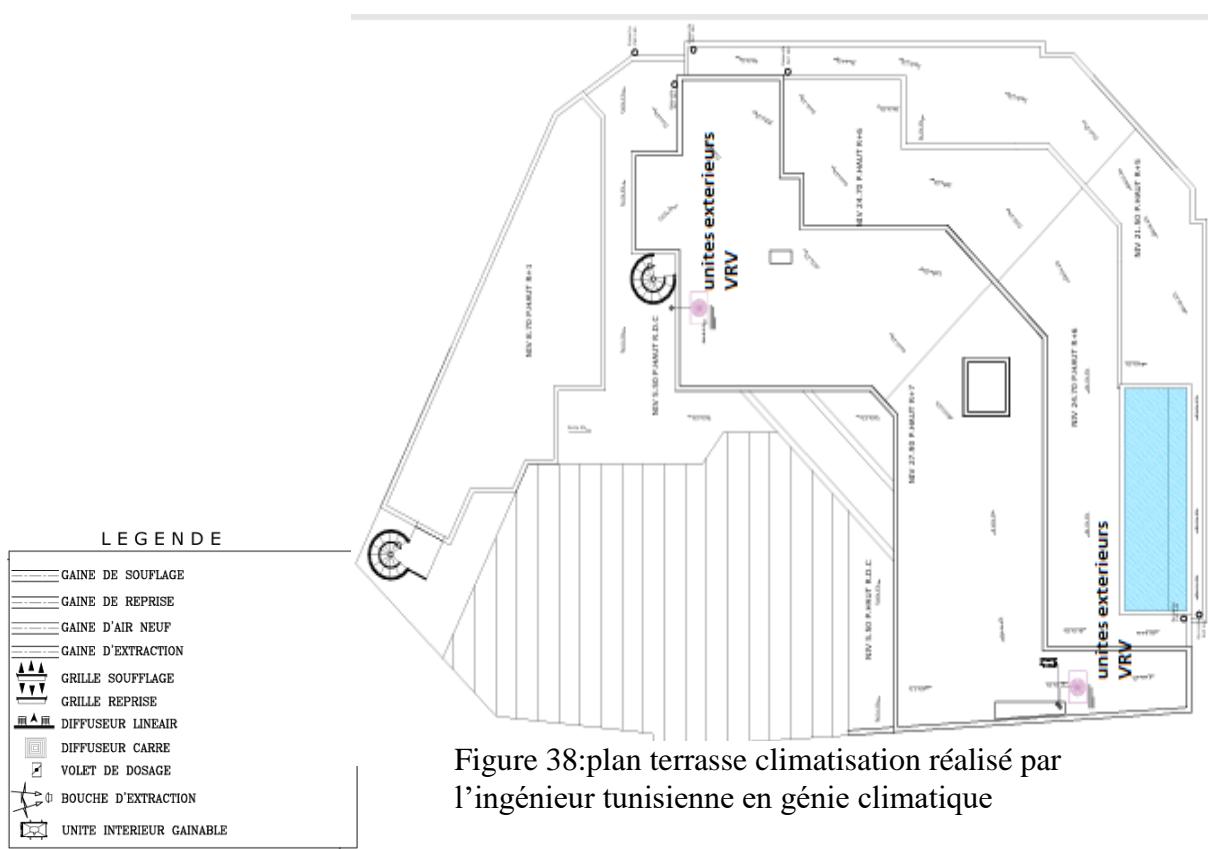


Figure 38:plan terrasse climatisation réalisé par l'ingénieur tunisien en génie climatique

Chapitre III : Le confort thermique dans un équipement hôtelier : Analyse des exemples

L'hôtel se compose de R+7 étage :

Tableau 14:deffernts entités RDC(auteur,2025)

Entités	Sous Entités	Composant	Nombre	Surface
Accueil	Réception	Hall d'entrée	1	112,4m2
		Bureau bagagerie	1	10,25m2
Restauration	Préparation	Cuisine	1	61,7m2
		Pâtisserie	1	6,62m2
		Vaisselles	2	2,4m2,5m2
		Laverie	1	8m2
	Consommation	Zone cuisson	1	17,09m2
		Bar	1	298,37m2
		Salle restauration	1	148m2
Hygiène		Local poubelle	1	6,30m2
Local technique		Poste transformateur	2	11,95m2,12,61m2
Détente		Terrasse couverte	1	104,56m2

Tableau 15:deffernts entités R+1(auteur,2025)

Entités	Sous Entités	Composant	Nombre	Surface
Gestion	Administration	Bureau open space	1	37,45m2
		Salle réunion	1	32,21m2
Hébergement	Chambres	Chambres double lits	7	20,06m2
		Grande suite	2	25,81m2
		Suite junior	1	24,68m2
Détente		Salon		38,55m2

Tableau 16:différents entités R+2

Entités	Sous Entités	Composant	Nombre	Surface
Gestion	Administration	Bureau open space	1	50,15m2
Hébergement	Chambres	Chambres double lits	7	20,06m2

Tableau 17:différents entités R+3 au R+5 (auteur,2025)

Entités	Sous Entités	Composant	Nombre	Surface
Hébergement	Chambres	Chambres double lits	7	20,06m2

Chapitre III : Le confort thermique dans un équipement hôtelier : Analyse des exemples

		Suite junior	1	24,68m2
--	--	--------------	---	---------

Tableau 18:deffernts entités R+6(auteur,2025)

Entités	Sous Entités	Composant	Nombre	Surface
Restauration	Préparation Consommation	Cuisine Restaurant bar Terrasse bar	1 1 1	62,24m2 178m2 88,09m2

Tableau 19:deffernts entités R+7(auteur,2025)

Entités	Sous Entités	Composant	Nombre	Surface
Loisir	Salle de Sport		1	22,08m2
Restauration	Consommation	Restaurant	1	130m2

3.Analyse système de climatisation :

1.1. Type système de climatisation :

L'étude du système de climatisation qui est installer dans cet hôtel est présentée aussi par : système VRV (variable Réfrigérant volume)

1.1. Principe de fonctionnement de système VRV dans cet hôtel :

A partir d'une unité extérieure :

Unités extérieurs VRV, RDC + 1^{er} étage avec une puissance frigorifique 56kw su 1^{er} étage

Unité extérieur VRV 2eme et 3 me étage avec PF= 82kw sur 2 eme étage

Unité extérieur VRV 4eme étage et 5eme étage avec PF= 82kw, et une autre unité extérieure de 6eme et 7eme étage avec PF= 56kw sur la terrasse

Alimente par des tubes frigorifiques de petite dimension plusieurs unités intérieurs de déférents espace.

1.3. Analyse les paramètres des déférents puissances de climatisation

On prend l'exemple des chambres de déférents puissances :

Tableau 20:chambres de déférents puissances climatisation (auteur,2025)

Type de chambre	Orientation	Surface	Puissance de climatisation
Chambre 101,112,107	Ouest ,sud , Est	20,06m2,20,06m2 25,81m2	3300W
Chambre 102	Ouest	20,06m2	3700W
Chambre 103	Est	20,06m2	2900W

Chapitre III : Le confort thermique dans un équipement hôtelier : Analyse des exemples

Chambre 104,105,106	Est	20,06m2	3100W
Chambre 108,208	Est	25,81m2	3000W
Chambre 109,209	Nord	24,68m2	2600W
Chambre 110,210	Nord	24,68m2	2700W
Chambre 111,211	Nord	20,06,20,06	2800W
Chambre 113,213	Sud	20,06,20,06m2	3400W
Chambre 307,407,507	Est	25,81m2,25,81m2,25,81m2	3800W
Chambre 308,408,508	Est	20,06m2,20,06m2,20,06m2	3600W

La puissance de climatisation est différente d'une pièce à l'autre dans cet hôtel et ça en fonctionne de plusieurs paramètres :

- ✚ Les apports internes : occupants, éclairage
- ✚ Les apports externes : ensoleillements et apports de chaleur ou de froid à travers les murs, les ouvertures, la toiture, le plafond, les sols et les renouvellements d'air qui sont dépendant de l'isolation et orientation qui ont pris en considération

1.2. Analyse système de contrôle de climatisation :

Le système de climatisation de cet hôtel s'utilise grâce à une télécommande intelligente, connectée en Wi-Fi, qui offre la possibilité de gérer la température depuis une application mobile. En d'autres termes, on donne les instructions via l'application sur notre smartphone, qui les transmet à la télécommande Wi-Fi par le biais d'Internet. Cette dernière transforme ensuite ces instructions en signal infrarouge pour le climatiseur.

Et c'est un système de contrôle de climatisation intelligents qui permet de contrôler à distance

Synthèse

L'Hôtel de LIDO à Tunis dispose d'un système de climatisation centralisée de type VRV avec un contrôle intelligent qui permet de Controller Les différences unité intérieur de climatisation pour un meilleur confort thermique des usagers.

3.Comparaison entre le système classique d'hôtel Berlin et le système intelligent d'l'hôtel LIDO

Tableau 21:les différents caractéristiques des différents hôtels classique et intelligent(ateur,2025)

Caractéristiques	Système classique	Système intelligent
Mode de contrôle	Télécommande classique manuelle	Smartphone
Connexion à distance	Exige une présence en personne.	Wi-Fi
Optimisation énergétique	Pas d'optimisation	Réduire la consommation énergétique
Prise en compte de la présence des occupants	fonctionner même lorsque la pièce est vide.	Déetecte la présence des occupants et ajuste la

Chapitre III : Le confort thermique dans un équipement hôtelier : Analyse des exemples

		puissance pour éviter de refroidir un espace inoccupé.
Stabilité de la température	Des fluctuations de température peuvent se produire puisque le système fonctionne par marche Arrête	Le système ajuste progressivement pour atteindre une température stable.
Confort	Le même paramétrage est appliqué à tous, sans personnalisation individuelle.	Il est capable d'assimiler les préférences de chaque individu.

Conclusion :

En conclusion, ce chapitre a nous permis de mieux comprendre le confort thermique dans les établissements hôteliers et le rôle fondamental que jouent les systèmes HVAC dans l'atteinte de confort

L'analyse des deux exemples national et international permis à nous de comprendre les systèmes de climatisation utilisées et les paramètres qui contrôle la différence de puissance de pièce à l'autre ,aussi l'analyse les techniques de contrôle classique et intelligente de système de climatisation à travers les deux exemples permis à nous de comprendre en profondeur ces deux techniques de contrôle ainsi que leurs avantages et ça pour meilleur optimisation thermique dans le contexte hôteliers.

Partie III

**Simulation pratique, analyse des résultats et
Recommandations**

Chapitre IV :

Analyse du Site

Introduction

Aokas ou plus précisément la plage d'Aokas où on trouve notre site d'intervention proche à la mer et au bord du foret ce que donne à lui une place naturelle et stratégique avec une double vue mer-foret et ça donne à lui la chance d'attire les touristes

Ce chapitre ici nous permettrons de comprendre notre terrain, qui est une étape clé pour l'implantation de notre projet qui est un hôtel touristique

On a commencé en premier par la motivation de notre choix pour ce site ensuite citer la situation, L'accessibilité, la morphologie, la topographie, aussi on citer l'environnement immédiat de terrain et les différents végétation exister pour comprendre le type des arbres et son impact climatique ensuite travers logiciel Autodesk forma on a bien expliqué le climat de notre site d'intervention et tout ça dans le cadre d'élaborer une bonne conception architecturale intégrer à son terrain.

1.motivation de choix

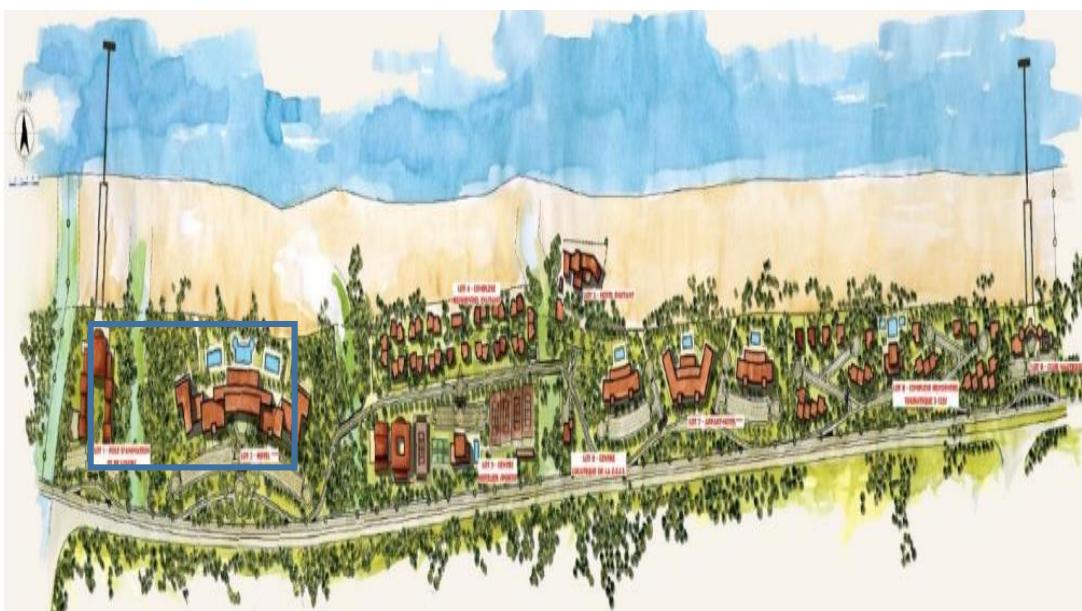


Figure 39:Aménagement proposé par l'ADNT(3D)

- C'est une zone d'expansion touristique
- Un terrain avec un potentiel paysager riche
- Une double orientation mer montagne
- La projection d'un hôtel touristique dans notre terrain

2.Situation de terrain



Figure 40:situation d'Aokas

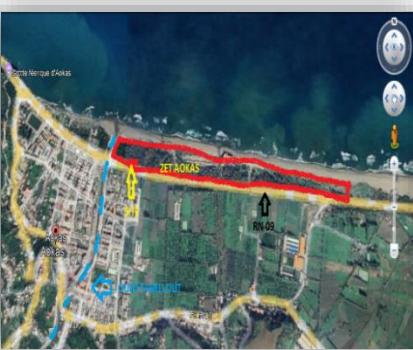


Figure 42:situation de la ZET Google earth traité par auteur



Figure 41:situation du terrain Google earth traité par auteur

Le terrain est situé à la ville de Aokas, Bejaia, Précisément la zone d'expansion touristique d'Aokas plage qui situe à 25 km à l'est de Bejaia et de 2 km de la ville. Dans Lot N 2 de la ZET D'AOKAS

3.Morphologie de terrain

Le terrain a une forme régulière, c'est un rectangle de 50 m de largeur et de 40m de longueur avec une superficie de 2000m²



Figure 43:morphologie de terrain Autodesk form traité par l'auteur

4.Accessibilité et délimitation de terrain



Figure 45:accessibilite du terrain Autodesk form traité par l'auteur

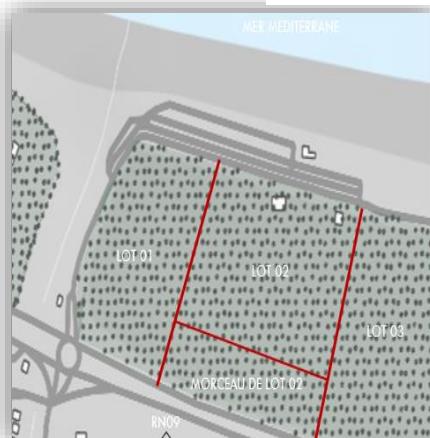


Figure 46:délimitation de la parcelle Autodesk form traité par l'auteur



Figure 44:la ZET d'Aokas

Chapitre IV : Analyse du site

Le terrain est accessible par deux cotes

RN9 rue mécanique principale

Rue secondaire piétonne sur le côté de la mer

Notre parcelle délimitée ;

Lot 01 boise de cote ouest

Lot 03 boise de côte est

La mer de côte nord

RN09 de côte sud

SYNTHESE :

Le projet doit être accessible sur ses deux côtes avec une rue tertiaire qui relie le terrain avec la rue secondaire devant la mer

5.Topographie du terrain



Figure 47:coupe topographique vertical du terrain Google earth traité par l'auteur



Figure 48:coupe topographique horizontal de terrain Google earth traité par l'auteur

SYNTHESE :

Le site d'intervention est plat avec une pente douce de 3% vers le Nord et de 1% vers Est

6. Environnement immédiat



Figure 49: environnement immédiat autodesk forma traité par l'auteur

7. Type de végétation sur notre site



Figure 50:eucalyptus(auteur,2025)



Figure 51:pins maritimes(auteur,2025)

D'après notre visite, le site est florissant de plusieurs espaces végétales différents, on remarque une grande bande boise par des eucalyptus et des pins maritimes

Synthés

D'apre analyse de l'environnement immédiat on constat que c'est un site de sensation de lisibilité et d'ouverture sur déférents vue panoramique

La nature de notre site a un couvert végétal sera près en considération

8. Analyse climatiques : Pour cette analyse climatique on utilise un outille qui est Autodesk forma

Chapitre IV : Analyse du site

Tableau 22:analyse climatique de notre terrain(auteur,2025)

8.1. Ensoleillement	Synthèse
	<p>Notre site est exposé au soleil et les arbres qui entourent donne un masque solaire et d'un autre par la fraicheur à notre terrain</p>
8.2. Le vent	Synthèse
	<p>Le flux et la vitesse de vent sur notre site est faible à cause les arbres qui entourent, et ça qui donne un vent frais et un confort</p>
8.3. Micro climat	Synthèse
	<p>Notre terrain est chaud dans l'été et moyen dans l'hiver, c'est un terrain ouvert avec une grande visibilité et c'est un terrain proche à la mer</p>

Chapitre IV : Analyse du site

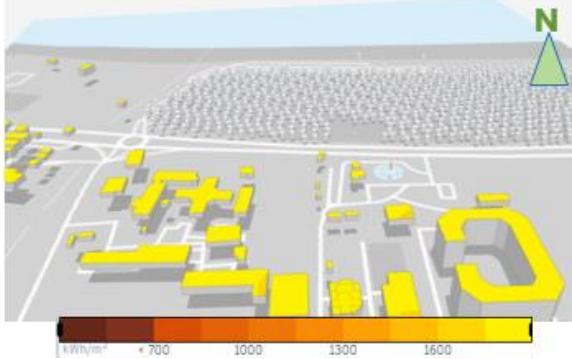
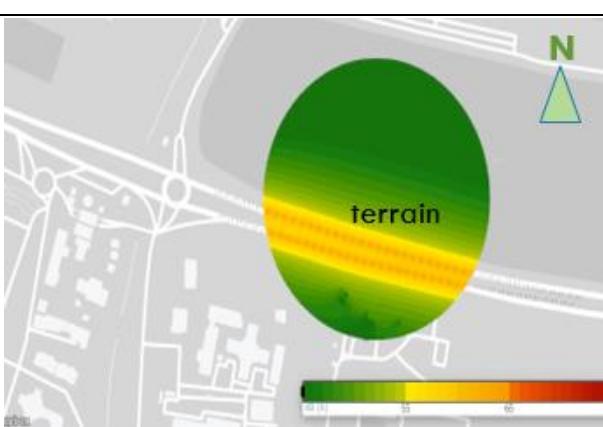
8.4.Le potentiel de lumière de jour	Synthèse
	<p>Selon l'échelle nuancée, les nuances les plus claires signifient un potentiel de lumière plus élevé donc comme notre cas d'étude, Les bâtiments sont colorés de bleu clair dans les hauteurs et bleu foncé dans le bas en fonction de hauteur</p>
8.5. Énergie solaire 	<p>Une simulation d'analyse de production de l'énergie solaire pour notre zone d'étude, donc l'analyse concentre sur les toits avec une couleur jeune indiquant un potentiel d'énergie plus élevé selon l'échelle</p>
8.6. Bruit 	<p>Le site a un bruit moyen à cause de la route nationale N09</p>

Tableau 23:les potentialités et le menaces du terrain(auteur,2025)

9.Les potentialités et les menaces

Potentialités	Menaces
<ul style="list-style-type: none">• Situation stratégique de site pour une activité Touristique• Site caractérise par des vues panoramique mer-montagne• La proximité du littoral favorise la pénétration• Des brises marines ce qui permettra le confort Thermique par l'effet rafraîchissant• La forte couverture végétale protège l'assiette Des vents• Le site considère comme un potentiel naturel• Sa facilite au accessibilité et l'approximite a La route national	<ul style="list-style-type: none">• Pollution à cause des décharges publiques• Bruit

Conclusion :

Ce chapitre nous a permis de comprendre les différents donnes de notre site pour une meilleure intégration de projet mais aussi permis à nous de déterminer les solutions qui convient pour garantir un confort thermique dans notre hôtel.

Chapitre V :
Simulation cas d'étude
(Hôtel Naftal)

Introduction

Pour atteindre un confort thermique, comme nous l'avons vu dans les chapitres théoriques, une régulation des systèmes HVAC est obligatoire

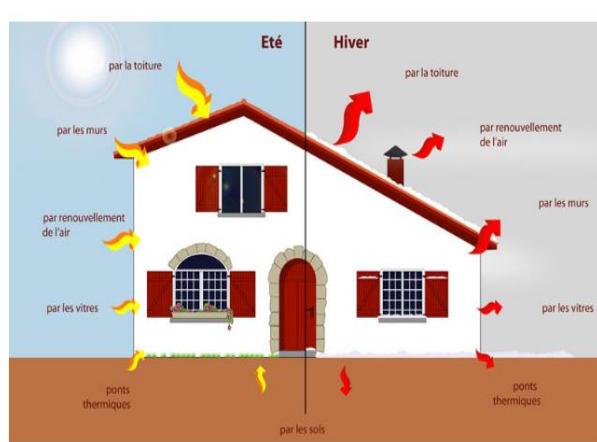
Pour ça ,notre objectif est de faire une simulation à l'aide d'une application connu de réaliser un bilan thermique de calculer les déperditions calorifiques et le dimensionnement de chauffage ainsi que de calculer l'apport thermique et le dimensionnement de la climatisation, l'objectif est ensuite de comparer les puissances de climatisation (système parmi les systèmes HVAC) des espaces d'hébergement de cas d'étude qui est l'hôtel avec les résultats obtenus afin de proposer des solutions pratiques qui permettront un meilleur contrôle thermique et offrir un confort thermique optimal pour les résidents de l'hôtel

Simulation cas d'étude : chambres dans un hôtel

1.Présentation application RETA (Règlementation Thermique Algérienne) :

Le centre de Développement des Energies Renouvelables (CEDER) a développé une application qui permet d'évaluer la performance thermique d'un bâtiment. Elle réalise un bilan thermique en calculant les pertes de chaleur en hiver et les gaines thermiques en été, tout en respectant les règlementations du DTR(C3-2) et (C3-4).

- DTR (C3-2) pour calculer les déperditions calorifiques et le dimensionnement de chauffage
- DTR (C3-4) pour le calcul de l'apport thermique et le dimensionnement de la climatisation



Cette application permet le calcul des déperditions thermiques en hiver et des apports en été conformément aux DTR C 3.2 / 4.

Figure 52:acceuil d'entrée d'application

Présentation notre cas d'é : Hôtel Naftal à Melbou

2.Situation :



Figure 54:Hôtel melbou



Figure 53:situation hôtel melbou Google earth

Hôtel Naftal se situe à Bejaia, commune de Melbou, plus précisément à la plage de Melbou

3.Présentation des plans climatisation :

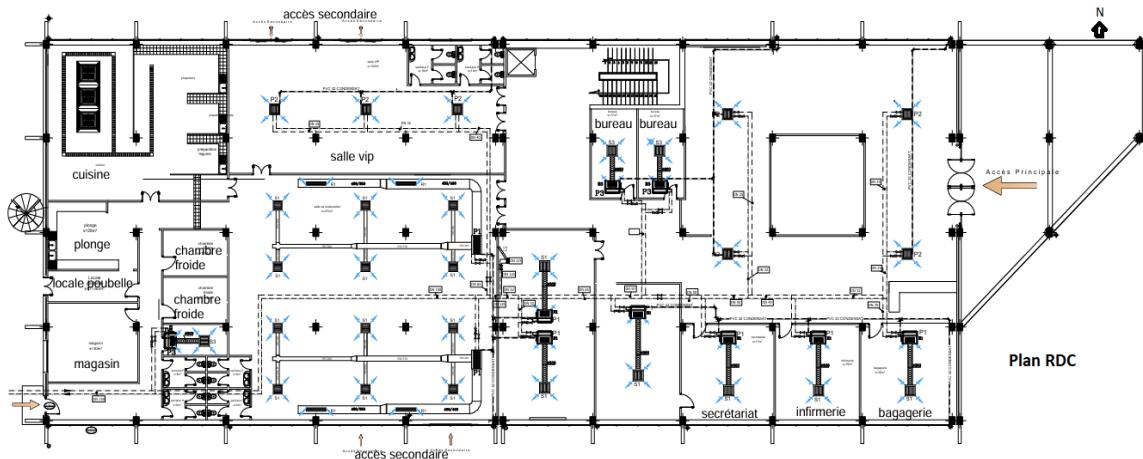


Figure 56:plan climatisation RDC

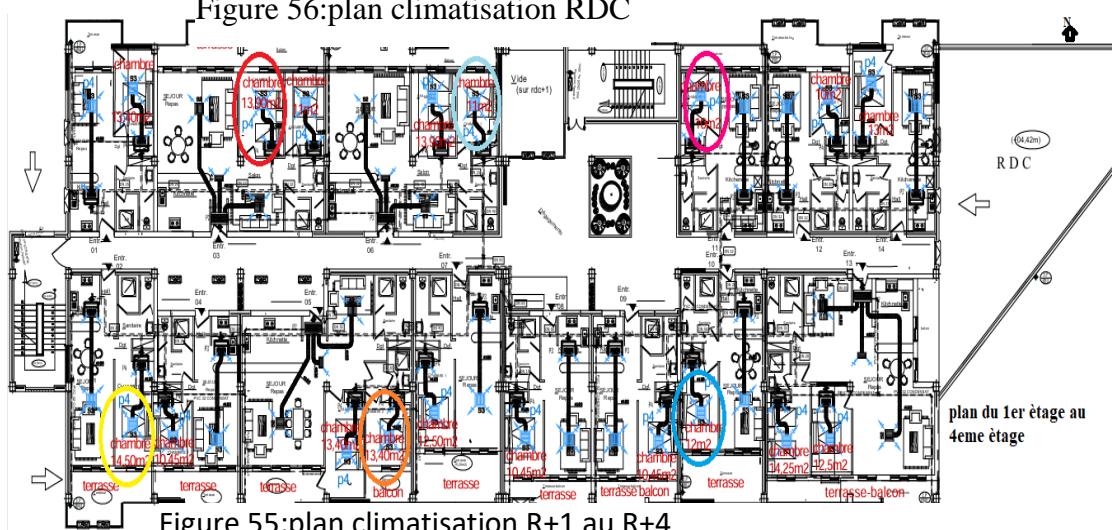


Figure 55:plan climatisation R+1 au R+4

Chapitre V : Simulation Cas d'étude

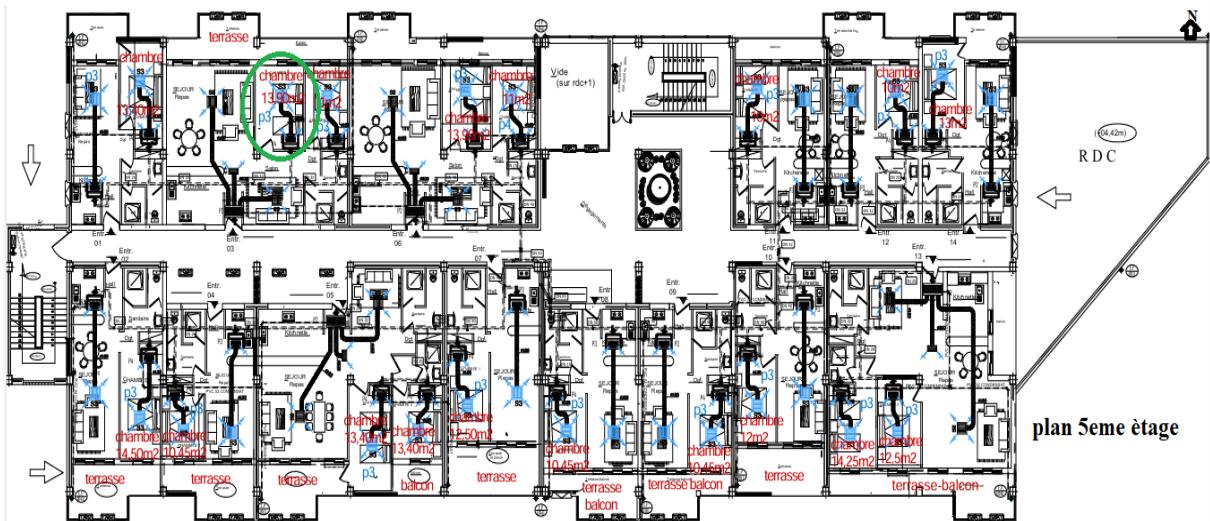


Figure 57:plan climatisation R+5

Légende :

	Grille de reprise carré ou rectangulaire de dimensions R1=600x600 R2=400x300 R3=200x160
	Gaine flexible
	Tuyauterie en acier calorifugé ou multicouche préisolé (aller et retour)
	Tuyauterie en pvc pour évacuation de condensat DN32
	Vanne disolation
	Vanne de régulation à deux voies
	Colonne montante (aller) ET descendante (retour)
	Ventilo convecteur gainable plafonnier puissance frigorifique sensible moyenne P1=4.3 P2=3.6 P3=2.2 P4=1.4
	Ventilo convecteur gainable plafonnier puissance frigorifique sensible moyenne P0=6.1 P1=4.3 P2=3.6
	Diffuseur de soufflage de dimension : S1=600x600 S2=472x472 S3=375x375

4. système et type de contrôle de climatisation :

Dans notre cas d'étude le système de climatisation utilisé c'est le système eau glacée, qui comprend un groupe frigorifique, dont le rôle est de refroidir l'eau qui circule dans le circuit frigorifique, une fois glacée, l'eau transite vers les émetteurs de froid : ventilo convecteurs

Pour le type de contrôle de ce système de climatisation c'est un contrôle classique avec un thermostat mural.

5. analyse système climatisation

Nous avons analysé les différents chambres d'hôtel en fonction Les apports internes : occupants, éclairage, et Les apports externes : ensoleillements et apports de chaleur ou de froid à travers les murs, les ouvertures, la toiture, le plafond, les sols et les renouvellements d'air qui sont dépendant de L'isolation et orientation, ainsi que la surface de l'espace.

Chapitre V : Simulation Cas d'étude

Tableau 24:les différents chambres avec les puissances de climatisation(ateur,2025)

Chambre	Etage	Surface	Orientation	Puissance Climatisation
01	1 ^{er} étage	12,00m ²	Sud-est	1,4kw
02	2 ^{ème} étage	14,50m ²	Sud-ouest	1,4kw
03	3 ^{ème} étage	13,40m ²	Sud	1,4kw
04	4 ^{ème} étage	13,90m ²	Nord-ouest	1,4kw
05	1 ^{er} étage	11,00m ²	Nord	1,4kw
06	2 ^{ème} étage	10,00m ²	Nord-est	1,4kw
07	5 ^{ème} étage	13,90m ²	Nord-ouest	2,2kw

3.Structure et principe de calcul :

Pour accéder à l'application une inscription est requise avec la création d'un compte :

3.1. Projet :

3.1.1. Ecran d'accueil :

Dans cet écran d'accueil, deux options sont disponibles

- 1.ouvrir un projet : pour reprendre un projet déjà commencé mais non terminé
- 2.crée un projet : pour un nouveau projet



Figure 58:accueil de RETA (ateur,2025)

3.1.2. Crédit de projet :

Lorsqu'on clique sur 'crée un projet ', une nouvelle fenêtre s'ouvre. On y saisit d'abord, les données techniques de notre cas d'étude, puis on passe à la section 'description' pour rédiger une brève présentation du projet.



Figure 59:hôtel
Melbou(ateur,2025)

Chapitre V : Simulation Cas d'étude

Nouveau projet

Données techniques **Description**

Titre du projet : Hôtel NAFTAL

Site d'implantation: Bord de mer ; **Altitude (m)**: 2 **Latitude en °**: 36.64

Classe de rugosité : Classe I / Coef. de limpidité de l'atmosphère : 1

Wilaya : 08 – Béjaïa **Zones Climatiques**: Eté : A / Hiver : A

Groupes de communes :

Sélectionner, parmi ces groupes la commune d'implantation du projet
Groupe 1: Aït R_Zine, Boudjellil, Igħil Ali
Groupe 2: BENI KSILA, TOUDJA, BEJAIA, EL KSEUR, TAOURIRT IGHIL, OUED GHIR, TALA HAMZA
Les autres communes

Ajouter **Annuler**

Figure 60:donnes technique d'hôtel(auteur,2025)

Nouveau projet

Données techniques **Description**

Description résumée du projet

Bilan thermique des différents chambres de l'Hôtel NAFTAL en fonction de leur orientation

Localisation: melbou -bejaia **Date**: 12.03.2025 **Auteur**: Chekri Yasmina

Ajouter **Annuler**

Figure 61:description résumé de projet(auteur,2025)

Chapitre V : Simulation Cas d'étude

3.2. Définir l'enveloppe du bâtiment :

Pour créer une enveloppe, on clique sur l'enveloppe puis sur ‘ajouter’ : notre première enveloppe ici c'est la chambre 01 selon le tableau, (c'est le même processus pour les autres chambres), ensuite on va remplir selon les informations exigées comme suite :

The screenshot shows the software interface for defining building envelopes. At the top right, it displays the user's name 'Chekri Yasmina (1601@yas)' and a 'Déconnexion' button. The main title 'Projet "hôtel Melbou Bejaia"' is at the top center. On the left, a sidebar menu includes 'Aucun projet sélectionné', 'Enveloppes' (selected), 'ENVOLUPE EN COURS' (with a note about creating a new envelope), 'AUTRES ENVELOPPES' (with a 'Ajouter une enveloppe' link), 'Parois' (selected), 'Outils', 'Projet', 'Aide', and 'Déconnexion'. The main content area has a 'Aide' section titled 'Sélectionnez une paroi' with instructions: 'Commencez d'abord par sélectionner ou créer une enveloppe puis sélectionnez ou créez une paroi pour afficher tout son détail dans cet emplacement'. A message at the bottom of this section says 'Il n'existe aucune enveloppe, cliquez ici pour en créer une'.

This is a detailed screenshot of the 'Nouvelle enveloppe' (New envelope) dialog box. It contains three main sections: 'Général', 'Calcul Hiver', and 'Calcul été'.
Général: Fields include 'Nom de l'enveloppe' (chambre 1), 'Surface des planchers intermédiaires (m2)' (12), 'Volume brut (m3)' (38.76), and 'Volume d'air net (m3)' (31.008).
Calcul Hiver: 'Type de l'enveloppe' dropdown is set to 'Immeuble collectif'.
Calcul été: 'Usage de l'enveloppe' dropdown is set to 'Hébergement'. Other options include 'Temps de fonctionnement (climatisation)' (16 Heures), 'Conditions internes' (Confort Normal (27°)), and a checkbox for 'Gains latents importants'.
At the bottom right are 'Ajouter' (Add) and 'Annuler' (Cancel) buttons.

Figure 63:fenêtre d'enveloppe (auteur,2025)

Chapitre V : Simulation Cas d'étude

3.3. Modelés de parois :

Avant de définir les parois, on définit un modèle de paroi qui est une composition de plusieurs matériaux de construction en différentes couches, il est possible de définir toutes les compositions qui interviennent dans la construction des enveloppes thermiques de notre projet puis de les attacher aux parois correspondantes.

Pour définir un modèle on clique sur le bouton ‘outils’ puis sur ‘modèle de parois opaque’

3.3.1. Crédation d'un modèle :

Pour créer un modèle il suffit juste de cliquer sur ‘ajouter un modèle’, une nouvelle fenêtre va s'ouvrir

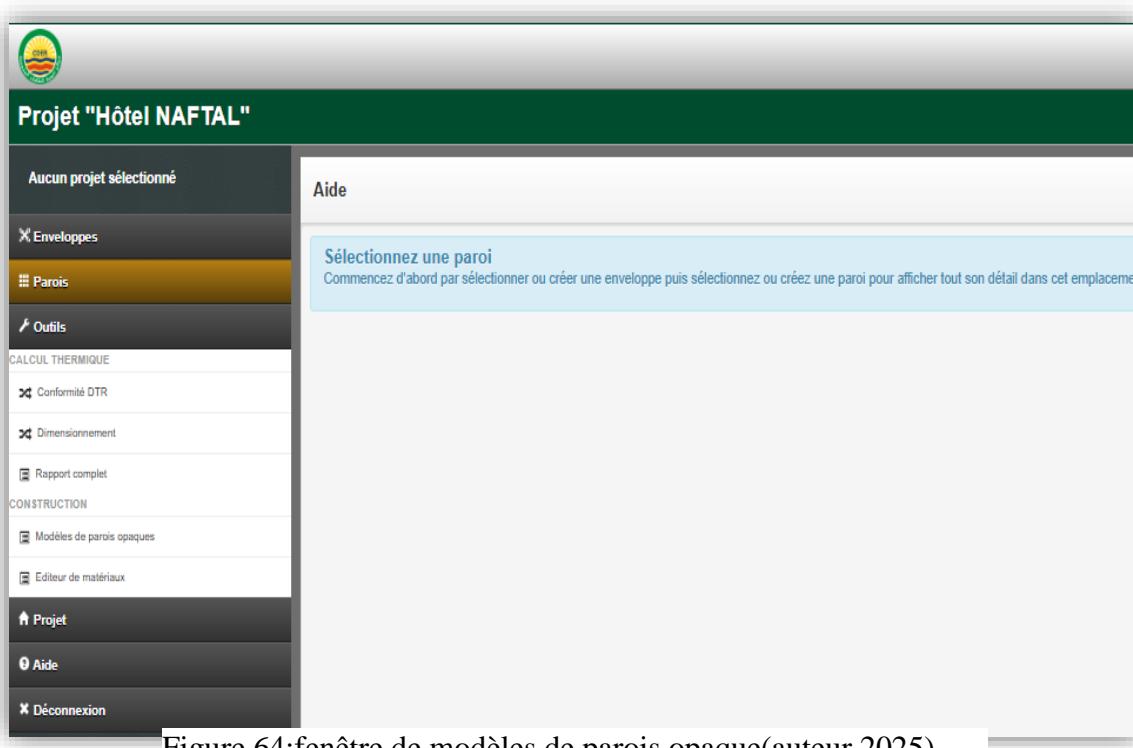


Figure 64:fenêtre de modèles de parois opaque(auteur,2025)

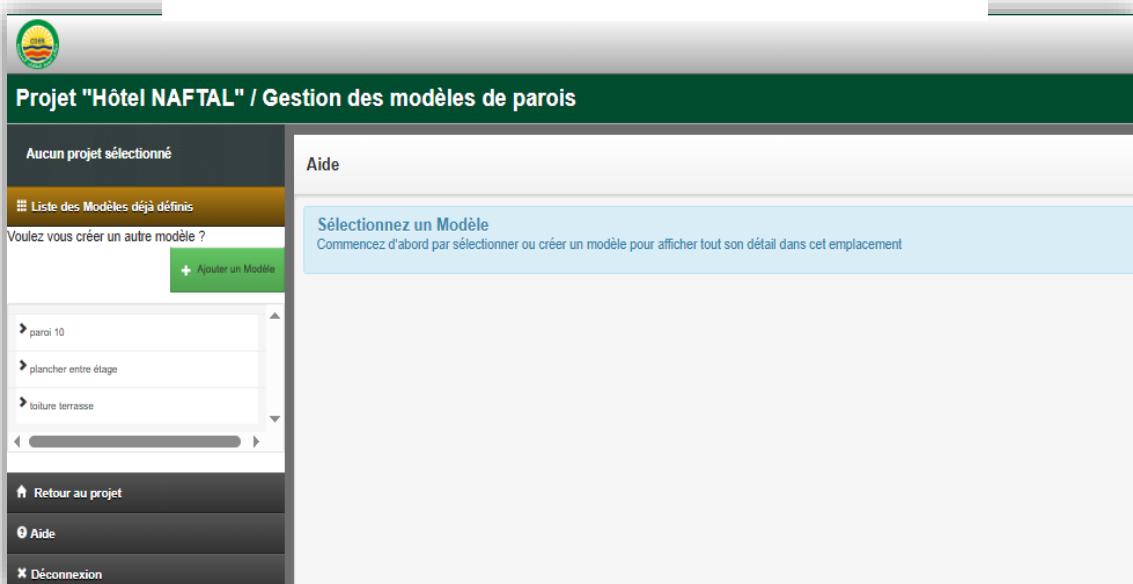


Figure 65:fenêtre avant d'ajouter un modèle(auteur,2025)

Chapitre V : Simulation Cas d'étude

On va créer tous les modèles des chambres qui ont besoin puis après on va les attacher selon les caractéristiques de chaque chambre

D'après notre recherche sur les différents composants des matériaux de notre cas d'étude on a trouvé comme ça :

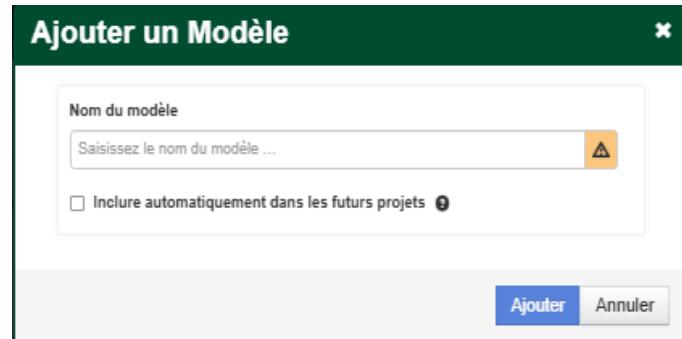


Figure 66:fenêtre d'ajouter un modèle(auteur,2025)

1.les différents composants de mur intérieur

paroi 10					Menu Modèle
Caractéristiques générales					
Titre	Epaisseur	Résistance			
paroi 10	0,1200 m	0,2655 (m²·°C)/W			
Composition					
Matériau de l'extérieur vers l'intérieur	Ep. e	Rés. r	M. Sur. P	Cond. λ	Ajouter une couche
2 - Plâtre courant d'enduit intérieur	0,010 m	0,0286 (m²·°C)/W	7,5000	0,3500 W/m·°C	<input type="button" value="edit"/>
1 - Brique creuse	0,100 m	0,2083 (m²·°C)/W	90,0000	0,4800 W/m·°C	<input type="button" value="edit"/>
2 - Plâtre courant d'enduit intérieur	0,010 m	0,0286 (m²·°C)/W	7,5000	0,3500 W/m·°C	<input type="button" value="edit"/>
Total	0,1200 m	0,2655 (m²·°C)/W	105,0000		

Figure 67:les différents composants de paroi intérieur(auteur,2025)

2. Les composants de mur opaque extérieur :

parois opaque					Menu Modèle
Caractéristiques générales					
Titre	Epaisseur	Résistance			
parois opaque	0,3400 m	0,7523 (m²·°C)/W			
Composition					
Matériau de l'extérieur vers l'intérieur	Ep. e	Rés. r	M. Sur. P	Cond. λ	Ajouter une couche
0 - Mortier de ciment	0,020 m	0,0143 (m²·°C)/W	44,0000	1,4000 W/m·°C	<input type="button" value="edit"/>
1 - Brique creuse	0,150 m	0,3125 (m²·°C)/W	135,0000	0,4800 W/m·°C	<input type="button" value="edit"/>
1 - Lame d'air pour mur de 55 à 300 mm	0,050 m	0,1800 (m²·°C)/W	0,0000	0,0000 W/m·°C	<input type="button" value="edit"/>
3 - Brique creuse	0,100 m	0,2083 (m²·°C)/W	90,0000	0,4800 W/m·°C	<input type="button" value="edit"/>
4 - Plâtre courant d'enduit intérieur	0,020 m	0,0571 (m²·°C)/W	15,0000	0,3500 W/m·°C	<input type="button" value="edit"/>
Total	0,3400 m	0,7523 (m²·°C)/W	284,0000		

Figure 68:les différents composants de mur opaque(auteur,2025)

Chapitre V : Simulation Cas d'étude

2.les différents composants de plancher entre étage :

Titre		Ep. e	Rés. r	M. Sur. P	Cond. λ	
plancher entre étage		0,5400 m	0,8500 (m²·°C)/W			
Matériau de l'extérieur vers l'intérieur	Ep. e	Rés. r	M. Sur. P	Cond. λ		
0 - Produits en céramique carreaux et dalles	0,030 m	0,0300 (m²·°C)/W	57,0000	1,0000 W/m.°C	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1 - Mortier de ciment	0,010 m	0,0071 (m²·°C)/W	22,0000	1,4000 W/m.°C	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2 - Sable sec	0,020 m	0,0333 (m²·°C)/W	26,0000	0,6000 W/m.°C	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3 - Béton plein	0,030 m	0,0171 (m²·°C)/W	66,0000	1,7500 W/m.°C	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4 - Entrevous - Lp de 12 à 13 cm	0,130 m	0,5652 (m²·°C)/W	167,7000	0,2300 W/m.°C	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5 - Lame d'air pour toiture de 55 à 300 mm	0,300 m	0,1400 (m²·°C)/W	0,0000	0,0000 W/m.°C	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6 - Carreaux de plâtre pleins	0,020 m	0,0571 (m²·°C)/W	18,0000	0,3500 W/m.°C	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Total	0,5400 m	0,8500 (m²·°C)/W	357,0000			

Figure 69:les différents composants de plancher entre étage (auteur,2025)

3.les différents composants de toiture :

Titre		Ep. e	Rés. r	M. Sur. P	Cond. λ	
toiture terrasse		0,6800 m	1,5126 (m²·°C)/W			
Matériau de l'extérieur vers l'intérieur	Ep. e	Rés. r	M. Sur. P	Cond. λ		
1 - gravillons	0,040 m	0,0333 (m²·°C)/W	72,0000	1,2000 W/m.°C	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1 - Cartons feutres	0,030 m	0,1304 (m²·°C)/W	30,0000	0,2300 W/m.°C	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3 - Polystyrène expansé	0,040 m	0,9302 (m²·°C)/W	0,5200	0,0430 W/m.°C	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3 - Béton caverneux	0,100 m	0,0714 (m²·°C)/W	170,0000	1,4000 W/m.°C	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4 - Entrevous - dalle de compression en béton courant	0,150 m	0,1500 (m²·°C)/W	147,6000	1,0000 W/m.°C	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5 - Lame d'air pour toiture de 55 à 300 mm	0,300 m	0,1400 (m²·°C)/W	0,0000	0,0000 W/m.°C	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6 - Carreaux de plâtre pleins	0,020 m	0,0571 (m²·°C)/W	18,0000	0,3500 W/m.°C	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Total	0,6800 m	1,5126 (m²·°C)/W	438,0000			

Figure 70:les différents composants de toiture(auteur,2025)

3.3. Définir les types des parois

On distingue 3 types des parois :

- Parois opaques : désignant les parois intérieures et extérieures opaques
- Surfaces vitrées : concernent les parois comprenant une surface vitrée, comme les fenêtres, les portes fenêtres comme notre cas
- Portes : désignant les parois intégrant une porte

Chapitre V : Simulation Cas d'étude

Les planchers entre les étages ainsi que la toiture sont considérés comme des parois horizontales opaques.

3.4.1. Création des parois :

Pour créer une paroi on clique sur ‘parois’ puis sur le bouton ‘nouvelle paroi’

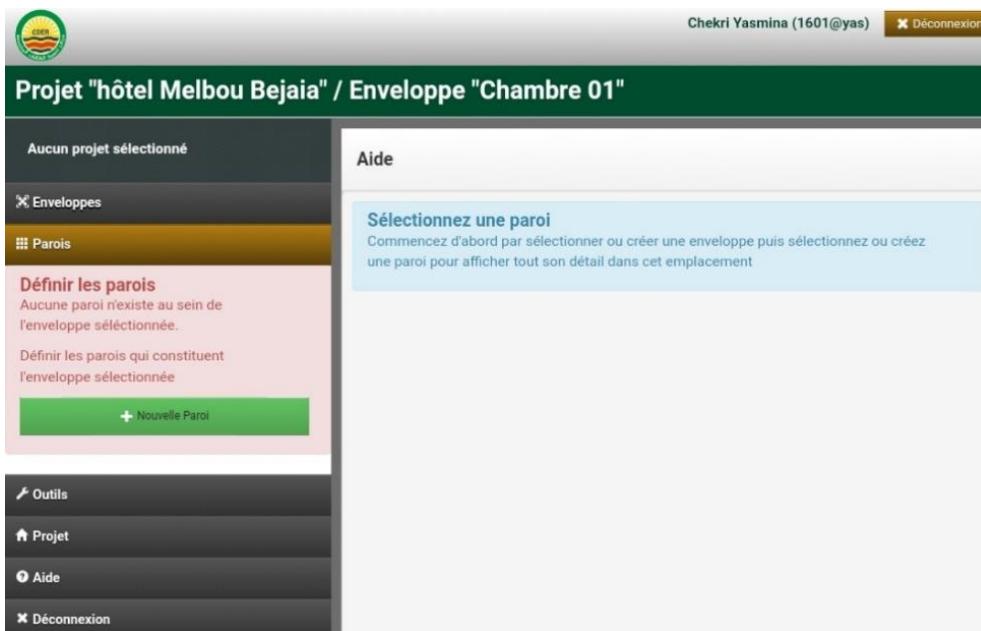


Figure 71:fenêtre pour la création de nouvelle paroi(auteur,2025)

Quand on définir tous les informations de paroi, une nouvelle fenêtre va apparaître.

Dans la chambre 01 on va commencer par la paroi extérieure comme suite :

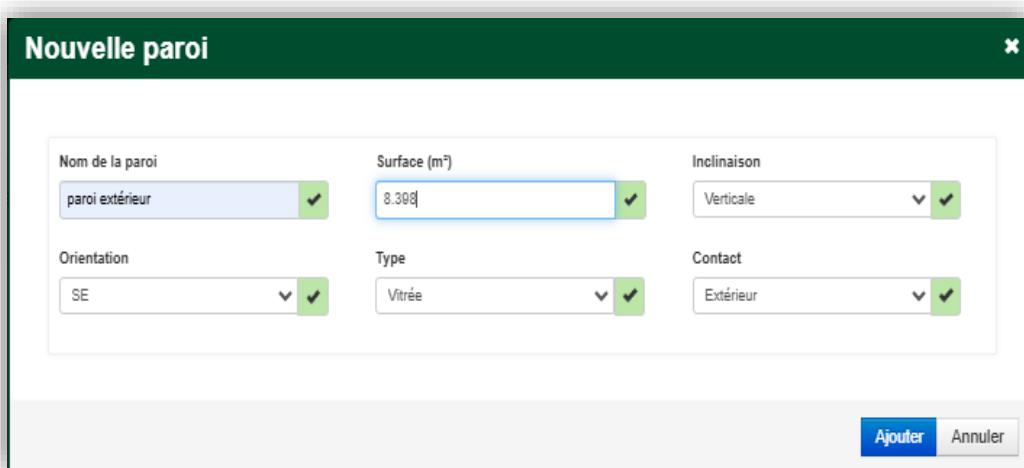


Figure 72:fenêtre de nouvelle paroi(auteur,2025)

Si deux chambres sont climatisées et maintenus à la même température, l'échange thermique à travers la cloison qui les séparent (même plancher entre étage) qui les séparer sera théoriquement nul. Par conséquent, ces parois ne contribuent pas aux pertes ou gains thermiques du système et ne nécessitent pas d'être prises en compte dans les calculs de déperditions ou de charges thermique.

1.parois vitrée :

On clique sur l'ongle ‘composition’, déférents caractéristiques de la paroi vitrée on peut les décrire :

- 1.composition
- 2.protection hiver
- 3.protection été
- 4.surface vitrés ensoleillées

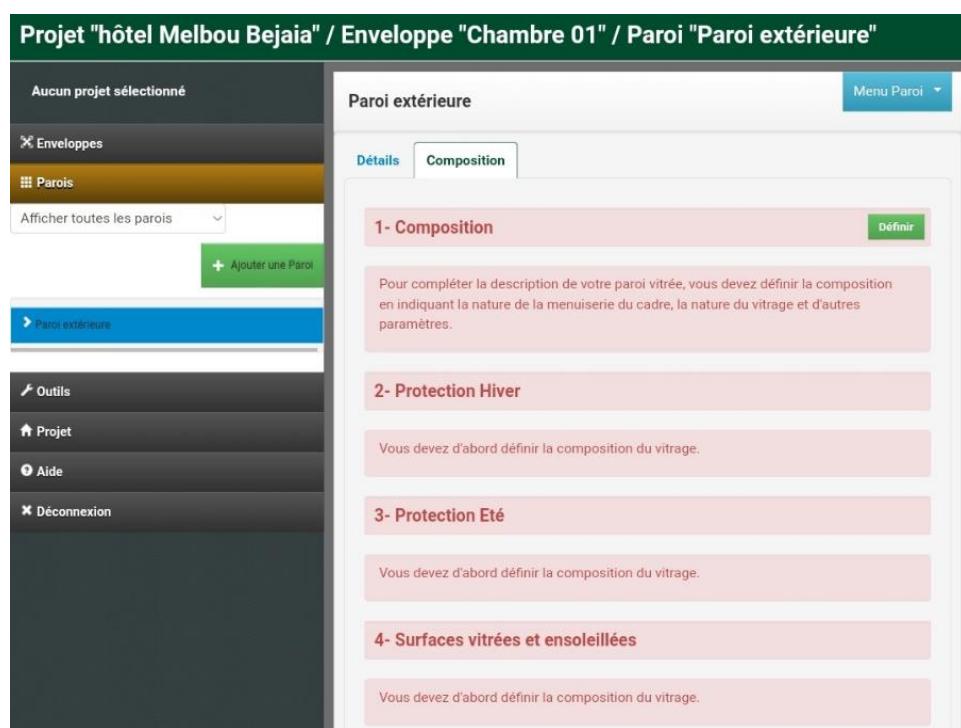


Figure 73:fenetre des différents caractéristiques de paroi vitrée
(auteur,2025)

1.1.Composition :

On clique sur ‘définir ‘une nouvelle fenêtre apparaitre pour définir la composition du vitrage

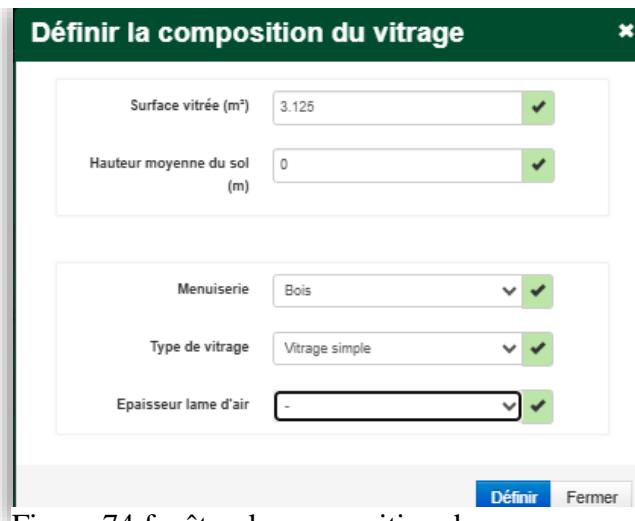


Figure 74:fenêtre de composition de vitrage(auteur,2025)

Chapitre V : Simulation Cas d'étude

1.3. Protection Hiver

On clique sur ‘définir’ dans la barre de la protection hiver, puis on définir les différentes protections de notre paroi vitrée en hiver



Figure 75:chambre d'hôtel Melbou(auteur,2025)



Figure 76:fenetre de définir la protection du d'hiver (auteur,2025)

1.4. Protection été :

On clique sur ‘définir’ dans la barre de la protection été, puis on définir les différentes protections de notre paroi vitrée en été

Chapitre V : Simulation Cas d'étude

Définir la protection du vitrage en été

Vitrage 1	Familles de vitrage	Verre
Verre coloré	bleu foncé (4 mm)	
Protection interne	Protection externe	
Type de protection Stores de toile	Type de protection Choisissez une valeur :	
Teinte opaque foné	Teinte Choisissez une valeur :	
Définir Fermer		

Figure 77:fenetere de définir la protection du vitrage été (auteur,2025)

1.5. Surface vitrés ensoleillées :

On clique sur définir puis cette fenêtre nous permet de récolter ces variables :

C : profondeur de décrochement horizontal

H : Hauteur de la surface vitrée

D : profondeur du décrochement vertical

B : largeur de la surface vitrée
F : distance entre la surface vitrée et le bord supérieur de la surface vitrée

B : largeur d'espace séparent espace vitrée du bord gauche de la surface vitrée

Surface ensoleillée

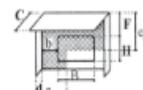
Surface vitrée : 3.125 m ²	
	
C (m) 2.55	D (m) 2.55
H sans le cadre (m) 2.2	F (m) 0.73
B sans le cadre (m) 1	b (m) 0.8
Ajouter Annuler	



Figure 78:fenetre de composant de surface ensoleillée (auteur,2025)

Figure 79:les balcons des chambres d'hôtel Melbou (auteur ,2015)

Chapitre V : Simulation Cas d'étude

Synthèse

Quand on termine de complètement des données de la paroi vitrée, l'onglet 'composition affiche une synthèse sur tous les compositions définies'

Détails	Composition						
1- Composition							
<table><tr><th>Description</th><th>KVn</th><th>Hauteur moyenne</th></tr><tr><td>Menuiserie en Bois / Vitrage simple / Epaisseur de la lame d'air -</td><td>Hiver : 5,0000 W/m².°C / Eté : 4,9700 W/m².°C</td><td>0,0000 m</td></tr></table>		Description	KVn	Hauteur moyenne	Menuiserie en Bois / Vitrage simple / Epaisseur de la lame d'air -	Hiver : 5,0000 W/m².°C / Eté : 4,9700 W/m².°C	0,0000 m
Description	KVn	Hauteur moyenne					
Menuiserie en Bois / Vitrage simple / Epaisseur de la lame d'air -	Hiver : 5,0000 W/m².°C / Eté : 4,9700 W/m².°C	0,0000 m					
2- Protection Hiver							
<table><tr><th>Résistance d'Occultation</th><th>Résistance de Voilage</th><th>Résistance des rideaux</th></tr><tr><td>0,0000 (m².°C)/W</td><td>0,0000 (m².°C)/W</td><td>0,0300 (m².°C)/W</td></tr></table>		Résistance d'Occultation	Résistance de Voilage	Résistance des rideaux	0,0000 (m².°C)/W	0,0000 (m².°C)/W	0,0300 (m².°C)/W
Résistance d'Occultation	Résistance de Voilage	Résistance des rideaux					
0,0000 (m².°C)/W	0,0000 (m².°C)/W	0,0300 (m².°C)/W					
3- Protection Eté							
<table><tr><th>Protection du vitrage</th><th>Protection intérieure</th><th>Protection extérieure</th></tr><tr><td>FS: 0,6000</td><td>FS: 0,4500</td><td>FS: 1,0000</td></tr></table>		Protection du vitrage	Protection intérieure	Protection extérieure	FS: 0,6000	FS: 0,4500	FS: 1,0000
Protection du vitrage	Protection intérieure	Protection extérieure					
FS: 0,6000	FS: 0,4500	FS: 1,0000					
4- Surfaces vitrées et ensoleillées							
<table><tr><th>Surface vitrée</th><th>angle ψ</th><th>Surface ensoleillée</th></tr><tr><td>3,1250 m</td><td>126,5033 °</td><td>0,0000 m</td></tr></table>		Surface vitrée	angle ψ	Surface ensoleillée	3,1250 m	126,5033 °	0,0000 m
Surface vitrée	angle ψ	Surface ensoleillée					
3,1250 m	126,5033 °	0,0000 m					

Figure 80: fenêtre de synthèse des compositions (auteur, 2025)

Analyse Synthèse :

On observe que les valeurs de transmission thermique :

Hiver : 5,0006 w par $m^2 \cdot C^\circ$

Eté : 4,9700 w par $m^2 \cdot C^\circ$

Ces valeurs sont très élevées, ce qui reflète une très mauvaise isolation thermique

Dans la protection hiver la résistance d'occultation et voilage est $0,0000 m^2 \cdot C^\circ$ par w par contre résistance des rideaux et ça que on a est : $0,0300 m^2 \cdot C^\circ$ par w :

Cela montre que seule une très faible protection thermique est assurée en hiver, uniquement par des rideaux minimes.

L'absence d'occultation ou de voilage ne contribue donc pas à améliorer la résistance thermique. Il serait mieux d'ajouter des protections très efficaces

Dans la protection été le facteur solaire(FS) du vitrage est 0,6, FS intérieur est 0,4500 aussi FS extérieur 1,0000.

Un FS élevée (proche de 1) signifie que beaucoup de chaleur solaire est transmise à l'intérieur, la protection intérieur est atténuée un peu mais il ya n'y aucun protection extérieure efficace

Pour la surface vitrée et ensoleillées on a la surface vitrée est 3,1250 m² et l'angle Ψ(ψ) : 126,5033 et la surface ensoleillée est 0,0000 m² : malgré la surface vitrée existante, aucun

Chapitre V : Simulation Cas d'étude

surface n'est actuellement ensoleillée à cause des masques solaires (dessus on a un balcon avancé et l'avance latérale par mur), donc en hiver pas de gains solaires passifs donc notre porte fenêtre devient un point faible .et dans l'été une bonne protection contre la surchauffe ,mais uniquement par masques architecturales .

Même si l'ensoleillement est bloqué, il serait bon : d'améliorer notre vitrage pour réduire les pertes en hiver.

2.porte :

On clique sur 'ajouter une paroi' de même façon avec paroi vitrée, Puis on définit les différents composant de porte paroi :

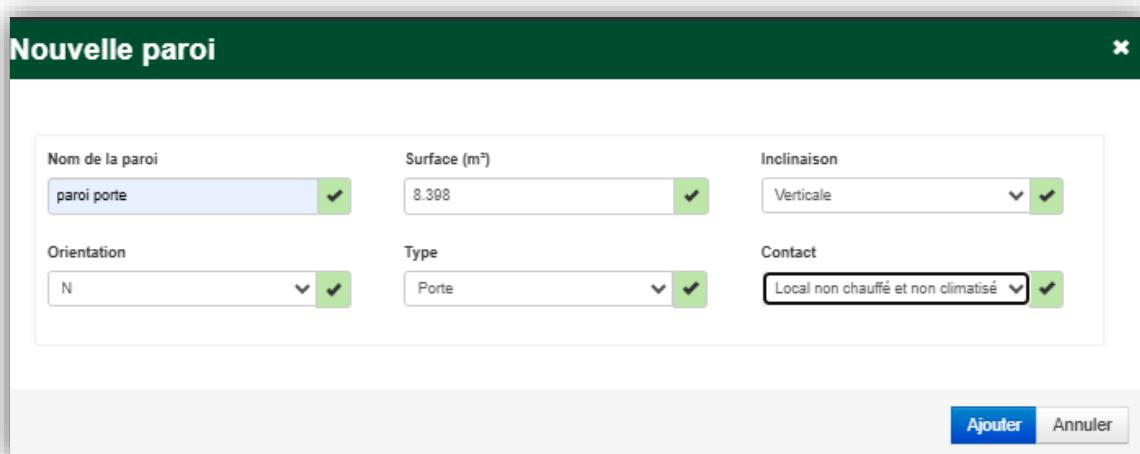


Figure 82:fenetre de nouvelle paroi 'paroi porte'(auteur,2025)



Figure 81:fenetre avant définir composition de paroi(auteur,2025)

Chapitre V : Simulation Cas d'étude

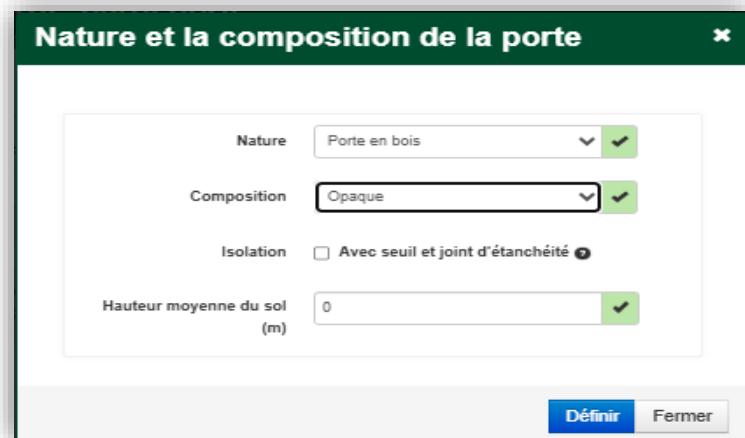


Figure 83:fenêtre de composition de la porte(auteur,2025)

3.1. Local adjacent : local adjacent non climatisée et non chauffée

La paroi de la porte est en contact avec un local non climatisée et non chauffée il est donc nécessaire de la définir

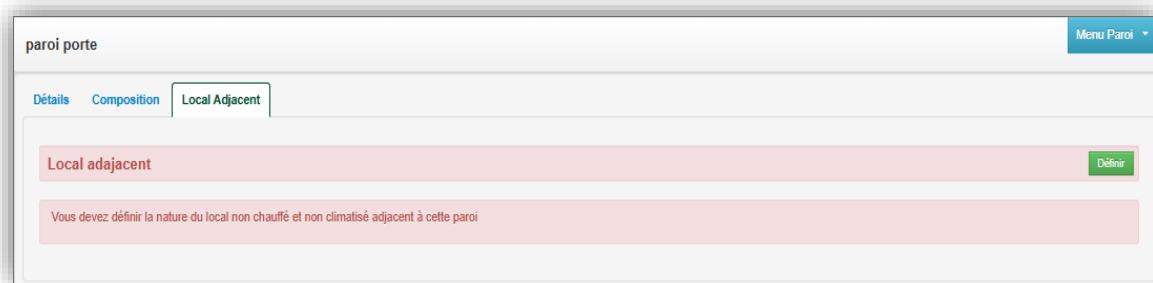


Figure 84:fenetre avant définir local adjacent(auteur,2025)



Figure 85:fenetre définir le local adjacent(auteur,2025)

Chapitre V : Simulation Cas d'étude

De la même façon que l'on définit la paroi de la porte et la paroi vitrée, on définira le plancher entre étages, la toiture, et les parois opaques si elles existent dans les autres chambres (chaque cas étant spécifique), Puis on va les attacher avec le modèle qui le convient.

3.4. Renouvellement de l'air :

Sur la fenêtre de l'enveloppe en clique sur renouvellement d'air

Pour définir les paramètres et donnez relatifs au volumes et non pas aux parois

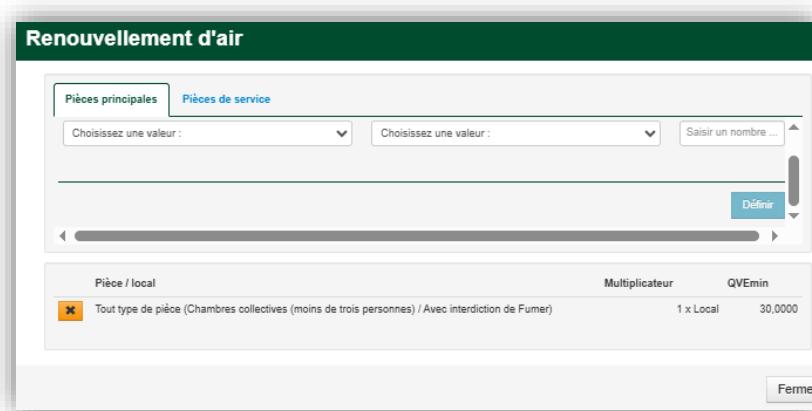


Figure 86:fenetre renouvellement d'air(auteur,2015)

3.5. Chauffage :

Sur la fenêtre d'enveloppe on clique sur chauffage pour définir le coefficient de surpuissance et Coefficient des pertes calorifiques :



Figure 87:fenêtre de chauffage de l'enveloppe(auteur,2025)

Chapitre V : Simulation Cas d'étude

3.6. Climatisation :

Sur la fenêtre toujours de l'enveloppe on clique sur climatisation et on définir le nombre d'occupant de la pièce, puissance d'éclairage et autres puissances dégagées

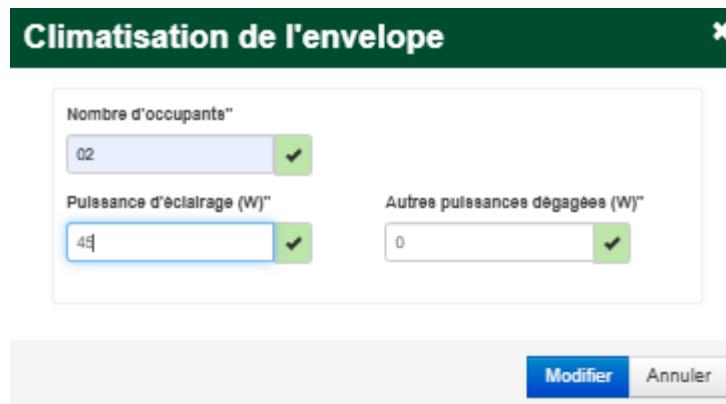


Figure 88:fenetre de définir la climatisation d'enveloppe (auteur,2025)

Résultat :

Pour définir notre résultat on clique sur ‘outils’ puis sur dimensionnement.



Figure 89:fenetre de définir le dimensionnement(auteur,2015)

tableau 25:résultat de notre simulation (auteur,2025)

Enveloppe	Puissance de chauffage nécessaire	Puissance de climatisation nécessaire
chambre 1	2,5 kW	1,24 kW
chambre 02	4,1 kW	2,00 kW
chambre 03	3,0 kW	1,49 kW
chambre 04	2,9 kW	1,48 kW
chambre 05	2,5 kW	1,33 kW
chambre 06	2,6 kW	1,30 kW
chambre 07	4,1 kW	2,03 kW

4.Interprétation des résultats : la comparaison entre les puissances climatisation nécessaires et celles de notre cas d'étude :

Tableau 26:les différents puissances de climatisation réels et nécessaires(auteur,2025)

Chambre	Etage	Surface	Orientation	Puissance Climatisation De cas d'étude	Puissance climatisation Nécessaires

Chapitre V : Simulation Cas d'étude

01	1 ^{er} étage	12,00m ²	Sud-est	1,4kw	1,24kw
02	2 ^{ème} étage	14,50m ²	Sud-ouest	1,4kw	2,00kw
03	3 ^{ème} étage	13,40m ²	Sud	1,4kw	1,49kw
04	4 ^{ème} étage	13,90m ²	Nord-ouest	1,4kw	1,46kw
05	1 ^{er} étage	11,00m ²	Nord	1,4kw	1,33kw
06	2 ^{ème} étage	10,00m ²	Nord-est	1,4kw	1,30kw
07	5 ^{ème} étage	13,90m ²	Nord-ouest	2,2kw	2,03kw

Tableau compare les puissances de climatisation nécessaires à celles observés dans le cas réel pour différentes chambres d'hôtel, en fonction de plusieurs paramètres : orientation, étage, surface, et d'autre d'autres paramètres que l'on trouve sur l'application :

On remarque que les puissances de climatisation réelle sont similaires du 1^{er} étage au 4^{ème} étage, sans prendre en compte les déférents paramètres, on observe aussi une différence entre les puissances de climatisation réelle et celles réellement nécessaires :

- Dans les chambres 01,05,06 : les puissances réelles sont supérieures à la puissance nécessaire ce qui entraîne un risque de sur-refroidissement ou surchauffe, causant des fluctuations de température et un inconfort thermique
- Dans les chambres 02,03,04,07 :la puissance réelle est inferieur a la puissance nécessaire ce qui signifié une température ambiante insuffisante et incapacité à assurer un confort thermique optimale

Synthèse

Donc la différence entre ces puissances résulte un contrôle insuffisant de ce système et un inconfort thermique

Et ce contrôle c'est le contrôle classique et ce type de régulation ne tient pas compte en temps réelle des variations de températures intérieur et aucun ajustement automatique n'est fait pour maintenir un équilibre thermique ou de manière précise pour Controller et réguler ces risques que on a cité dans l'analyse de tableau , et ces risques on le trouve presque dans tous les établissements hôteliers et donc une sensation de l'individu de l'inconfort .malgré que on dit souvent dans les hôtels que : le confort du client ,c'est notre confort !, et ce confort n'est pas garanti quand le système HVAC (chauffage ,ventilation ,climatisation) de manière générale mal contrôle .et notre hypothèse de notre problématique actuelle sont confirmer, et les techniques intelligents ou la transition de techniques classiques vers l'intelligents en passage de techniques avances c'est la meilleur solution pour contrôle systèmes HVAC parce que ils ont bases sur un système automatiques sur l'envie de l'individu et comme ça garantir un confort thermique optimale pour les usagers hôteliers et une gestion efficace de l'énergie .

Les Recommandations :

Une approche combinant des solutions architecturales et des solutions techniques par la régulation thermique et le contrôle intelligente permet de minimiser la différence entre la puissance réelle et la puissance nécessaire. Cela améliorer le confort thermique et réduit la consommation énergétique :

Chapitre V : Simulation Cas d'étude

1.Les solutions architecturales :

Selon la thèse de Bâtier Cécile (2016) qui parle sur plusieurs stratégies architecturales pour un meilleur confort thermique, on a intégré quelque solution selon notre besoin :

Façade double peau et double vitrage (selon le besoin)

Comme une protection contre la chaleur réduit le rayonnement solaire direct sur la façade intérieur et limite les variations de température à l'intérieur du bâtiment (Batier C., mars 2016), dans notre cas on propose que dans les RDC il serait par un double peau et dans les espaces d'hébergement on va faire un double vitrage .

Matériaux innovants : matériaux à changement de phase :

Pour limiter l'inconfort, les industriels développent des matériaux innovants capables d'absorber de la chaleur et de la restituer quand la température diminue. Ce sont les matériaux à changement de phase (M.C.P.) : c'est-à-dire qu'ils changent d'état physique (solide-liquide et inversement) à partir d'une température donnée. Une partie de la chaleur accumulée au sein du logement est absorbée par le matériau lorsque la température ambiante dépasse la température de fusion (la journée dans un bâtiment en été). Elle est restituée lorsque la température ambiante descend en dessous de la température de solidification (la nuit en été), pour notre cas on va intégrer une enduite MCP (matériau a changement de phase) à l'intérieur des chambres pour une meilleure régulation thermique

Végétalisation de la façade ou du pied de façade :

La végétalisation de la façade ou de pied de façade permet de créer un microclimat et améliore l'isolation thermique, en été par la réduction de température de la façade et bloque le rayonnement solaire, en hiver limite les déperditions de chaleur aussi l'amélioration de la qualité d'air

L'isolation thermique extérieur sous enduit

Selon l'entreprise français La maison des travaux (2023) le système d'isolation thermique par l'extérieur sous enduit (dits ETICS) représentant la plus grosse part du marché de l'isolation, car ce sont les moins couteux, avec du polystyrène expansé comme isolant, et ça on peut l'appliquer dans notre cas dans les murs opaques.

La mise en place des protections solaires : (Thellier & Frédery, 2019)

On propose nous pour notre cas les Auvents pour diminuer le rayonnement solaire direct sur les vitrages des portes fenêtres extérieures des chambres (chaque un a son cas, dans les chambres que on ne trouve pas des masques solaires architecturales)

Utilisation une meilleure ventilation :

vise à garantir un confort thermique par l'alimentation en air neuf pour les occupants et contrôle de l'humidité intérieur pour éviter une atmosphère trop sèche (Wullens, 2006),Et selon notre cas d'étude Ventilation naturelle par les ouvertures dans les espaces d'hébergement et ventilation mécanique simple flux par extraction Surtout dans les espaces des salles de bains des chambres pour garantir un confort thermique des usagers .

Chapitre V : Simulation Cas d'étude

L'utilisation des panneaux solaires photovoltaïques :

On propose aussi des panneaux solaires photovoltaïques sur la terrasse inaccessible d'hôtel Pour fournir l'électricité aux systèmes HVAC

2.Les solutions techniques :

Offrir un contrôle intelligent des système HVAC par la transition des systèmes classiques vers des systèmes intelligents :

Nous opterons pour une technologie avancée appelée MCP (Model Predictive control), ce système est similaire au régulateur PID classique, mais s'en distingue par son aspect anticipatif, c'est-à-dire sa capacité à prévoir les erreurs avant qu'elles ne se produisent.

Nous utiliserons cette technologie pour faire une transition vers les systèmes intelligents par un système automatique pour une régulation thermique selon le climat ça veut dire selon la sensation de l'individu, ce système basées sur des capteurs de la présence, du luminosité et d'humidité, reliés à des actionnaires tel que des régulateurs thermiques des stores automatiser, ce dernier permettront de réguler la température des pièces en temps réelle directement et indirectement en contrôlent les facteurs qui affecte son évolution :luminosité, humidité ,aération.. Afin d'optimiser le confort thermique.

Conclusion :

La notion de confort thermique revêt une importance particulière dans les établissements hôteliers ,ou le bien être des usagers est une priorité.sil les solutions actives ,comme les systèmes HVAC ,sont couramment utilisés dans la vie quotidienne ,leur efficacité dépend d'un contrôle approprié et intelligent et ce chapitre nous a permis de confirmer les propos abordés précédemment .et d'Un autre côté le confort thermique ne peut pas être apparaître sans des solutions architecturales avant tous ,donc la combinaison entre les solutions techniques et les solutions architecturales c'est la meilleure solution.

Conclusion générale

Conclusion générale :

Le confort thermique constitue aujourd’hui un critère fondamental dans la qualité des espaces intérieurs, en particulier dans les établissements hôteliers où ‘l’expérience client repose en grande partie sur le bien être ressenti

Ce mémoire s’est inscrit dans cette problématique en abordant la question de la régulation thermique et le contrôle intelligent des systèmes HVAC, avec un focus particulier sur système de climatisation dans les espaces d’hébergement dans les hôtels

Tout au long de ce travail ,il a été démontré que les systèmes HVAC jouent un rôle essentiel dans la gestion du confort thermique ,toutefois leur performance ne repose pas uniquement sur leur présence ,mais surtout sur la manière dont ils sont contrôles et régules ,et selon notre recherche et étude , les systèmes intelligents par le contrôle automatiques selon la sensation d’individu est la solution la plus efficace pour le contrôle des systèmes HVAC et ça avec la combinaison des approches architecturales pour un meilleur confort pour l’usager, aussi ce mémoire a permis de mettre en lumière la nécessite de intégrer ces techniques intelligent dans la vie quotidienne notamment dans l’Algérie en général dans le secteur hôtelier ,selon notre comparaison entre les systèmes intelligents et classiques qui en cœur d’utilisation pour le contrôle ,on passent par les systèmes avancées ,on trouve que un contrôle total il suffit par un contrôle intelligent .et notre simulation de cas d’étude ‘chambres de différents orientation a l’Hôtel de melbou preuve nos recherches aussi notre hypothèse. Et tout ça comme nous avons dit ça fait avec une bonne conception architecturale comme une base de confort thermique. Parce que la régulation thermique ne peut être efficace que si elle s’appuie sur une approche globale intégrant à la fois technique, l’usage et la conception de l’espace

Ce mémoire nous permis de toucher plusieurs aspects et nos solutions proposées permet d’avoir plusieurs objectifs de garantir un meilleur confort thermique pour le client hôtelier, de réduire la consommation énergétique, et donner une meilleure identité pour l’hôtel utilisé.

Cette recherche invite à élargir la vision sur d’autre recherche sur la méthode de contrôle intelligent de ces systèmes, elle ouvre aussi des perspectives vers une meilleure coordination entre architecture, technique et expérience utilisateur, dans le but d’optimiser le confort thermique dans les hôtels aujourd’hui et demain.

En conclusion notre thématique ‘régulation thermique et contrôle intelligent des systèmes HVAC’ devient plus claire le confort thermique est le résultat d’une bonne régulation thermique et une bonne régulation thermique est par un contrôle intelligent des systèmes HVAC et tout ça pour garantir un meilleur confort pour l’usager hôtelier et d’optimiser la consommation énergétique.

Bibliographie

Bibliographie

- Adeline. (2019, avril 04). *Découvrir le climatiseur monobloc*. Récupéré sur TotalEnergies: <https://www.totalenergies.fr/particuliers/parlons-energie/dossiers-energie/chauffage-et-climatisation/dcouvrir-le-climatiseur-monobloc>
- Air Ambiance . (2024, 02 08). *Qualité de l'Air avec le HVAC* . Récupéré sur Air Ambiance : <https://www.airambiance.com/revolutionner-lhotellerie-ameliorer-le-confort-et-la-qualite-de-lair-avec-le-hvac>
- Aline, B. (2001, juin 26). *les bienfaits de la climatisation*. Consulté le janvier 23, 2025 , sur l'orient-Le Jour: https://www.lorientlejour.com/article/341465/Les_bienfaits_de_la_climatisation.html#:~:text=La%20climatisation%20permet%20d'obtenir,externe%20tant%20bien%20qu'interne.
- AlloMarcel. (2015, novembre 24). *Connaissez-vous l'histoire du Chauffage ?* Consulté le janvier 18, 2025, sur AlloMarcel: <https://blog.allomarcel.com/2015/11/connaissez-vous-lhistoire-du-chauffage/#:~:text=L'histoire%20du%20chauffage%20d%C3%A9marre,sert%20aussi%20%C3%A0%20se%20chauffer>.
- Amezzane , i., Fakhri, y., & EL Aroussi, m. (2016, july). Stratégies de contrôle de la température et de la consommation d'énergie dans les systèmes CVC : synthèse bibliographique. kentira, science , maroc .
- Amezzane, I., Fakhr, Y., & El Aroussi , M. (2016). Stratégies de contrôle de la température et de la consommation d'énergie dans les systèmes CVC : synthèse.
- Antoine. (2024, janvier 20).
- Antoine. (2024, decembre 02). *Le guide des différentes sources d'énergie pour votre chauffage*. Consulté le janvier 18, 2025, sur hellio: <https://particulier.hellio.com/blog/conseils/sources-energie-chauffage>
- Batier, C. (mars 2016, mars 14). Confort thermique et énergie dans l'habitat social en milieu méditerranéen : d'un modèle comportemental de. MONTPELLIER, MÉCANIQUE, GÉNIE CIVIL ET ARCHITECTURE, france .
- Batier, C. (2016).
- Batier, C. (2016). confort thermique et ènergie dans l'habitat social en milieu mèditerranèen . 41. Montpellier, Mècanique,Ginie civil et architecture, france.
- BERGNER, A. (2017, septembre 10). climatisation. *DIFFÉRENTS SYSTÈMES DE CLIMATISATION*. Consulté le avril 23, 2025
- Berthou , T., STABAT, a., SALVAZET, R., & MARCHIO, D. (2013). CONTRÔLE OPTIMAL DU CHAUFFAGE DES BÂTIMENTS : UNE ÉCOLE PRIMAIRE ÉTUDE DE CA. paris , france
- Caciolo, M. (2011, apr 5). analyse expèrimentale et simulation de la ventilation naturelle mono-facade pour le rafraichissement des immeubles de bureaux . paris , Génie des procèdes , france .

Bibliographie

- Candas, V. (2000, october 10). confort thermique. p. 1_2.
- CEDEO. (2018, septembre 17). *Chaudière : Définition, types, fonctionnements et rendements*. Consulté le janvier 22, 2025 , sur CEDEO: <https://www.cedeo.fr/conseils/chaudiere-definition-types-fonctionnements-et-rendements>
- Clim+. (2021, mars 19). *Système de chauffage et climatisation : Les Groupes Eau Glacée*. Consulté le avril 23, 2025, sur CLIM+: <https://www.climplus.com/conseils/nouveau-systeme-de-chauffage-et-climatisation-les-groupes-eau-glacee#:~:text=C'est%20un%20syst%C3%A8me%20de,compresseur%20%2B%20%C3%A9vaporateur%20%2B%20condenseur>.
- Connors, L. (2018, mai 15). *Comment optimiser le confort thermique dans un hôtel*. Consulté le 02 14, 2025, sur HotelTechReport: <https://hoteltechreport.com/fr/news/how-to-optimize-thermal-comfort-in-a-hotel#:~:text=Normes%20de%20confort%20thermique%20bas%C3%A9es%20sur%20le%20type%20de%20chambre&text=Le%20restaurant%20de%20l'h%C3%B4tel,%C2%B0en%20ces%20saisons>.
- Dalkia Froid Solutions. (2024, janvier 29). *Climatisation VRV / DRV : une solution qui allie confort et efficacité énergétique*. Consulté le avril 04, 2025, sur Dalkia Froid Solutions: <https://www.dalkiafroidsolutions.com/climatisation-vrv-drv/>
- De James Atkinson, Y.Chartier , C L Pessoa -Silva , P.Jensen, Y.Li , & W H Seto . (2011). Dans Y. C.-S. De James Atkinson, *utilisation de la ventilation naturelle pour lutter contre les infections en milieu de soins* (p. 09).
- Dhalluin, A. (2012). Etude de stratégies de ventilation pour améliorer la. La Rochelle, Génie Civil, france.
- Dr R.Cantin, B. Moujalled, & Dr HDR G. Guarracino. (2005). *Complexité du confort thermique dans les bâtiments*. paris: 6ème congrès Européen de Science des Systèmes.
- Eddine, D. I. (2017). simulation du cycle de la machine frigorifique NH3,CO2 a cascade l'aide du logiciel EES. ginie mecanique, algerie. Consulté le 14 06, 2025
- Eloise. (2025). *Les principes économies de la régulation thermique*. Consulté le janvier 23, 2025 , sur la maison naturelle .com: <https://www.la-maison-naturelle.com/blog/les-principes-economies-de-la-regulation-thermique/>
- enGie home services. (2023, novembre 29). *Qu'est ce qu'un climatiseur split ?* Consulté le janvier 22, 2025 , sur enGies home services: <https://particuliers.Engie.fr/depannages-services/conseils-equipements-chauffage/conseils-installation-climatisation/fonctionnement-climatisation.html>
- Établissement Lebel. (2020, novembre 13). *Les différents systèmes de climatisation*. Consulté le 04 23, 2025, sur Les différents systèmes de climatisation -Établissements Lebel: <https://sarlebel.fr/2020/11/13/les-differents-systemes-de-climatisation/>
- FTH SYNERGIE. (2019, septembre 30). *Tout savoir sur les groupes d'eau glacée*. Consulté le AVRIL 23, 2025, sur FTH SYNERGIE: <https://www.fthsynergie.com/blog/2019/09/30/tout-savoir-sur-les-groupes-d-eau-glacée>
- Futura. (2012, février 23). *Chauffage au gaz : qu'est-ce que c'est ?* Consulté le janvier 22, 2025 , sur Futura: <https://www.futura-sciences.com/maison/definitions/maison-chauffage-gaz-10583/>
- Garanka. (2024, 09 12). *Comment régler son chauffage au sol ?* Consulté le janvier 22, 2025, sur Garanka pour un chauffage de qualité: <https://www.garanka.fr/2022/08/11/reglages-chauffage->

Bibliographie

au-
sol/#:~:text=Fonctionnement%20chauffage%20au%20sol%20%3A%20Le,homog%C3%A8ne
%20dans%20toute%20la%20pi%C3%A8ce.

Garankapour un chauffage de qualité. (2025, janvier 08). *le fonctionnement de la climatisation multi-split*. Consulté le janvier 23 , 2025 , sur Garankapour un chauffage de qualité.

Gwerder, M., & Tödtli , J. (2005, october). PREDICTIVE CONTROL FOR INTEGRATED ROOM AUTOMATION

j, w., & T.F. s. (2001). Review of thermostat time constant on temperature control and energy consumption.

J. O., & JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 33. (2019, mai 19). JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 33.

Joy, A. T. (2024, février 09). *Les bases du HVAC -Un guide complet*. Récupéré sur critères de selection et assistants HVAC: <https://tameson.fr/pages/bases-hvac>

KACHI FATIMA, Z. (2017, juin). Architecture écologique et tourisme balnéaire. Geulma.

Kim, Y. (2013). etude numérique et expérimentale d'une pompe a chaleur thermoélectrique innovante basée sur une conception intègrée et la technique du jet impactant . Grenoble, Génie civil et science de l'habitat, france .

Koffi, J. (2009, novembre 19). ANALYSE MULTICRITERE DES STRATEGIES DE VENTILATION EN MAISONS INDIVIDUELLES. La Rochelle, GENIE CIVIL, france.

Lacalle, E. (2022, decembre 01). *Les différents types d'hôtels et leur classification*. Récupéré sur MEWS: <https://www.mews.com/fr/blog/types-de-classification-des-hotels>

Landau, L. (2011). Adaptive control. london .

Larrivè, R. (1992). Hotels . Dans R. Larrivè.

Lipon, G. (2023, mai 19). *La climatisation à eau glacée : qu'est-ce que c'est ?* Consulté le avril 23, 2025 , sur Espace Aubade: https://www.espace-aubade.fr/blog/climatisation/comment-fonctionne-la-climatisation-a-eau-glacee.html?srsltid=AfmBOor_q3_YnduLTbj2GSECJ4VwbkU1Ux0307RnSVn1PNOaeUl2djAK

Mahdi , M., & KAOULA , i. (2023). Conception d'un système de Gestion intelligente(IoT) de confort thermique des batiments. blida , Département d'Électronique, algerie .

Matinet , C., & Meyer , J. (2016). Travail à la chaleur et confort thermique.

Mirinejad, H., Conn Welch, K., & lucas, s. (2012). Un examen des techniques de contrôle intelligent dans systeme cvc.

Mirinejad, H., Sadati, S., Ghasemian, M., & Torab, H. (2008). Control Techniques in Heating, Ventilating and Air Conditioning (HVAC) Systems. *Computer Science*.

Morosan, P.-D. (2011). Commande prédictive distribuée. Approches appliquées. PHYSIQUE.

Moujalled, B. (2007). Modélisation dynamique du confort thermique dans les bâtiments naturellement ventilés. Lyon, Génie Civil, france.

Bibliographie

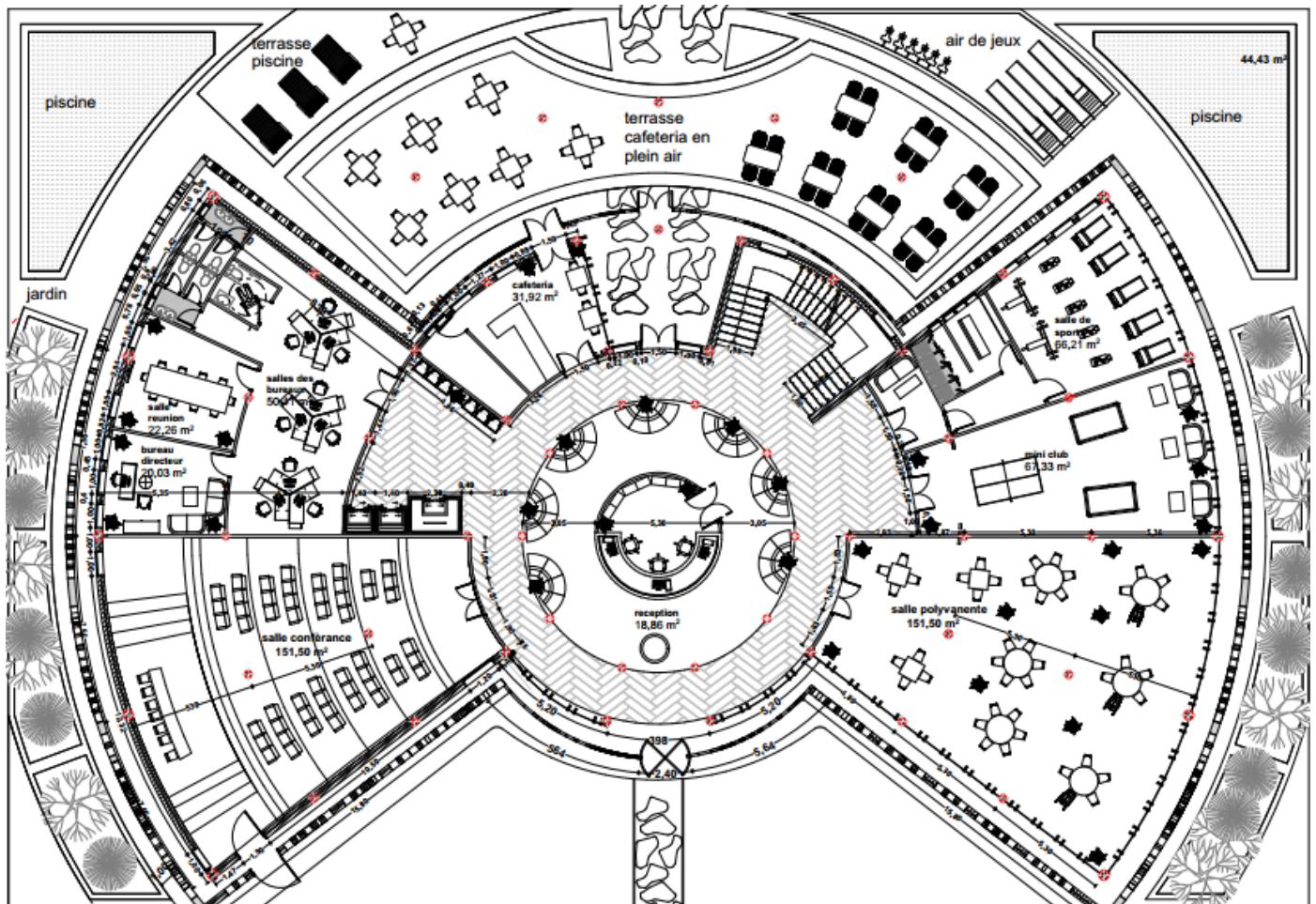
- Pieszko, T. (2016, Decembre 21). *Histoire de l'hôtellerie*. Consulté le 02 14, 2025, sur CUSTOMER ALLIANCE: https://www.customer-alliance.com/fr/articles/histoire_de-l-hotellerie/
- Rahmeh, M. (2014). Etude expérimentale et numérique des performances de la ventilation mécanique par insufflation :qualité de l'air intérieur dans les bâtiments résidentiels. la rochelle , Génie Civil , france .
- Renè, R. D. (2020, novembre 10). etude de confort thermique d'un bâtiment en briques artisanales d'argile cuite naturellement ventilée:détermination de l'orientation optimale . antananarivo, technologie des poudres divisées et écobâtiments, Madagascar.
- Rouault, F. (2014). Système intégré de rafraîchissement d'air pour le bâtiment à base de matériaux à changement de phase. Génie des procédés., france.
- Roulet, C.-A. (2008 , mai). conditions de confort et de logement sain . *parametres influant le confort thermique*, p. 5.
- safetyculture. (2024, janvier 15). *Systèmes CVC*. Consulté le janvier 18, 2025 , sur safetyculture: <https://safetyculture.com/fr/themes/systemes-cvc/>
- Sami, T. (2017, septembre 17). *LA CLIMATISATION VRF-DRV*. Consulté le avril 24, 2025, sur U_3ARC: <https://www.u-3arc.org/images/uploads/webinar-docs/vrf-french.pdf>
- Tchakblo, A. G. (2021, juin 09). Etude du confort et de gestion d'un ensemble hétérogène de dispositif de collecte, de stockage et distribution d'énergie renouvelable pour l'habitat . PARIS-EST CRETEIL, Science de l'ingénieur , france .
- Thellier, F., & Frèdèry, L. (2019, Jul 11). le confort thermique dans les bâtiments .
- TotalEnergies. (2024, septembre 13). *Comment choisir son système de chauffage ?* Consulté le janvier 18, 2025, sur expertise rénovation: <https://www.expertise-renovation.com/chauffage/>
- Wang, S., & Zhenjun, M. (2008, janvier). supervision et contrôle optimal des bâtiments Systèmes CVC : un aperçu.
- Wullens, S. (2006, Feb 02). Étude numérique de la ventilation naturelle ,mise en oeuvre d'un modèle fin dans une simulation de thermique de bâtiment. Grenoble, Génie civil et sciences de l'habitat , france .
- XPair. (s.d.). *chauffage*. Consulté le janvier 18, 2025, sur XPair: <https://www.xpair.com/lexique/definition/chauffage.htm>

Annexes

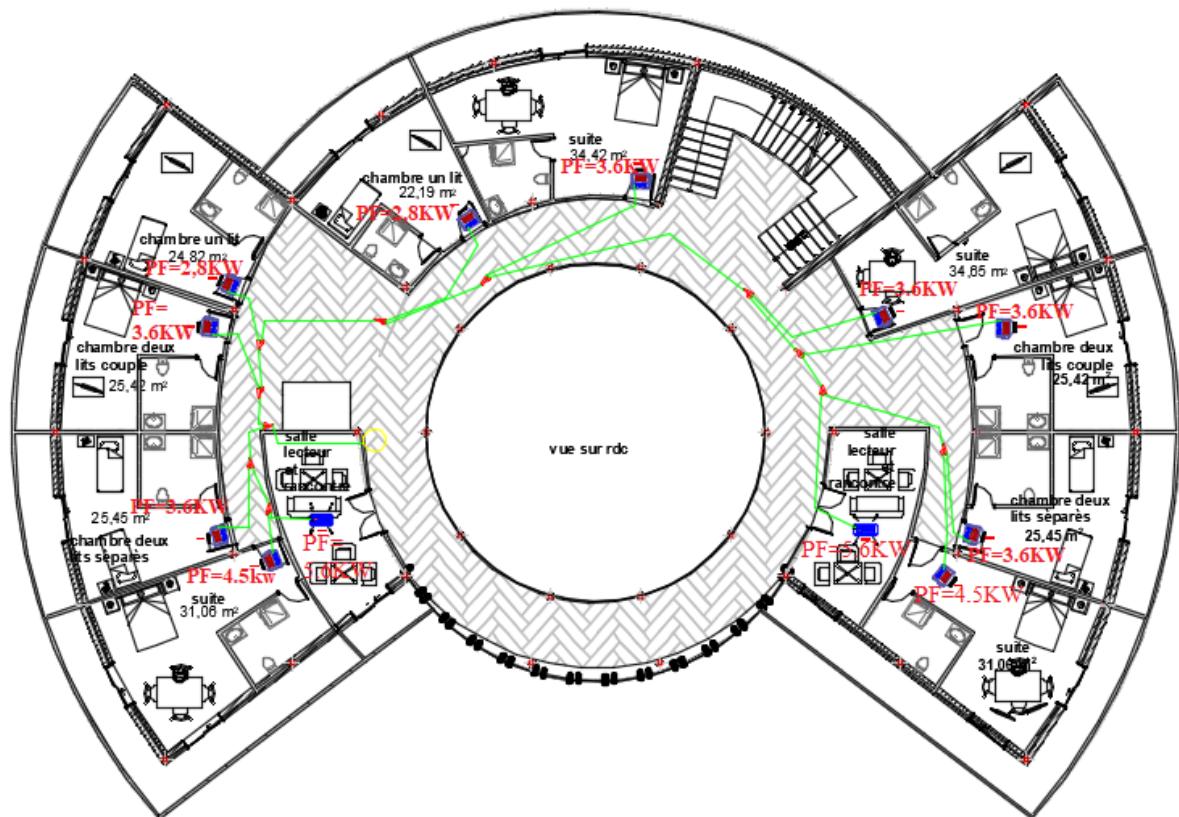
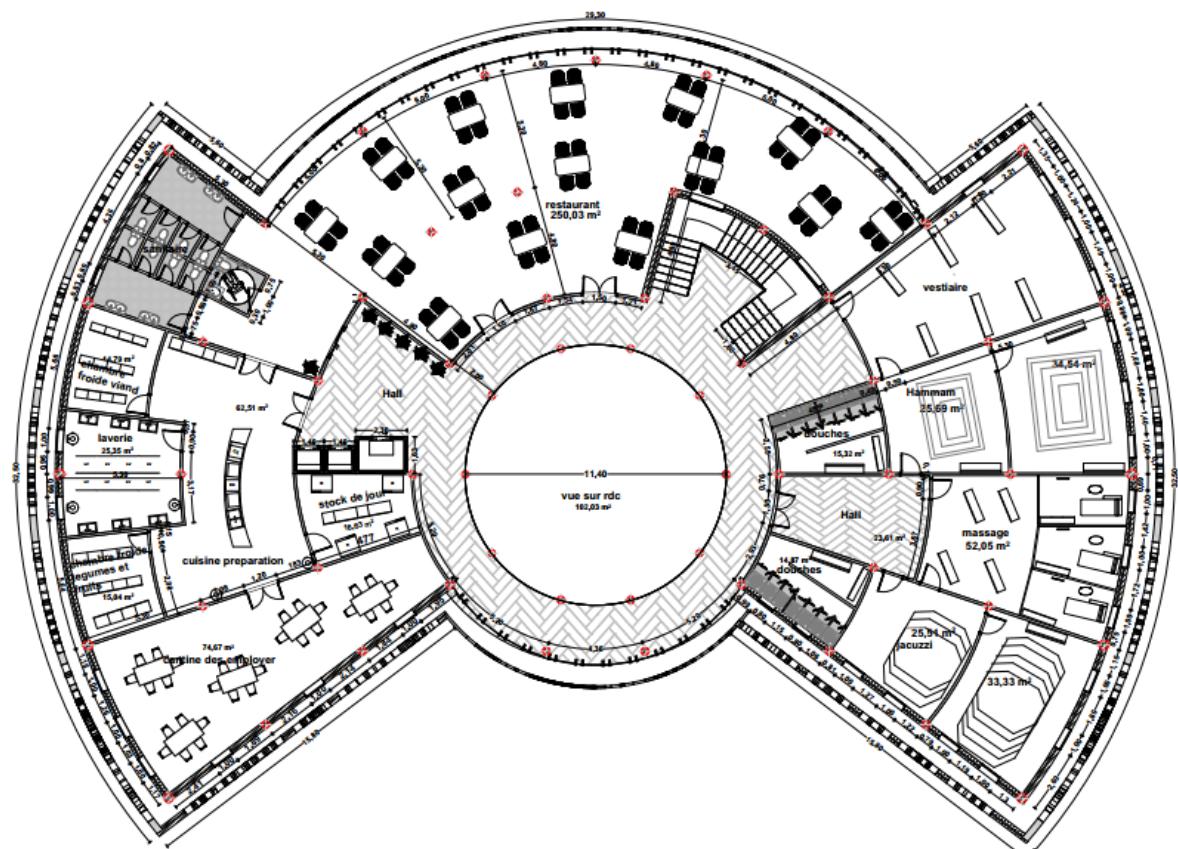
ANNEXES

- ⊕ Dans notre prototype nous avons intégrée l'ensemble des solutions évoquées afin d'assurer un meilleur confort thermique et qui a implanté sur un terrain situé en lisière de forêt, à proximité de la mer, ce qui permet un climat intérieur offrir un confort pour les usagers

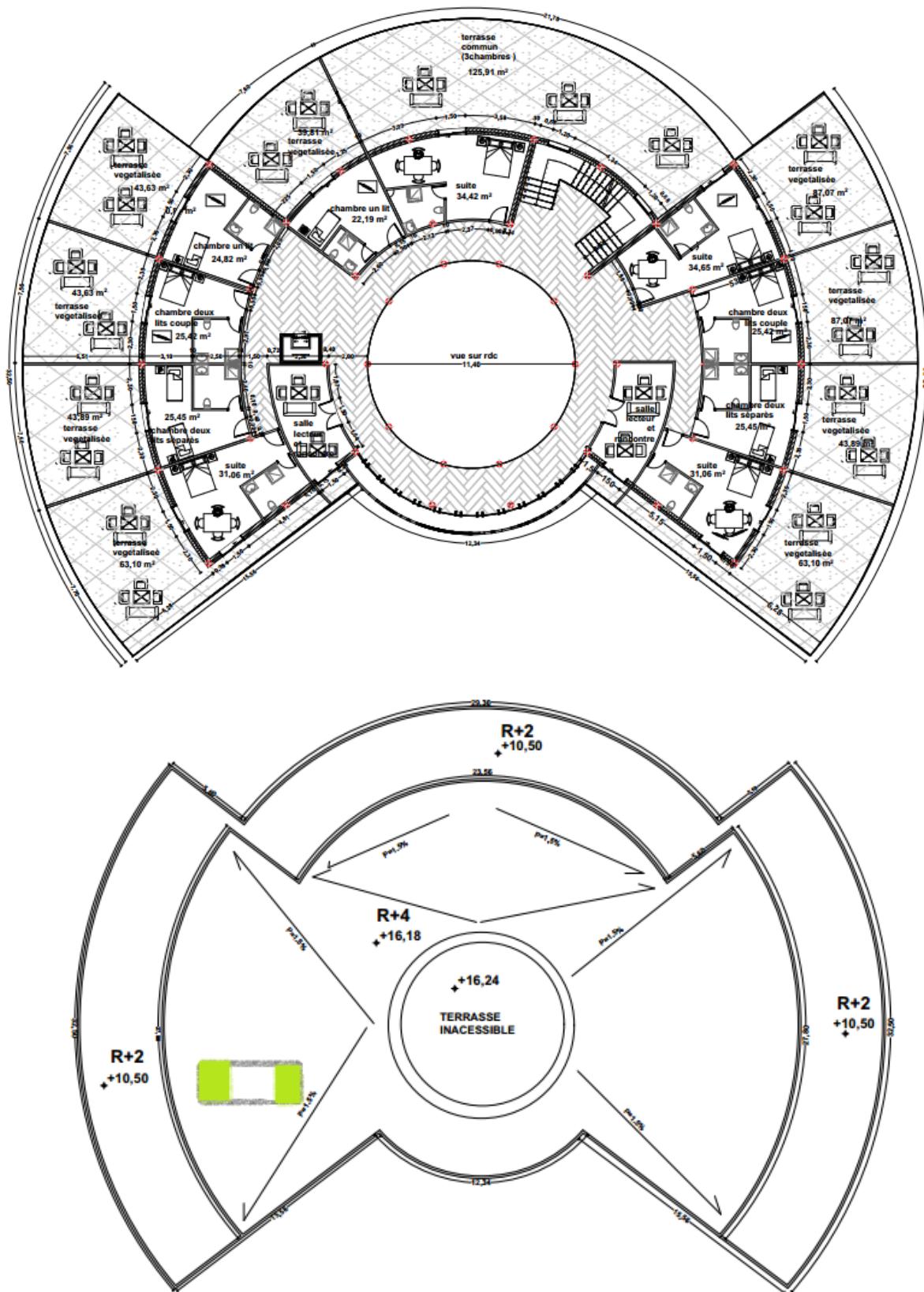
Les différents plans de projets :



ANNEXES

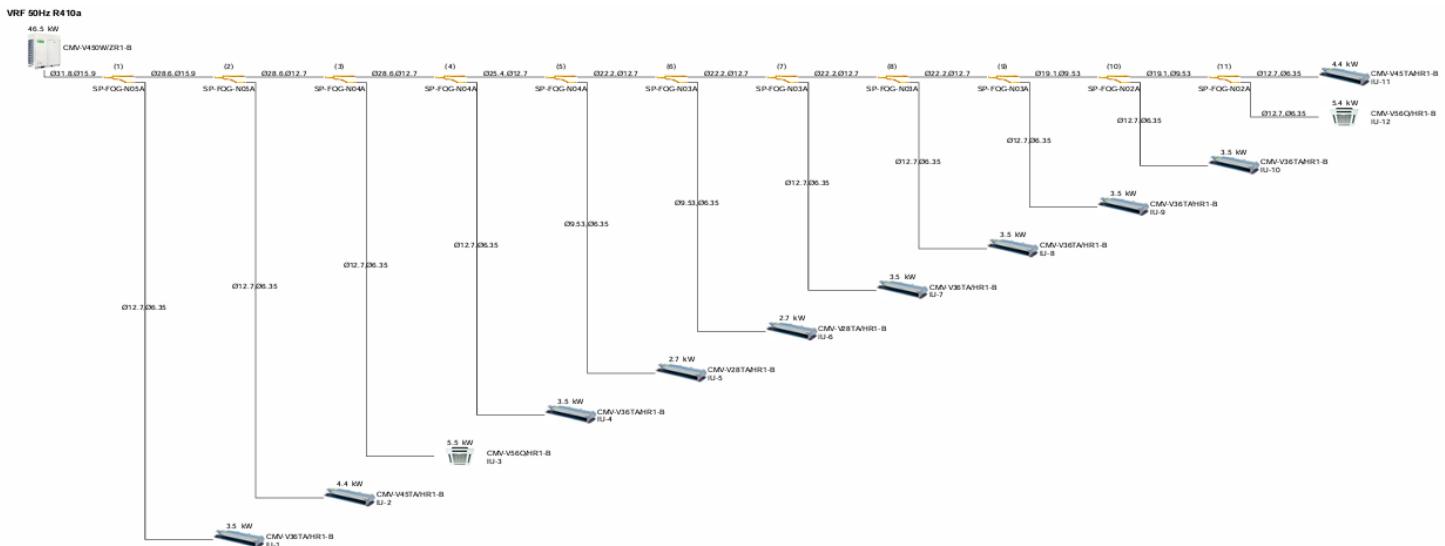


ANNEXES



- Pour la climatisation nous avons intégré un système centralisé de type VRV, que nous avons déjà défini, en simulant les différentes chambres de 4 ème étage d'hébergement, nous avons requises selon les critères de simulation, afin d'assurer un confort thermique optimal

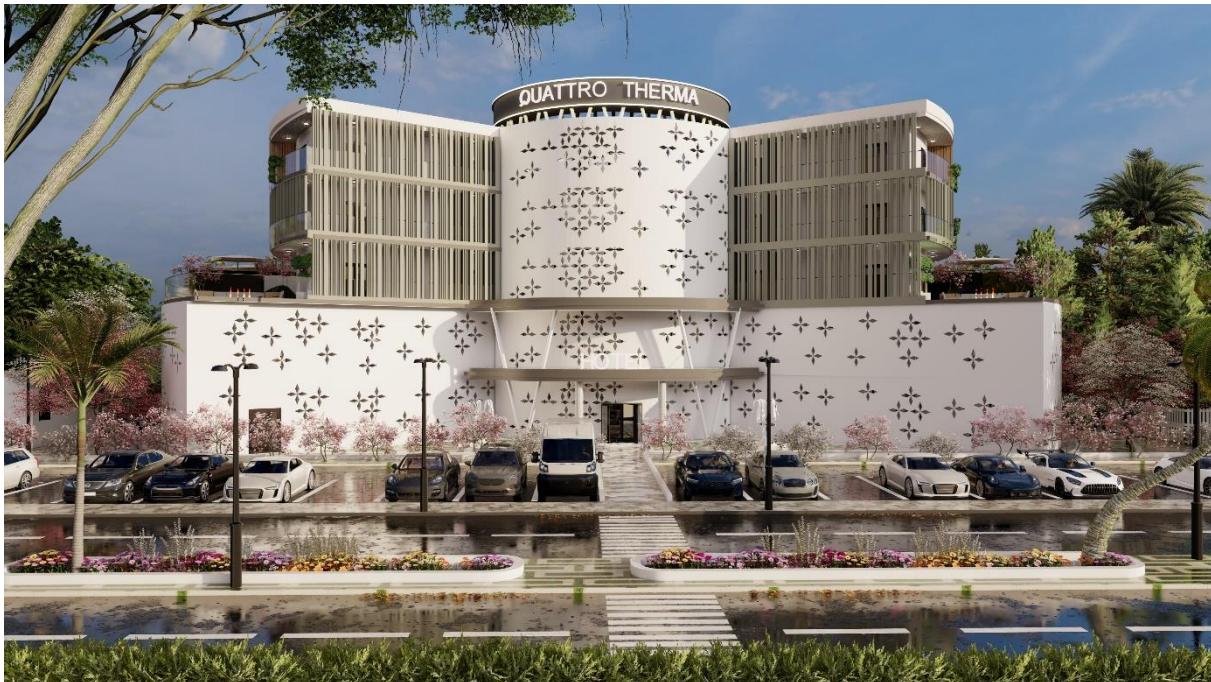
ANNEXES



Liste des matériaux

Model	Quantité	Description
CMV-V450W/ZR1-B	1	Unité extérieur VRV (380-415V/3PH/50Hz)
CMV-V36TA/HR1-B	6	Gainable à basse pression Type (220-240V/1PH/50Hz)
CMV-V45TA/HR1-B	2	Gainable à basse pression Type (220-240V/1PH/50Hz)
CMV-V56Q/HR1-B	2	4-Cassette 1voie Type (220-240V/1PH/50Hz)
CMV-V28TA/HR1-B	2	Gainable à basse pression Type (220-240V/1PH/50Hz)
SP-FQG-N05A	2	Distributor
SP-FQG-N04A	3	Distributor
SP-FQG-N03A	4	Distributor
SP-FQG-N02A	2	Distributor
Ø31.8	4.0m	Copper Pipe
Ø15.9	7.0m	Copper Pipe
Ø28.6	9.0m	Copper Pipe
Ø12.7	51.0m	Copper Pipe
Ø25.4	3.0m	Copper Pipe
Ø22.2	12.0m	Copper Pipe
Ø19.1	6.0m	Copper Pipe

ANNEXES



- ✚ L'intégration de double peau dans l'étage d'hébergement



- ✚ La mise en place des protections solaires et la végétation dans les balcons, et dans les pieds de façades
- ✚ L'isolation thermique extérieur sous enduit

ANNEXES



- L'isolation thermique extérieur sous enduit
- L'intégration juste de la végétation de côté nord de la façade
- La mise en place des protections solaires



- L'utilisation des panneaux solaires photovoltaïques :

ANNEXES



- Dans l'intérieur des chambres on a intégré une enduite MCP (matériaux à changement de phase)
- L'utilisation des rideaux et double vitrage