

4-720-1004-EX-1

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et la Recherche Scientifique
Institut d'architecture et d'urbanisme de Blida 1



THESE

Pour l'obtention du diplôme

MASTER 2

Option : Architecture bioclimatique

THEME DE RECHERCHE:

AMELIORATION DU CONFORT HYGROTHERMIQUE PAR INTEGRATION D'UN SYSTEME DE VENTILATION HYBRIDE

(Cas d'étude bungalow C.E.T Tipaza)

Présenté par :

BOUDALI ABDELKADER

Encadré par :

Dr KAOUA DALEL

2016-2017

REMERCIEMENTS

Je voudrais exprimer ici ma gratitude à tous ceux qui, sous une forme ou sous une autre, m'ont aidé tout au long de ce travail, et plus particulièrement :

Mme et Dr. KAOULA.D pour son encadrement et son Enseignement précieux, Je veux ici la remercier pour avoir toujours su m'aider, me soutenir, m'orienter, me conseiller et surtout pour avoir su me laisser une grande liberté et beaucoup d'autonomie tout en gardant un œil bienveillant sur moi ;

Mme et Dr. MAACHI.I porteur du master, d'avoir accepté de rapporter cette thèse ;

Toutes les personnes (je préfère ne pas citer de noms car la liste est longue) qui ont croisé mon chemin au cours de ces dernières années de l'Institut d'architecture de Blida; et tous mes amis dont le souvenir déclenche toujours chez moi un grand sourire aux lèvres ;

Mes Parents pour leur soutien, simplement, pour m'avoir toujours soutenu ;

ABDOU

RESUME

Le développement de la construction hygrothermique constitue un enjeu fondamental et une réponse efficace pour la réduction des impacts environnementaux liés au secteur du bâtiment. Un système de ventilation intégré au bâtiment constitue une des solutions qui réduit les consommations énergétiques. Ces techniques de construction se sont aujourd'hui grandement améliorées et industrialisées mais une ambiguïté demeure toutefois sur l'efficacité énergétique et sur la prise en compte de leurs qualités thermiques réelles dans les modèles de calculs réglementaires. Ce travail a pour objectif de valider la performance d'un système de ventilation dans la réduction des besoins à l'échelle d'un bungalow. *engitique*

Et partant de caractéristiques hygrothermiques par intégration de la ventilation hybride, nous avons développé un modèle de transfert couplé de ventilation naturelle et mécanique applicable au bungalow. Enfin, par simulation numérique, on montre comment améliorer le comportement hygrothermique et les performances énergétiques de ce type de construction.

les références
autres de la

TABLEAU DES MATIERES

Chapitre I: introduction générale

| | |
|---|----|
| I-1- Introduction | 02 |
| I-2- Problématique | 03 |
| I-3- Hypothèse | 03 |
| I-4- Motivation du choix du thème | 03 |
| I-5- Objectifs | 04 |
| I-6- Structure du mémoire..... | 04 |
| I-7- Méthodologie de recherche..... | 05 |

Chapitre II: état des connaissances

| | |
|--|----|
| II-1- Introduction | 07 |
| II-2-1- Etat de connaissances lié à l'architecture bioclimatique | 07 |
| II-2-2- l'architecture bioclimatique | 07 |
| II-2-3- Objectifs de l'architecture Bioclimatique | 08 |
| II-2-4- Principe de base de l'architecture bioclimatique | 08 |
| II-3- Etat de l'art lie au procédé spécifique | 11 |
| II-3-1- Notion de confort..... | 11 |
| II-3-2- Le confort thermique | 11 |
| II-3-3- Le confort hygrothermique | 13 |
| II-3-4- Les Facteurs Influençant Le Confort Hygrothermique..... | 13 |
| II-3 -4- 1 - La température de l'air | 16 |
| II-3 -4- 2- L'humidité de l'air | 16 |
| II-3 -4- 3- Le mouvement de l'air et la vitesse de l'air..... | 16 |

| | |
|---|----|
| II-3 - 4- 4- Le rayonnement | 17 |
| II-3 - 4- 5- Indices de confort thermique | 17 |
| II- 3 – 5 - Ventilation naturelle..... | 18 |
| II-3-5-1 Introduction | 18 |
| II-3-5-2 Qu'est-ce que la ventilation naturelle ? | |
| Définition..... | 18 |
| II-3-5-3 Les différents types de ventilation naturelle..... | 19 |
| II-3-5-4 Avantages de ce mode de ventilation..... | 20 |
| II-3-5-5 Ventilation naturelle : inconvénients..... | 20 |
| II-3-5-6 Stratégies de ventilation naturelle et applications..... | 21 |
| II-3-6- Ventilation mécanique | 23 |
| II-3-6-1- Ventilation mécanique définition | 23 |
| II-3-6-2- Les différents types de ventilation mécanique | 23 |
| II-3-6-3- Avantages et inconvénients..... | 25 |
| II-3-7- Système de ventilation hybride | 27 |
| II-3-7-1- Ventilation hybride définition | 27 |
| II-3-7-2- Ventilation hybride principe..... | 28 |
| II-3-7-3- Ventilation hybride types | 28 |
| II-3-7-4- Avantages et inconvénients..... | 30 |
| II-3-7-5- Conception de systèmes de ventilation hybride..... | 31 |
| II-3-7-5- Développements du système hybride..... | 32 |
| II-3-7-6- Retour d'expérience | 33 |
| II-4- Conclusion | 34 |

Chapitre III : cas d'étude

| | |
|--|----|
| III-1-Introduction | 36 |
| III-2-Choix de cas d'étude | 37 |
| III-3- La ville de Tipaza..... | 37 |
| III-4- Analyse de la ville de Tipaza | 38 |
| III-4-1- Situation de la ville (à l'échelle nationale)..... | 38 |
| III-4-2- Climat de la ville | 38 |
| III-4-3-- La situation régional | 39 |
| III-4-4- Aperçue historique | 40 |
| III-4-5-Accessibilité à la ville | 41 |
| III-5- l'aire d'étude | 41 |
| III-5- 1- Présentation d'air d'étude (complexe touristique c.e.t)..... | 41 |
| III-5-2- Localisation..... | 42 |
| III-5-3- Accessibilité..... | 42 |
| III-5-4- Dimension et forme..... | 42 |
| III-5-5- Les différente vues du site..... | 43 |
| III-5-6- Présentation du bungalow | 43 |
| III-5-6-1- Description bungalow | 43 |
| III-5-6-2- Dossier graphique | 44 |
| III-5-6-3- Les caractéristiques technique du bungalow | 46 |
| III-5-7-Les données climatiques..... | 47 |
| III-5-7-1- Etages bioclimatique | 47 |
| III-5-7-2- La température..... | 47 |

| | |
|---|----|
| III-5-7-3- L'humidité..... | 47 |
| III-5-7-4- Les précipitations..... | 48 |
| III-5-7-5- Les vents dominants..... | 48 |
| III-5-7-6- Le diagramme solaire de Tipaza..... | 49 |
| III-5-7-7- Diagramme psychrométrique..... | 49 |
| III-5-7-8- Caractéristiques..... | 50 |
| III -5-7-9- Sismicité..... | 50 |
| III -5-7-10- Données géomorphologique..... | 50 |
| III -6- La simulation..... | 51 |
| III -6-1- Introduction | 51 |
| III -6-2- Les logiciels retenus : (pleiades + alcyone)..... | 51 |
| III -6-3- Protocole de la simulation | 52 |
| III-6-4- Etapes de simulation..... | 52 |
| III -6-5- Variable de simulation..... | 54 |
| III -6-5-1- Simulation avec une ventilation naturelle | 54 |
| III- 6-5-2- Simulation avec ventilation classique | 56 |
| III- 6-5-3- Simulation avec ventilation hybride | 57 |
| III 7- Conclusion | 60 |

LA LISTE DES FIGURES

| | |
|---|-----|
| Figure 1 : Schéma méthodologie de travail ; source auteur | 05 |
| Figure 2 : Déperdition-énergétique d'une maison, source : www.c2ef.fr-isolation-thermique.com | 09 |
| Figure 3 : Apports thermiques naturels d'une maison, source : www.maisonbrico.com | 09 |
| Figure 4 : Couleur blanche maison individuelle, source : www.maison-nature.fr | 10. |
| Figure 5 : Apports de lumière naturelle habitation en r+1, source : www.maison-nature.fr . | 10. |
| Figure 6 : Ventilation naturelle - coupe d'un centre commercial, source : www.tribu-concevoirdurable.fr | 10 |
| Figure 7 : Les échanges thermiques du corps humain source ; departement18.fr | 14 |
| Figure 08 : La relation globale entre une personne et son environnement | 15 |
| BERGER XAVIER. Thermal comfort, study and code - PASCOOL report. Athènes: University of Athens, 1995, 69 p | 17 |
| Figure 09 : Classification des valeurs du PMV selon neuf échelles de confort. departement18.fr 2007 | 18 |
| Figure 10 : Principe de ventilation naturelle ; source : "La ventilation des habitations - 1ère partie: principes généraux", NIT 192, Juin 1994..... | 19 |
| Figure 11 : ventilation mono exposé ouverture simple ; Source ³ : ouvrage la ventilation naturelle des bâtiments 2002 Source 3 : ouvrage la ventilation naturelle des bâtiments 2002 | |
| Figure 12 : ventilation transversale ; Source 3 | 19 |
| Figure 13 : ventilation par tirage thermique ; Source ³ | 19 |
| Figure 14 : ventilation par tirage thermique associer ; source : ouvrage la ventilation naturelle des bâtiments 2002 | 19 |
| Figure 15 : cheminées solaire d'ur hôtel Bandol (Var) ; source 4 : (82 logement Grande Bretagne) "Ventilation et menuiserie", in CSTC magazine, hiver 1999, pp.21-30..... | 20 |

| | |
|---|----|
| Figure 16 : Ventilation à exposition simple (habitation individuelle (source ⁴))..... | 22 |
| Figure 17 : Ventilation par tirage thermique ; source ⁴ : (82 logement Grande Bretagne) “Ventilation et menuiserie”, in CSTC magazine, hiver 1999, pp.21-30 | 22 |
| Figure 18 : Ventilation utilisant les effets combinés du vent et du tirage thermique (bâtiment IONICA Nante) (source ⁴)..... | 22 |
| Figure 19 : principe de la ventilation mécanique ; "La ventilation des habitations - 1ère partie : Principes généraux", NIT 192, Juin 1994..... | 22 |
| Figure 20 : La ventilation simple flux Auto-réglable ; Source ⁵ ; Installations de ventilation énergétiquement performantes”, 1994 | 23 |
| Figure 21 : La ventilation simple flux hygro-réglable Source ⁵ | 24 |
| Figure 22 : La ventilation double flux centralisée Source ⁵ | 24 |
| Figure 23 : La ventilation double flux décentralisée ; Source ⁵ | 24 |
| Figure 24 : Schéma de fonctionnement de la ventilation hybride dans les classes ; Source ; Ventilation et infiltration", 1988..... | 24 |
| Figure 25 : Le système de ventilation hybride HELYS est parfaitement adapté à la réhabilitation des bâtiments ; Source ; Ventilation et infiltration", 1988 | 27 |
| Figure 26 : ventilation naturelle assistée ; Source : PUBLICATIONS DE RAVEL ; “Transport de l’air”, 1994..... | 27 |
| Figure 27 : ventilation mécanique assistée ; Source : PUBLICATIONS DE RAVEL ; “Transport de l’air”, 1994..... | 28 |
| Figure 28 : alternance entre la ventilation mécanique et naturelle Source : PUBLICATIONS DE RAVEL ; “Transport de l’air”, 1994..... | 29 |
| Figure 29 : Mode de ventilation mécanique (gauche) et naturelle (droite),WWW.AIVC.ORG | |
| Figure 30 : Tipaza source auteur..... | 37 |
| Figure 31 : Photo de la ville de Tipaza, Source : auteur | 37 |

| | |
|---|----|
| Figure 32 : Photo aérienne, source ; auteur | 38 |
| Figure 33 ; Délimitation de la ville Source ; auteur..... | 39 |
| Figure 34 : Plan de situation source ; Google earth | 42 |
| Figure 35 : Photo aérienne, source ; auteur | 42 |
| Figure 36 : Plan de délimitation ; source auteur | 42 |
| Figure 37 : Forme de site Source ; auteur | 42 |
| Figure 38 : Vue générale du site ; auteur | 43 |
| Figure 39 ; Vue générale sur le bungalow ; auteur | 43 |
| Figure 40 : Plan de situation ; source Google earth | 44 |
| Figure 41 : PLAN DE MASSE; source auteur | 44 |
| Figure 42 : Plan RDC ; source auteur..... | 45 |
| Figure 43 : Plan toiture ; source auteur | 45 |
| Figure 44 : Façade sud ; source auteur | 46 |
| Figure 45 : Coupe A-A ; source auteur | 46 |
| Figure 46 ; Vue sur le site avec limite du terrain source auteur | 47 |
| Figure 47 : La température source ; www.memoireonline.com 2002..... | 47 |
| Figure 48 : Schéma de l'humidité source ; www.memoireonline.com 2002..... | 47 |
| Figure 49 : source ; www.memoireonline.com 1999..... | 48 |
| Figure 50 : les vents dominants source auteur | 48 |
| Figure 51 : diagramme solaire source auteur | 49 |
| Figure 52 : Stratégies de chaud;source ; www.grenoble.archi.fr 1999..... | 49 |
| Figure 53 : Stratégies de froid ; source ; www.grenoble.archi.fr 1999..... | 49 |
| Figure 54 : Carte de la zone séismique source ; d'Algérie www.memoireonline.com | 50 |

| | |
|---|----|
| Figure 55 : Données géomorphologique de Tipaza www.memoireonline.com 1999..... | 50 |
| Figure 56 : Modélisation plan du bungalow; source auteur alcyone | 52 |
| Figure 57 : modélisation 3D du bungalow; source auteur alcyone | 53 |
| Figure 58 : caractéristiques du plancher; source auteur alcyone | 53 |
| Figure 59 : caractéristiques toiture; source auteur alcyone | 53 |
| Figure 60 : caractéristiques des murs; source auteur alcyone | 54 |
| Figure 61 : réduplicatif des besoins de chauffage pour les trois type de ventilation ; source auteur alcyone | 59 |

LA LISTE DES TABLEAUX

| | |
|--|----|
| Tableau 01 : liste des normes ISO qui traitent l'ambiance thermique. BERGER XAVIER. Moudjalled.B, 2007 : Modélisation dynamique du confort thermique dans les bâtiments naturellement ventilés, thèse de doctorat, L'Institut des Sciences Appliquées de Lyon, 330p..... | 12 |
| Tableau 02 : Les différents types de ventilation naturelle ; source auteur..... | 19 |
| Tableau 03 : Résumé de l'influence du climat sur les détails constructifs traditionnels ; Source : auteur..... | 21 |
| Tableau 04 : Types et définitions de la ventilation mécanique ; source auteur | 24 |
| Tableau 05 : Avantages et inconvénients de la ventilation mécanique ; source auteur | 25 |
| Tableau 06 : Types de ventilation hybride ; source auteur..... | 28 |
| Tableau 07 : Avantages et inconvénients de ventilation hybride ; source auteur..... | 30 |
| Tableau 08 : Simulation avec ventilation naturelle ; source auteur alcyone..... | 55 |
| Tableau 09 : Simulation avec ventilation mécanique ; source auteur alcyone..... | 56 |
| Tableau 10 : Simulation avec ventilation hybride ; source auteur alcyone..... | 58 |

CHAPITRE I

« INTRODUCTION GENERALE »

I-1-INTRODUCTION

Le développement qu'ont connu les pays du tiers monde, engendre l'importation de modèles d'urbanisme et d'architecture internationaux. Ceci exalte la négligence des modèles locaux, qui semblent mieux adaptés aux contraintes climatiques et sociales. Par ailleurs, Les constructions en masse, de cet urbanisme importé se servent de matériaux et de prototypes préétablis qui ont engendré une discorde entre le bâtiment et son environnement, cela se traduit par une inadaptation avec les spécificités climatiques dont les conséquences, liées à l'absence d'un environnement intérieur sain et confortable, sont largement ressenties par les usagers.¹

De ces conséquences, les problèmes de surchauffes ou bien de déperditions thermiques qui peuvent être limitées par des solutions passives telles que l'isolation du bâtiment, mais il importe de savoir, que cette dernière peut altérer la santé de l'utilisateur, surtout que la diminution du renouvellement d'air intérieur s'aggrave par les tentations du calfeutrement. Les risques pour la santé de la dégradation de la qualité de l'air des bâtiments sont nombreux et maintenant reconnus. Par ailleurs, le recours aux solutions actives pour la régulation thermique engendre une consommation effrénée de l'énergie, ce qui rend nos bâtiments énergivores.

Cet effort de pensée nous pousse à porter une réflexion sur les systèmes hybrides qui se présentent comme une solution pertinente, prometteuse et efficace quant à la problématique énergétique mais également celle liée au seuil du confort hygrothermique intérieur du bâtiment, alliant à la fois l'énergie et l'environnement mais aussi le passif et l'actif

Ces systèmes peuvent être définis comme des systèmes permettant de rendre un environnement intérieur confortable en utilisant différentes caractéristiques des systèmes de ventilation naturelle et mécanique à différents moments de la journée, de la saison ou de l'année. La principale différence entre les systèmes de ventilation conventionnels et les systèmes hybrides réside dans le caractère « intelligent » de ces derniers puisqu'ils sont munis de dispositifs de contrôle permettant de passer automatiquement du mode naturel au mode mécanique et inversement afin de minimiser la consommation d'énergie et de maintenir un environnement intérieur satisfaisant.¹

I-2- PROBLEMATIQUE

Pour assurer « le confort » On adoptera une attitude soucieuse de répondre aux besoins physiologiques des usagers, exprimés sous les notions de confort thermique, respiratoire, visuel et acoustique. On doit veiller tout particulièrement à mettre en œuvre une ventilation efficace et adaptée au bâtiment et à son usage, donc les constructions doivent offrir à l'intérieur des microclimats propices à l'épanouissement de la personne humaine, avec la création des ambiances hygrothermiques favorables à son être. Cela est possible en établissant essentiellement une relation intelligente qui repose sur la bonne compréhension des mécanismes et des échanges thermiques entre le dedans et le dehors. ¹

Cet ensemble de réflexions en relation avec la qualité du confort intérieur, nous a poussés à poser la problématique suivante :

Comment améliorer le confort hygrothermique au sein d'un bâtiment par intégration d'un système hybride de ventilation sans grande consommation énergétique ?

I-3- HYPOTHESE

Notre principale hypothèse est qu'un système hybride de ventilation permet d'offrir un meilleur bilan énergétique comparé à un système conventionnel.

I-4- MOTIVATION DU CHOIX DU THEME

La justification du choix du thème de cette recherche se base sur plusieurs points :

- Consommation énergétique effrénée des bâtiments touristiques
- Manque de techniques nouvelles au sein des bâtiments touristiques susceptible d'offrir un meilleur confort hygrothermique
- Absence du confort humidifié du bâtiment durant les périodes estivale et hivernale.
- Dépendance des moyens actifs pour le contrôle de la ventilation intérieure au sein de nos bâtiments touristiques.¹

I-5- OBJECTIFS

L'objectif de la recherche est de :

- Minimiser la consommation énergétique et améliorer les niveaux de qualité de l'air intérieur et de confort avec une durabilité meilleurs.

- La climatisation doit se concevoir comme un complément des solutions passives, celles-ci doit par elle-même fournir un niveau minimal de confort.

Il s'agit d'éviter un développement non maîtrisé de la climatisation active, et d'inciter à concevoir des systèmes hybrides intelligents.

- Offrir un meilleur confort intérieur humidifié pour les constructions touristique littoral surtout dans la période estivale pour donner une nouvelle image de la conception architecturale bioclimatique.

- Minimiser le recours aux énergies fossiles à travers le billet de l'économie du pays par l'intégration des bâtiments touristique dans un cadre plus écologique.¹

I-6- STRUCTURE DU MEMOIRE

Ce présent mémoire est structuré en trois chapitres principaux :

Le premier chapitre introductif est basé sur la problématique, les hypothèses, et les objectifs de notre thème de recherche.

Le deuxième chapitre traite l'état des connaissances afférent au confort hygrothermique, ventilations (naturelle, mécanique) et la ventilation hybride et un retour d'expériences sur des travaux ou études s'intégrant dans le même contexte de notre travail.

Le troisième chapitre va traiter le cas d'étude, et le système sue nous avons élaboré à travers une application via des simulations dont le but est de confirmer ou infirmer les hypothèses mais surtout de répondre à notre problématique, il s'agira également dans ce chapitre d'interpréter les résultats obtenus et de proposer des recommandations à la fin de notre travail.¹

I-7- METHODOLOGIE DE RECHERCHE

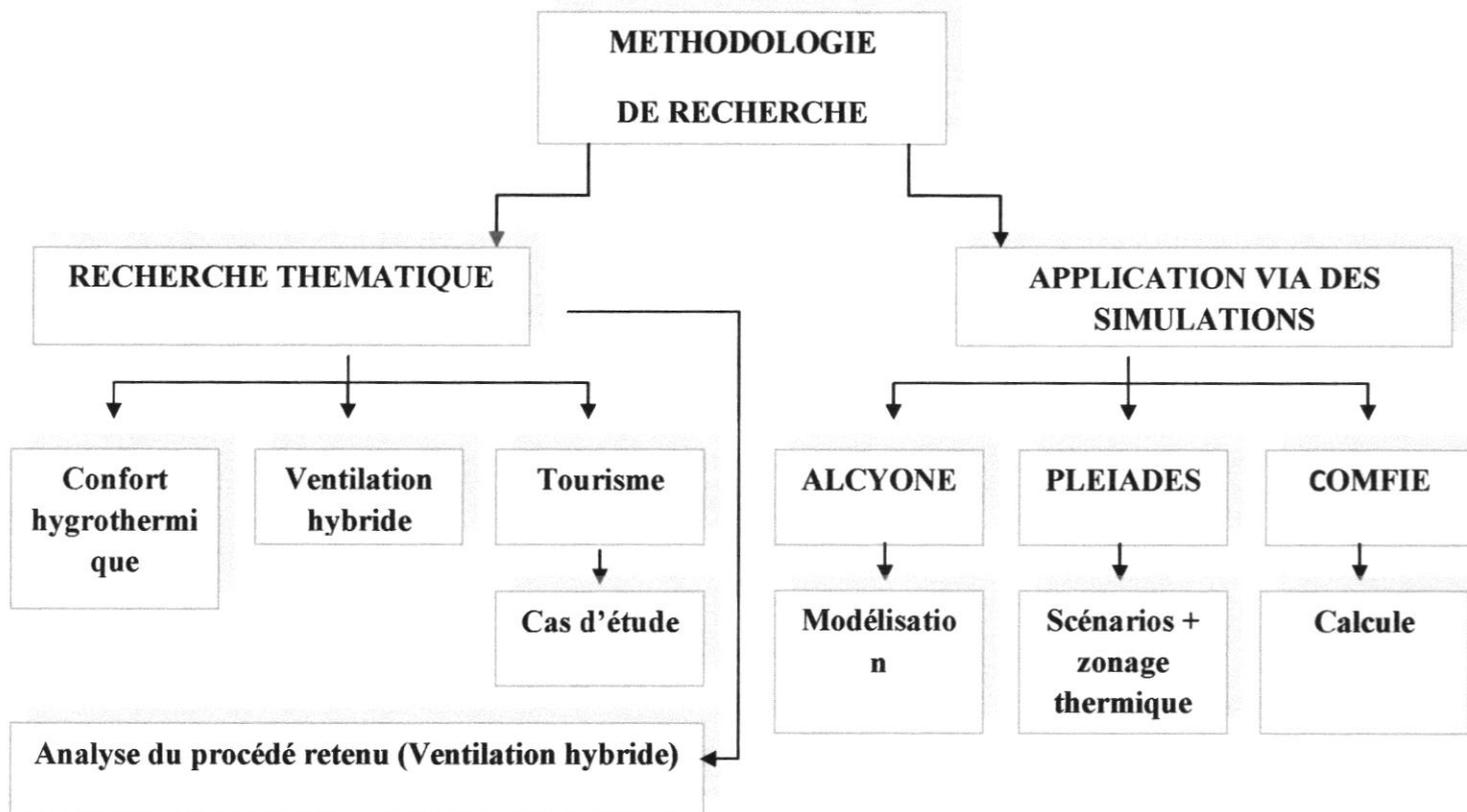


Figure 01 : Schéma de la méthodologie de recherche
Source : auteur

Chapitre II

« ETAT DES CONNAISSANCES »

II-1- INTRODUCTION

La maîtrise de l'énergie est un des problèmes majeurs auxquels notre société va devoir faire face dans les décennies à venir, à la fois en termes d'épuisement des ressources et d'impact sur le réchauffement de la planète. Les tentations des concepteurs pour créer des ambiances intérieures confortables dans une optique de développement durable se matérialisent par l'apparition de nouveaux vocabulaires et concepts.

Ces nouveaux concepts qui, aujourd'hui, prennent une nouvelle dimension d'économie d'énergie et de rentabilité, tentent de s'intégrer dans une démarche plus généreuse liée à la notion globale d'éco-bâtiment ou écoconstruction. Le pari est de maîtriser naturellement les confort d'été et d'hiver, en privilégiant des solutions simples et de bon sens telles que : la bonne orientation, le choix judicieux du matériau, la prise en compte de l'environnement, la végétation, etc.

Etant donné que cette recherche va aborder l'un des principes majeurs de la démarche bioclimatique comme élément acteur dans le confort hygrothermique des bâtiments, en l'occurrence la ventilation hybride, il est donc impératif de présenter et de définir ces concepts.¹

II-2- ETAT DE CONNAISSANCES LIE A L'ARCHITECTURE BIOCLIMATIQUE

II-2-1- L'ARCHITECTURE BIOCLIMATIQUE

L'architecture bioclimatique est l'art et le savoir-faire de bâtir en alliant respect de l'environnement et confort de l'habitant.³

Pour cela, les concepteurs d'architecture bioclimatique effectuent une étude approfondie sur le site, son environnement, le climat, les risques naturels ou encore la biodiversité existante et font en sorte de tirer le meilleur du lieu d'implantation tout en prévoyant les contraintes éventuelles. Développement durable, sobriété d'usage, insertion dans le territoire et confort intérieur sont les fondements de l'architecture bioclimatique.

Il s'agit donc de capter l'énergie nécessaire, de la diffuser et surtout de la conserver de manière naturelle et respectueuse de l'environnement. En parallèle, le principe est de réduire au maximum l'utilisation des énergies polluantes et non renouvelables telles que le gaz et l'électricité.²

II-2-2- OBJECTIFS DE L'ARCHITECTURE BIOCLIMATIQUE

L'objectif principal est **d'obtenir le confort d'ambiance recherché de manière la plus naturelle possible** en utilisant les moyens architecturaux, les énergies renouvelables disponibles et en utilisant le moins possible les moyens techniques mécanisés et les énergies extérieures au site. Ces stratégies et techniques architecturales cherchent à profiter au maximum du soleil en hiver et de s'en protéger durant l'été. C'est pour cela que l'on parle également d'architecture «solaire» ou «passive».

Le choix d'une démarche de conception bioclimatique favorise les économies d'énergies et permet de réduire les dépenses de chauffage et de climatisation, tout en bénéficiant d'un cadre de vie très agréable.

Afin d'optimiser le confort des occupants tout en préservant le cadre naturel de la construction, de nombreux paramètres sont à prendre en compte. Une attention tout particulière sera portée à l'orientation du bâtiment (afin d'exploiter l'énergie et la lumière du soleil), au choix du terrain (climat, topographie, zones de bruit, ressources naturelles, ...) et à la construction (surfaces vitrées, protections solaires, compacité, matériaux, ...).⁴

II-2-3- PRINCIPE DE BASE DE L'ARCHITECTURE BIOCLIMATIQUE

S'inscrivant dans une démarche de développement durable, l'architecture bioclimatique se base sur les principes suivants :

- Minimisation des **pertes énergétiques** en s'adaptant au climat environnant.

1. Compacité du volume

Explications : Une partie de l'énergie consommée dans un bâtiment est dissipée au travers des parois extérieures. Le volume protégé (chauffé) nécessaire est fonction des besoins en locaux du bâtiment selon sa destination. Pour un volume protégé fixé (V), la réduction des surfaces de déperdition (A) permet de diminuer le facteur de compacité (Cf) d'un bâtiment, donc d'améliorer sa compacité (C). La compacité d'un bâtiment dépend de :
• Sa forme : la sphère est idéale, le cube est une bonne solution
• Sa taille : pour une même forme, le facteur de compacité diminue avec la taille
• Ses caractéristiques de contact : les parois mitoyennes ne sont pas considérées comme des surfaces de déperdition, les maisons mitoyennes ainsi que les immeubles à appartements de plusieurs étages ont une meilleure compacité. Plus un bâtiment est compact, plus il est facile d'atteindre des performances énergétiques élevées. Pour une

même performance, les épaisseurs d'isolant nécessaires sont moins importantes. Les parois extérieures ont un coût économique et écologique important. Réduire leur surface permet de diminuer les déperditions, le coût et l'impact des bâtiments sur l'environnement.

2. Isolation performante pour conserver la chaleur

3. Réduction des ouvrants et surfaces vitrées sur les façades exposées au froid ou aux intempéries.⁴

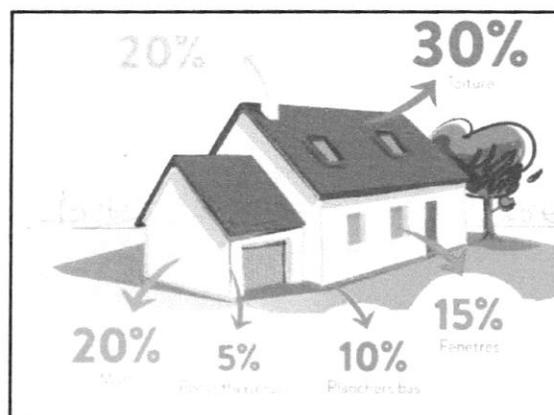


Figure 02 : Déperdition-énergétique d'une maison

Source : www.c2ef.fr-isolation-thermique.com

• Privilégier les **apports thermiques naturels** et gratuits en hiver

1. Ouvertures et vitrages sur les façades exposées au soleil

2. Stockage de la chaleur dans la maçonnerie lourde

3. Installations solaires pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire

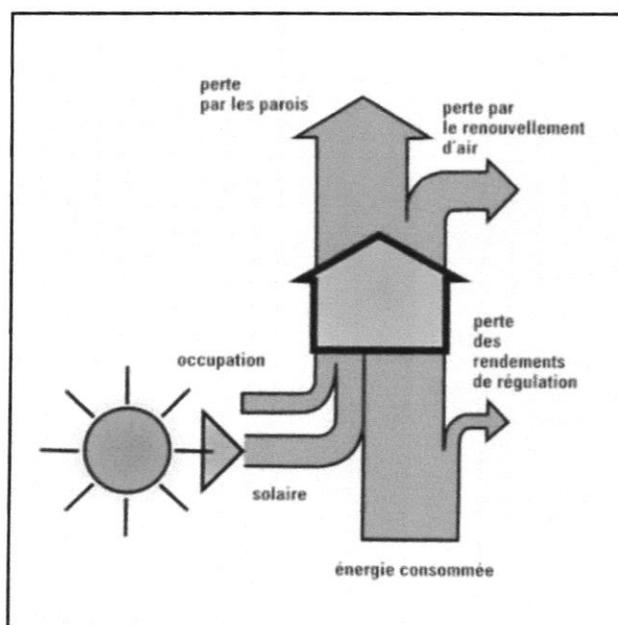


Figure 03 : apports thermiques naturels d'une maison

Source : www.maisonbrico.co

- Privilégier les **apports de lumière naturelle**

1. Intégration d'éléments transparents bien positionnés
2. Choix des couleurs



Figure 04 : couleur blanche maison individuelle

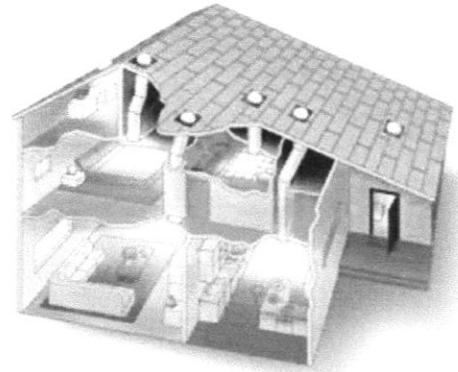


Figure 05 : apports de lumière naturelle habitation en r+1

Source : www.maison-nature.fr

- Privilégier le **rafraîchissement naturel** en été

1. Protections solaires fixes, mobiles ou naturels (avancées de toiture, **végétation**,...)
2. Ventilation
3. Inertie appropriée.

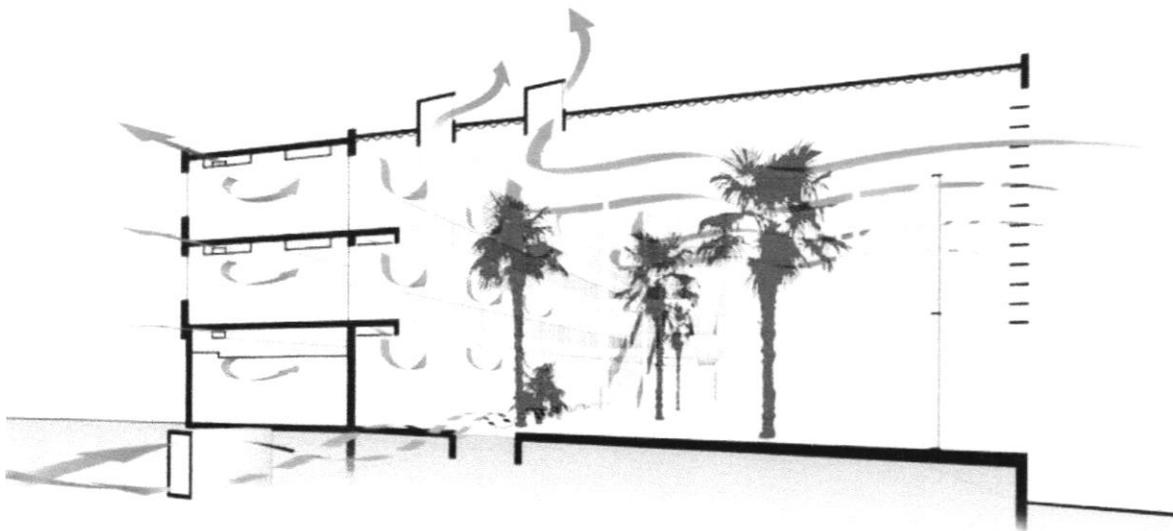


Figure 06 : ventilation naturelle - coupe d'un centre commercial

Source : www.tribu-concevoirdurable.fr

II-3- ETAT DE L'ART LIE AU PROCEDE SPECIFIQUE

II-3-1- NOTION DE CONFORT

Etymologiquement, le terme confort, tiré du mot anglais « confort », est défini comme « un sentiment de bien-être et de satisfaction » ou comme un ensemble des éléments qui contribuent à la commodité matérielle et au bien-être ». Ce qui donne à ce concept difficilement mesurable, un caractère subjectif dépendant des appréciations personnelles de chaque individu.

En effet, la compréhension et l'évaluation du confort dans l'environnement de l'homme sont nécessaires, car ce dernier représente un élément majeur dans le développement et la conception des bâtiments. La zone de confort reste très personnelle puisqu'elle dépend des individus, de leur accoutumance et de leur état physiologique.

Cependant l'influence des facteurs âge, sexe et appartenance à un groupe ethnique sur la sensation de confort reste faible.

Il existe plusieurs types de confort à savoir: le confort visuel, le confort acoustique, le confort olfactif et le confort hygrothermique, ce dernier est l'un des facteurs intervenant dans notre recherche.

II-3-2- LE CONFORT THERMIQUE

Le confort thermique est abordé par sa propre définition et par celle des différents paramètres qui interviennent dans son évaluation à savoir les facteurs liés à l'individu et ceux liés à son environnement. Bien que la notion de confort thermique présente incontestablement un aspect physique, elle relève aussi de la psychologie et la sociologie. Il est en effet le trait d'union entre le monde physique et l'individu, parce que ses lois traduisent les sensations du biologique (le corps) par rapport au non biologique (l'ambiance thermique).

Le confort thermique est souvent défini par la satisfaction exprimée quant à l'ambiance thermique [ISO 7730: 1994]. L'homme étant homéotherme, il doit assurer en continu son équilibre thermique. Pour cela, il dispose d'un système de thermorégulation qui lui permet de régler les échanges de chaleur avec son environnement, en exerçant des réactions conscientes (adaptation comportementale) et inconscientes (vasomotricité, frisson et sudation).

En outre, le confort thermique a été le sujet de nombreux travaux de recherche, qui ne concernent pas uniquement les bâtiments, mais aussi les moyens de transport ou les lieux de travail, etc. En ce qui concerne les bâtiments, le domaine de recherche sur le confort thermique est partagé entre deux approches. La première étudie le confort thermique d'une façon analytique. Elle n'est pas restreinte aux bâtiments. La deuxième approche, basée sur l'incapacité de l'approche analytique à représenter la réalité du confort thermique dans les bâtiments, est l'approche adaptative.

Tab 01: liste des normes ISO qui traitent l'ambiance thermique.

Moudjalled.B, 2007 : Modélisation dynamique du confort thermique dans les bâtiments naturellement ventilés, thèse de doctorat, L'Institut des Sciences Appliquées de Lyon, 330p

| | <i>Norme</i> | <i>Titre</i> |
|-------------------|------------------------|--|
| Ambiance modérée | NF EN ISO 7730 | Ergonomie des ambiances thermiques -- Détermination analytique et interprétation du confort thermique par le calcul des indices PMV et PPD et par des critères de confort thermique local (2005) |
| | NF EN ISO 10551 | Ergonomie des ambiances thermiques - Evaluation de l'influence des ambiances thermiques à l'aide d'échelles de jugements subjectifs (Juin 2001) |
| | ISO 13732-2 | Ergonomie des ambiances thermiques - Méthodes d'évaluation de la réponse humaine au contact avec des surfaces -- Partie 2: Contact humain avec des surfaces à température modérée (2001) |
| Ambiance chaude | ISO 7243 (NF EN 27243) | Ambiances chaudes -- Estimation de la contrainte thermique de l'homme au travail, basée sur l'indice WBGT (température humide et de globe noir), (Février 1994) |
| | ISO 7933 (NF EN 12515) | Ambiances thermiques chaudes -- Détermination analytique et interprétation de la contrainte thermique fondées sur le calcul de la sudation requise (Septembre 1997) |
| | ISO 13732-1 | Ergonomie des ambiances thermiques - Méthodes d'évaluation de la réponse humaine au contact avec des surfaces -- Partie 1: Surfaces chaudes |
| Ambiance froide | ISO 11079 | Évaluation des ambiances froides -- Détermination de l'isolement requis des vêtements (1993) |
| | ISO 13732-3 | Ergonomie des ambiances thermiques - Méthodes d'évaluation de la réponse humaine au contact avec des surfaces -- Partie 3: Surfaces froides (2005) |
| Normes de support | NF EN ISO 11399 | Ergonomie des ambiances thermiques -- Principes et application des Normes internationales pertinentes (Mars 2001) |
| | NF EN ISO 7726 | Ergonomie des ambiances thermiques -- Appareils de mesure des grandeurs physiques (Janvier 2002) |
| | NF EN ISO 9886 | Évaluation de l'astreinte thermique par mesures physiologiques (Juin 2001) |
| | ISO 8996 (NF EN 28996) | Ergonomie -- Détermination de la production de la chaleur métabolique (Février 1994) |
| | NF ISO 9920 | Ergonomie des ambiances thermiques -- Détermination de l'isolement thermique et de la résistance à l'évaporation d'une tenue vestimentaire (Juin 1995) |
| | NF EN ISO 12894 | Ergonomie des ambiances thermiques -- Surveillance médicale des personnes exposées à la chaleur ou au froid extrêmes (Septembre 2001) |
| | NF EN ISO 13731 | Ergonomie des ambiances thermiques -- Vocabulaire et symboles (Mars 2002) |

II-3-3- LE CONFORT HYGROTHERMIQUE

Selon Lavigne, 1994, le confort ne dépend pas seulement du paramètre température mais aussi de l'hygrométrie de l'air ambiant ». Reconnu comme une cible de la haute qualité environnementale, le confort hygrothermique est défini comme étant la sensation que ressent une personne par rapport à la température et à l'humidité ambiante du local où elle se trouve.

Les tentatives d'objectivation du confort hygrothermique se sont appuyées sur des approches statistiques. Il en ressort des critères physiques supposés satisfaire une majorité d'individus. Ces critères sont principalement les températures de l'air et des parois, les variations spatiales de ces températures, l'hygrométrie de l'air, les vitesses de l'air.

Certains spécialistes dans le domaine donnent des valeurs précises pour chaque facteur :

- Température des murs : $22 \pm 2^{\circ}\text{C}$;
- Humidité relative entre 40 et 60% ;
- Température du sol : 19 à 24°C ;
- Vitesse de l'air : inférieure à 0.15 m/s ;
- Différence de température entre deux murs d'une même pièce doit être inférieure à 10°C ;
- Différence de température entre le sol et le plafond doit être inférieure à 5°C .

II-3-4- LES FACTEURS INFLUENÇANT LE CONFORT HYGROTHERMIQUE

Les ambiances thermiques des locaux ont des effets physiologiques et des impacts différents et plus ou moins gênants selon les températures. Par exemple, en ambiances chaudes, l'augmentation de la température dans les locaux provoque, chez l'individu, des contraintes physiologiques importantes et de ce fait, différents effets en découlent. Telles que les réactions physiologiques, thermostatiques (liées aux variations de température des différentes parties de l'organisme afin de maintenir ses températures interne et cutanée constantes), circulatoires (le réchauffement de l'organisme oblige l'augmentation du débit sanguin) et sudorale (grâce au processus d'évaporation, l'organisme va éliminer de la sueur proportionnellement à la quantité de chaleur excédentaire).

Chaque terme de l'équation peut être substitué par une fonction issue de la physique de base. Toutes les fonctions ont des valeurs mesurables à l'exception de la température de surface des habits et du coefficient de transfert thermique convectif qui dépend l'un de l'autre.

D'autres aspects physiques interviennent tels que : la turbulence et la vitesse de l'air, la température ambiante et radiante, l'humidité, la dissymétrie de rayonnement et le gradient de température vertical.

La diffusion de chaleur entre l'individu et l'ambiance s'effectue selon divers mécanismes

- Plus de 50 % des pertes de chaleur du corps humain se font par convection avec l'air ambiant (convection et évaporation par la respiration ou à la surface de la peau).
- Les échanges par rayonnement à la surface de la peau représentent jusqu'à 35 % du bilan alors que les pertes par contact (conduction) sont négligeables (< 1 %).
- Le corps perd également 6 % de sa chaleur à réchauffer la nourriture ingérée.

Cette importance de nos échanges par rayonnement explique que nous sommes très sensibles à la température des parois qui nous environnent,... ASHRAE précise que le confort thermique dépend de six paramètres à savoir : le taux métabolique, l'habillement, la température ambiante de l'air (T_a), la température des parois (T_p), l'humidité relative de l'air (HR) et la vitesse de l'air.

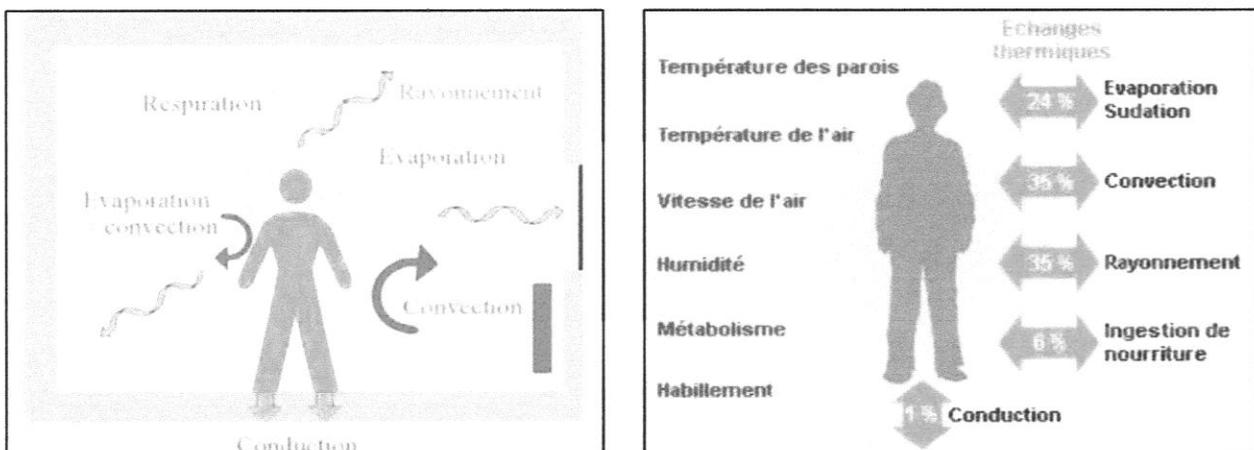


Figure 07 : Les échanges thermiques du corps humain
 departement18.fr

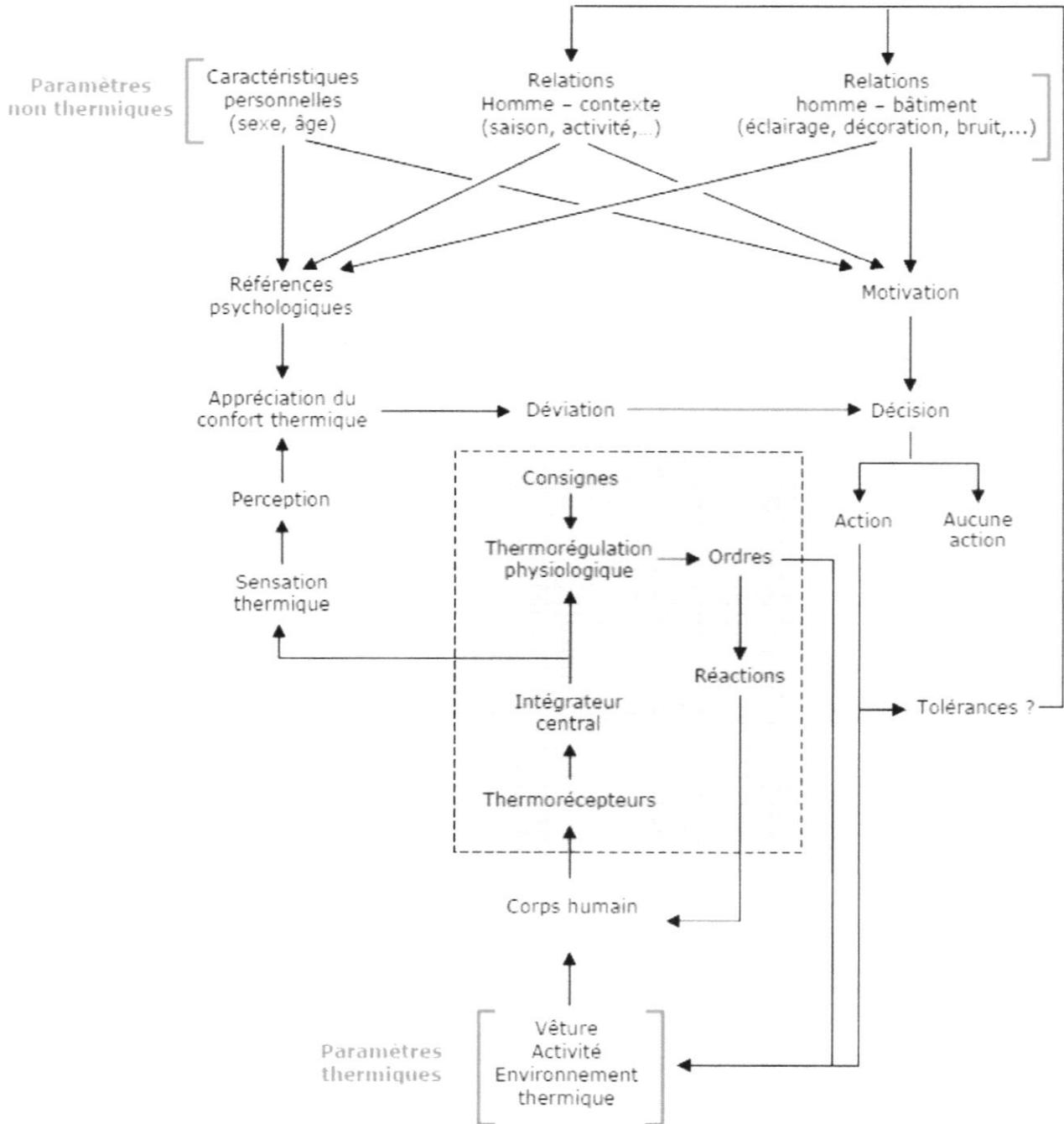


Figure 08 : La relation globale entre une personne et son environnement
 BERGER XAVIER. Thermal comfort, study and code - PASCOOL report. Athènes:
 University of Athens, 1995, 69 p

II-3 -4- 1 - LA TEMPERATURE DE L'AIR

C'est le facteur le plus influent sur le confort humain. En effet, la température de l'air contrôle directement les échanges par convection qui est l'un des termes principaux du bilan thermique. La température de l'air extérieur présente une variation quotidienne, les températures maximales ont lieu en milieu d'après-midi et les températures minimales en fin de nuit. Cette variation dépend des apports solaires et du rayonnement en grande longueur d'onde vers la voûte céleste.

Dans un local, la température de l'air n'est pas uniforme, des différences de températures d'air se présentent également en plan à proximité des surfaces froides et des corps de chauffe.

II-3 -4- 2- L'HUMIDITE DE L'AIR

L'humidité de l'air peut être exprimée comme la pression de vapeur d'eau, l'humidité de l'air à l'intérieur des bâtiments influence le corps humain de façon directe et indirecte, pouvant provoquer l'inconfort, et la sensation de chaleur et de sécheresse des muqueuses des voies respiratoires.

L'humidité de l'air n'a pas un grand effet sur la sensation de confort thermique, si les températures d'air sont confortables ; elle n'a d'effet significatif que lorsqu'elle est extrêmement haute ou extrêmement basse. Il est admis des variations de l'humidité relative entre 19 à 65 %

II-3 - 4- 3- LE MOUVEMENT DE L'AIR ET LA VITESSE DE L'AIR

possèdent un effet considérable sur la sensation de confort ; Plus le mouvement de l'air est important plus le refroidissement du corps ou l'échange de chaleur par convection avec l'air ambiant est accéléré.

- si la température de l'air est inférieure à celle de la peau, les pertes par convections augmentent
- si la température de l'air est très élevée l'air chauffe la peau.
- aussi si l'air est moyennement humide l'air accélère l'évaporation.

II-3 - 4- 4- LE RAYONNEMENT

Le rayonnement solaire absorbé par la paroi se transforme en chaleur et élève la température de surface de la paroi. La paroi échange la chaleur alors avec son environnement suivant les trois modes fondamentaux d'échanges :

- Par conduction à l'intérieur de la paroi,
- Par convection avec l'air environnant,
- Par rayonnement vers les parois voisines.

II-3 - 4- 5- INDICES DE CONFORT THERMIQUE

Il y a plusieurs indices qui permettent d'évaluer le confort extérieur dans le milieu urbain, mais actuellement cela c'est encore amélioré d'avantage au point de développer des modèles qui permettent de prédire les conditions de confort thermique en utilisant des données aisément accessible, parmi lesquels il y a ce qu'on appelle l' indice de confort urbain qui permet le calcul du vote de sensation effective ASV (Actuel Sensation Vote), le vote moyen prévisible PMV (Predicted Mean Vote), la température physiologique équivalente PET(Physiologie cal Equivalent Température), ainsi que la température moyenne radiante MRT (Mean Radiant Température).

Tab 01: Classification des valeurs du PMV selon les sept échelles de confort de "ASHRAE".

| Valeur du " PMV " | Sensation humaine |
|-------------------|------------------------|
| -3 | Très froid |
| -2 | Froid |
| -1 | Frais légèrement frais |
| 0 | Confortable |
| +1 | Légèrement chaud |
| +2 | Chaud |
| +3 | Très chaud |

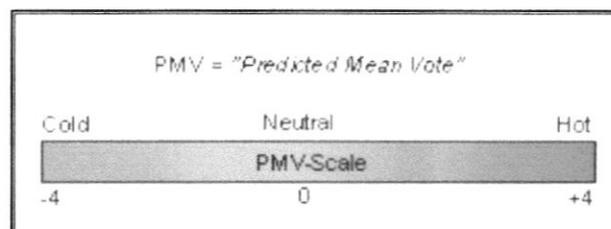


Figure 09 : Classification des valeurs du PMV selon neuf échelles de confort.
departement18.fr 2007

II-3-5- VENTILATION NATURELLE

II-3-5-1 INTRODUCTION

Parmi les postes importants de consommation énergétique du bâtiment, on trouve le rafraîchissement et le renouvellement d'air. Ils entrent à présent dans les critères à prendre en compte lors des validations de performances imposées par la réglementation thermique de 2012. À partir d'une étude de travaux de recherche et de normalisation effectués jusqu'à aujourd'hui, l'importance de l'utilisation de la ventilation naturelle pour améliorer le confort et diminuer la consommation d'énergie de ces postes est démontrée. Une meilleure prise en compte de la ventilation naturelle dans les simulations du comportement énergétique du bâtiment apparaît alors indispensable pour en favoriser l'utilisation.

Une analyse de travaux antérieurs démontre finalement l'intérêt de l'association de modèles de mécanique des fluides numérique aux modèles multizone de simulation du bâtiment à cet effet.

II-3-5-2 QU'EST-CE QUE LA VENTILATION NATURELLE ?

DEFINITION

La ventilation naturelle permet de ventiler sans mécanisme. C'est le vent ou l'écart de température entre l'intérieur et l'extérieur qui entraîne le passage d'air grâce à l'ouverture d'une fenêtre ou la présence de grilles de ventilation.

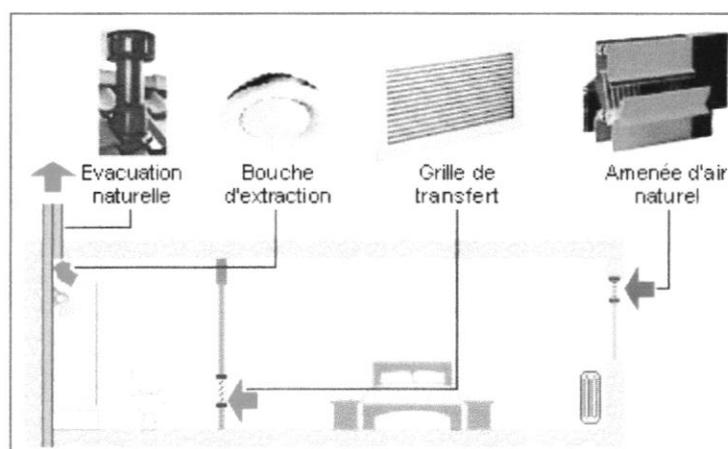
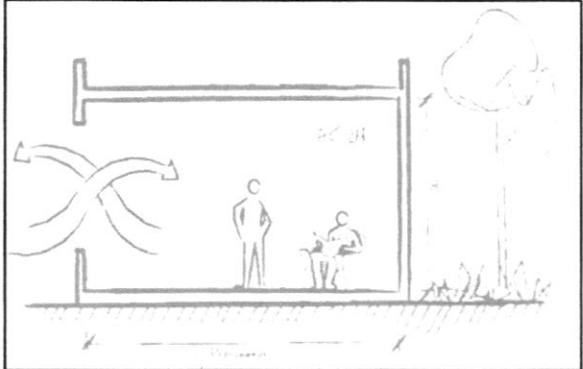
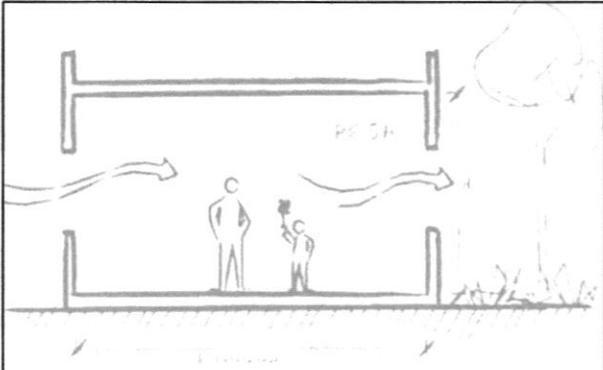
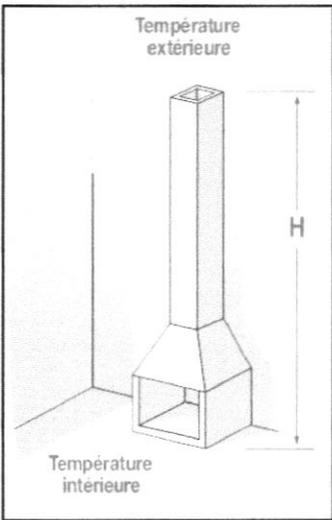


Figure 10 : Principe de ventilation naturelle ; source : "La ventilation des habitations - 1ère partie: principes généraux", NIT 192, Juin1994.

II-3-5-3 LES DIFFERENTS TYPES DE VENTILATION NATURELLE

Tab 02 – Les différents types de ventilation naturelle ; source auteur

| Types de ventilation naturelle | Schéma explicatif |
|--|--|
| <p>Ouverture des fenêtres :</p> <p>c'est le procédé d'aération le plus simple. C'était d'ailleurs le seul principe de ventilation pendant longtemps, l'étanchéité des logements laissant en outre à désirer. Mais depuis 1969, il est interdit dans les logements neufs par la réglementation, notamment dans un souci d'économies d'énergie.</p> <p>Ouvrir les fenêtres cinq minutes après avoir bricolé, cuisiné ou passé l'aspirateur permet toutefois d'aérer tout en limitant les déperditions thermiques.</p> |  <p>Figure 11 : ventilation mono exposé ouverture simple Source ³ : ouvrage la ventilation naturelle des bâtiments 2002</p> |
| <p>Ventilation traversant :</p> <p>des entrées d'air sont placées face au vent dominant (les sorties à l'opposé). L'organisation des pièces se doit d'être adaptée en situant les pièces de vie côté vent dominant.</p> |  <p>Figure 12 : ventilation transversale ; Source ³</p> |
| <p>Tirage thermique :</p> <p>le principe est que l'air chaud monte car il est plus léger que l'air froid. Ce dernier se réchauffe à son tour et ainsi de suite. Des entrées d'air sont placées en bas des murs. Des bouches et un conduit vertical évacuent l'air par le toit. Ce mécanisme se retrouve dans les maisons équipées d'une cheminée dont le conduit est ouvert.</p> |  <p>Figure 13 : ventilation par tirage thermique ; Source ³</p> |

Vent et tirage thermique associés :

l'effet de tirage du conduit vertical est renforcé par un extracteur qui crée une dépression supplémentaire en tournant sous l'impact du vent. C'est un système de ventilation naturelle très répandu.

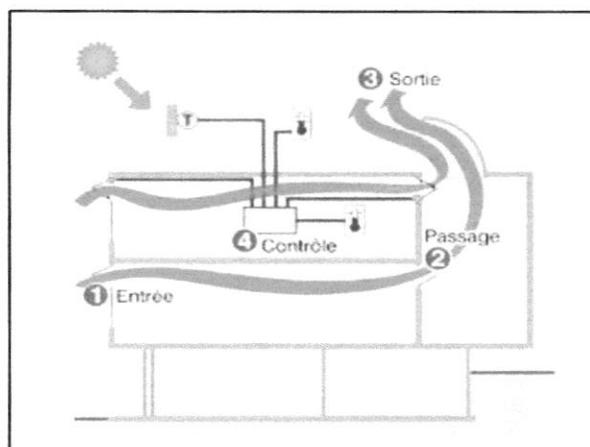


Figure 14 : ventilation par tirage thermique associé
Source : ouvrage la ventilation naturelle des bâtiments 2002

II-3-5-4 AVANTAGES DE CE MODE DE VENTILATION

Voici les principaux avantages de la ventilation naturelle :

- pas de consommation électrique,
- fonctionnement silencieux,
- entretien inexistant,
- réalisation économique et coût d'usage nul.

II-3-5-5 VENTILATION NATURELLE : INCONVENIENTS

Voici les inconvénients de ce mode de ventilation :

- dépend des conditions climatiques,
- ne prend pas en compte l'occupation des locaux (au contraire de la VMC),
- calculs très complexes,
- ne marche que si la température extérieure est inférieure à la température intérieure (ce qui n'est pas forcément le cas en été),
- est davantage adaptée aux bâtiments collectifs qu'individuels.

II-3-5-6 STRATEGIES DE VENTILATION NATURELLE ET APPLICATIONS

Deux phénomènes physiques différents peuvent être utilisés dans les systèmes de ventilation naturelle : les surpressions/dépressions provoquées par le vent ou les turbulences à l'extérieur du bâtiment et le tirage thermique. La ventilation naturelle est le système le plus ancien utilisé dans les habitations pour le rafraîchissement. Elle ne nécessite que des sources d'énergie disponibles dans l'environnement direct de la construction. On peut remarquer que les effets du vent sont plutôt utilisés dans les climats chauds et humides : les écarts de température intérieur/extérieur doivent rester très faibles donc la convection naturelle est limitée. La sensation de rafraîchissement est alors principalement due à la vitesse de l'air.

Dans les climats chauds et secs, des solutions mixtes avec de plus faibles débits peuvent être envisagées, les écarts de température jour/nuit sont souvent plus importants, l'inertie joue donc un rôle prépondérant.

Tab 03 – Résumé de l'influence du climat sur les détails constructifs traditionnels

Source : auteur

| Composant de la maison | Chaud/sec | Chaud/humide |
|-----------------------------|--|--|
| Géométrie | Compacte | Plutôt allongée et perpendiculaire à la direction du vent dominant |
| Murs | Massifs à haute inertie | Légers souvent en bois |
| Ouvertures | Le plus petit possible, fonctions apport lumineux et aération souvent découplées | Grandes ouvertures assurant une vitesse d'air maximale à l'intérieur des maisons |
| Protections solaires | Important | Important |
| Rapport Volume - Surface | Le plus petit possible | Pas de contraintes |
| Distance par rapport au sol | Proche et parfois en sous-sol | Élevé pour favoriser la ventilation naturelle |

Traditionnellement dans les climats tempérés, la ventilation naturelle répond en priorité à l'évacuation des polluants. L'apport d'air neuf se fait par infiltration dans la porosité du bâtiment, l'air vicié est souvent extrait par tirage thermique dans les cheminées d'évacuation des fumées des systèmes de chauffage. Pour l'aération ou le rafraîchissement en été, l'ouverture des fenêtres permet une ventilation par exposition simple entraînée par les effets de turbulences au niveau de la façade.

Finalement, nous pouvons différencier les systèmes de ventilation naturelle suivants :

- Ventilation à exposition simple

- Ventilation traversant
- Ventilation par tirage thermique
- Ventilation utilisant les effets combinés du vent et du tirage thermique
- Ventilation couplée avec des systèmes solaires (ex : double-peau)



Figure 15 : cheminées solaire d'un hôtel Bandol (Var) ; source ⁴ : (82 logement Grande Bretagne) "Ventilation et menuiserie", in CSTCmagazine, hiver 1999, pp.21-30



Figure 16: Ventilation à exposition simple (habitation individuelle (source ⁴))



Figure 17 : Ventilation par tirage thermique ; source ⁴ : (82 logement Grande Bretagne) "Ventilation et menuiserie", in CSTCmagazine, hiver 1999, pp.21-30

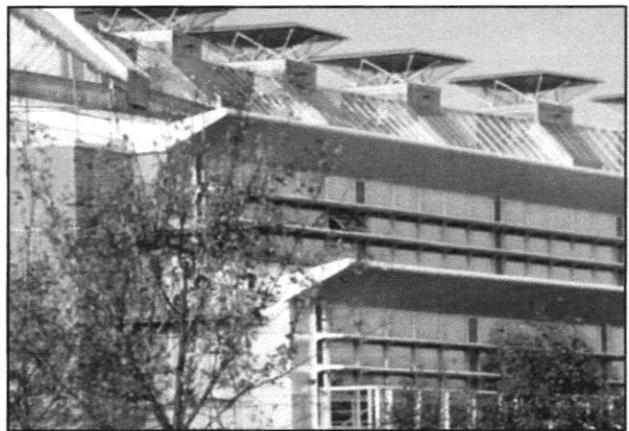


Figure 18 : Ventilation utilisant les effets combinés du vent et du tirage thermique (bâtiment IONICA Nante) (source ⁴)

II-3-6- VENTILATION MECANIQUE

II-3-6-1- VENTILATION MECANIQUE DEFINITION

La VMC ou **ventilation mécanique contrôlée** constitue un ensemble de dispositifs destinés à assurer le renouvellement de l'air à l'intérieur des pièces, et notamment dans les pièces humides : cuisines, salles de bain, sauna... La VMC est intégrée au bâtiment et fonctionne avec une centrale de ventilation forçant l'extraction de l'air et garantissant ainsi la qualité de l'air intérieur.

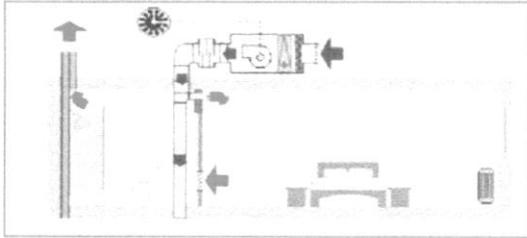
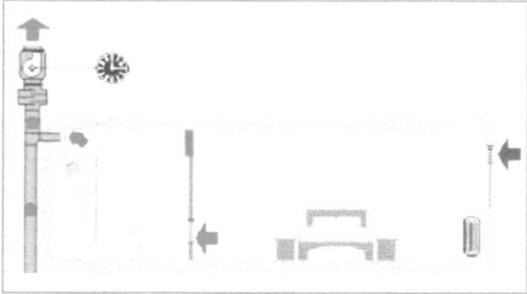
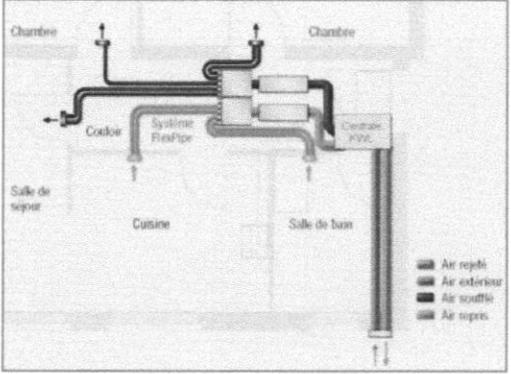
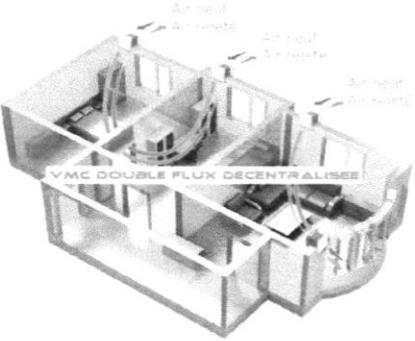


Figure 19 : principe de la ventilation mécanique ; "La ventilation des habitations - 1ère partie : principes généraux", NIT 192, Juin 1994.

II-3-6-2- LES DIFFERENTS TYPES DE VENTILATION MECANIQUE

Il faut savoir qu'il existe un grand nombre de types de ventilation mécanique, qui peuvent assurer le prétraitement de l'air (filtration, préchauffage, refroidissement, déshumidification, humidification, etc.) mais par souci de simplification nous allons nous en tenir aux configurations les plus souvent rencontrées.

Source : auteur

| TYPES DE VENTILATION MECANIQUE | DEFINITIONS / FONCTIONNEMENT |
|---|--|
|  <p>Figure 20 : La ventilation simple flux Auto-réglable Source ⁵; "Installations de ventilation énergétiquement performantes", 1994.</p> | <p>C'est un système encore très répandu. L'air neuf est admis dans les pièces principales (séjour, chambres) par le biais de bouches autoréglables calibrées placées dans les menuiseries extérieures et assurant en principe un débit constant. Cet air se déplace ensuite vers les pièces humides dans lesquelles il est évacué l'extérieur par le biais de bouches d'extraction également calibrées.</p> |
|  <p>Figure 21 : La ventilation simple flux hygro-réglable Source ⁵</p> | <p>Son fonctionnement est proche de la ventilation autoréglable, si ce n'est que les bouches d'extraction sont munies de bandelettes hygrosensibles capables de détecter le degré hygrométrique dans les locaux et d'augmenter la section de passage de l'air extrait lorsque l'humidité relative est importante, preuve d'une présence humaine dans le logement (système dit « hygro A »). Le dispositif peut encore être amélioré en dotant également les bouches d'entrée d'air de détecteurs d'humidité (système dit « hygro B »).</p> |
|  <p>Figure 22 : La ventilation double flux centralisée Source ⁵</p> | <p>Dans cette solution, l'air neuf est amené dans chaque pièce principale par un réseau spécifique. Cet air transite dans les pièces humides d'où il est repris par le réseau d'extraction. Les réseaux d'insufflation et d'extraction se croisent dans un échangeur de chaleur permettant de transférer la chaleur de l'air vicié à l'air neuf.</p> |
|  <p>Figure 23 : La ventilation double flux décentralisée Source ⁵</p> | <p>Des pays comme la Suisse, l'Allemagne ou l'Autriche ont eu l'idée de développer un mode de ventilation double flux totalement décentralisé puisqu'il fonctionne pièce par pièce. Des caissons, ou boîtes, de la taille d'une armoire à pharmacie (0,6 x 0,4 x 0,2), sont placées sur le mur extérieur percé de deux orifices d'amenée et de rejet d'air (pour chaque boîte). Dans chaque caisson, se trouvent deux ventilateurs, deux filtres et un échangeur de chaleur</p> |

II-3-6-3- AVANTAGES ET INCONVENIENTS

Dans les constructions anciennes la VMC (Ventilation Mécanique Contrôlée) n'existait pas et l'air était renouvelé à l'aide de bouches d'aération, situées dans le bas de certaines pièces de l'habitat, évacuant naturellement les gaz nocifs (CO₂, radon et fuites de gaz éventuelles), plus lourds que l'air. L'humidité n'était pas un problème car les murs étaient crépis à la chaux et le mobilier était en bois (sapin, chêne, noyer ou merisier). Les occupants ouvraient les fenêtres des pièces, quelques minutes le matin, en faisant le ménage. L'air chaud de la nuit était remplacé par un air plus froid, donc plus sec, qui, en se réchauffant, pompait l'humidité des literies et des tentures.

La construction béton a modifié cette façon de vivre, accompagnée d'un mobilier en bois blanc compressé (Formica c'est formidable) et du placo en habillage des murs. Le béton étant un mauvais isolant thermique, il a fallu surchauffer l'air des logements, augmentant son taux d'humidité, mal supporté par les nouveaux matériaux.

La VMC a été conçue pour extraire cet excès d'humidité, en plaçant des bouches d'aspiration aux endroits les plus humides, donc en partie haute, évacuant donc l'air le plus chaud. Un nouveau problème est survenu, le dégagement de formaldéhyde, présent dans les matériaux modernes, nuisible pour la santé.

Les VMC doivent évacuer ce gaz nocif, plus lourd que l'air, ainsi que le CO et le CO₂, par des bouches d'aspiration situées en position haute, d'où un brassage plus important de l'air et une obligation de dépression, nuisibles à la santé des occupants

Tab 05 : Avantages et inconvénients de la ventilation mécanique

Source : auteur

| TYPES DE VENTILATION MECANIQUE | AVANTAGES | INCONVENIENTS |
|---|---|---|
| La ventilation simple flux Autoréglable | Ce système de ventilation est relativement bon marché et simple. Les débits sont en principe maîtrisés et l'entretien est relativement réduit (mais pas inexistant). | En revanche, il a l'inconvénient majeur de ne pas permettre la récupération de chaleur sur l'air extrait. Il est donc à l'origine de consommations d'énergie thermique importantes. |
| | L'avantage de ce mode de ventilation est de permettre, en théorie, une économie d'énergie importante grâce à la réduction des débits d'air. Mais lorsqu'on rapproche le débit probable (0,3 vol/h) des débits | Toutefois, de récentes campagnes de mesures ont aussi montré que la ventilation hygroréglable ne fonctionnait pas comme elle le devrait. Les débits d'air sont très élevés, ce qui |

| | | |
|---|--|--|
| <p>La ventilation simple flux hygroréglable</p> | <p>nécessaires au respect des exigences sanitaires, que ce soit le gaz carbonique et surtout le formaldéhyde, il apparaît que ce débit est insuffisant. Faire des économies est certes essentiel, mais cela ne pourra pas se faire au détriment de la santé.</p> | <p>est bon d'un point de vue sanitaire, mais annule l'économie d'énergie envisagée et transforme ce type de ventilation en une ventilation autoréglable ordinaire.</p> |
| <p>La ventilation double flux centralisée</p> | <p>L'avantage de ce dispositif est évidemment de pouvoir récupérer la chaleur de l'air extrait (avec une efficacité d'environ 70 %).</p> | <ul style="list-style-type: none"> - En contrepartie, on doit s'attendre à une consommation d'électricité plus élevée due à la présence de deux ventilateurs. Parmi les autres avantages, il y a le soufflage d'air neuf préchauffé dans l'échangeur, ce qui améliore le confort par rapport à toutes les solutions simple flux. L'absence d'orifices d'entrée d'air dans les menuiseries permet aussi de régler plus facilement la question du bruit des voiries en site urbain. - La présence de filtres sur le soufflage offre également une qualité d'air incomparable si on en juge à l'aspect des filtres usagés. Enfin, la présence d'un échangeur réduit aussi la puissance de chauffage, donc la taille (et le coût) de la chaudière et des émetteurs de chaleur. Mais cette solution a aussi des inconvénients, comme la plus grande difficulté à intégrer les réseaux dans les plans d'architecte, le surcoût, l'obligation d'entretenir les filtres ou le niveau de technicité plus élevé dont doit faire preuve l'entreprise. |
| <p>La ventilation double flux décentralisée</p> | <p>L'avantage de cette solution est évidemment de supprimer pratiquement tous les réseaux de distribution d'air</p> | <p>Afin de retrouver la logique de la ventilation par balayage propre, il faut placer ces boîtes contre une cloison séparant une pièce humide et une pièce principale, ce qui permet de souffler l'air neuf dans la pièce principale et de le reprendre dans la pièce humide.</p> |

II-3-7- SYSTÈME DE VENTILATION HYBRIDE

II-3-7-1- VENTILATION HYBRIDE DEFINITION

On parle de ventilation hybride, ou de ventilation naturelle hybride, lorsqu'au sein d'un même bâtiment un système de ventilation naturelle et un système de ventilation mécanique sont disponibles et combinés. Il s'agit donc de favoriser et d'optimiser l'utilisation des forces motrices naturelles par une assistance mécanique à basse pression ($\Delta P \leq 50$ Pa).

Généralement un système de gestion intelligente sur base d'une horloge, d'une sonde (température extérieure, CO₂, humidité, ...) ou de capteurs permet le passage d'un mode à l'autre au moment voulu afin de procurer le renouvellement d'air nécessaire à une bonne qualité de l'air intérieur.

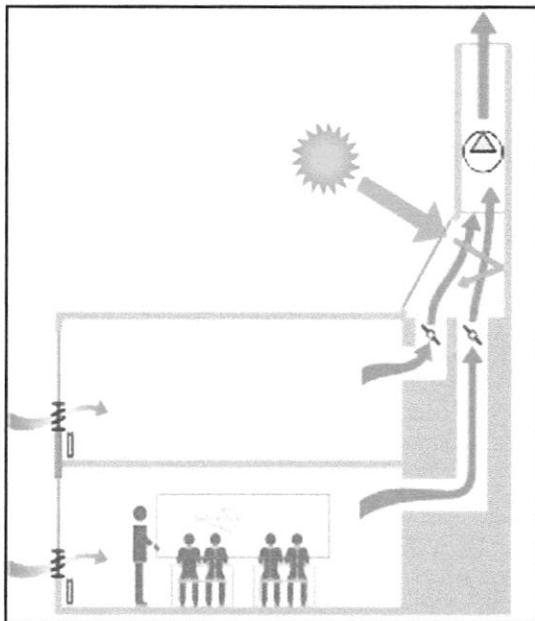


Figure 24 : Schéma de fonctionnement de la ventilation hybride dans les classes
Source ; Ventilation et infiltration", 1988

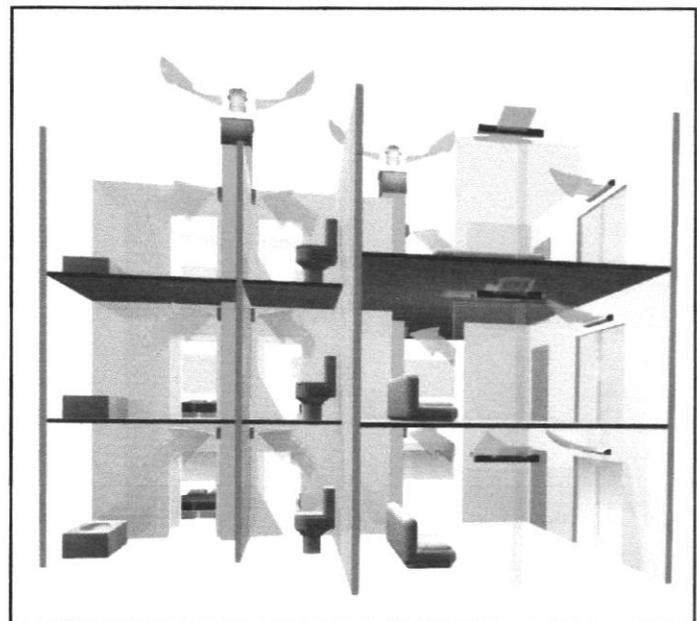


Figure 25 : Le système de ventilation hybride HELYS est parfaitement adapté à la réhabilitation des bâtiments
Source ; Ventilation et infiltration", 1988

II-3-7-2- VENTILATION HYBRIDE PRINCIPE

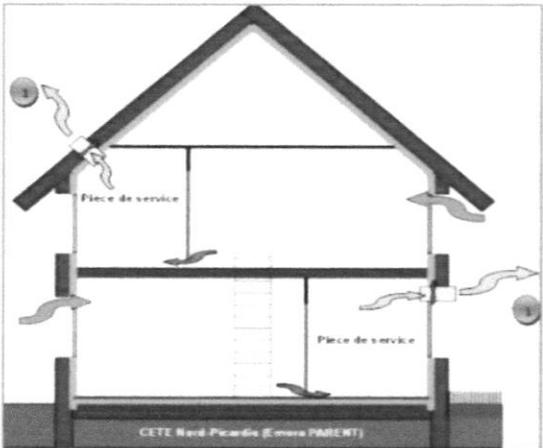
On parle de ventilation hybride, ou de ventilation naturelle hybride, lorsqu'au sein d'un même bâtiment un système de ventilation naturelle et un système de ventilation mécanique sont disponibles et combinés. Il s'agit donc de favoriser et d'optimiser l'utilisation des forces motrices naturelles par une assistance mécanique à basse pression ($\Delta P \leq 50$ Pa).

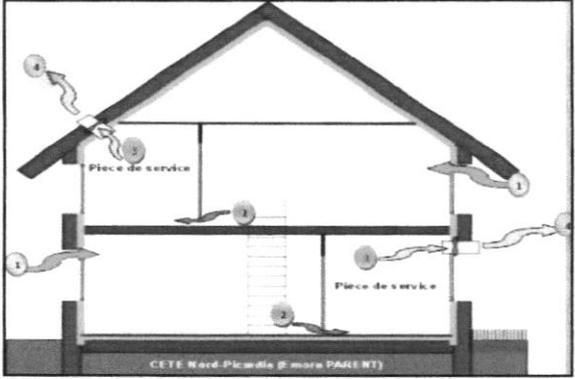
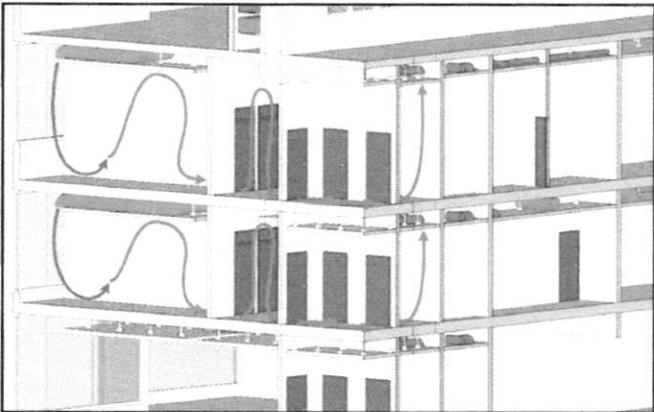
Généralement un système de gestion intelligente sur base d'une horloge, d'une sonde (température extérieure, CO2, humidité, ...) ou de capteurs permet le passage d'un mode à l'autre au moment voulu afin de procurer le renouvellement d'air nécessaire à une bonne qualité de l'air intérieur.

II-3-7-3- VENTILATION HYBRIDE TYPES

Tab 06 : Types de ventilation hybride

Source : auteur

| Types | Définitions | Schéma Explicatif |
|--|---|---|
| <p>La ventilation naturelle assistée</p> | <p>des ventilateurs basse pression se mettent en marche lorsque les forces motrices naturelles (vent et tirage thermique) ne sont plus suffisantes pour permettre la circulation de l'air et les débits requis.</p> |  <p>Figure 26 : ventilation naturelle assistée Source : PUBLICATIONS DE RAVEL ; "Transport de l'air", 1994.</p> |

| | | |
|---|--|--|
| <p>La ventilation mécanique assistée</p> | <p>qui correspond en réalité à un système de ventilation mécanique comportant des ventilateurs basse pression.</p> |  <p>Figure 27 : ventilation mécanique assistée Source : PUBLICATIONS DE RAVEL ; "Transport de l'air", 1994.</p> |
| <p>Une alternance entre la ventilation naturelle et mécanique</p> | <p>ce qui suppose que les deux systèmes sont totalement dissociés et que lorsque l'un fonctionne l'autre est à l'arrêt et inversement.</p> |  <p>Figure 28 : alternance entre la ventilation mécanique et naturelle Source : PUBLICATIONS DE RAVEL ; "Transport de l'air", 1994.</p> |

II-3-7-4- AVANTAGES ET INCONVENIENTS

Tab 07 : avantages et inconvénients de ventilation hybride

Source : auteur

| AVANTAGES | INCONVENIENTS |
|--|---|
| <p>La ventilation hybride permet d'utiliser au maximum les forces motrices de la nature pour la circulation de l'air et donc de réduire au minimum les consommations électriques des ventilateurs et auxiliaires associés.</p> <p>Elle couple à la fois les avantages de la ventilation naturelle et mécanique :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Les éléments de ventilation naturelle demandent généralement très peu d'entretien et ne comprennent pas de ventilateurs bruyants. - La ventilation hybride est simple, et peu coûteuse à l'exploitation. - Elle demande peu de place utile dans les locaux techniques. - Les débits d'air extraits sont en partie contrôlés. | <p>La ventilation hybride semble un bon compromis entre la ventilation naturelle très économe en énergie et la ventilation mécanique qui permet de s'assurer les débits d'air recommandés. Toutefois, la ventilation hybride reste liée aux phénomènes naturels de mouvement de l'air, la qualité de l'air risque de ne pas être garantie dans tous les locaux. Le renouvellement d'air peut être fortement perturbé par le vent, par l'ouverture de fenêtres, ... Il est donc nécessaire de trouver le juste milieu entre débits recommandés et économies d'énergie d'où l'importance de sa régulation !</p> <p>En outre, comme pour la ventilation simple flux (extraction mécanique) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - L'air neuf n'est pas filtré et les grilles d'amenée d'air peuvent laisser filtrer les bruits extérieurs, ce qui peut être délicat en site urbain ou fortement pollué. - Les grilles d'ouvertures peuvent engendrer un inconfort, par exemple en plein hiver, sauf si la grille d'ouverture est placée à une hauteur supérieure à 1,80 m par rapport au sol ou derrière un corps de chauffe. - Les ouvertures entre locaux, favorisent le passage de bruits pouvant être très gênants. Un traitement acoustique des grilles doit alors être prévu. Mais en pratique, la présence d'absorbeur acoustique dans une ouverture augmente son épaisseur et sous-entend généralement que la grille doit être placée dans l'épaisseur du mur (et non dans le vitrage ou dans la porte). - Enfin, les ouvertures dans les façades ne sont pas toujours du goût des architectes |

II-3-7-5- CONCEPTION DE SYSTEMES DE VENTILATION HYBRIDE

Le processus de ventilation hybride dépend fortement du climat extérieur, du microclimat entourant le bâtiment ainsi que du comportement thermique du bâtiment. C'est pourquoi il est essentiel de prendre ces facteurs en compte dans l'étape de la conception de base. Cette première étape débouche sur une orientation, une conception et un plan du bâtiment minimisant les sollicitations thermiques du bâtiment en périodes de surchauffe, ce qui permet, à l'aide de la stratégie de ventilation choisie, d'exploiter les forces motrices dominantes (vent et/ou tirage thermique) à un endroit spécifique et de garantir une bonne distribution de l'air dans tout le bâtiment. Il est également important de prendre en compte des aspects comme le potentiel de refroidissement nocturne, le bruit, la pollution de l'air environnant ainsi que la sécurité incendie et la sécurité en général.

L'étape de la conception climatique consiste à concevoir le mode de ventilation naturel du système hybride. L'emplacement et le dimensionnement des ouvertures dans le bâtiment ainsi que les caractéristiques permettant de stimuler des forces motrices comme les cheminées solaires et le tirage thermique sont conçus conformément à la stratégie choisie pour la ventilation de jour et de nuit. Sont prises en compte, les méthodes passives de réchauffement et/ou de refroidissement de l'air extérieur, de même que la récupération de chaleur et la filtration. Il convient par ailleurs de déterminer des stratégies de contrôle appropriées pour le mode de ventilation naturelle et de prendre des décisions en ce qui concerne le niveau de contrôle automatique et/ou manuel et l'interaction de l'utilisateur.

La troisième étape consiste à concevoir les systèmes mécaniques nécessaires pour rencontrer les exigences en matière de confort et d'énergie. Il peut s'agir de placer de simples ventilateurs d'extraction mécaniques pour accroître les forces motrices, d'une ventilation mécanique double flux ou de systèmes de climatisation.

La ventilation hybride et toute la stratégie de contrôle du système correspondante sont déterminées pour optimiser la consommation énergétique tout en maintenant des conditions de confort acceptable.

La climatisation et la ventilation d'espaces intérieurs seront assurément efficaces si le processus de conception se déroule dans un ordre logique par étapes successives en approfondissant les détails jusqu'à la conception finale et dans le cadre d'une procédure de conception.

Dans le cas d'une ventilation hybride, la nécessité d'une procédure de conception apparaît encore plus évidente en raison de l'équipe complète de conception en présence: les utilisateurs, le propriétaire du bâtiment, l'architecte, l'ingénieur civil et le conseiller en climat intérieur et en énergie, tous doivent être impliqués – en même temps.

Une procédure de conception HVAC comporte différentes phases : la phase de définition du concept, la phase de conception de base, la phase de conception détaillée et l'évaluation de la conception.

II-3-7-6- DEVELOPPEMENTS

Les aspects suivants jouent un rôle important dans le développement de systèmes hybrides actuellement en cours dans un certain nombre de pays européens :

- évacuation localisée ou évacuation centralisée
- réglage de l'alimentation et de l'évacuation
- entrées d'air autocontrôlées
- conduits basse pression alimentés par le vent et le tirage thermique
- conception optimale de l'extracteur
- contrôle de la demande par des détecteurs IR, CO₂ et RH ou contrôle horaire
- dimensionnement optimal des conduits
- optimisation de la conception du ventilateur

II-3-7-7- RETOUR D'EXPERIENCE

Le système illustré ci-dessous est un système de ventilation hybride industrielle ayant un impact limité sur le bâtiment. Cependant, l'énergie du ventilateur est limitée en raison des effets du vent et u tirage thermique. De plus, pendant certaines périodes de l'année, le système fonctionne sans forces mécaniques. L'ensemble est équipé d'un système de récupération de chaleur à faible résistance fonctionnant également à l'appui des forces naturelles. Le système peut aussi être installé dans des habitations. Il s'agit d'un concept typique de ventilation mécanique mais la distribution à basse pression a été prise en compte pour que les sources naturelles disponibles constituent une part importante des forces motrices.

Les bâtiments dans lesquels ce système est installé sont des bâtiments ordinaires sans dispositif de ventilation hybride spécifique dans la structure du bâtiment. L'application de ce système est presque illimitée mais les frais et l'investissement jouent un rôle déterminant.

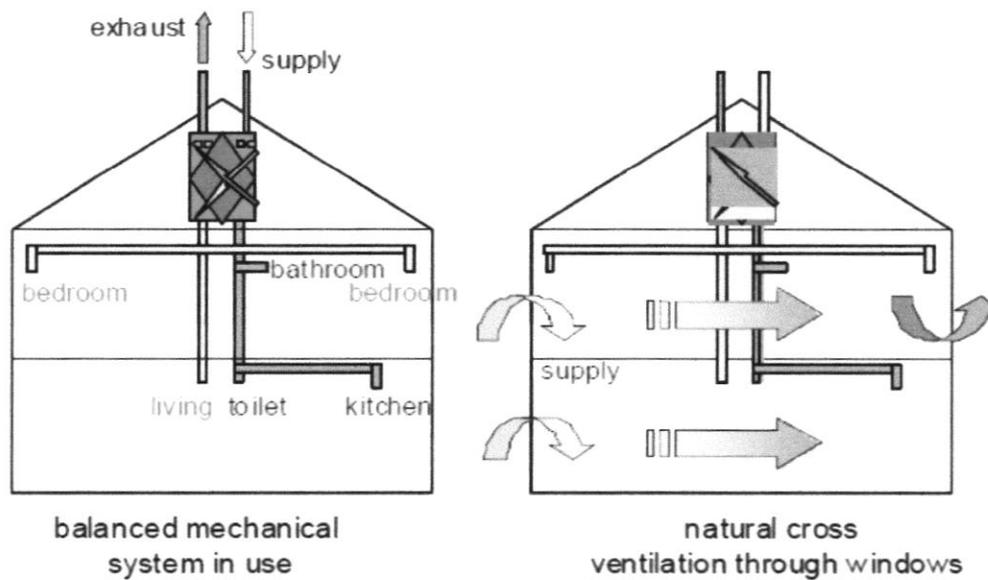


Figure 29 : Mode de ventilation mécanique (gauche) et naturelle (droite)



II-4- CONCLUSION

Les systèmes de climatisation sont nécessaires dans des espaces qui répondent à certaines fonctions pour lesquelles un contrôle parfait des températures est nécessaire : salles d'opération dans un hôpital, salles serveur, conservation d'aliments... Lors de la conception de bâtiments classiques de bureaux ou d'habitation dans les climats chauds, la ventilation naturelle devrait être envisagée prioritairement à l'installation de systèmes de climatisation. Loin d'être un système archaïque, ce moyen passif d'assurer le confort thermique est souvent plus efficace qu'une installation massive de systèmes de climatisation lorsqu'il est bien conçu (hors climats extrêmes).

Plusieurs raisons peuvent expliquer la perte d'attractivité de cet outil :

- inadaptation pour assurer les débits hygiéniques en climat tempéré (pertes thermiques en hiver) ;
- difficultés de prédiction et de garantie de performances ;
- facilité de conception des systèmes de VMC;
- facilité de conception et de garantie de performances des systèmes de climatisation ;
- image de « standing » des systèmes de climatisation;

Pour résoudre ces difficultés, il est nécessaire d'envisager des systèmes pilotés hybrides dans les climats tempérés, de développer les moyens de contrôle des systèmes de ventilation naturelle mais surtout de faciliter la conception de bâtiments ventilés naturellement en développant les outils prédictifs de simulation de leurs performances.

CHAPITRE III :

Cas d'étude

III – 1-INTRODUCTION

Les autorités algériennes affichent clairement leurs ambitions de faire de ce pays l'une des destinations touristiques prisées en Afrique. Ces dernières années, l'Algérie attire de plus en plus d'investisseurs et grands groupes du secteur touristique.

L'Algérie veut devenir une destination touristique, ce n'est point un secret. La volonté affichée par les autorités témoigne de l'importance de ce secteur, qui possède un potentiel énorme. Certes on n'est pas encore dans le registre des grands pics des arrivées internationales, mais on peut déjà se permettre de rêver, et pour preuve l'intérêt porté par les acteurs mondiaux à ce pays.

C'est pourquoi aujourd'hui, il y a un véritable travail de renaissance à mener, de restauration et une volonté d'ancrer de nouveau cette tradition qui vient du plus profond de notre histoire faisant partie prenante de la conscience collective. Cet objectif s'inscrit en lettres d'or dans le programme de redynamisation de la politique du tourisme dans notre pays, car il constitue un élément central, de celle-ci.

Il y a dans la richesse de ce passé un extraordinaire vivier qu'il nous faut préserver. Il est un élément constitutif de notre personnalité et un gisement au service d'une politique touristique qui retrouve ses marques dans notre pays. Cela à travers une prise en charge en termes d'objectifs à atteindre, une mise à disposition de moyens, l'appel à un partenariat mutuellement avantageux et une implication de l'initiative privée nationale et extérieure qui est une source inépuisable de richesses.

III – 2-CHOIX DU CAS D'ETUDE

Le choix de ce cas d'étude n'est pas fortuit, les éléments majeurs qui ont guidé ma réflexion vers ce site monumental sont :

- Sa proximité de la capitale Alger qui nous a incités à la considérer comme une partie de l'aire métropolitaine du grand Alger.
- Les atouts naturels et le patrimoine culturel et historique de la wilaya de Tipaza qui sont propices à de nombreuses activités touristiques.

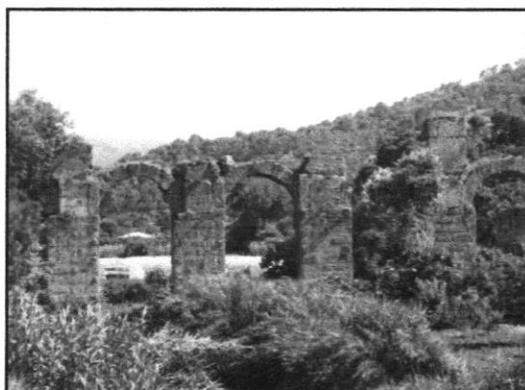


Figure 30 : Tipaza source auteur

III – 3-LA VILLE DE TIPAZA

La ville de TIPAZA c'est avant tout le témoin vivant de deux mille ans d'histoire en effet elle assiste à l'avancement de plusieurs civilisations de différentes époques laissant à chaque passage des témoignages concrets qui subsistent jusqu'à nos jours et constituent aussi un patrimoine historique universel de valeur inestimable et de grande importance économique et touristique.

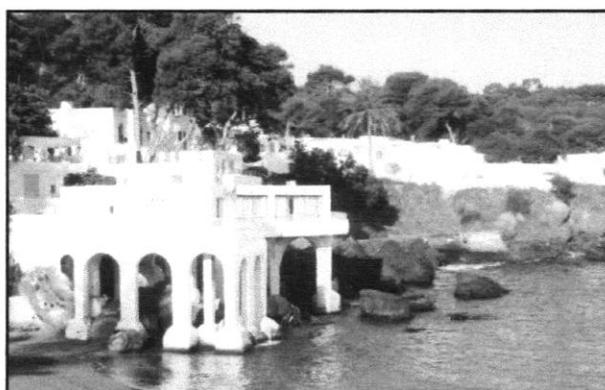


Figure 31: Photo de la ville de Tipaza, Source : auteur

III-4--ANALYSE DE LA VILLE DE TIPAZA

III-4-1-SITUATION DE LA VILLE (A L'ECHELLE NATIONAL)

TIPASA est une ville Méditerranéenne; chef-lieu de wilaya située dans les confins Ouest du Sahel d'Alger à 70km et 28km à l'Est de Cherchell. Elle est constituée par les collines du sahel qui s'allongent parallèlement à la cote. Elle est limitée par :

- *La mer Méditerranée au Nord.
- *Hadjout et Sidi Rached au Sud.
- *Ain Tagourait à l'Est.
- *Nador et Cherchell à l'Ouest.

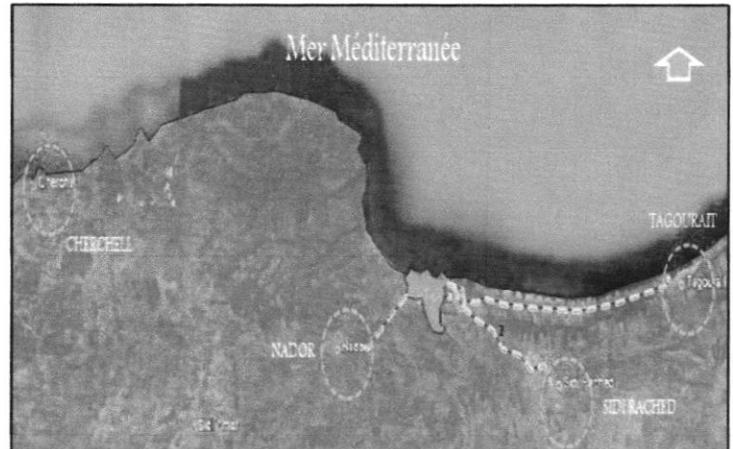


Figure 32 : Photo aérienne, source ; auteur

III-4-2-CLIMAT LA VILLE

Le climat est de type méditerranéen, caractérisé par un été chaud et sec et un hiver doux et humide. Sur le littoral la température ne descend pratiquement jamais en dessous de 0°C et ne dépasse pas 40°C. La température moyenne est de 10° en janvier et de 25° en août. Les principales activités industrielles qui pourraient être des sources de pollution sont distantes de 15 à 30 km de la côte et elles se limitent à quelques carrières d'exploitation d'agrégats (Ahmeur El Ain, Meurad, Sidi Amer).

III-4-3-LA SITUATION RÉGIONALE :

La ville de TIPASA jouit de relations d'échanges avec les villes limitrophes notamment Alger et Cherchell.

Elle est limitée par :

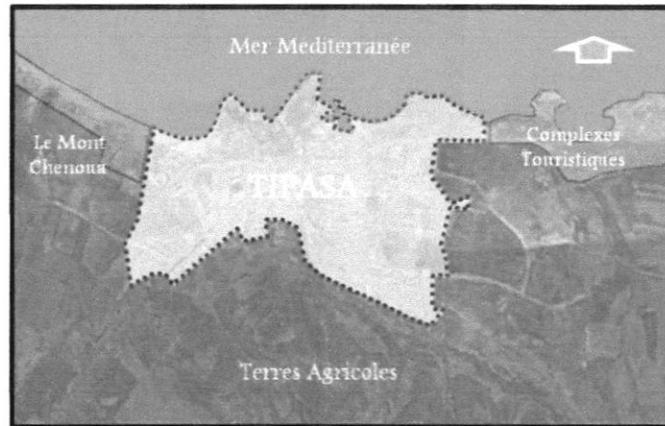
- * La Mer Méditerranée au Nord
- * Les Terrains Agricoles au Sud
- * Les Complexes Touristiques CET –CORNE D'OR à l'Est



Mont Chanoua



Complexe Matares
Centre de CRF



Terres agricoles



Complexe CET



Complexe
Touristique Corne
d'or

Figure 33 : délimitation de la ville Source ; auteur

III -4-4-L'HISTORIQUE DE VILLE

Les Phéniciens y ont fondé un comptoir vers le V^e siècle av. J.-C. : c'est de cette origine que la ville tire son nom qui signifie « lieu de passage » ou « escale » les gens disent TIPAZA mais il semble que l'orthographe exacte soit avec un « s » - est à l'origine. Mais le plus plausible, Tipasa est la déformation du mot berbère "Tafsa" qui signifie le grès ou la pierre calcaire, toujours en usage dans beaucoup de régions du Maghreb.

La ville connaît son essor sous le roi numide Juba II et devient avec *Caesaria* (actuelle Cherchell) l'un des foyers de la culture gréco-romaine en Afrique du Nord ou on trouve jusqu'à nos jours des vestiges d'une ancienne ville romaine, malgré l'escarpement et les accidents du terrain (entre deux promontoires rocheux sur un terrain qui forme un V), TIPASA est articulé selon la trame orthogonale avec le croisement de deux axes principaux, le CARDO et le DECUMANUS MAXIMUS.

À la fin du II^e siècle, la ville connaît son apogée avec une population qui s'élève, selon les estimations de Stéphane Gsell, à 20 000 habitants.

Au II^e siècle, cette cité romanisée s'agrandit vers l'ouest aux dépens d'une ancienne nécropole punique. Bien qu'elle fût entourée d'une longue muraille de 2 km, cela n'a pas empêché sa destruction en l'an 430 par les Vandales menés par Genséric.

Avec l'arrivée des français Tipaza devient chrétienne, occupée par groupement de quelques familles sur le Haouch-et-Tefassed (la ruinée). Familles berbères, ainsi que les "Chenoui" qui occupaient le petit massif montagneux du CHENOUA. Lorsque l'Ouest de la Mitidja entre, en 1848, dans le périmètre de colonisation, TIPASA apparaît comme le débouché logique sur la mer. Un projet de création d'un village d'une trentaine de feux, à double vocation, pêche et agriculture, est arrêté puis différé.

III-4-5-ACCESSIBILITE A LA VILLE

-La ville de Tipasa est traversée par un seul axe de communication lui permettant la relation avec l'Est, l'Ouest et le Sud sur le plan local et même régional.

-Actuellement ,avec l'ouverture de la voie express; La ville est desservie par un réseau routier relativement bien maillé composé de liaisons régionales qui servent de relais entre les différents centres de peuplement ou d'activité, et de liaisons qui véhiculent les échanges avec les wilayas limitrophes (Alger- Blida- Cherchell et Hadjout).



Figure 34: plan de situation source ; google earth

III-5- L' AIRE D' ETUDE

III-5- 1- PRESENTATION D' AIR D' ETUDE (Complexe Touristique C.E.T)

Visiter Tipaza, c'est aussi visiter son complexe touristique la CET à l'entrée de cette ville. L'Algérie post indépendance a construit plusieurs complexes touristiques qui continuent toujours combler le vide en la matière. Le complexe CET a été conçu par l'architecte français Fernand Pouillon. Il a été ouvert en 1975. Dans ce complexe, Fernand Pouillon a fait revivre en l'interprétant le style mozabite. Il faut ajouter que plusieurs complexes touristiques construits dans les années 1970 avaient une architecture typiquement locale dont l'Hôtel El Mountazah à Serradi (Annaba) ou l'hôtel Louss au nom d'une plante saharienne à Oued Souf etc.

III-5-2- LOCALISATION

Le complexe touristique « CET » se trouve à la limite est de Tipasa, Il s'étend sur près de 37 ha, le Cet est limité :

Au Nord par la Méditerranée

Au Sud par la RN11.

À l'Est par des terres agricoles.

À l'Ouest par le complexe Corde d'or.

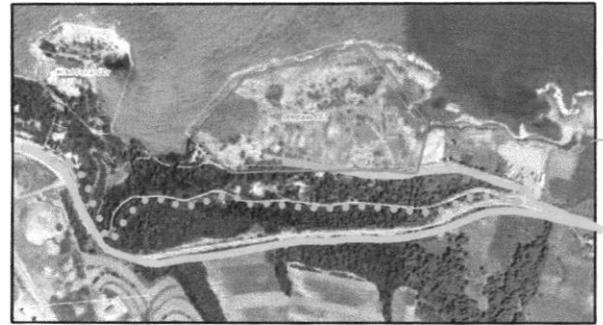


Figure 35 : Photo aérienne, source ; auteur

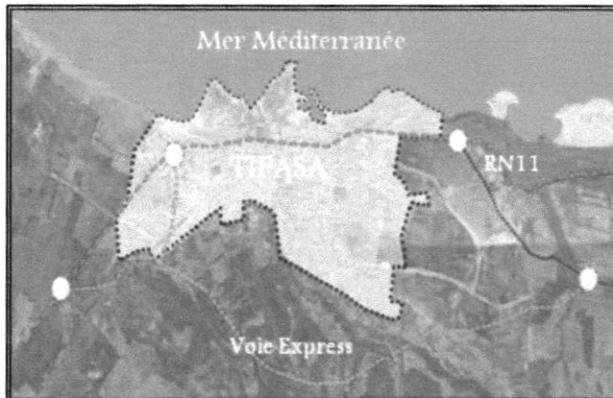
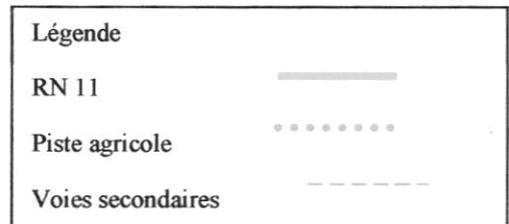
III-5-3- ACCESSIBILITE

L'accessibilité au périmètre d'étude est assurée par :

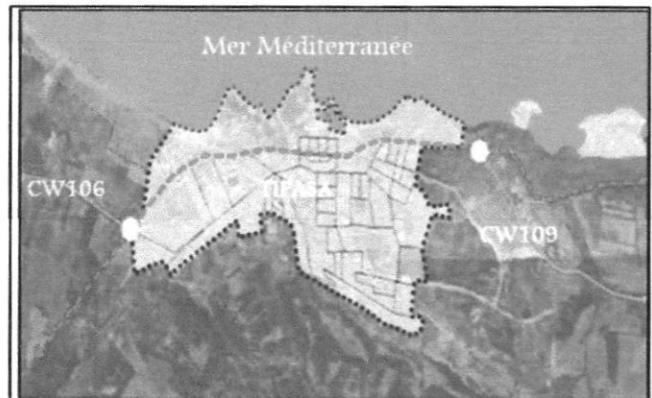
La route nationale 11.

Piste agricole.

Deux voies secondaires



Les voies extérieures desservant la ville de Tipasa



Le réseau secondaire

Figure 36: plan de délimitation ; source auteur

III-5-4- DIMENSION ET FORME

Notre site s'étend sur une superficie de 37 Hectares.

La forme de notre site est irrégulière, elle est la résultante des différentes barrières naturelles et artificielles .

Il est presque une forme d'une île

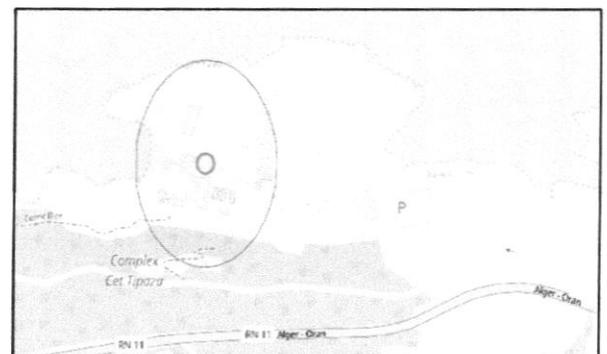


Figure 37 : forme de site Source ; auteur

III-5-5- LES DIFFERENTE VUES DU SITE

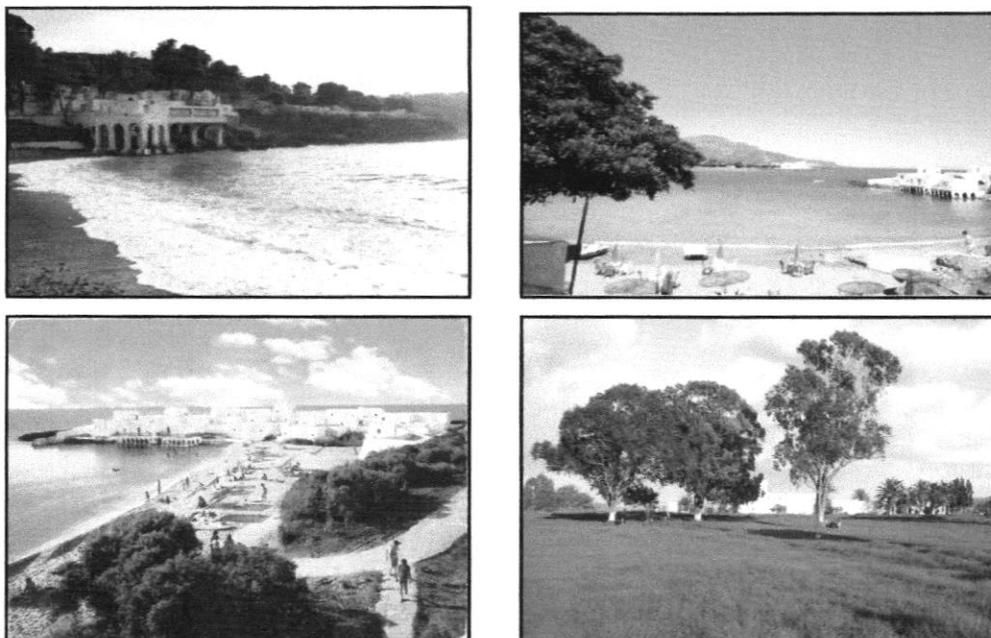


Figure 38 : Vue générale du site ; auteur

III-5-6- PRESENTATION DU BUNGALOW

III-5-6-1- DESCRIPTION

Levé sur un éperon rocheux, les pieds dans l'eau, derrière une pinède qui craque de soleil, le bungalow est un exemple des autres bungalows de l'archétype de ce village de vacances méditerranéen : pseudo-mauresque et un peu grec, avec murs blanchis à la chaux, volets bleus, loggias ombragées, plage de sable blanc...

Une superficie de 62m² avec un grand séjour ouvrant sur la cuisine et une chambre et des sanitaires, tout au tour des terrasse et balcon qui donne sur la mer et la plage.

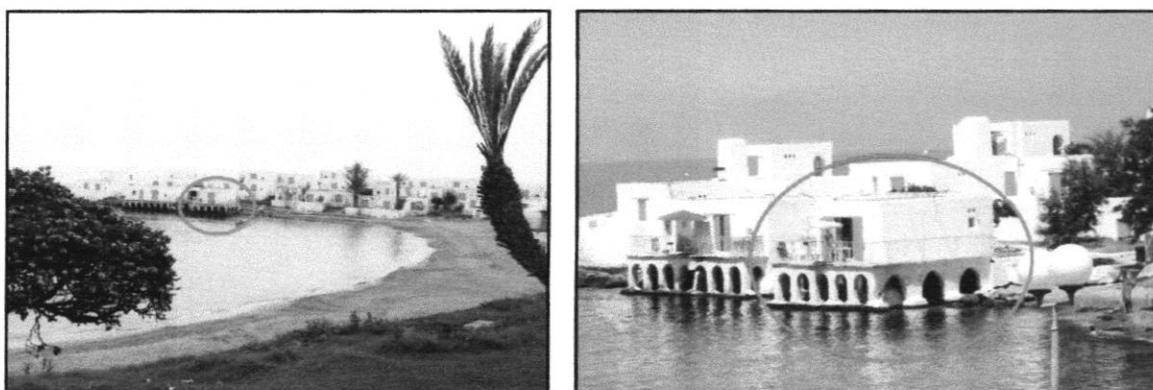
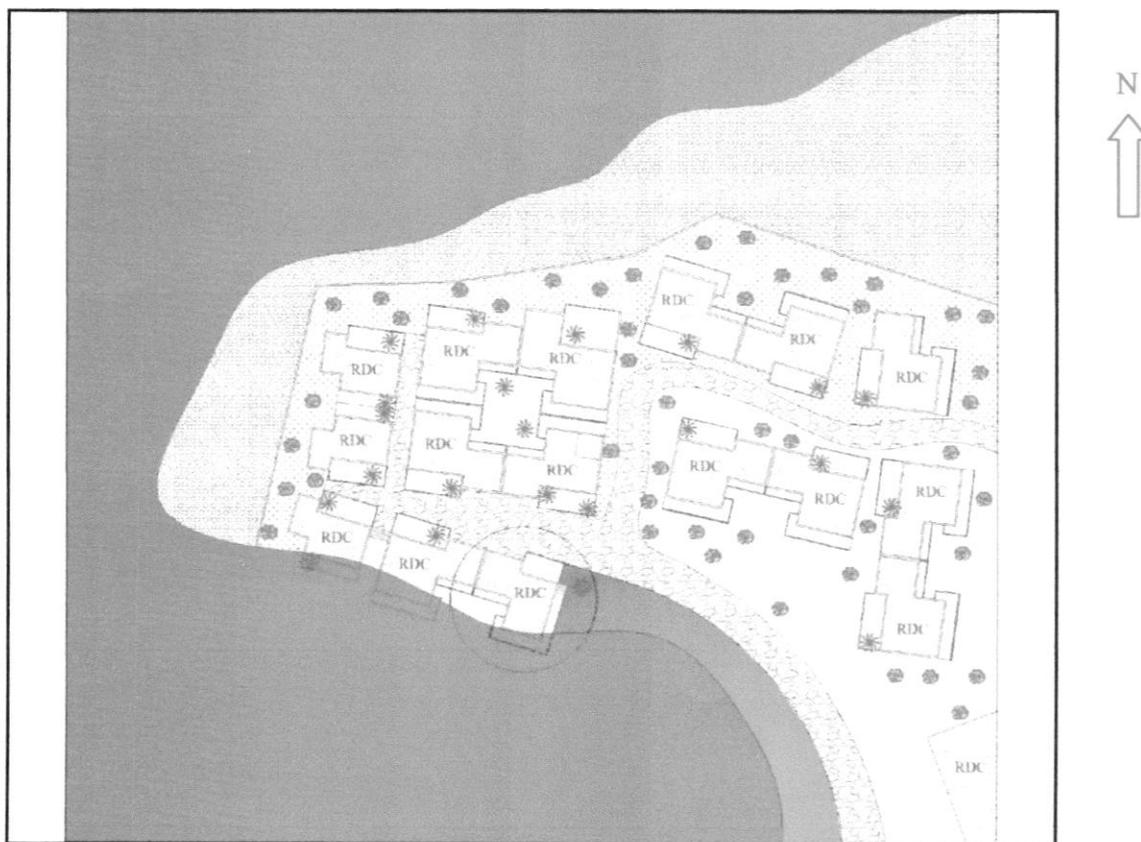


Figure 39 : Vue générale sur le bungalow ; auteur

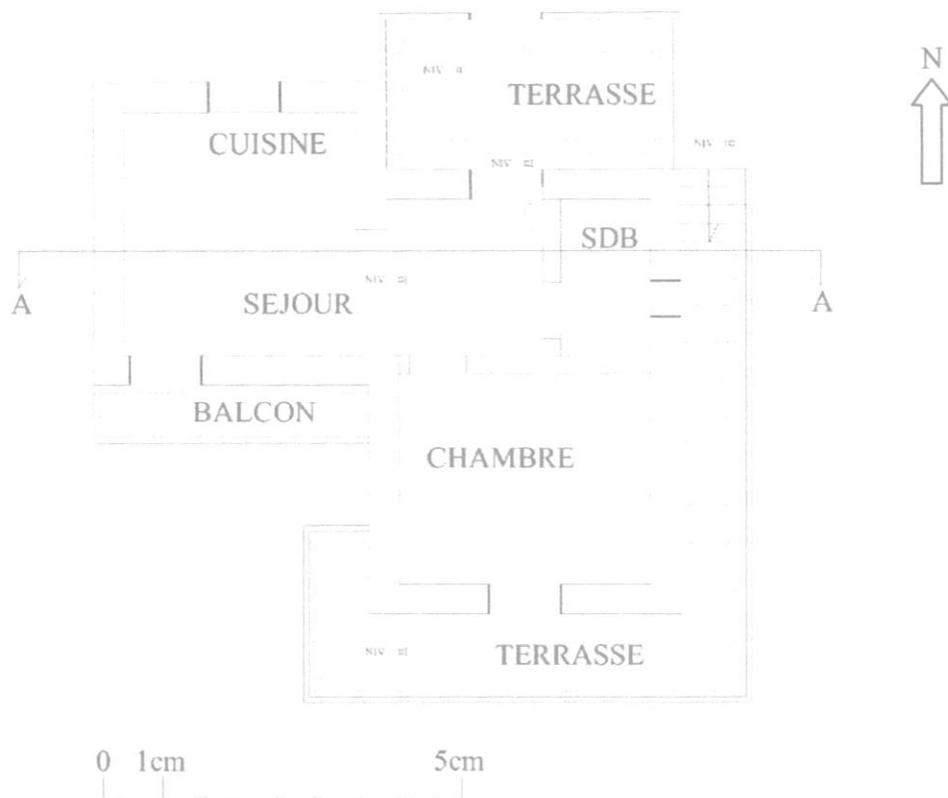
III-5-6-2- DOSSIER GRAPHIQUE



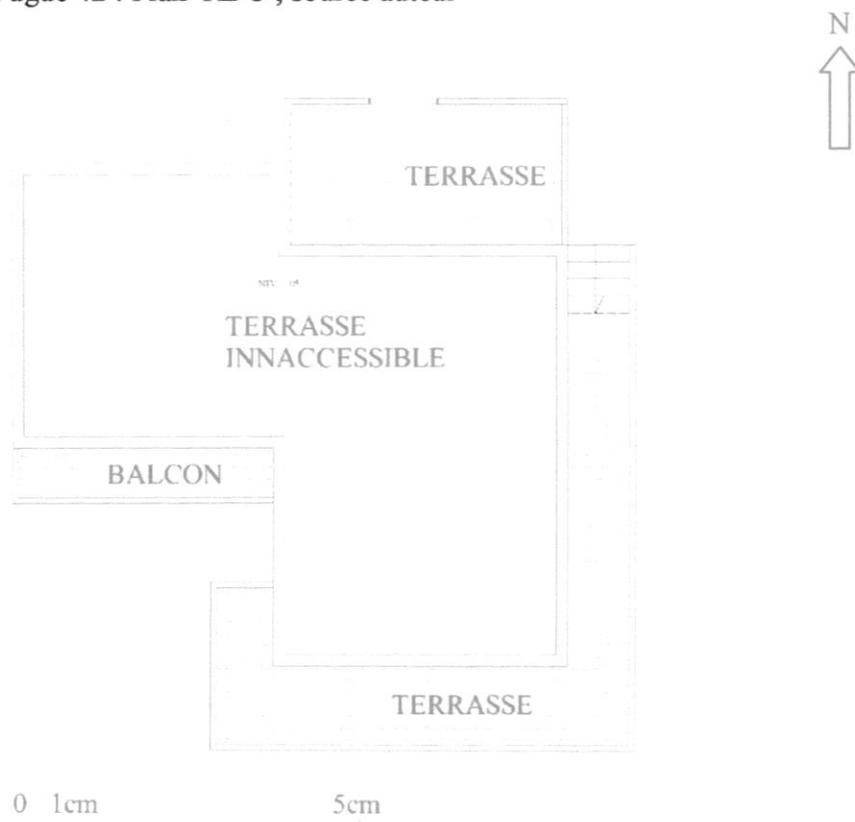
Fugue 40 : Plan de situation ; source google earth



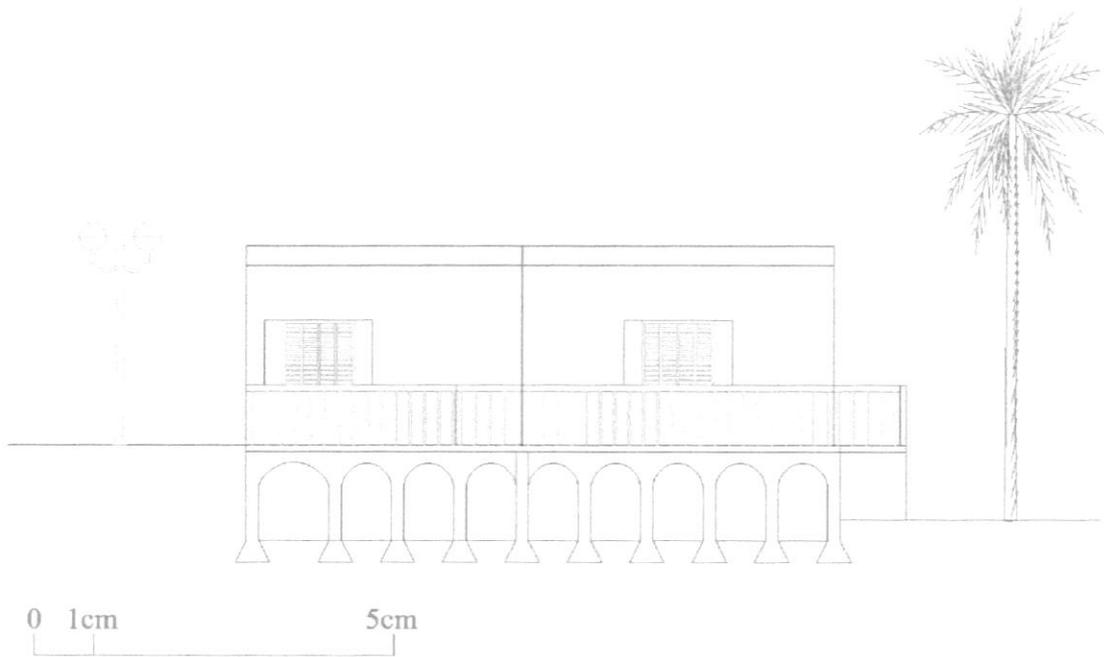
Fugue 41: PLAN DE MASSE; source auteur



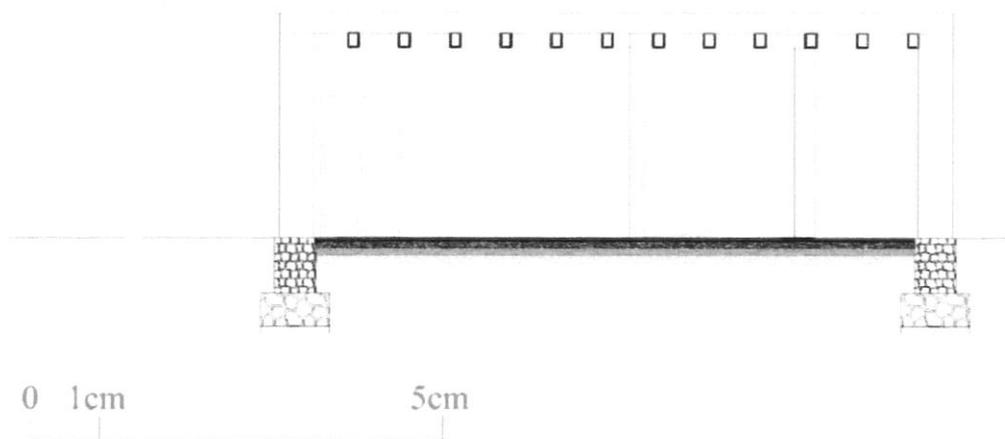
Figue 42 : Plan RDC ; source auteur



Figue 43 : Plan toiture ; source auteur



Fugue 44 : façade sud ; source auteur



Fugue 45 : coupe A-A ; source auteur

III-5-6-3- LES CARACTERISTIQUES TECHNIQUE DU BUNGALOW

Un plancher de 20cm en madrier et une chape de 4cm, pour les murs extérieur double cloisons de 50cm, mur intérieur de 20cm, plafond en béton avec des lamelles en bois

Pour la façade de l'enduit avec une texture a la chaux en blanc, menuiserie des portes fenêtres en volet bleu.

III-5-7-LES DONNEES CLIMATIQUES

III-5-7-1- ETAGES BIOCLIMATIQUE :

Notre site est caractérisé par un étage bioclimatique subhumide et climat méditerranéen

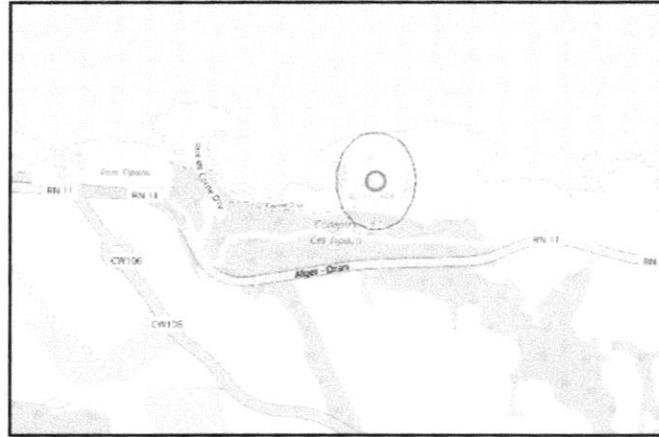


Figure 46 : vue sur le site avec limite du terrain source auteur

III-5-7-2- LA TEMPERATURE

Les températures varient entre 33°C pour les mois chauds de l'été (juillet, août) à 5,7°C pour les mois les plus froids (décembre à février) donc il faut des isolations d'extérieur pour se protéger.

Le climat de Tipaza est un climat doux, Malgré qu'il présente des températures assez élevées en Juin, Juillet, Aout et Septembre

Les moyens de température annuelle en Algérie

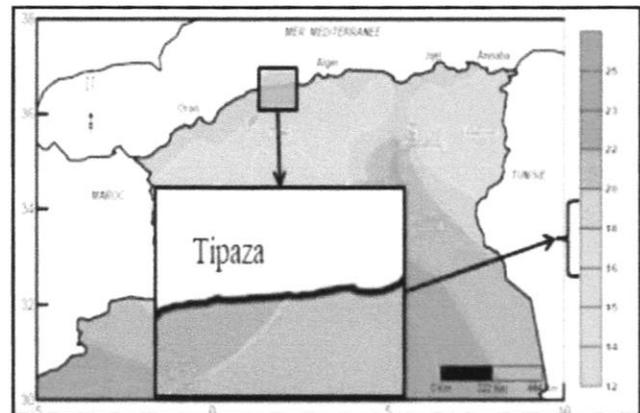


Figure 47: la température source ;
www.memoireonline.com 2002

donc on se protège de cette température élevée.

III-5-7-3- L'HUMIDITE

La Ville de Tipaza est caractérisée par un taux d'humidité élevé, il varie entre 40.8% et 94%, on doit minimiser de cette humidité par renforcer l'aération (les patios par exemples

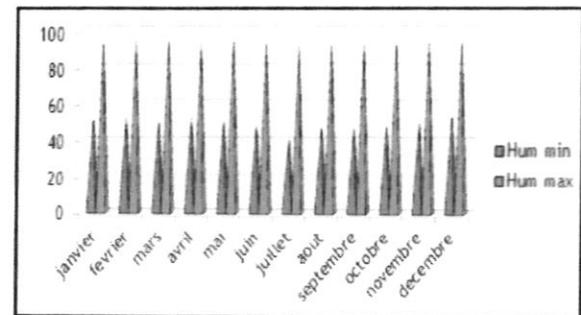
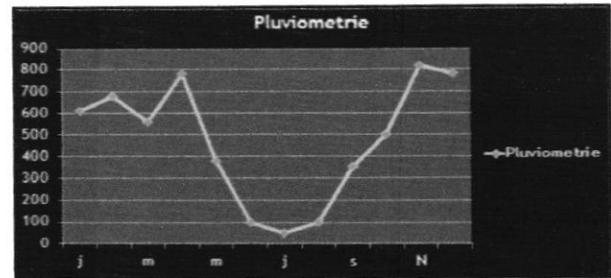


Figure 48 : schéma de l'humidité source ;
www.memoireonline.com 2002

III-5-7-4- LES PRECIPITATIONS

Elles ne sont pas régulières, les mois les plus pluvieux sont ;

Décembre, Janvier, Février, Avril. Par contre dans le reste de l'année il s'agit de pluies reçues sous forme d'orages.¹³



III-5-7-5- LES VENTS DOMINANTS

Les vents dominants sont :

Les vents froids d'hiver, avec une direction Nord-Ouest. On se prévient de l'orientation des ouvertures N-O. Les vents d'été, avec une direction Est et Nord-est. Solutions (créer des obstacles pour minimiser l'effet de vents chaud).

La ville est touchée par les deux vents dominants du Nord-Ouest en hiver et du Nord-est en été. La ville est touchée par les deux vents dominants du Nord-Ouest en hiver et du Nord-est en été.

La zone littorale est exposée aux vents marins salés. Sinon les vents dominants soufflent du Nord Est et d'Ouest ; la vitesse moyenne est de l'ordre de 2,5 à 3 m/s. Les vents du Nord sont généralement froids se produisant durant la quasi-totalité de l'année. Quant aux vents du Sud, souvent chauds et secs.

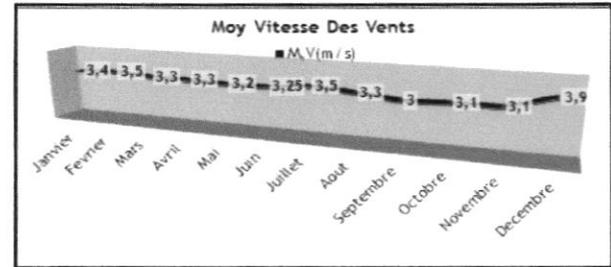


Figure 49 : source ; www.memoireonline.com 1999

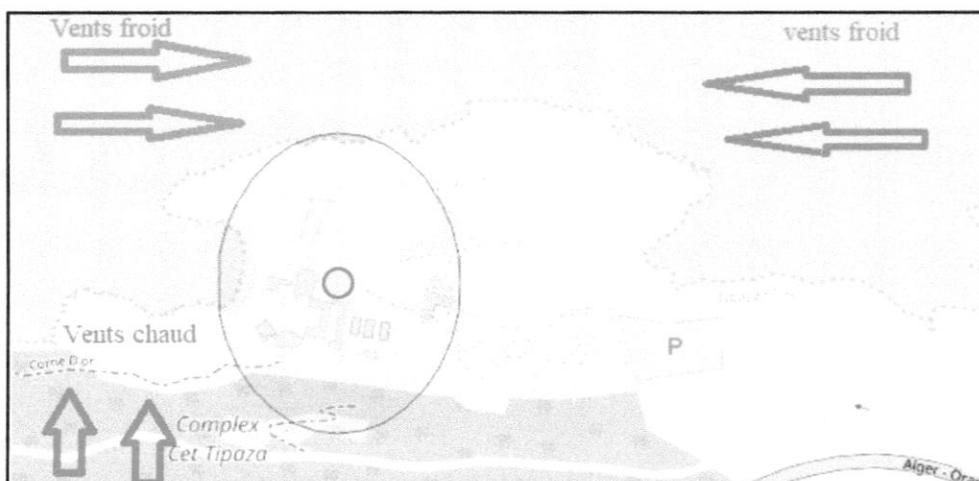


Figure 50 : les vents dominants source auteur

III-5-7-6- LE DIAGRAMME SOLAIRE DE TIPAZA

Après la réalisation de diagramme solaire de la ville de Tipaza, qui est une forme de représentation graphique de la course du soleil, et qui constitue un

outil facile et pratique pour repérer, depuis un point quelconque de la surface terrestre, le trajet du soleil à travers le ciel, en constate que ;

-en été, la quantité d'énergie solaire reçue est plus importante sur une surface horizontale que verticale même orientée au sud.

-en hiver, la quantité d'énergie solaire reçue est plus importante sur une surface verticale orientée vers le sud, qu'horizontale, cela nous permet dans un cas d'élaboré plusieurs stratégies, comme des stratégies de chaud et de froid, (capter, stoker, distribuer, conserver), (se protéger, éviter, minimiser, dissiper, rafraichir).dans un autre cas il permet de bien intégrée le projet dans sens environnement, et de bien profiter de ses avantage pour assurer le maximum de confort.¹³

III-5-7-7- DIAGRAMME PSYCHROMETRIQUE

La zone de confort de notre site est défini par:

- température de l'air sec varié entre 10°et 25°
- température de l'air humide varié entre 12°et 23°
- humidité relative de l'air varié entre 45 % et 70

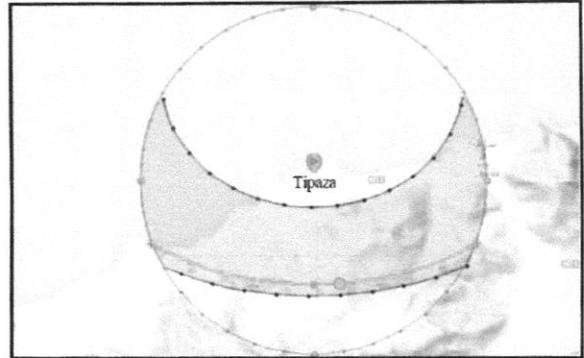


Figure 51 : diagramme solaire source auteur

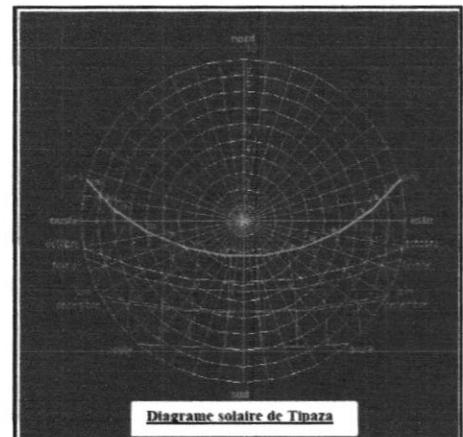


Figure 52 : Stratégies de chaud source ; www.grenoble.archi.fr 1999

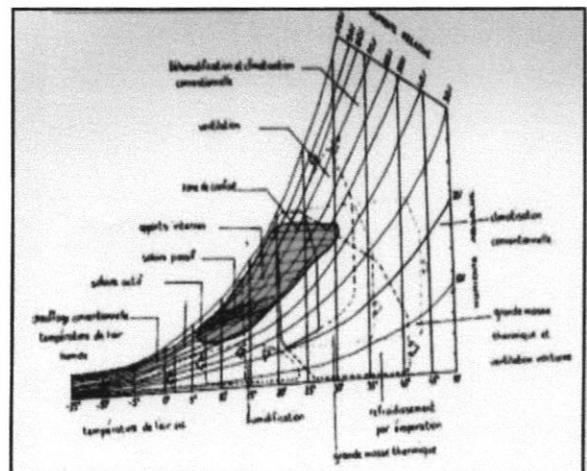


Figure 53 : Stratégies de froid source ; www.grenoble.archi.fr 1999

III-5-7-8- CARACTERISTIQUES

Le climat de Tipaza est un climat méditerranéen qui se caractérise par :

- *une température contrastée.
- *Amplitudes annuelles fortes 15°C.
- *Précipitation irrégulière.
- *Saison : été chaud /Hiver doux /Pluie violentes.
- *Manque de végétation.
- *Vents Violents

III -5-7-9- SISMICITÉ

Le secteur urbain de la région de Tipaza présente une sismicité forte. Les séismes viennent en général de la côte en bord de mer en relation avec le système des plaques

III -5-7-10- DONNEES

GEOMORPHOLOGIQUE

La ville de Tipaza est implantée sur un replat légèrement accidenté, compris entre la mer et les premières pentes de la montagne, elle est séparée de la cote par une falaise d'une vingtaine de mètres. Le reste du territoire communal est grande majorité très accidenté faisant partie du complexe montagneux de l'Atlas tellien. Ce site montagneux engendre quelques replats allongés.

80% du territoire présente une configuration physique, dont la pente dépasse 20%. La ville est enclavée au Nord par la mer méditerranée et au sud par les premiers contreforts des collines

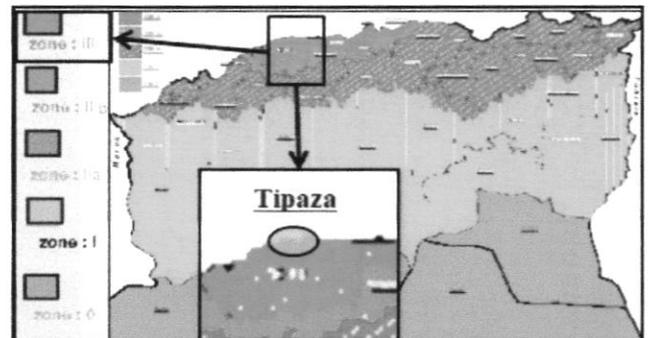


Figure 54 : Carte de la zone sismique source ; d'Algérie www.memoireonline.com 1999

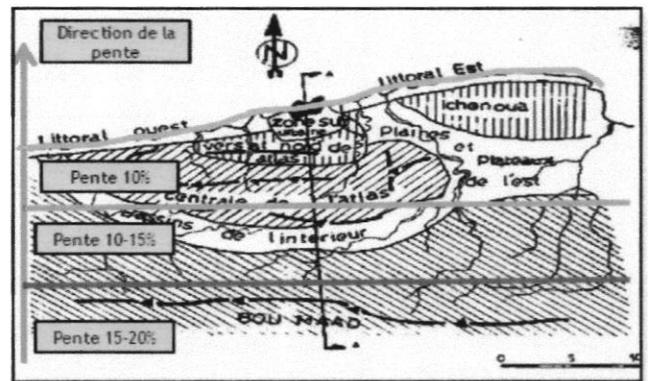


Figure 55 : données géomorphologique de Tipaza www.memoireonline.com 1999

III - 6-LA SIMULATION

III -6-1-INTRODUCTION

La simulation est l'un des outils les plus importants pour l'étude et le suivi du comportement thermique et la ventilation hybride dans le bâtiment, ce qui nous permet par la suite de juger les différentes performances d'équipement avant même que le projet ne soit mis en œuvre ce qui donne à l'ingénieur thermicien une exhibition primaire d'une importance capitale pour le bon déroulement du projet en question.

La simulation nous permet entre autre d'entreprendre une étude approfondie du projet sans perte de temps « la durée expérimentale » et d'argent.

Nous présentons dans cette partie les étapes suivies dans notre simulation ainsi que les résultats obtenus que nous discutons et détaillerons afin d'avoir une opinion évaluatrice de notre projet.

III -6-2- LES LOGICIELS RETENUS : (PLEIADES + ALCYONE)

PLEIADES apporte aux différents modules de calcul une interface efficace, ergonomique et sécurisée, accélérant considérablement la saisie d'un projet et l'étude de ses variantes. PLEIADES permet la saisie des bibliothèques, la description détaillée du bâtiment, le lancement des calculs et l'analyse des résultats.

Selon le module de calcul utilisé, PLEIADES peut servir pour :

- La conception bioclimatique et l'analyse du confort thermique (moteur COMFIE de simulation thermique dynamique) avec calcul des besoins et des consommations énergétiques et indicateurs de confort)
- La vérification des exigences réglementaires (moteurs RT-existant et RT2012)
- Le dimensionnement des systèmes de chauffage ou de climatisation

PLEIADES est complété par deux outils qui facilitent grandement son utilisation :

- ALCYONE : l'interface de saisie et de visualisation 3D du bâtiment, calculs d'éclairage et de facteur de lumière du jour (FLJ).
- METEOCALC : l'utilitaire pour la génération et la mise en forme de fichiers météo (pour le calcul STD avec COMFIE)

III -6-3- PROTOCOLE DE LA SIMULATION

Plusieurs scénarios seront réalisés via le Logiciel Pléiades afin d'atteindre les performances voulues pour notre équipement que nous avons citées dans les chapitres précédents. Pléiades opère en scénarios. Ces derniers sont fractionnés suivant deux périodes, une période estivale de six mois et une période hivernale de six mois aussi. Sur ce point nous n'avons pas le choix sur la durée saisonnière qui est entrée automatiquement par pléiades.

On a composé l'année en deux grandes saisons suivant le fonctionnement du pléiades et suivant les types des besoins qu'on a ; chauffage et climatisation, une saison froide qui nécessite et qui exige beaucoup plus de chauffage et très peu de climatisation et vice versa, cette idée de composer l'année en deux larges saisons a pour but de :

-Injecter les scénarios qui se déferent les uns des autres et qui dépendent du climat extérieur ; été ou bien hiver, a titre exemple la ventilation d'été ; elle n'est pas la même celle de l'hiver

Les résultats des simulations sont affichés généralement sous forme des tableaux ou bien des graphes ; ils consistent en :

-Un tableau récapitulatif qui affiche les besoins de chauffage/climatisation

-Visualisation graphique du comportement de l'enveloppe thermique d'une période de la saison bien définie à titre d'exemple : la semaine la plus froide ou bien la semaine la plus chaude

III -6-4- ETAPES DE SIMULATION

Première étape : modélisation du bâtiment superficie de 62m², qui vont être simulé, après les avoir importé d'autocad.

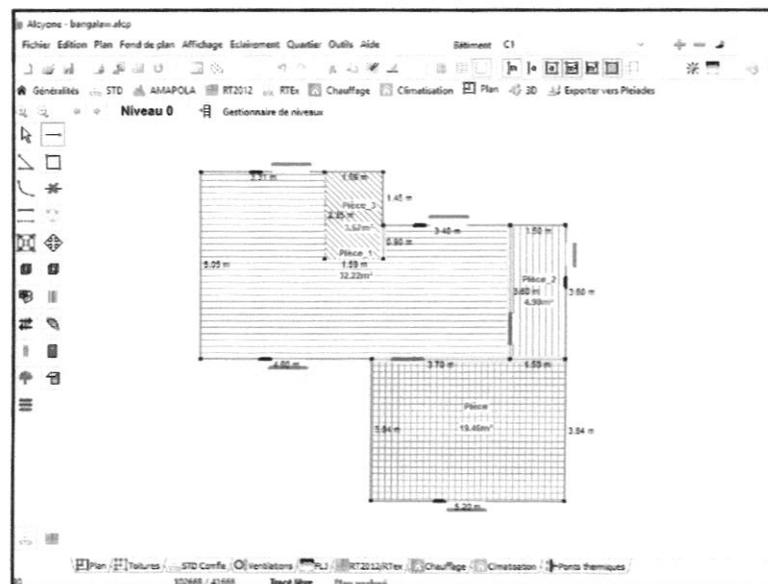


Figure 56 : modélisation plan du bungalow; source auteur alcyone

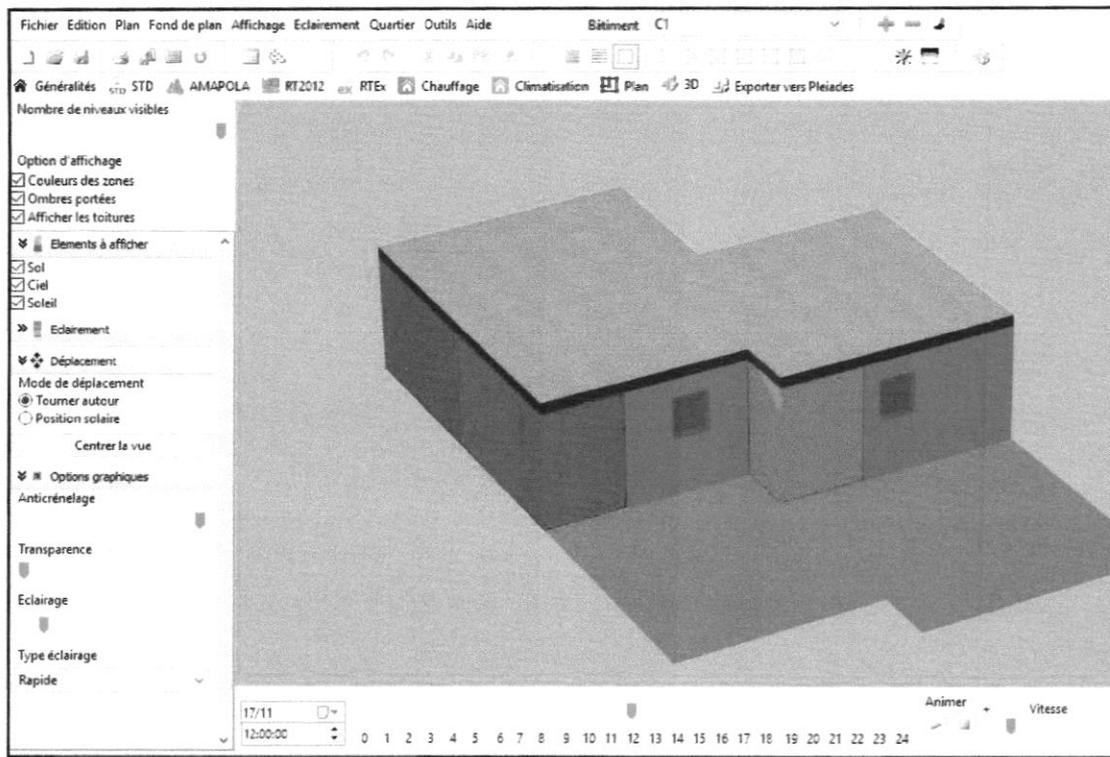


Figure 57 : modélisation 3D du bungalow; source auteur alcyone

Deuxième étapes ; on fait entrer les caractéristiques des murs, (extérieur, intérieur), et les planchers, et aussi la toiture, après avoir ajouté les fenêtres et les portes

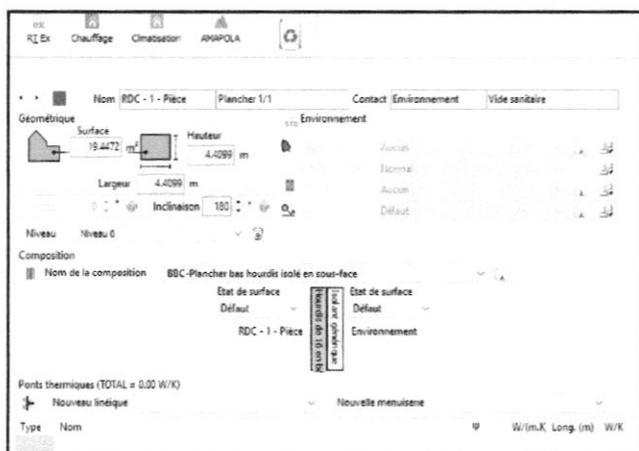


Figure 58 : caractéristiques du plancher; source auteur alcyone

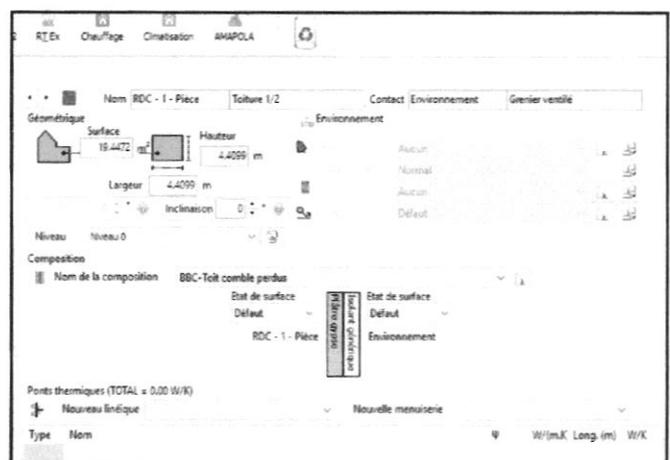


Figure 59 : caractéristiques toiture; source auteur alcyone

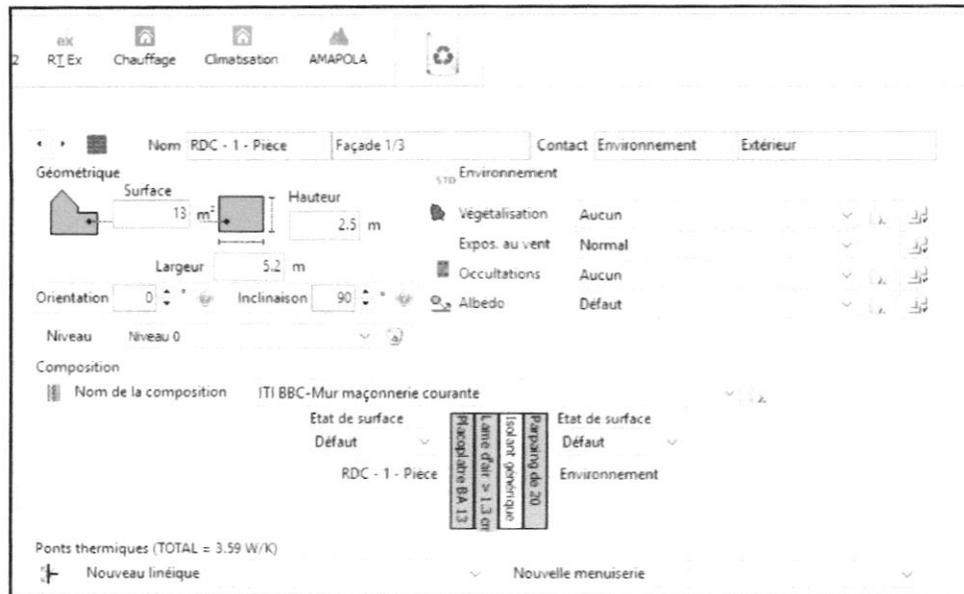


Figure 60 : caractéristiques des murs; source auteur alcyone

Troisième étapes ; on fait entrer la station météorologique de Tipaza climat méditerrané, avec les caractéristiques de la ville dans Alcyone, pour exporter toute ses données vers pléiades+Comfie et commencé la simulation,

III -6-5- VARIABLE DE SIMULATION

III- 6-5-1- SIMULATION AVEC UNE VENTILATION NATURELLE

Dans cette étape de simulation, on va simuler avec une ventilation naturelle, sans climatisation, cela veut dire qu'on ne va pas intégrer des scénarios de consigne de thermostat au niveau du fonctionnement des zones thermiques sous l'interface COMFIE de notre logiciel.

Cette étape de simulation nous permet de mesurer ou bien de voir clairement les extrêmes de températures à l'intérieur de notre bâtiment sans chauffage ni climatisation, donc connaître le taux de confort qu'il faut assurer dans notre équipement.

Résultats de simulation

Après le lancement de la simulation. Pléiades + Comfie nous a donné les résultats suivants

Tab 08 : simulation avec ventilation naturelle ; source auteur alcyone

| Zones | Besoins Ch. kWh | Besoins Ch kWh/m ² | Puiss. Chauff W | T° Moyenne (°C) | Besoins Clim kWh | Besoins Clim kWh/m ² | Puiss, Clim W |
|-------------------|--------------------|----------------------------------|--------------------|--------------------|---------------------|------------------------------------|------------------|
| Cuisine | 32 kWh | 9 kWh/m ² | 168 W | 26,71°C | 0 kWh | 0 kWh/m ² | 0 W |
| Séjour | 3535 kWh | 110 kWh/m ² | 3840 W | 20,84°C | 133 kWh | 4 kWh/m ² | 792 W |
| Sanitaires | 0 kWh | 0 kWh/m ² | 0 W | 22,66°C | 0 kWh | 0 kWh/m ² | 0 W |
| Chambre | 1848 kWh | 95 kWh/m ² | 2395W | 21,10°C | 135 kWh | 7 kWh/m ² | 556 W |
| Totale | 5415 kWh | 98 kWh/m ² | 6403 W | 21,42°C | 267 kWh | 5 kWh/m ² | 1348 W |

Remarque

-Les températures internes sont plus élevées que les températures externes. Les températures alors atteintes sont loin des températures de confort (15°C-21°C).

-les besoin de chauffage son très élevés

Commentaire :

Les températures internes sont plus élevées que les températures externes, quoi que ces dernières soient loin de la température de confort. La marge entre les températures internes et externes peut être expliquée par différents facteurs, notons alors que le taux de renouvellement d'air est plus bas en hiver qu'en été (comportement des usagers), ce qui limite les déperditions thermiques par renouvellement d'air. Ajoutant à cela la chaleur dégagée par les différents équipements électroménagers ainsi que l'effet de serre dans le cas de profil des rayons solaires. Ceci conduit naturellement à une augmentation de la température intérieure, dont une partie est dissipée vers l'extérieur (cas de mauvaise isolation thermique). La température finale alors obtenue est loin de la température de confort désignée. Nous ne sommes pas satisfaits des besoins de chauffage, et donc, dans le but de les réduire au maximum, nous avons opté pour un système hybride.

III -6-5-2- SIMULATION AVEC VENTILATION CLASSIQUE

Dans cette étape de simulation, on va simuler avec ventilation mécanique, ce qui implique intégration des scénarios de consigne de thermostat cette étape de simulation nous permet de quantifier les besoins énergétiques nécessaires pour réaliser un confort agréable à l'intérieur, qui possède des températures de confort entre 19°C-25°C.

Donc connaître l'énergie dépensée pour rendre le taux d'inconfort égale à zéro et aussi pour diminuer le maximum la moyenne de surchauffe max et l'amplification de température extérieure.

Résultats de simulation

Tab 09 : simulation avec ventilation mécanique ; source auteur alcyone

| Zones | Besoins Ch. kWh | Besoins Ch kWh/m ² | Puiss. Chauff W | T° Moyenne (°C) | Besoins Clim kWh | Besoins Clim kWh/m ² | Puiss, Clim W |
|------------|-----------------|-------------------------------|-----------------|-----------------|------------------|---------------------------------|---------------|
| Cuisine | 0 kWh | 0 kWh/m ² | 0 W | 40,28°C | 0 kWh | 0 kWh/m ² | 0 W |
| Séjour | 72 kWh | 2 kWh/m ² | 995 W | 24,60°C | 1047 kWh | 32 kWh/m ² | 2591 W |
| Sanitaires | 0 kWh | 0 kWh/m ² | 0 W | 28,88°C | 0 kWh | 0 kWh/m ² | 0 W |
| Chambre | 35 kWh | 2 kWh/m ² | 575 W | 24,86°C | 633 kWh | 33 kWh/m ² | 1738 W |
| Totale | 107 kWh | 2 kWh/m ² | 1571 W | 25,96°C | 1680 kWh | 33 kWh/m ² | 4329 W |

Remarque

1-la réglementation général pour la protection du travail(RPGT) et la BBC imposent une température de l'air dans les locaux ou des gens peu au pas habillés sont au repos, ou exercent une activité » physique très légère ; **23°C -25°C.** (Source ; www.energieplus-lesite.be)

2-D'après les résultats obtenus avec une température moyenne de **25.96°C**, une puissance de **4329 k** est élevé en besoins de climatisation et ventilation afin d'assurer une température de confort optimal

Commentaire :

1-La température au sein du bâtiment est réduite, grâce à la consigne thermostat. Or, quand la température est en dessous de la température de confort le système de chauffage l'est activé afin d'élever la température. On remarque cependant quelques zones de pics, et ce à cause de l'élévation de la température extérieure, la consigne thermostat agit rapidement afin de rétablir la température optimale en excluant le système de chauffage.

2-La température externe évolue en augmentant pendant la semaine choisie, alors que la température interne ne suit pas le pas et reste stable sur toute la semaine. Ceci est dû à l'intégration d'une consigne thermostat qui régularise le niveau de température, en élevant et baissant la température selon les conditions externes. Notons ici que l'inertie thermique joue un rôle important en appuyant le rôle du thermostat afin de garder une température intérieure stable.

3-Les besoins de chauffage sont réduites en intégrant ce système de ventilation mécanique mais en contrepartie il a fait augmenter les consommations ce qui fait générer des impacts à différents niveaux face à cela, nous avons pensé à introduire un système hybride combinant la ventilation naturelle avec une VMC afin de pallier à cet aspect négatif et connaître la performance d'un tel système combiné.

III- 6-5-3- SIMULATION AVEC VENTILATION HYBRIDE

Dans cette étape de simulation, on va simuler avec une ventilation hybride, notre objectif principal, qui va permettre d'offrir un meilleur bilan énergétique comparé à un système conventionnel.

Cette étape de simulation va nous donner le résultat final, après on va comparer avec les deux autres scénarios

Résultats de simulation

Tab 10 : simulation avec ventilation hybride ; source auteur alcyone

| Zones | Besoins Ch. kWh | Besoins Ch kWh/m ² | Puiss. Chauff W | T° Moyenne (°C) | Besoins Clim kWh | Besoins Clim kWh/m ² | Puiss, Clim W |
|------------|-----------------|-------------------------------|-----------------|-----------------|------------------|---------------------------------|---------------|
| Cuisine | 0 kWh | 0 kWh/m ² | 0 W | 40,11°C | 0 kWh | 0 kWh/m ² | 0 W |
| Séjour | 4 kWh | 0 kWh/m ² | 418 W | 18,65°C | 4928 kWh | 135 kWh/m ² | 8054 W |
| Sanitaires | 0 kWh | 0 kWh/m ² | 0 W | 24,36°C | 0 kWh | 0 kWh/m ² | 0 W |
| Chambre | 2 kWh | 0 kWh/m ² | 245 W | 18,91°C | 2802 kWh | 144 kWh/m ² | 4862 W |
| Totale | 7 kWh | 0 kWh/m ² | 663 W | 20,47°C | 7730 kWh | 150 kWh/m ² | 12916 W |

Commentaire :

1-La température au sein du bâtiment est gardée fréquemment constante et ça, grâce à la consigne thermostat. Or, quand la température est en dessous de la température de confort le système de chauffage la CT est activé afin d'élever la température. On remarque cependant quelques zones de pics, et ce à cause de l'élévation de la température extérieure, la consigne thermostat agit rapidement afin de rétablir la température optimale en excluant le système de chauffage.

2-La température externe évolue en augmentant pendant la semaine choisie, alors que la température interne ne suit pas le pas et reste stable sur toute la semaine. Ceci est dû à l'intégration d'une consigne thermostat qui régularise le niveau de température, en élevant et baissant la température selon les conditions externes. Notons ici que l'inertie thermique joue un rôle important en appuyant le rôle du thermostat afin de garder une température intérieure stable.

3- La consommation limite chauffage/climatisation pour un vestiaire étant de 50 kWh/m²/an. Dans notre cas Nous avons atteint pour notre cas une consommation 66.65 kWh/m²/an, ce qui n'obéit pas aux normes internationales,

Remarque

Nous avons grâce à l'intégration d'un système de ventilation hybride, réduit jusqu'à 0 kWh/m²/an ce qui est très intéressant, mais malheureusement les besoins de climatisation ont

augmenté comparés à la première simulation et pour réduire ces derniers, nous proposons des solutions pour réduire les besoins de climatisation.

Le graphe qui suit représente la comparaison entre les trois systèmes de ventilation qu'on a pu simuler grâce à alcyone, on remarque la réduction exceptionnel des besoins de chauffage ce qui confirme notre hypothèse

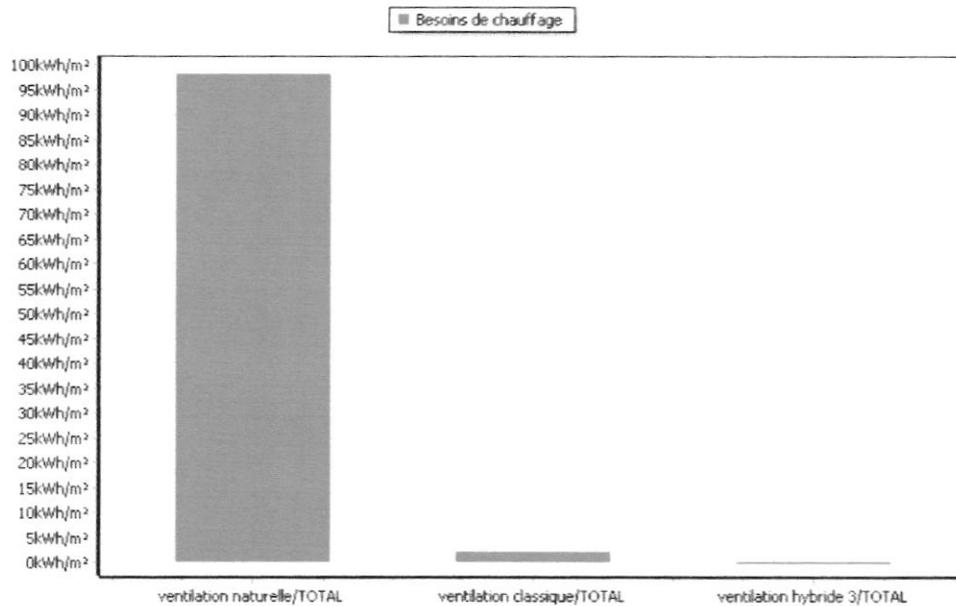


Figure 61 : réduplicatif des besoins de chauffage pour les trois type de ventilation ; source auteur alcyone

SOLUTIONS

Nous avons remarqué que d'après notre premier simulation concernant la ventilation naturelle que les besoins de climatisation étaient réduits par rapport à la 2eme simulation donc notre bungalow a plus besoin d'apport de ventilation naturelle sur ce qui nous permet de proposer les solutions suivantes tout en les combinant à notre système hybride:

- Agrandir la taille des ouvertures tout en les protégeant par rapport au rayonnement excessif
- Assurer une ventilation traversante en jouant sur les entrées et les sorties d'air
- Créer un effet de cheminier en jouant sur les orifices de ventilation
- Intégrer un puits canadien
- L'ensemble de ces solutions est susceptible de réduire les besoins de climatisation et améliorer ainsi le confort hygrothermique au sein de notre bungalow ¹

III -7- Conclusion

Maîtriser naturellement le confort hygrothermique, en privilégiant des solutions simples et de bon sens est en fait une nécessité pour améliorer la ventilation dans un bâtiment. Avec l'adaptation de la construction aux paramètres climatiques, les divers besoins domestiques sont énormément minimisés, qui est essentiellement une question d'élaboration architecturale, assure un meilleur équilibre entre les sources gratuites de notre environnement et les dépenses énergétiques. Pour une architecture consciente de l'énergie, une approche globale et intelligente des problèmes énergétiques devrait donc commencer par l'intégration d'un système hybride de ventilation.

Pour modéliser correctement et facilement les écoulements de ventilation, plusieurs points méritent encore d'être développés. Pour améliorer le couplage, nous avons vu qu'il pourrait être intéressant d'échanger des conditions d'ordre plus élevé et d'étudier un couplage au niveau des ouvertures par l'intermédiaire des conditions de pression. Pour améliorer la modélisation, les besoin énergétique doivent être pris en compte. Du point de vue logiciel, l'utilisation de la ventilation hybride permettrait de faciliter encore un peu plus les besoins de chauffage dans le cas de la simulation du bâtiment. Enfin, un travail important reste nécessaire pour réduire les besoins énergétiques. L'hypothèse a était confirmer grâce à ce système de ventilation.¹

III -7- Conclusion

Maîtriser naturellement le confort hygrothermique, en privilégiant des solutions simples et de bon sens est en fait une nécessité pour améliorer la ventilation dans un bâtiment. Avec l'adaptation de la construction aux paramètres climatiques, les divers besoins domestiques sont énormément minimisés, qui est essentiellement une question d'élaboration architecturale, assure un meilleur équilibre entre les sources gratuites de notre environnement et les dépenses énergétiques. Pour une architecture consciente de l'énergie, une approche globale et intelligente des problèmes énergétiques devrait donc commencer par l'intégration d'un système hybride de ventilation.

Pour modéliser correctement et facilement les écoulements de ventilation, plusieurs points méritent encore d'être développés. Pour améliorer le couplage, nous avons vu qu'il pourrait être intéressant d'échanger des conditions d'ordre plus élevé et d'étudier un couplage au niveau des ouvertures par l'intermédiaire des conditions de pression. Pour améliorer la modélisation, les besoin énergétique doivent être pris en compte. Du point de vue logiciel, l'utilisation de la ventilation hybride permettrait de faciliter encore un peu plus les besoins de chauffage dans le cas de la simulation du bâtiment. Enfin, un travail important reste nécessaire pour réduire les besoins énergétiques. L'hypothèse a était confirmer grâce à ce système de ventilation.¹

BIBLIOGRAPHIE

1. Auteur
2. Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique (André De Herde, Alain Liébard)
3. PHOTOVOLTAÏQUE (institut bruxellois pour la gestion de l'environnement)
4. L'architecture bioclimatique université de la rochelle
5. La ventilation et l'énergie
6. Etude et évaluation du confort thermique des bâtiments à caractère public université
Formation Bâtiment Durable Les techniques (chaleur, ventilation, ECS) conception et
régulation (Bruxelles Environnement)
7. Formation Bâtiment Durable ENERGIE (Bruxelles Environnement)
8. La technique de bâtiment (tous corps d'état) H.Duethu ; D.Monthary ; M.plazen
9. www.departement18.fr
10. Architecture, développement durable et processus HQE (2012/12013)
11. Guide pédagogique, L'énergie, Observatoire régional de l'environnement de
Bourgogne, (2005).
12. guide-Confort thermique à l'intérieur d'un établissement-préparé par la Direction de
la prévention-inspection de la CSST, en collaboration avec la Direction des
communications.
13. www.grenoble.archi.fr 1999