

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI TIZI OUZOU
FACULTE DE GENIE DE LA CONSTRUCTION
DEPARTEMENT D'ARCHITECTURE



MEMOIRE DE MASTER
Spécialité : Architecture
Option : Architecture et environnement

Présenté par :

M^{elle} BENSEBA Chafia

Sur le thème :

**La ventilation naturelle pour le
confort d'été dans le contexte
climatique Algérien**

Devant le jury composé de :

Mr. SELMI Hacene	Maître assistant B	UMMTO	Président
Mr. DEHMOUS M'hand	Maître assistant B	UMMTO	Examineur
Mr. AIT KACI Zouhir	Maître assistantB	UMMTO	Rapporteur

Septembre 2017

Remerciements

Au terme de ce travail, je tiens à exprimer d'une manière très particulière mes sincères remerciements à mon encadreur M^r AIT KACI ZOÛHIR pour son apport considérable, ses précieuses orientations méthodologiques et ses encouragements.

Comme je tiens également à formuler mes remerciements en signe de gratitude et de reconnaissance à:

- Aux membres du jury qui ont pris la peine de lire et relire ce travail, de le corriger, et de nous honorer de leur présence et enfin d'évaluer cette recherche.
- Mon époux Nacer qui m'a encouragé à finir ce travail ainsi que ma famille en particulier mes parents et mon petit Aymane.
- A tout le personnel de la bibliothèque du département Architecture de Tizi-Ouzou.
- A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire.

Résumé

La ventilation naturelle constitue un enjeu majeur dans le bâtiment à travers le temps, depuis les architectures dites vernaculaire où l'homme à toujours été en quête d'un cadre de vie en accord avec le climat (l'utilisation d'atrium, moucharabieh, badjir ,...). Car elle joue un rôle important dans le maintien de l'hygiène à l'intérieur de l'édifice tout en assurant le confort de l'homme. Plusieurs travaux de recherche mettent en exergue ce rôle et sa contribution dans l'efficacité énergétique du bâtiment.

La négligence de l'aspect de durabilité en Algérie fait gaspiller beaucoup d'énergies dans le secteur de bâtiment dont la majeure partie est utilisée pour assurer le confort d'été. C'est dans ce but notre travail de recherche se focalise sur l'utilisation de la ventilation naturelle pour le rafraichissement passif en périodes de surchauffe, car l'Algérie représente deux grand types de climats chauds, l'un est humide et l'autre est sec. Donc à travers une étude théorique sur la ventilation naturelle et une analyse climatique de deux cas pratiques dans le contexte algérien nous avons défini quelles sont les stratégies de ventilation naturelle les mieux adaptées à ces deux climats, en suite nous avons proposé des recommandations sur le plan architectural qui seront bénéfiques pour les concepteurs à fin de renforcer l'apport de la ventilation naturelle dans le bâtiment en Algérie.

Mots-clés : **Ventilation naturelle, confort d'été, rafraichissement passif, efficacité énergétique.**

Abstract

Natural ventilation is a major stake in the building over time, from the so-called vernacular architectures where man has always been in search of a living environment in harmony with the climate (the use of atrium, moucharabieh, badjir ...). As it plays an important role in maintaining the hygiene inside the building while ensuring human comfort. Several research projects highlight this role and its contribution to the energy efficiency of the building. The neglect of the sustainability aspect in Algeria wastes a lot of energy in the building sector, most of which is used to ensure summer comfort. It is for this purpose that our research focuses on the use of natural ventilation for passive refreshment during periods of overheating, as Algeria represents two great types of hot climates, one is wet and the other is dry. Thus, through a theoretical study on natural ventilation and a climatic analysis of two practical cases in the Algerian context, we have defined which natural ventilation strategies are best suited to these two climates, in the form of ideas on the architectural level that will benefit designers in order to reinforce the contribution of natural ventilation in building in Algeria.

Keywords: **Natural ventilation, summer comfort, passive refreshment, energy efficiency.**

الملخص:

تعتبر التهوية الطبيعية من العوامل الأساسية لضمان الراحة داخل المبنى منذ القدم, إذ أنها كثيرة الاستخدام آنذاك لضمان الراحة والنظافة في البنايات التقليدية (استخدام الأذنين, المشربية, بادجير...). أين نجد الأجيال السابقة كثيرة الاهتمام في البحث عن بيئة معيشية تتناغم مع المناخ. لذلك نجد حاليا عدة مشاريع بحثية تسلط الضوء على دور التهوية الطبيعية و مساهمتها في كفاءة استخدام الطاقة داخل المبنى.

إن إهمال جانب الاستدامة في الجزائر يهدر الكثير من الطاقة في قطاع البناء، ومعظمها يستخدم لضمان راحة الصيف. ولهذا الغرض تركز أبحاثنا على استخدام التهوية الطبيعية للانتعاش السلبي خلال فترات ارتفاع درجة الحرارة، حيث تمثل الجزائر نوعين كبيرين من المناخ الحار، أحدهما رطب والآخر هو جاف. وهكذا، من خلال دراسة نظرية حول التهوية الطبيعية والتحليل المناخي لحالتين عمليتين في السياق الجزائري، حددنا استراتيجيات التهوية الطبيعية الأنسب لهذين المناخين على شكل نصائح حول الخطة المعمارية التي من شأنها أن تفيد المصممين من أجل تعزيز مساهمة التهوية الطبيعية في البناء في الجزائر.

الكلمات المفتاحية: التهوية الطبيعية، الراحة الصيفية، الإنعاش السلبي ، كفاءة استخدام الطاقة.

Sommaire

Remerciement.....	II
Résumé.....	III
Abstract	IV
الملخص.....	V
Chapitre introductif	1
Introduction	2
I. Problématique.....	3
II. Hypothèse.....	3
III. Objectif	3
IV. Méthodologie et structure du mémoire.....	4
Chapitre I : la ventilation naturelle dans le bâtiment.....	5
I. Notion sur la ventilation naturelle.....	6
I.1- bases physique.....	6
I.2- moteurs naturels de l'écoulement d'air.....	8
II. Fonctions et exigences de la ventilation naturelle.....	11
II.1-La ventilation hygiénique.....	12
II.2-Ventilation et confort thermique.....	14
II.3-Ventilation pour le refroidissement des structures intérieur du bâtiment.....	15
II.4-Procédés de refroidissement mettant en jeu l'architecture.....	17
III. Relation entre l'architecture et la ventilation naturelle.....	21

III.1- Le phénomène vent à l'échelle urbaine	21
III.2-Effet de la ventilation naturelle à l'intérieur d'un édifice :.....	29
III.3-Mode de ventilation naturelle	33
III.3.1-Ventilation traversante.....	33
III.3.2-Ventilation mono-exposition	35
III.3.3-Ventilation par conduite verticale	37
IV- Relation entre ventilation naturelle et rafraichissement passive.....	38
IV.1-Confort thermique.....	38
IV.2-Ventilation naturelle et confort d'été	39
IV.2.1-Ventilation traversante.....	39
IV.2.2-Ventilation nocturne	41
Chapitre II : Stratégie de ventilation naturelle dans le contexte climatique algérien.....	42
I - Exigence de ventilation naturelle en relation avec le climat	43
I.1- Les régions ou les saisons froides et sèches	43
I.2- Les régions aux hivers humides et pas suffisamment froids	43
I.3- Les régions chaudes	44
I.4- Les régions chaudes et humides	44
I.5- Les régions à climat chaud et sec	44
II-.classification des étages bioclimatiques du monde	44
III. Zones climatique en Algérie	50
IV.Proposition de stratégies de ventilation naturelle sur la base de l'analyse climatique de notre casd'étude.....	51

VI.1-choix des exemples et méthode d'analyse.....	51
IV.2- La ville d'Alger.....	53
IV.2.1- Analyse et interprétation de données climatiques de la ville d'Alger.....	53
IV.2.2- Synthèse.....	58
IV.3-La ville de Biskra.....	58
IV.3.1- Analyse et interprétation de données climatiques de la ville de Biskra.....	59
IV.3.2- Synthèse.....	62
V.Stratégie de ventilation pour chaque zone climatique en Algérie.....	63
VI. Recommandations sur le plan architectural.....	63
Conclusion générale	69
Bibliographie.....	71

Liste des figures

- Figure 1 :principe de continuité(Chatelet et all, 1994.).....	6
- Figure 2 : théorème de Bernoulli(Chatelet et all, 1994).....	6
- Figure 3 : l'Effet thermosiphon (Chatelet et all, 1994.).....	8
- Figure 4 : les thermosiphons à différentes échelles (Chatelet et all, 1994.).....	8
- Figure 5 : l'effet cheminé(Chatelet et all, 1998.).....	9
- Figure 6 : effet cheminée maximal (Chatelet et all, 1998.).....	9
- Figure 7 : effet du vent (Chatelet et all, 1998.).....	10
- Figure 8 : effet du vent avec obstacle (Chatelet et all, 1998.).....	10
- Figure 9 : tirage thermique et action du vent Khaldi, étude numérique de la ventilation naturelle par cheminée solaire, 2012,2013.....	11
- Figure 10 :Section d'un bâtiment ventilé naturellement(Short and Ford Associates tiré de Bourgeois et al. 2004).....	11
- Figure 11 :La pollution intérieure(école nationale supérieure d'architecture (Nancy - 54), formation classe 4Développement durable & qualité environnementale14 mars 2008, ventilation : Objectifs et solutions, Christophe Huon).....	12
- Figure 12 :Effet de la vitesse d'air sur le pourcentage d'insatisfaits (PPD) en fonction de la température(Architecture d'été IZARD).....	15
- Figure 13 :impacte de trois variantes, ensoleillement, inertie et ventilation sur la température intérieur (Architecture d'été IZARD)	16
- Figure 14 :diagramme de l'air humide (Givoni, 1978)	17
- Figure 15 :principe des tours à vent en Iran(Architecture d'été IZARD).....	18
- Figure 16 : Schéma du fonctionnement du « SkyTherm » de Harold Hay (Architecture d'été IZARD).....	19
- Figure 17 : la liste des paramètres architecturaux liés à l'occupation(Architecture d'été IZARD)	20
- Figure 18 : vent, couche limite et rugosité (Chatelet et all, 1998.).....	21
- Figure 19 :influence de l'effet topographique sur les écoulements d'air (mémoire de magister Ait Kaci Zouhir 2014)	22
- Figure 20 : écoulement du vent face à un obstacle (Chatelet et all, 1998.).....	22
- Figure 21 : écoulement du vent face à un obstacle plus haut(Chatelet et all, 1998.)..	23
- Figure 22 : l'effet de sillage (Chatelet et all,1998.).....	23

- Figure 23 : Amélioration de la ventilation naturelle (Mulé, mémoire, École d'Architecture Lyon, 2011).....	28
- Figure 24 : Canalisation du vent par la végétation (Mulé, mémoire, École d'Architecture Lyon, 2011).....	29
- Figure 25 : les champs de pressions sur un édifice en fonction de l'orientation par rapport au vent (Chatelet et al, 1998.).....	29
- Figure 26 : augmentation des surpressions par l'effet d'arrêt aux niveaux des ouvertures (Chatelet et al, 1998.).....	30
- Figure 27 : influence du positionnement des ouvertures. Ventilation simple exposition (Pacer, 1996).....	30
- Figure 28 : influence du positionnement de déflecteurs. Ventilation simple exposition (Pacer, 1996).....	30
- Figure 29 : influence de positionnement des ouvertures en ventilation traversante (Tareb, 2004).....	30
- Figure 30 : Ventilation traversante due au vent (Pacer, 1996).....	31
- Figure 31 : ventilation lorsque le local le plus vaste est situé sous le vent (Allard, 1998).....	31
- Figure 32 : Meilleure ventilation lorsque le local le plus vaste est situé sous le vent (Pacer, 1996).....	31
- Figure 33 : Influence de la taille des ouvertures (Pacer, 1996).....	31
- Figure 34 : régime des flux d'air dans des modèles subdivisés intérieurement de manière différente (Givoni, 1978).....	32
- Figure 35 : moustiquaire, Le Caire, façade d'une villa moderne https://fr.wikipedia.org/wiki/Moucharabieh#/media/File:GD-EG-Caire-Suhaymi033.JPG	32
- Figure 36 : moustiquaire moderne (archiexpo.fr).....	33
- Figure 37 : Ventilation traversante (chatelet et al, 1998.).....	33
- Figure 38 : cheminée collectrice (Chatelet et al, 1998.).....	33
- Figure 39 : ventilation traversante à partir d'un effet d'arrêt (Chatelet et al, 1998)	33
- Figure 40 : ventilation traversante à partir l'échauffement différentiel (Chatelet et al, 1998.).....	35
- Figure 41 : la ventilation simple exposition (Mémoire, Marcello Caciolo, école des Mines de Paris, 2011.).....	36

- Figure 42 : schématisation du l'effet thermique en ventilation mono façade. (Mémoire, Marcello Caciolo, école des Mines de Paris, 2011.).....	36
- Figure 43 : Schématisation de l'effet turbulent du vent en ventilation naturelle mono façade (Haghigat et all, 1991).	36
- Figure 44 : exemple de solutions architecturales favorisant la ventilation traversante. (a) cheminée, (b) atrium, (c) double peau.....	37
- Figure 45 : Exemple d'intégration de conduits de ventilation naturelle Mémoire Mulé, École d'Architecture Lyon, 2011).....	37
- Figure 46 : les trois modes d'échange thermique entre le corps et l'environnement (Architecture d'été Izard).....	38
- Figure 47 : augmentation de la température opérative d'une ambiance due au rayonnement solaire reçu, en fonction du facteur d'absorbtion des vêtements(Architecture d'été Izard)	39
- Figure 48 : courbes de confort pour un métabolisme correspondant à une position assise relax (110 W) et une tenue de type T-shirt à manches (Architecture d'été Izard)	40
- Figure 49 : effet de la ventilation nocturne sur la température intérieur (Architecture d'été Izard).....	41
- Figure 50 : Carte des climats du monde de type Köppen. (https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00298818/).....	45
- Figure 51 : Carte des climats d'Afrique de type Köppen. (https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00298818/)	49
- Figure 52 : Carte des climats d'Algérie de type Köppen. (https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00298818/).....	49
- Figure 53 : carte des étages bioclimatiques en Algérie(Agence nationale d'aménagement du territoire).....	50
- Figure 54 : situation des cas d'étude (http://www.carte-algerie.com/carte-algerie-region-departement.html).....	51
- Figure 55 : logiciel EcotectAnalysis 2011 (Auteur).....	52
- Figure 56 : logiciel WeatherTool 2011 (Auteur).....	52
- Figure 57 : la ville d'Alger(http://www.mahdiaridjphotography.com/casbah-alger-photos/).....	53

- Figure 58: Digramme des données climatique de la ville d'Alger Source: WeatherTool / EcotectAnalysis 2011.....	54
- Figure 59: Digramme psychrométrique de la ville d'Alger Source: WeatherTool / EcotectAnalysis 2011.....	55
- Figure 60 : refroidissement par évaporation de la sueur grâce à l'augmentation de la vitesse d'air (Auteur).....	56
- Figure 61 : le refroidissement passif par la ventilation naturelle sur les zones chaude et humide (Auteur).....	56
- Figure 62 : Efficacité de la ventilation naturelle par mois. Source: Weather Tool / Ecotect Analysis 2011.....	57
- Figure 63: Efficacité de la ventilation nocturne. Source: Weather Tool / Ecotect Analysis 2011.....	57
- Figure 64 : la ville de Biskra. (http://www.algerie-monde.com/villes/biskra/).....	58
- Figure 65: Digramme des données climatique de la ville de Biskra. Source: WeatherTool / EcotectAnalysis 2011.....	59
- Figure 66: Digramme psychrométrique de la ville de Biskra. Source: Weather Tool / Ecotect Analysis 2011.....	60
- Figure67 : Stratégie de la ventilation naturelle dans la ville de Biskra pour contribuer au confort d'été (Auteur).....	61
- Figure 68: Efficacité de la ventilation naturelle par mois Source: WeatherTool / EcotectAnalysis 2011.....	61
- Figure 69: Efficacité de la ventilation nocturne. Source: Weather Tool / Ecotect Analysis 2011.....	62
- Figure 70 : les champs de pression suivant l'orientation face au vent (Auteur).....	63
- Figure71 : Effet d'arrêt par un acrotère sur un toit qu'on désire transformer en entrée d'air (Chatelet et all, 1998.).....	64
- Figure 72 : ventilation naturelle par échauffement différentiel de la façade (Auteur).64	
- Figure 73 : effet cheminé par deux ouvertures, en haut et en bas de l'édifice(Auteur).....	65
- Figure 74 : les meilleures dimensions des ouvertures pour la ventilation traversante (Auteur).....	65

- **Figure 75** : ventilation naturelle dans un logement avec des pièces amont au vent plus grande et des grilles d'aération sur les portes (Auteur).....66
- **Figure 76** : Coupe sur un plan d'un logement ventilé naturellement avec une pièce amont au vent plus grande et des grilles d'aération sur les portes (Auteur).....66
- **Figure 77** : Pôle Musique, Danse & Arts Plastiques à *Brignais* (atelier Philippe Madec) http://www.atelierphilippemadec.com/architecture/equipment/pole-musique-danse-et-arts-plastiques_-qe-vnac-et-bbc.html.....67
- **Figure 78** : Façade double peau d'un bureau. (Mansouri, thèse de doctorat, 2003)...67
- **Figure 79**: ventilation par conduite verticaux et atrium.....68
- **Figure80** : principe de la fonction de la cage d'escalier comme conduit vertical(Mémoire de magister Ait Kaci Zouhir 2014).....68

Liste des tableaux

- **Tableau 1** : le théorème de Bernoulli pour les gaz(Chatelet et all, 1994.).....7
- **Tableau.2** :les effets types de vents en architecture (CHATELET.Alain et all, 1998.).....29
- **Tableau 3** : Description des symboles climatiques de Köppen et définition des critères (<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00298818/>).....46
- **Tableau 4** : stratégie de ventilation naturelle pour le rafraîchissement d'été en contexte algérienne (Auteur).....63

Chapitre introductif

Introduction général

La question du changement climatique s'est installée durablement au premier plan de l'actualité et des préoccupations des opinions publiques, ainsi le sommet de Rio (1992)¹ et l'entrée en vigueur du protocole de Kyoto (2005)¹, le secteur du bâtiment est incité à réduire les consommations d'énergie dont il est responsable. Ces efforts sont traduits à travers les réglementations thermiques, et les labels de qualité environnementale ou de performance énergétique (HQE, maison passive, bâtiment à basse consommation...). Plus récemment, l'Algérie commence à prendre conscience de la nécessité d'engager des stratégies dans ce sens à travers de nouvelles initiatives qui vise à améliorer les performances énergétiques dans le bâtiment (réglementations thermiques : DTR C3-2, DTR C3-4, la maison passive du CDER/CNERIB, programme de logements HPE)².

En Algérie, les périodes de surchauffe en été (de plus en plus longues) et la négligence de l'aspect de durabilité dans les bâtiments engendrent une utilisation irrationnelle de la climatisation active pour le rafraîchissement des espaces intérieurs. Une réflexion autour de la manière d'utiliser la ventilation naturelle pour contribuer au rafraîchissement passif constitue une des solutions les plus importantes pour remédier naturellement au problème d'inconfort en été.

Ventiler permet d'apporter un air neuf, d'évacuer l'air vicié et pourvoir à nos besoins en oxygène. La ventilation permet également d'évacuer les odeurs et les polluants qui s'y accumulent, d'éliminer l'excès d'humidité et de fournir aux appareils à combustible l'oxygène dont ils ont besoin pour fonctionner sans danger pour notre santé.

Alors que les systèmes de ventilations mécaniques se développent de plus en plus pour offrir un confort thermique satisfaisant, la ventilation naturelle est à nouveau au goût du jour, à la fois dans les habitations individuelles et dans les bâtiments publics. Renouveler l'air n'est pas le seul objectif de la ventilation. Elle peut également être utilisée dans les régions à climat chaud pour modifier la température intérieure et pour créer une sensation de la fraîcheur pour les bâtiments.³

¹ -Pauline, LESAGE, mémoire de master, université de Liège, 2014-2015.

² - Séminaire master2 de Mr DEHMOUS, option "architecture et environnement, année 2016/2017.

³ - Cours optionnels master2 de Mr CHABI, option "architecture et environnement, année 2016/2017.

I. Problématique

L'inconfort d'été chez les Algériens fait appel à l'utilisation de beaucoup d'énergie pour le rafraîchissement actif, cela est dû à son climat chaud, que ce soit au nord avec de forts taux d'humidité ou bien au sud avec un climat chaud et sec. C'est dans ce sens que nous nous sommes intéressés à la ventilation naturelle, autour de laquelle nous avons formulé la problématique de notre travail comme suit:

Quelle est la stratégie de ventilation naturelle la mieux adaptée pour contribuer au confort d'été dans le contexte climatique algérien ?

II. Hypothèses

- La ventilation naturelle, qu'elle soit nocturne ou diurne, constitue une solution durable et passive pour le rafraîchissement en été, ainsi que pour la contribution à l'efficacité énergétique dans le bâtiment.
- L'efficacité de la ventilation naturelle passe d'abord par une bonne connaissance du contexte climatique du bâtiment à travers l'analyse des différentes données météorologiques du site
- Une analyse du climat algérien permet de définir les stratégies de ventilation naturelle la plus adaptées aux différentes zones climatiques du territoire national.

III. Objectif

- Mettre en exergue le potentiel de la ventilation naturelle en matière de rafraîchissement passif et son importance dans le confort d'été, surtout dans les climats chauds.
- Définir les stratégies de ventilation naturelle à adopter dans le contexte climatique algérien, et ce en se basant sur l'analyse des données météorologiques de deux villes représentatives à savoir Biskra et Alger (climat chaud humide et climat chaud et sec).
- Aboutir à des recommandations sur le plan architectural permettant de favoriser la ventilation naturelle à l'intérieur du bâtiment.

IV. Méthodologie et structure du mémoire

Ce travail de recherche se scinde en deux chapitres :

- Dans le premier chapitre on va présenter une partie théorique concernant la ventilation naturelle dans le bâtiment, les notions de bases, les exigences et fonctions de la ventilation naturelle, ainsi que sa relation avec l'architecture que ce soit à l'échelle urbaine ou à l'intérieur de l'édifice. Puis on va se focaliser sur l'utilisation de la ventilation naturelle pour le rafraîchissement passif.
- On finit par le deuxième chapitre qui présente dans un premier lieu une lecture globale du climat algérien puis une analyse plus approfondie des deux principales zones climatiques à travers les données climatiques d'Alger et de Biskra, cette analyse nous permettra de définir quelles est la stratégie de ventilations naturelles la plus adaptée à chacune des deux zones climatiques.

La ventilation naturelle dans le bâtiment

I. notion sur la ventilation naturelle :

Pour parler sur la ventilation naturelle, il est indispensable d'aborder les notions de base de cette dernière, et pour comprendre ce phénomène, en premier lieu on va aborder les bases physiques de la dynamique des fluides puis les moteurs naturels d'écoulement d'air et on finit par la qualité d'air intérieur.

I.1- bases physique :

Pour arriver à comprendre les différents phénomènes de l'écoulement d'air en architecture, on doit d'abord comprendre quelques principes de base de la mécanique des fluides, ce qui nous intéresse ici c'est les trois principes suivants : principe de continuité, le théorème de Bernoulli et l'effet thermosiphon.

I.1.1- principe de continuité :

-L'écoulement d'un fluide se fait sous forme des filets fluides dont l'ensemble constitue un tube de courant.

-La continuité exprime la conservation d'un fluide comme on le constate dans un tube de courant.

Selon la figure 01, on considère V et S sont respectivement les vitesses de fluide et surfaces de sections de tube de courant, que :

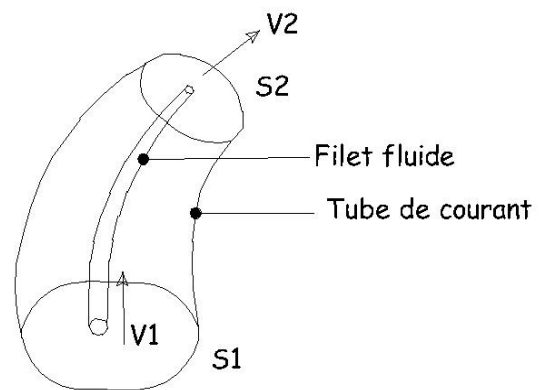


Figure 1 : principe de continuité
(Chatelet et al, 1994.)

Débit volume $D_V = V_1 S_1 = V_2 S_2 = VS = \text{constante}$. (Chatelet et al, 1994.)

I.1.2- Théorème de Bernoulli :

Selon le théorème de Bernoulli, l'énergie se conserve dans un fluide en mouvement, ce qui a donné les équations citées dans le tableau suivant :

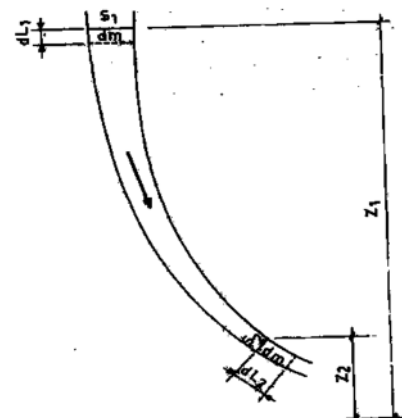


Figure 2 : théorème de Bernoulli
(Chatelet et al, 1994.)

Tableau 1 : le théorème de Bernoulli pour les gaz (Chatelet et al, 1994.)

Pour les gaz, dont le poids spécifique est toujours faible et pour lesquels le paramètre le plus intéressant est la pression [Pa] on écrit :	
Sans frottement fluide	Avec frottement fluide
$\rho \frac{V_1^2}{2} + P + \omega Z = \text{constante} \dots (1)$ La somme des trois énergies : cinétique, de pression et potentielle de hauteur lorsque il n'ya pas de frottement reste constante et se nomme la charge. (Chatelet et al, 1994.)	$\rho \frac{V_1^2}{2} + P_1 + \omega Z_1 = \rho \frac{V_2^2}{2} + P_2 + \omega Z_2 + J \dots (2)$ J étant la perte de charge croissent en première approximation avec le carré de la vitesse et sont fonction des dimensions des tubes de courant. (Chatelet et al, 1994.)
avec $\omega = \rho g$; ρ en [kg/m ³] ; $g = 9.81$ [m/s ²] ; Z en [m] ; P en [Pa] ; V en [m/s]	

- **On définit deux sortes de pertes de charges :**

-**les pertes de charges linéiques** (peu fréquentes dans le bâtiment) qui concernent l'énergie perdue sur la longueur d'un tube de courant et qui peuvent s'exprimer par la perte de charge par unité de longueur (couloirs longs, les vestibules,...). (Chatelet et al, 1994.)

-**les pertes de charges singulières** qui sont concentrées en une singularité telle qu'un coude, un rétrécissement ou un élargissement brusques (ouverture en chicane, rétrécissement des ouvertures, moucharabieh...). (Chatelet et al, 1994.)

Pour qu'un fluide s'écoule, il faut fournir une charge équivalente à la perte qu'il subit. On peut créer ces charges avec des pompes et ventilateurs qu'on installe pour la circulation des fluides, elles peuvent être créés naturellement avec le vent qui traverse les édifices sans ventilateur, c'est ce phénomène naturelle qui nous intéresse dans notre travail.

I.1.3- L'Effet thermosiphon :

Un effet thermique fournit un écoulement, grâce à la charge (motrice) qu'il crée égal à la perte de charge qu'elle subit l'écoulement. Autrement dit, **quand dans un circuit de fluide, de la chaleur est fournie à un niveau plus bas et qu'elle est ensuite retirée à un niveau plus haut, un thermosiphon aura lieu** (Chatelet et al, 1994.) ce qui induit un mouvement du fluide à l'intérieur du circuit. (Voire figure 3)

La charge (motrice) d'un thermosiphon croît avec la différence de hauteurs ΔH et différence de températures ΔT concernées.

Parmi les thermosiphons qui existent, la figure 08 illustre quelques exemples où on voit bien que quelque que soient les apparences, tous les thermosiphons correspondent à un circuit fermé, même si le bouclage a lieu dans un espace infini, par exemple à l'extérieur d'un édifice.

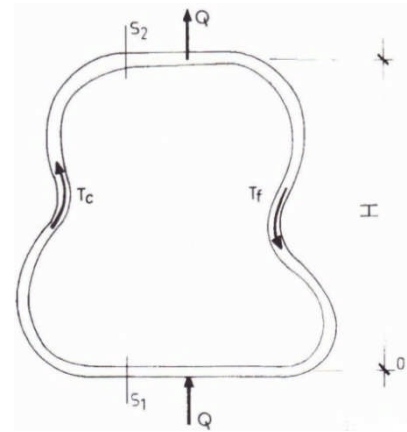


Figure 3 : l'Effet thermosiphon
(Chatelet et al, 1994.)

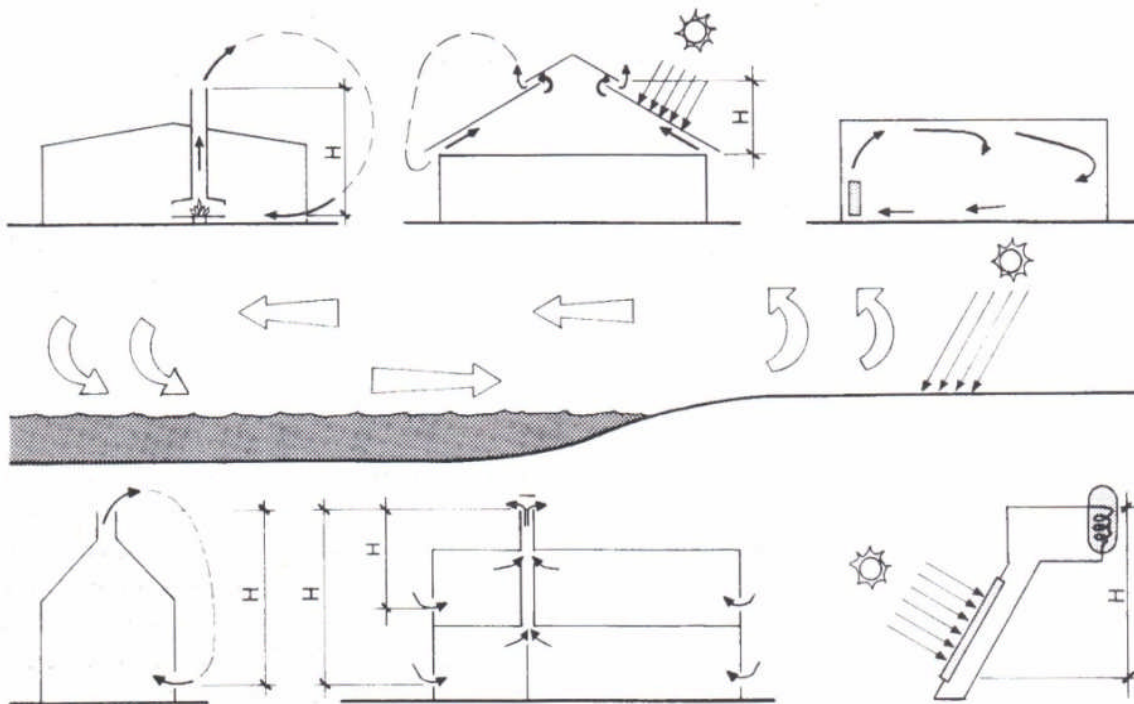


Figure 4 : les thermosiphons à différentes échelles
(Chatelet et al, 1994.)

I.2- Moteurs naturels de l'écoulement d'air :

Les flux d'air qui traversent un bâtiment sont provoqués par la présence d'un gradient de pressions. Les différences de pression peuvent avoir deux origines : le gradient de températures entre l'air intérieur et l'air extérieur (force thermique) et l'action des vents (force du vent).

I.2.1-Ventilation provoquée par la force thermique :

Appelé aussi l'« **effet cheminée** » ou le « **tirage thermique** », ce phénomène est une conséquence directe de l'**effet thermosiphon**. Démontré précédemment, qui crée une charge

motrice par différence de température entre deux parties d'une boucle, cette dernière entraînant un écoulement tel que cette charge est perdue par « perte de charge ». Ainsi, selon la figure 05 (1), la différence de température entre intérieur et extérieur de l'édifice crée une charge motrice $(\rho_e - \rho_i)gh$, (ρ_e et ρ_i étant respectivement les masses volumiques de l'air extérieur et intérieur) égale à la somme des pertes de charge subies par l'écoulement à travers les orifices d'entrée (par exemple les fenêtres **f**), la traversée des espaces **e** et surtout des étroitures (surtout les portes **p** ou cage d'escaliers **c**) dans l'édifice et à travers les orifices ou canaux de sortie **s**. (Chatelet et al, 1998.)

Dans certains cas, par exemple celui représenté par le schéma (3) de la figure 05, les thermosiphons n'ont pas la même charge motrice pour chaque niveau car les hauteurs h de « cheminée » ne sont pas les mêmes. L'effet thermosiphon entraîne une ventilation ascendante. (Chatelet et al, 1998.)

Pour obtenir de la charge motrice maximale il faut prévoir des cheminées chauffées par le rayonnement solaire (voir figure 06).

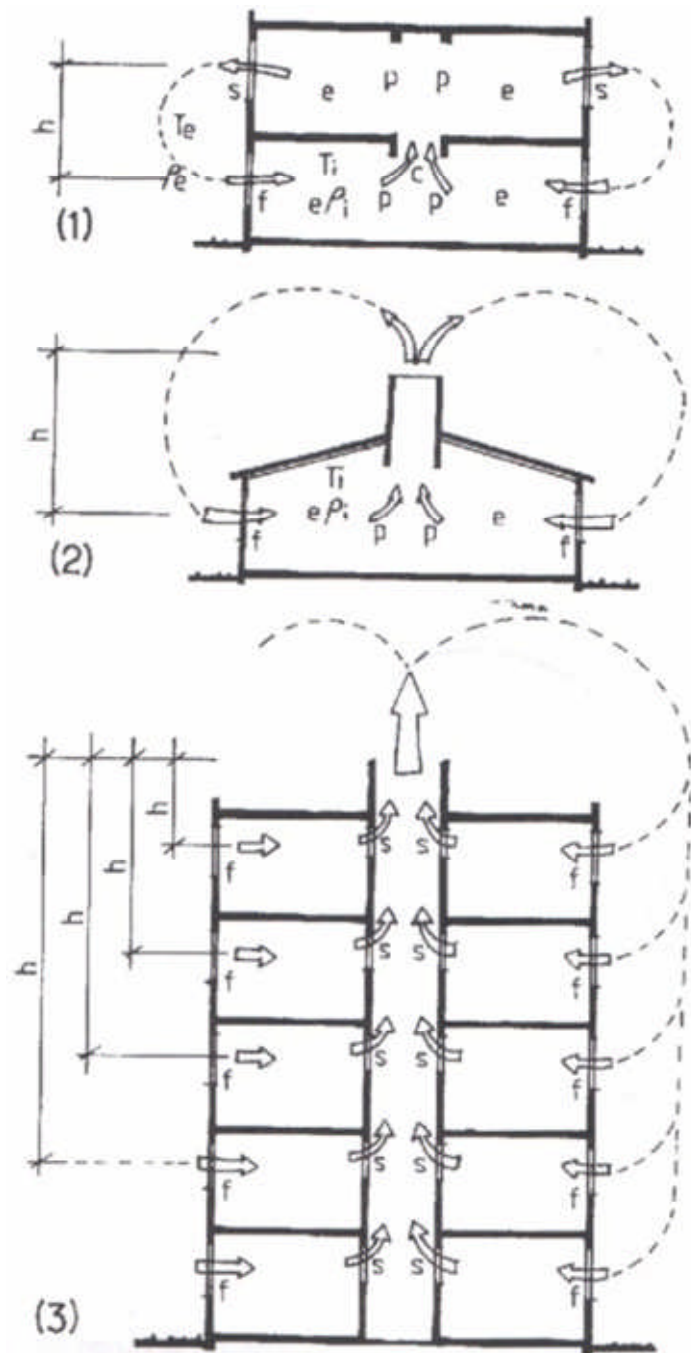


Figure 5 : l'effet cheminée
(Chatelet et al, 1998.)

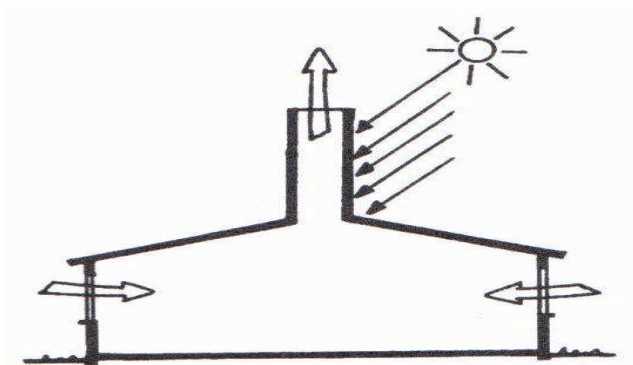


Figure 6 : effet cheminée maximal
(Chatelet et al, 1998.)

I.2.2-Mouvement d'air dus à la pression du vent :

Sous l'effet du vent, une pression s'exerce sur l'extérieur du mur côté vent, tandis qu'une dépression s'applique au droit de la face sous le vent ; l'air pénètre donc par les ouvertures de la façade face au vent et ressort dans la zone de dépression.⁴

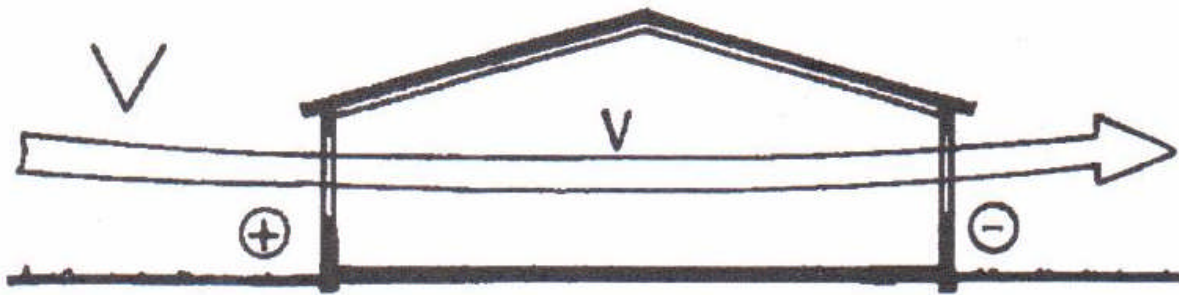


Figure 7 : effet du vent
(Chatelet et al, 1998.)

Le vent, en fonction des obstacles qu'il rencontre, crée des surpressions et dépressions de telle sorte qu'il existe des différences de pression entre zones, c'est-à-dire des charges motrices tendant à provoquer un écoulement de la pression la plus haute vers la plus basse, comme on le voit sur la figure 08 où l'obstacle à inverser l'écoulement d'air. (Chatelet et al, 1998.)

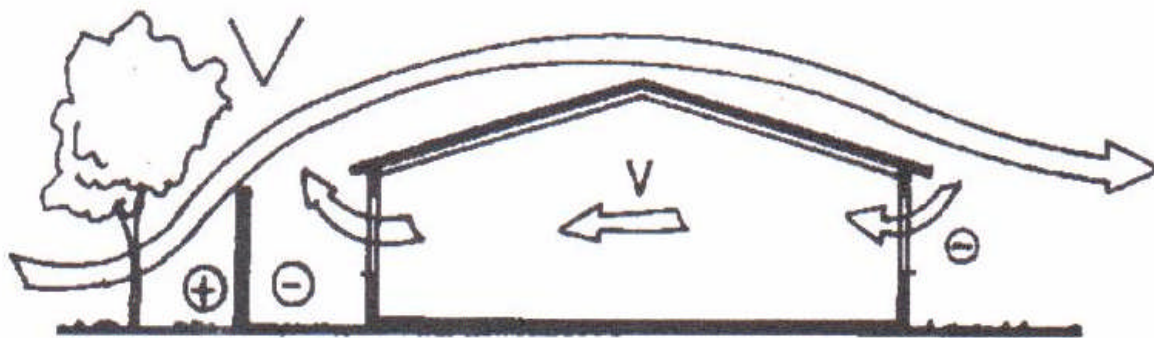


Figure 8 : effet du vent avec obstacle
(Chatelet et al, 1998.)

I.2.3- Effet combiné : le tirage thermique et la force du vent:

Les flux d'air réels que l'on rencontre dans les bâtiments résultent des effets combinés de la force thermique et de celle du vent. Le gradient obtenu sur une ouverture donnée est la somme algébrique des différences de pressions générées par chaque force prise séparément.

⁴-www.enviroboite.net consulté le 03-02-2017.

Les deux forces peuvent opérer dans le même sens ou en sens contraires, selon la direction du vent et selon la température intérieure ou extérieure est plus élevée. Le flux d'air résultant à travers une ouverture est proportionnel à la racine carrée de la différence

des pressions combinées. Ainsi donc, même lorsque les deux forces s'exercent dans le même sens, le flux d'air qui résulte ne peut être que légèrement plus important (à peu près de 40%) qu'il ne serait avec une seule force plus puissante. (Givoni, 1978)

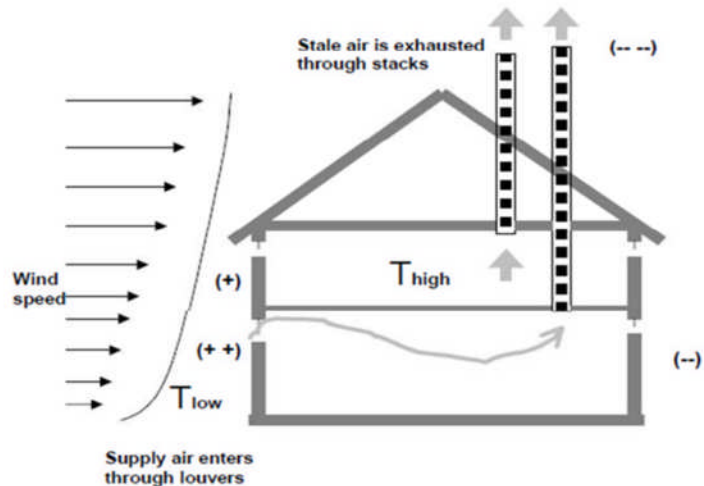


Figure 9 : tirage thermique et action du vent
Khaldi, étude numérique de la ventilation naturelle par cheminée solaire, 2012,2013

II. fonctions et exigences de la ventilation naturelle :

Les conditions de ventilation à l'intérieur d'un bâtiment sont parmi les principaux facteurs déterminants de l'hygiène de l'homme, de son confort et de son bien-être. Elles ont un effet direct sur le corps humain par l'effet physiologique de la pureté de l'air et de ses mouvements, et un effet indirect par leur influence sur la température et le taux d'humidité de l'air et des surfaces intérieure (Givoni, 1978). Pour cela nous allons expliquer dans ce sous chapitre les différentes fonctions et exigences de la ventilation naturelle.

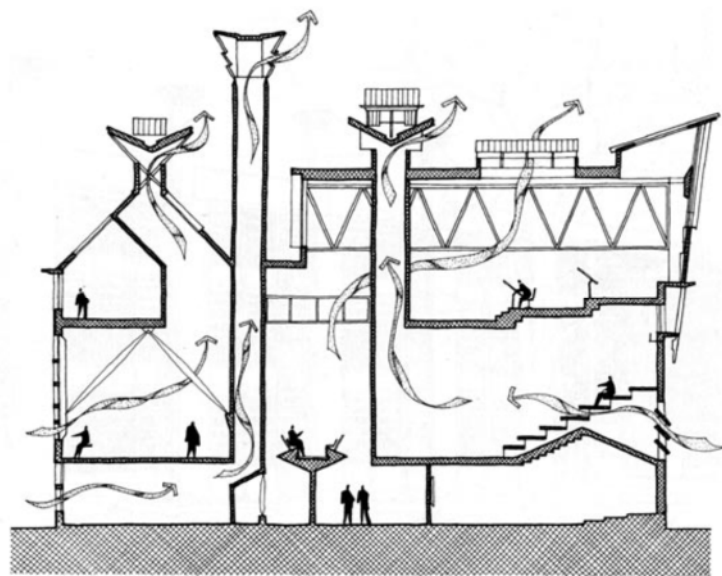


Figure 10 : Section d'un bâtiment ventilé naturellement (Short and Ford Associates tiré de Bourgeois et al. 2004)⁵

⁵ -tiré du mémoire Hugues Boivin, 2007 de l'université Laval Québec

II.1-La ventilation hygiénique :

La fonction « ventilation hygiénique » est de fournir la quantité d'oxygène nécessaire pour la respiration, la combustion, etc., de prévenir l'excès du taux de dioxyde de carbone et les autres polluants.

II.1.1-oxygène et dioxyde de carbone :

L'air expiré contient à peu près 16.3% d'oxygène, 4 % de dioxyde de carbone, 79.7 % d'azote et d'autres gaz libérés par le corps (principalement de l'ammoniac) et à peu près 45 g/m³ de vapeur d'eau (saturant l'air à 37°C).

La qualité de l'air est néanmoins le produit de nombreux éléments parmi lesquels la concentration en dioxyde de carbone est le plus facile à mesurer. Ainsi le dioxyde de carbone peut servir à donner une indication indirecte des niveaux d'autres éléments, tels que les odeurs qui sont plus difficiles à fixer quantitativement. De ce point de vue, le maximum autorisé pour les concentrations en dioxyde de carbone (CO₂) a été fixé en France à 0.1% et aux U.S.A à 0.5% pour les secteurs industriels. (Givoni, 1978)

Le volume d'air frais nécessaire par personne (Q en m³/h) pour maintenir la concentration de dioxyde de carbone inférieure à 0.5 % à l'intérieur d'un local, lorsque le volume produit par personne est q (en l/h) est donné par :

$$Q = \frac{q \times 100}{(0.5 - 0.05) \times 1\,000} = \frac{q}{4.5} \text{ (m}^3\text{/h.personne)} \quad (\text{Givoni, 1978})$$

II.1.2-Odeurs :

L'exigence face aux odeurs dans les bâtiments se limite à ce que les odeurs désagréables ne soient pas perceptibles. Celles-ci comprennent les odeurs émanant du corps, les senteurs de cuisine et dans la plupart des cas, les fumées de cigarettes. Les apports d'air neuf dans une pièce occupée doivent être suffisants pour supprimer les odeurs perceptibles. Les quantités d'air neuf requises varient selon les standards sociaux d'acceptabilité, le nombre des occupants, leur propreté et leurs habitudes, particulièrement s'ils sont fumeurs.

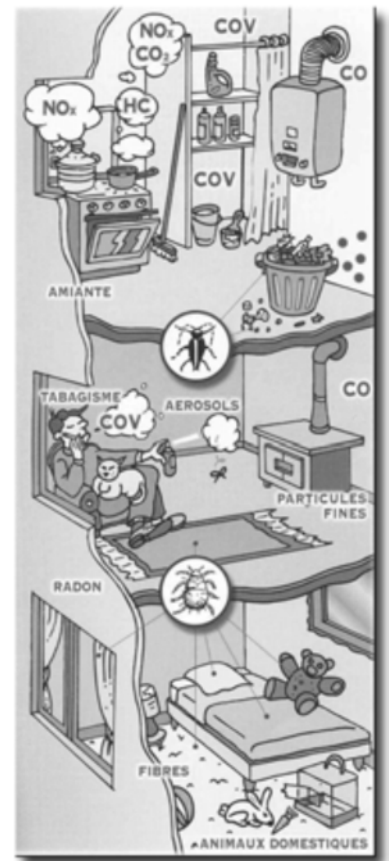


Figure 11 : La pollution intérieure
(école nationale supérieure
d'architecture
(Nancy - 54), formation classe 4
Développement durable & qualité
environnementale
14 mars 2008, ventilation :
Objectifs et solutions, Christophe
Huon)

Plusieurs investigations expérimentales ont permis d'étudier les effets de la ventilation sur l'intensité des odeurs et ce sont les résultats de deux d'entre elles qu'on va mentionnés ici :

- **-C.P.Yaglou et W.N. Witheridge** ont étudié les exigences de ventilation du point de vue des odeurs en relation avec la densité d'occupation (volume d'air par personne) et l'absence ou la présence de fumeurs. La capacité de la ventilation à faire disparaître les odeurs est le rapport de flux d'air réel sur la surface occupée sur le total des apports d'air. Ceci a été calculé à partir de mesures de l'élévation de concentration de dioxyde de carbone dans l'aire de respiration en fonction de la formule :

$$\text{capacité de la ventilation} = \frac{(\text{production de CO}_2 \text{ par personne})}{(\frac{\text{élévation de concentration en CO}_2}{\text{apport d'air neuf par personne}})} \quad (\text{Givoni, 1978})$$

Yaglou et Witheridge ont également trouvé une différence fondamentale entre les odeurs du corps et les fumées de cigarettes dans leur disparition spontanée.

La force des odeurs corporelles dans un local non ventilé chute dans l'espace de 5 minutes, de très désagréable à perceptible mais non désagréable, tandis qu'il faut 6 à 7 heures aux odeurs d'origine chimique pour connaître une telle réduction. Il est donc recommandé dans les pièces où l'on fume beaucoup d'exiger un taux de ventilation beaucoup plus élevé que celui qui serait nécessaire pour éliminer seulement les odeurs corporelles. (Givoni, 1978)

- **-W. Consolazio et L. Pecora** ont aussi étudié les effets du taux de ventilation sur le niveau des odeurs. Le régime de constitution et de décomposition de la concentration de l'odeur produisant des gaz peut se calculer mathématiquement en fonction du taux de ventilation. (Givoni, 1978)

La concentration du gaz émis à un taux constant est donnée par l'équation :

$$C = \frac{q}{Q} \left[1 - \exp \left(-\frac{Qt}{V} \right) \right] \quad (\text{Givoni, 1978})$$

Et son **taux de décomposition après émission achevée** est donné par :

$$C = C_{\max} \exp \left(-\frac{Qt}{V} \right) \quad (\text{Givoni, 1978})$$

[Où : C = concentration de gaz (%); q = taux d'émission (en m³/h); Q = taux de ventilation (m³/h); V = volume de la pièce (m³); t = temps (h); exp = fonction exponentielle.]

En utilisant ces équations, il est possible soit de spécifier le taux de ventilation nécessaire pour maintenir la concentration d'un gaz donné émis selon un taux constant en dessous d'un niveau prédéterminé, soit (pour des émissions intermittentes comme dans les cuisines, salles de bains et W.-C.) de préciser le temps de décomposition nécessaire après la fin de l'émission.

Avec des taux constants d'émission et de ventilation et pour des locaux occupés pendant quelques heures, où la valeur de $\exp(-Qt/V)$ devient négligeable, la première équation se réduit à $C = \frac{q}{Q}$ et le taux de ventilation nécessaire peut être calculé à partir de la concentration tolérable par l'équation :

$$Q = \frac{q}{C} \quad (\text{Givoni, 1978})$$

Lorsque l'air extérieur contient déjà certains gaz qui doivent être contrôlés, c'est le cas du dioxyde de carbone par exemple, l'équation prend la forme :

$$Q = \frac{q}{C_i - C_e} \quad (\text{Givoni, 1978})$$

Où C_i est la concentration tolérable intérieure et C_e est la concentration extérieure.

II.1.3-Monoxyde de carbone (CO):

Le monoxyde de carbone s'avère toxique même sous des concentrations inférieures à 0.3%. Le niveau maximal tolérable a été fixé en France pour des locaux de résidence à 0.003%. La concentration la plus élevée autorisée dans les locaux de travail aux U.S.A est de 100 parties pour un million, soit 0.01%.(Givoni, 1978)

Comme les données des taux de production de CO pour les appareils de chauffage domestiques sans conduit ne sont pas utilisables, il n'est pas possible à l'heure actuelle de calculer des taux de ventilation sur ces bases.

II.2- Ventilation et confort thermique :

L'objet de la ventilation dans le confort thermique est de produire des conditions thermiques intérieures. Cela comprend la prévention de l'inconfort dû aux sensations de chaleur et à l'humidité de la peau.

La ventilation se définit en termes de « **vitesse de l'air** » plutôt qu'en termes d'«apports d'air neuf » ou de « renouvellement d'air » car il n'y a aucune relation directe entre flux quantitatif et vitesse de l'air à l'intérieur d'un bâtiment. Par exemple, un flux turbulent à débit faible peut provoquer des vitesses moyennes plus élevées dans la partie occupée d'un local qu'un flux laminaire à débit plus grand mais dirigé juste en dessous du plafond. Cette relation entre débit d'un flux et vitesse de l'air dépend aussi de la géométrie de l'espace et de la position des ouvertures.

Il est possible de tirer la vitesse de l'air nécessaire au confort sous différentes conditions de température, d'humidité, de tenue vestimentaire et de métabolisme, ou la vitesse de l'air susceptible de garantir le minimum de gêne calorifique par des températures ambiantes élevées. (Givoni, 1978)

Pour comprendre l'impact de la vitesse d'air sur le confort, des modèles théoriques tel que les moyens du « Vote Moyen Prévisible (PMV) », « Pourcentage Prévisible D'insatisfait (PPD) » sont utilisé pour qualifier le confort d'une ambiance intérieur, le diagramme suivant montre l'effet de la vitesse d'air sur le PPD en fonction de la température, tant que la vitesse d'air est inférieure à 0.1 m/s le PPD reste au dessous de 30% pour toute température ; si la vitesse augmente au delà, la température doit croître aussi. (Architecture d'été Izard)

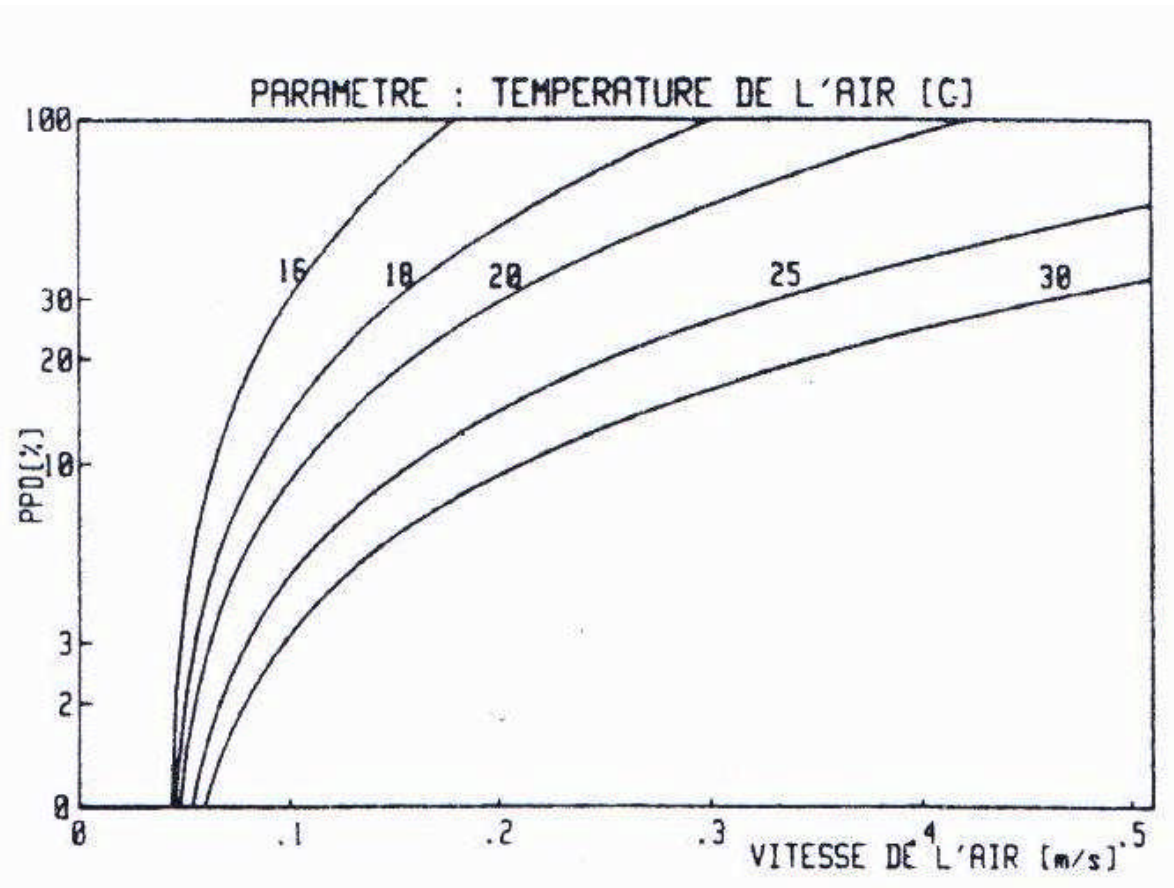


Figure 12 : Effet de la vitesse d'air sur le pourcentage d'insatisfaits (PPD) en fonction de la température
(Architecture d'été Izard)

II.3-Ventilation pour le refroidissement des structures intérieur du bâtiment :

Lorsque le bâtiment est ventilé, l'air pénétrant dans l'espace intérieur est à la température extérieure d'origine, mais en traversant cet espace, il se mélange avec l'air intérieur et il échange de la chaleur avec les surfaces intérieures en fonction du gradient de températures intérieur-extérieur.

La quantité de chaleur enlevée ou ajoutée à l'espace intérieur (Q en W) est le produit du taux de ventilation (V en m^3/h) de la capacité calorifique volumétrique de l'air (à peu près $0.32 \text{ Wh}/^\circ\text{C}$) et de l'écart entre les températures moyennes extérieure et intérieure ($t_i - t_e$), c'est-à-dire :

$$Q = 0.32 V (t_i - t_e) \text{ (Givoni, 1978)}$$

Par ailleurs, il est possible de calculer le taux de ventilation nécessaire pour maintenir l'écart de la température d'air intérieur au dessus de la température de l'air extérieur dans des limites données pour un bâtiment soumis à un certain flux de chaleur traversant ses murs extérieurs et ses fenêtres. Par exemple, si la température intérieure ne devait pas dépasser celle de l'extérieur de plus de 2 °C pendant les instants où le flux de chaleur est maximal, le taux de ventilation serait :

$$V = \frac{Q_{\max}}{0.32 \times 2} = \frac{Q_{\max}}{0.64} \text{ (Givoni, 1978)}$$

On pourrait souligner cependant que ces équations se réfèrent à la température de l'air intérieur qui peut s'écarter de manière appréciable des températures des surfaces internes, et en particulier de celle des parois extérieures. (Givoni, 1978)

Izard a fait une étude sur une région pour définir les conditions de confort, il a pris trois variante : l'inertie, l'ensoleillement et la ventilation, nous, nous allons nous intéresser sur la ventilation :

Si on voit par-apport à la référence en contrôle ensoleillement total, on constat que la température minimal en ventilation 1 volume/heure est de 24.9, en ventilation 5volume/heure est de 23 et en ventilation nocturne est de 21.2. En résumé, plus la quantité de ventilation augmente, plus la température intérieure décroît, pour atteindre des conditions idéales dans les zones chaudes il faut associer contrôle ensoleillement, ventilation et inertie thermique.

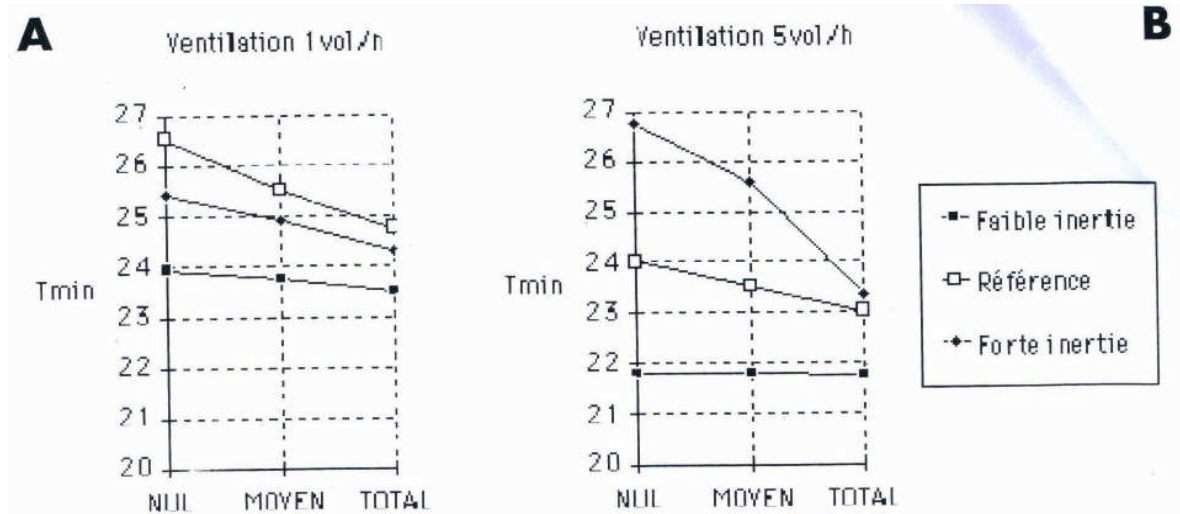


Figure 13 : impacte de trois variantes, ensoleillement, inertie et ventilation sur la température intérieur
(Architecture d'été Izard)

II.4-Procédés de refroidissement mettant en jeu l'architecture :

Deux « processus » peuvent être cités : le rafraîchissement par évaporation, et le rafraîchissement par rayonnement « terrestre » qui sont les moyennes plus spécifiques permettant d'intervenir sur les températures des parois et des locaux.

➤ **Rafraîchissement par évaporation de l'eau :**

Dans les climats secs, il y a un moyen de diminuer la température de l'air, qui consiste à l'humidifier. On obtient alors un air plus humide, mais plus frais.

Prenons un exemple. Référons nous au diagramme de l'air humide (voire figure 14) et prenons un air à 30°C (température sèche) et 20% d'humidité relative (soit une humidité spécifique de 5.3g de vapeur d'eau par kg d'air sec). Si on l'humidifie jusqu'à ce que l'humidité relative atteigne 70% (soit alors une humidité spécifique de 10 g/kg), on obtient une température d'air de 19.5°C. On appelle cela le « refroidissement adiabatique ».

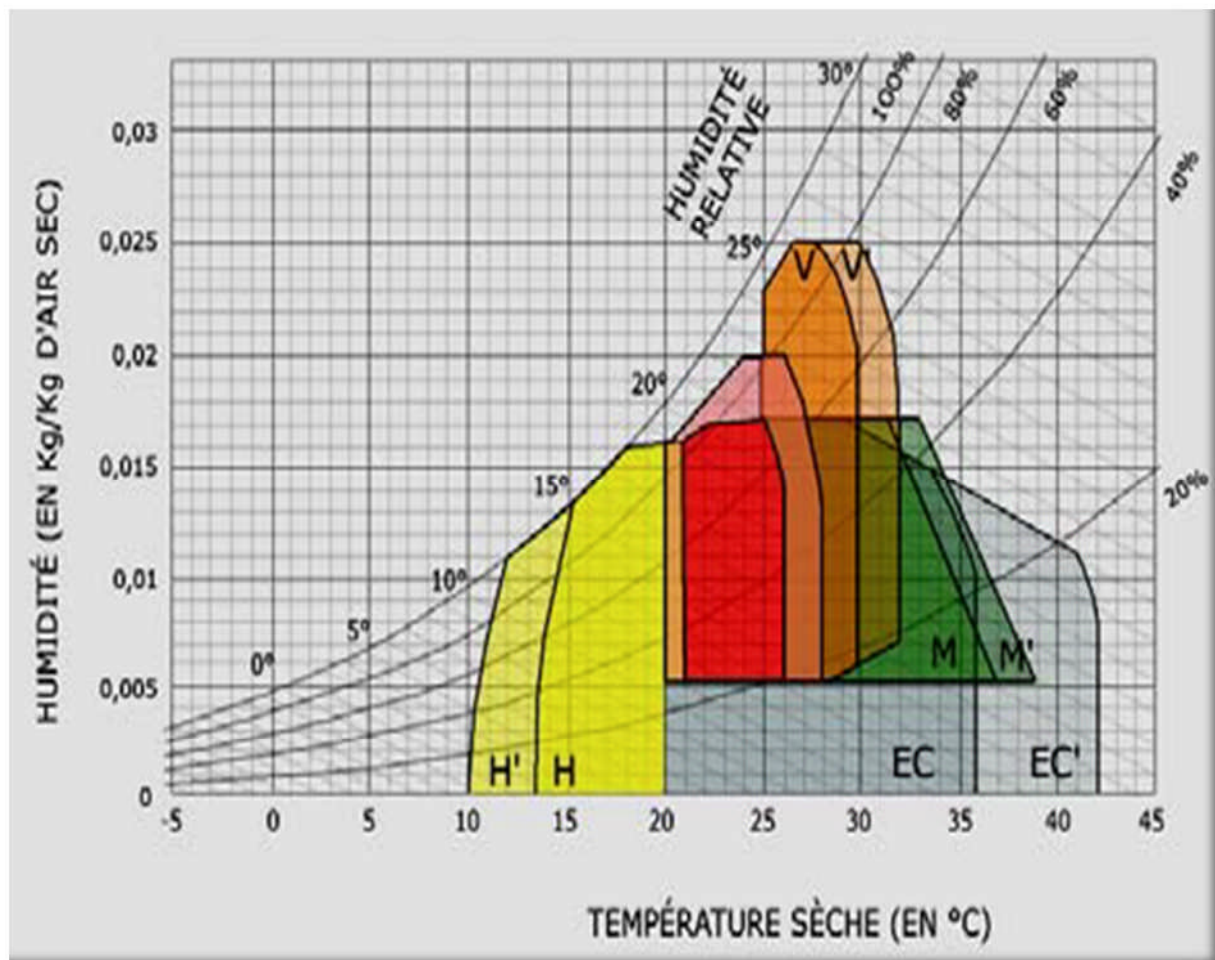


Figure 14 : diagramme de l'air humide
(Cours optionnels de Mr Chabi 2016-2017)

En résumé, toute humidification de l'air produira de froid dès lors que l'énergie nécessaire à l'évaporation est prélevée sur l'air qui sert à la ventilation du local, comme on le voit dans la figure 15 où l'air est capté, passe par un tunnel, traverse éventuellement une épaisseur d'eau (fontaine) et est distribué dans les pièces. Ce système est à rapprocher avec le « puits canadien ». (Architecture d'été Izard)

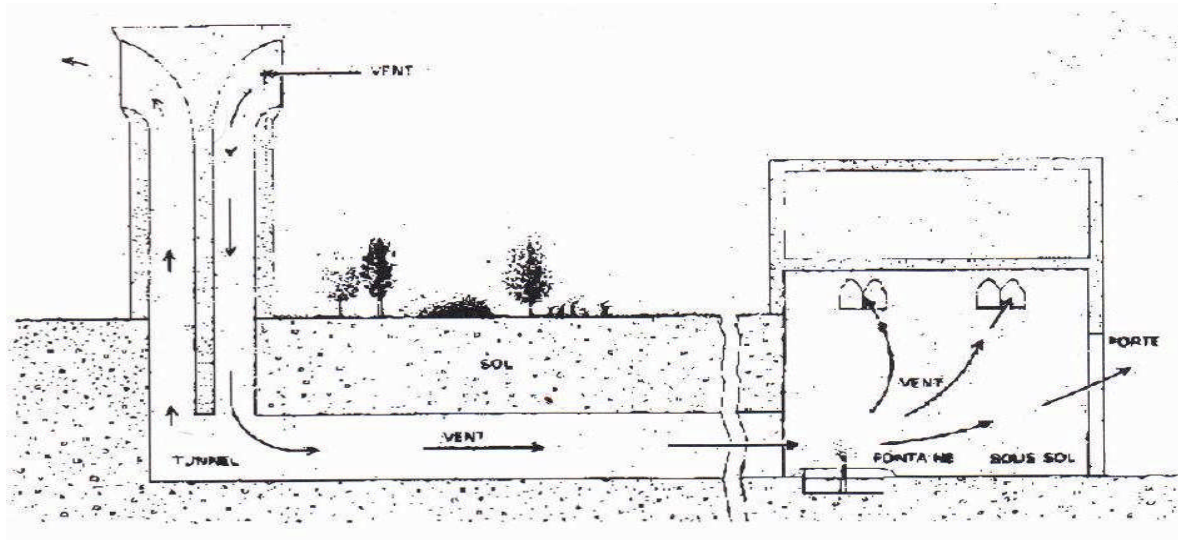


Figure 15 : principe des tours à vent en Iran
(Architecture d'été Izard)

➤ **Rafraîchissement par rayonnement :**

Ce phénomène est inévitable : toute surface émet un rayonnement de grande longueur d'onde vers la voûte céleste. Le flux émis est proportionnel à la différence des puissances quatrièmes des températures absolues de la surface et du ciel. Il est aussi proportionnel au facteur d'émission de la surface. La plupart des matériaux de construction ont un facteur d'émission élevé (proche de 0.9), à l'exception des métaux. Cette émission de flux radiatif, qui se situe dans le domaine de l'infrarouge, correspond à une perte d'énergie, et il se produit donc un refroidissement.

Ce processus, gênant en hiver parce qu'amplifiant les déperditions, peut être judicieusement exploité en été. Malheureusement, les surfaces les mieux exposées la nuit au « rayonnement terrestre » les surfaces horizontales sont aussi celles qui, le jour, reçoivent les flux solaires les plus importants.

En plein cœur de l'été, le bilan net [Apports Solaires-Pertes radiatives] ne peut être négatif. Pour obtenir un tel résultat, il faut occulter le rayonnement solaire qui atteint la surface.

Certains architectes (notamment Harold Hay en Arizona, USA) ont proposé de véritables « systèmes passifs » semblables à ceux qui ont pour fonction de récupérer l'énergie solaire, mais avec un fonctionnement inversé. Par exemple, des toitures constituées par des bacs remplis d'eau et protégés par une isolation mobile. En été, cette isolation est ouverte la nuit et fermée le jour, favorisant la fonction « refroidissement ». En hiver, on inverse la manœuvre de l'isolation mobile. (Voir figure 16)

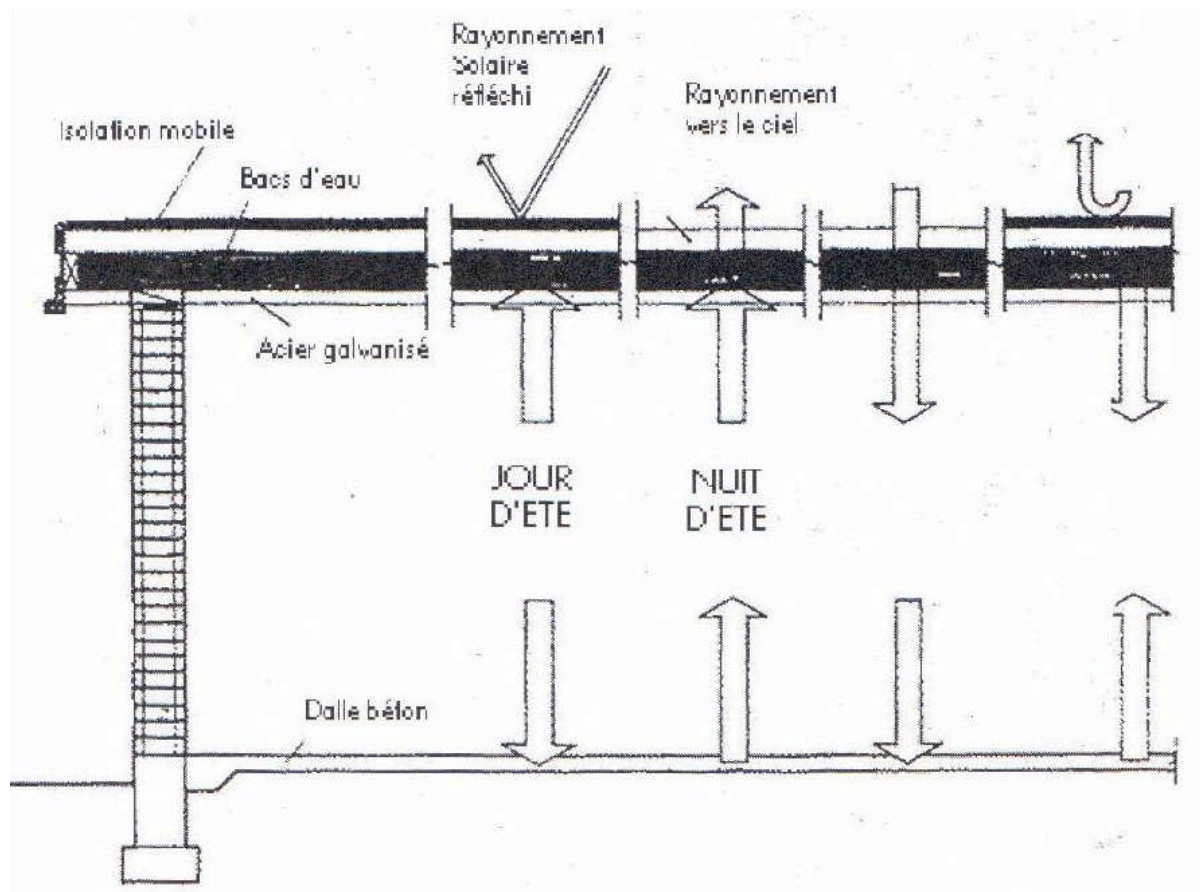


Figure 16 : Schéma du fonctionnement du « Sky Therm » de Harold Hay (Architecture d'été Izard)

Il faut noter à propos de cette technique que l'efficacité peut être améliorée par l'éventuelle évaporation d'une partie de l'eau qui remplit les bacs ; en effet, les nuits claires d'été, celles où la température radiante du ciel est la plus basse correspondent aussi à des humidités de l'air faibles qui favorisent donc l'évaporation. (Architecture d'été Izard)

➤ La conception globale :

L'architecte qui conçoit un bâtiment avec la volonté de maîtriser les phénomènes thermiques qui s'y produiront en période chaude, a besoin d'informations relatives à la « conception globale » celle qui lui permet de figer les grandes lignes de son projet. L'utilisation de diagramme bioclimatique permet de décider des grandes options du projet

d'architecture et du mode d'occupation des bâtiments : inertie thermique, ventilation, systèmes de refroidissement par évaporation.

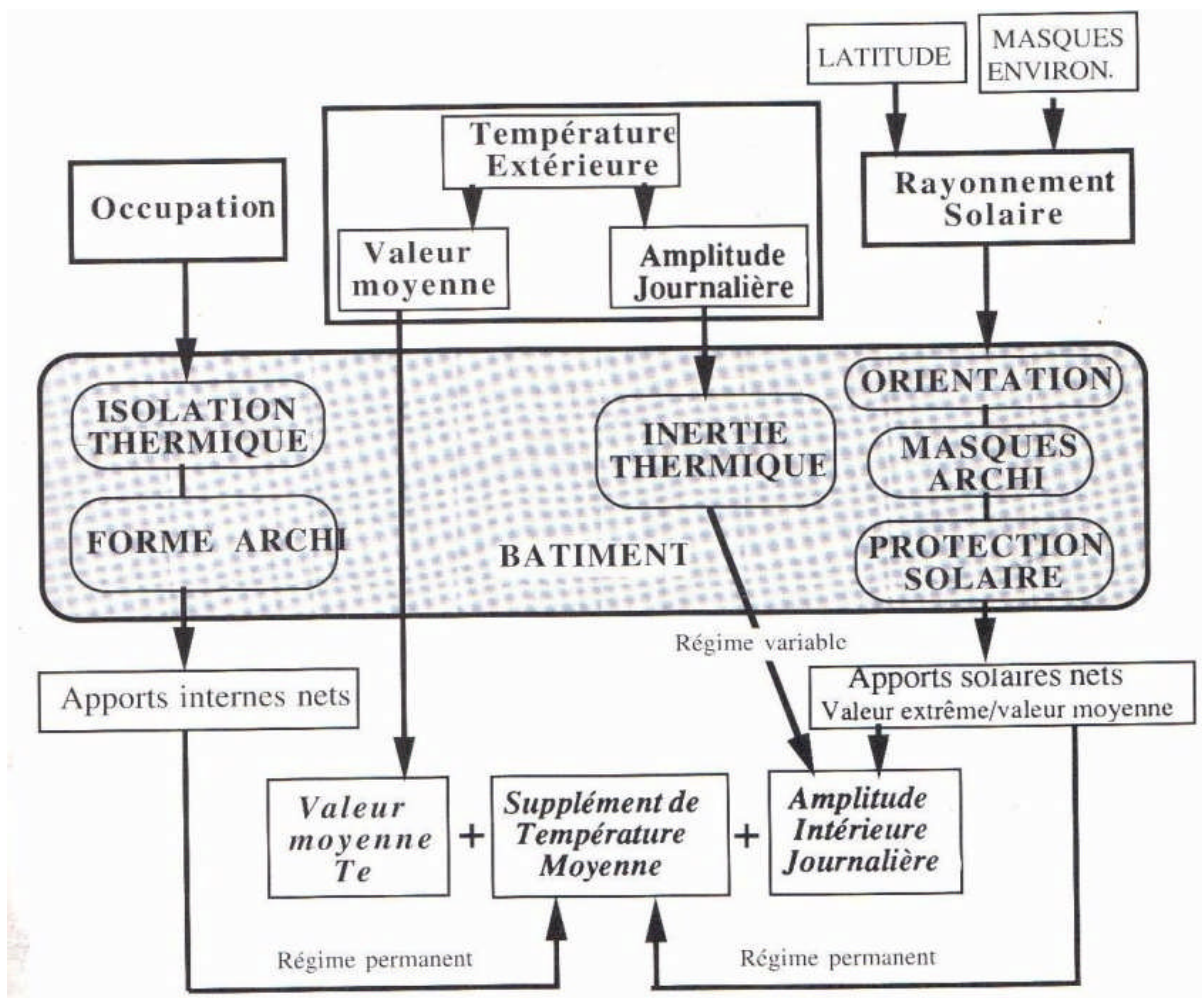


Figure 17 : la liste des paramètres architecturaux liés à l'occupation
(Architecture d'été Izard)

Pour traiter de la conception globale, il est nécessaire de diminuer de nombre de paramètres par le regroupement de ceux-ci en trois paramètres génériques qui sont :

- L'inertie thermique.
- Le contrôle de l'ensoleillement.
- Le régime de ventilation.

Ajoutons à ces paramètres la simplification de la forme du bâtiment, les données climatiques, les conditions d'intérieures et les paramètres qu'on prend invariants (comme le type de vitrage et la couleur externe,...). En résumé, pour atteindre un certain confort thermique dans une construction en région chaudes, on a recoures à des solutions qui dépendent de système constructif et le choix de matériaux en utilisant des outils de calculs très simplifier.

III-relation entre l'architecture et la ventilation naturelle :

Pour mieux comprendre comment ventiler un logement naturellement, il est indispensable de bien comprendre l'action du vent sur le site d'implantation de ce logement (à l'échelle urbain), puis à l'intérieur du logement lui-même (à l'échelle architecturale).

III.1- Le phénomène vent à l'échelle urbaine :

Pour éviter de grossières erreurs lors de la conception des projets nous allons présenter un vocabulaire, quelques concepts simples et quelques phénomènes élémentaires.

III-1-1-vent, couche limite et rugosité :

Le vent présente une vitesse instantanée très variable, avec des variations de vitesses que sont les **turbulences**, autour d'une **vitesse moyenne** qui évolue en fonction de l'altitude et de la nature et la taille des aspérités du terrain, qui constituent des **rugosités** variables.

La figure 18 montre qu'au-delà d'une certaine hauteur Z_g au dessus du sol, nommée couche limite, la vitesse moyenne du vent (160 km/h) reste constante.

Proportionnellement à la rugosité du site, qui est représentée par le coefficient (α), la hauteur Z_g de la couche limite augmente, ainsi que son impact sur la vitesse du vent, celle-ci décroît plus avec une rugosité plus importante.

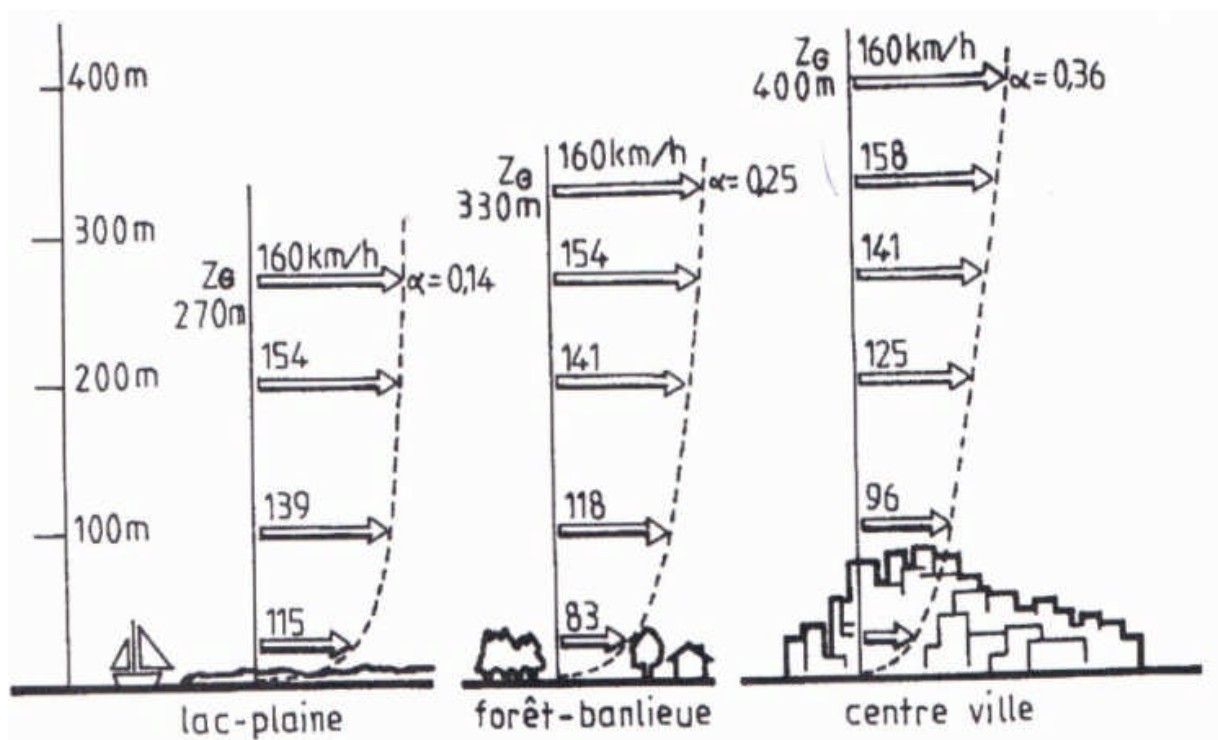


Figure 18 : vent, couche limite et rugosité
(Chatelet et al, 1998.)

Donc pour avoir de faibles vitesses de vent sur des façades et au niveau des cheminements, on a intérêt à construire dans des zones rugueuses des édifices de faible hauteur. (Chatelet et al, 1998.)

III-1-2-comportement général du vent en fonction de la topographie du terrain :

La topographie du terrain modifie le comportement du vent en vitesse et en direction, la bonne maîtrise de la morphologie du terrain et son rapport avec l'emplacement du bâtiment est primordial. Les effets les plus répandus sont illustrés dans la figure 19.

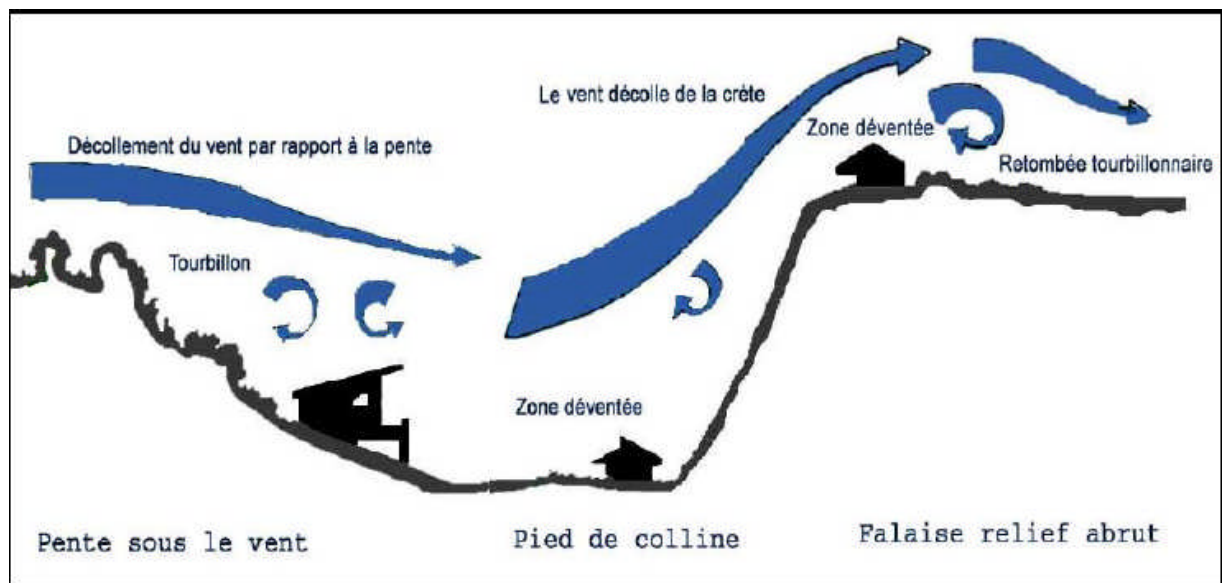


Figure 19 : influence de l'effet topographique sur les écoulements d'air (Sacré et al, 1992)⁶

III-1-3-comportement du vent en présence d'un obstacle :

Les filets fluides de l'écoulement principal ne sauraient longer l'obstacle (quelle que soit son échelle). Il y a décollement de celui-ci de l'obstacle, mais en même temps l'écoulement principal entraîne l'air de la zone de décollement en un tourbillon dont le sens de rotation est évident (Chatelet et al, 1998.).

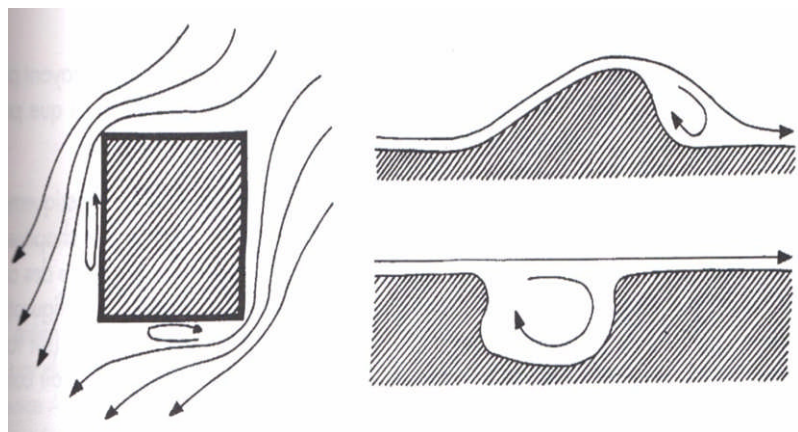


Figure 20 : écoulement du vent face à un obstacle (Chatelet et al, 1998.)

6- Tiré du mémoire de magister Ait Kaci Zouhir 2014.

Mais un tourbillon peut se produire aussi face au vent, en zone de surpression. Par exemple un édifice, représenté en coupe verticale figure 21. Représente verticalement un tourbillon au vent et sous le vent. On remarque que, à cause de la vitesse, les surpressions sont d'autant plus importantes que l'altitude est grande. Cela concorde avec le sens du tourbillon qui va de + vers + sur la façade.

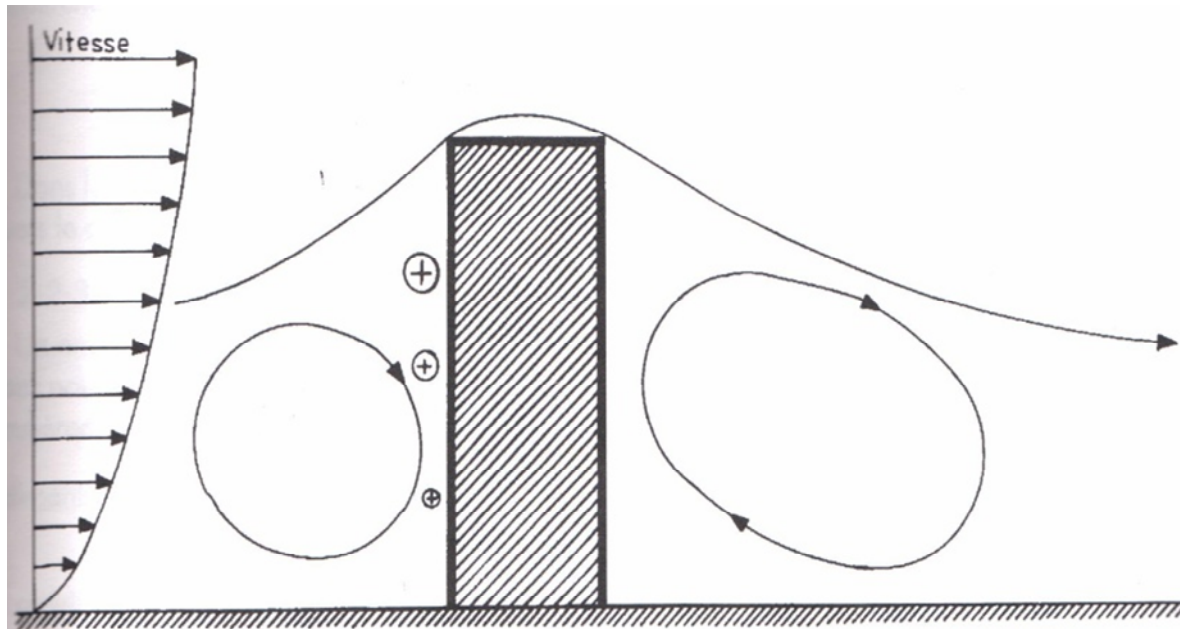


Figure 21 : écoulement du vent face à un obstacle plus haut
(Chatelet et al, 1998.)

Mais les tourbillons arrière sont souvent plus complexes. On peut observer sur la figure 22 un effet de sillage, comme on en observe derrière les bateaux.

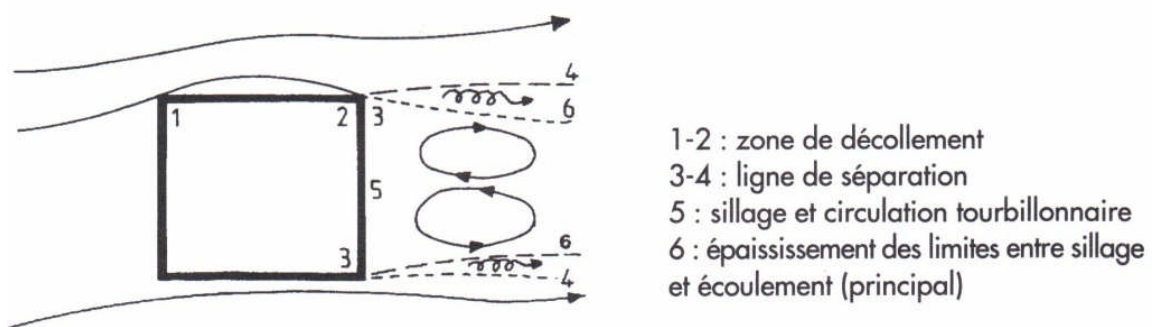


Figure 22 : l'effet de sillage
(Chatelet et al, 1998.)

III-1-4-Les effets aérodynamique liés aux formes architecturales :

Des situations aérodynamiques spécifiques au comportement du vent peuvent être produites par la forme d'un édifice ou de la combinaison de plusieurs d'eux, et pour comprendre cela nous devons définir le facteur adimensionnel de confort Ψ :

$$\Psi = \frac{V_m + \sigma \text{ avec la construction}}{V_m + \sigma \text{ avant la construction}} \quad (\text{Chatelet et all, 1998.})$$

Où :

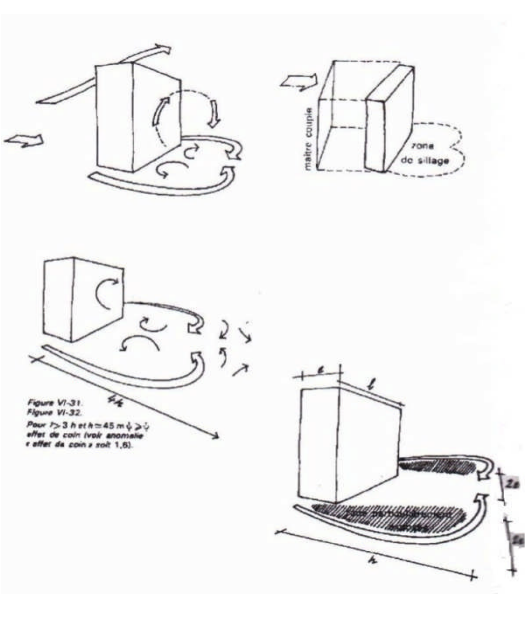
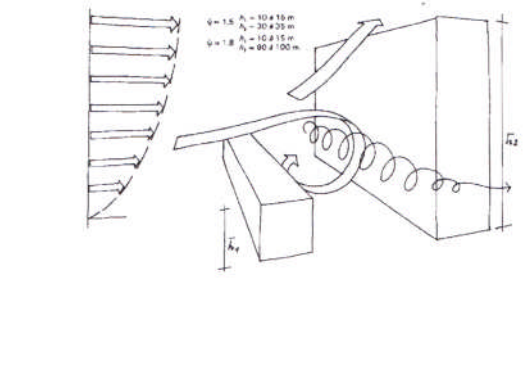
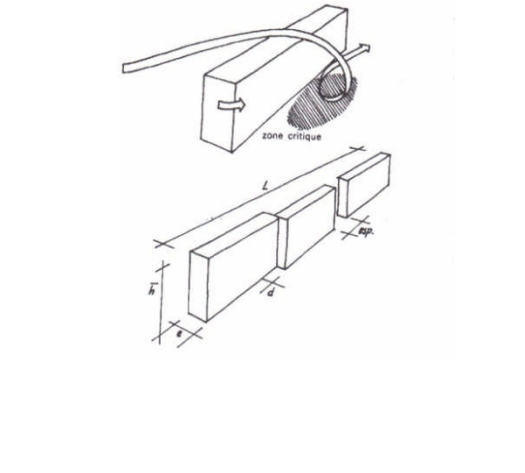
V_m : vitesse moyenne du vent

σ : est relative à la rugosité du site, plus le site est rugueux plus σ est grand.

Ainsi, si Ψ est inférieur à 1, la construction réduit l'effet du vent au niveau du sol, alors si Ψ supérieur à 1 la construction a des conséquences néfastes.

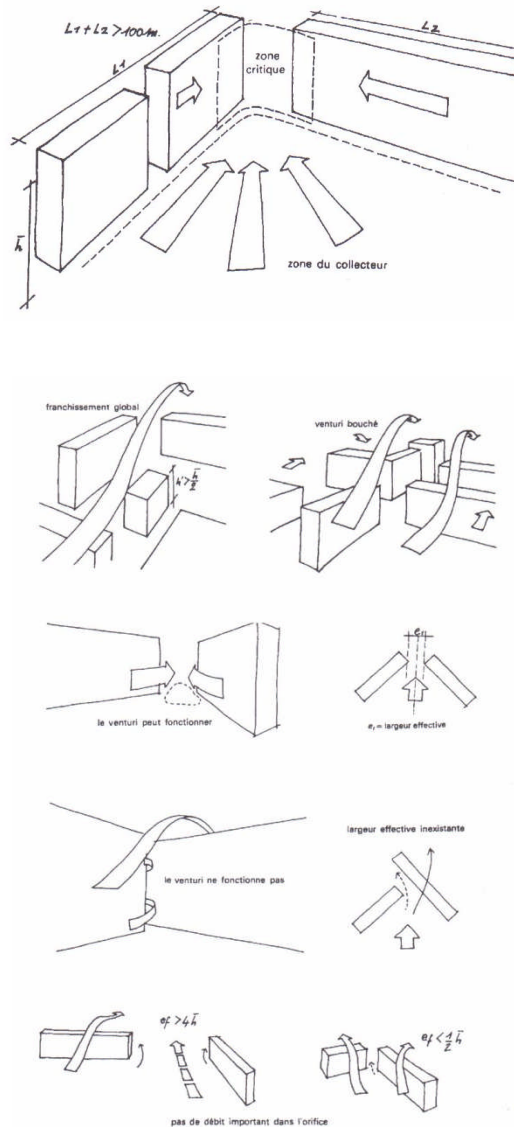
Le tableau suivant illustre par des figures, les effets les plus observés en architecture :

Définitions	Figures	Particularités
Effet de trous sous immeuble Phénomène d'écoulement dans les trous ou passage sous immeuble qui relie l'avant du bâtiment en surpression et son arrière en dépression.		Hauteur minimum > 15 m
Effet de coin Phénomène d'écoulement aux angles des constructions qui mettent en relation la zone de surpression amont et la zone de pression latérale du bâtiment.		Les formes isolées sont plus exposées à ce phénomène

Effet de sillage Circulation fluide tourbillonnaire en aval des formes.	 Figure VI-31. Figure VI-32. Pour $P > 3$ h et $h = 45$ m $\phi \geq \psi$ effet de coin (voir annexe) r aller de zone s s'est 1,0).	En formes parallélépipédiques la persistance de l'effet de sillage est d'environ quatre fois la hauteur du bâtiment pour $15\text{m} \leq h \leq 35\text{m}$. la zone particulièrement exposée s'étend sur une aire $h \times 2e$ de chaque côté de la forme.
Rouleau tourbillonnaire au pied des immeubles Rouleau tourbillonnaire au pied de face au vent	 $\phi = 1,5$ $h_1 = 10 \text{ à } 15 \text{ m}$ $\phi = 1,8$ $h_2 = 30 \text{ à } 35 \text{ m}$ $\phi = 1,8$ $h_1 = 10 \text{ à } 15 \text{ m}$ $\phi = 1,8$ $h_2 = 90 \text{ à } 100 \text{ m}$	Pour qu'il soit ressenti il faut que : La hauteur du bâtiment doit être supérieure à 15 m L'effet est renforcé par la présence d'un bâtiment bas (10 à 15m) amont.
Effet de barre Déviation en vrille de l'écoulement au passage d'une barre pour une incidence voisine de 45°	 zone critique h d eqn.	Le phénomène existe si la géométrie de la barre est : -Hauteur moyenne $h < 25\text{m}$. -Longueur minimum de la barre $L > 8h$ -espacements entre les constructions $\leq h$.

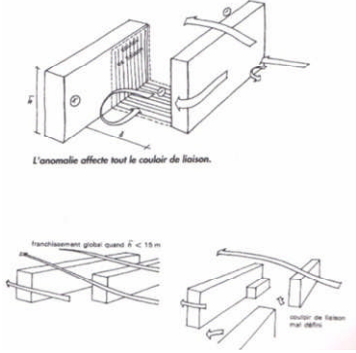
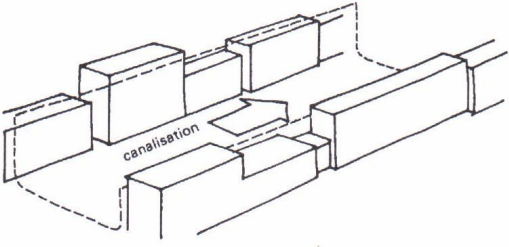
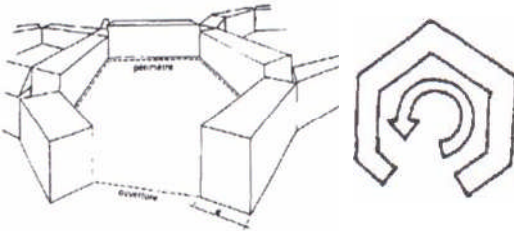
Effet de Venturi

Phénomène de collecteur formé par des constructions dessinant un angle ouvert au vent. La zone critique pour le confort se situe à l'étranglement.



Le phénomène existe si :

- Hauteur moyenne des bras $h > 15m$.
- Longueur minimale des bras pour un angle aigu ou droit entre ceux-ci
 $l_1 + l_2 > 100m$
- Direction du vent grossièrement axé sur la bissectrice de l'angle des bras.
- Environnement proche amont et aval libre de toutes constructions sur une superficie du même ordre que celle occupée par le collecteur.
- Si axe parallèle à un des bras : pas de concentration fluide.
- La projection de la largeur du trou orthogonalement à la direction du vent ne doit pas être inférieure à $h/2$ ou supérieure à $4h$.

Effet de liaison de zones de pression différente Phénomène d'écoulement entre les zones de pression différente (sens des pressions décroissantes) formé par des bâtiments placés en quinconce sous une incidence voisine de la normale.		Conditions d'existence : -Hauteur moyenne maximum $h=15m$. -Couloir de liaison bien défini et pas trop large $d \leq h$
Effet de canalisation Ensemble construit formant un couloir à ciel ouvert. une canalisation n'est pas une cause de gêne en soi. Elle n'agit que si elle est associée à une anomalie aérodynamique qu'elle transmet sur toute sa longueur, exemple : association canalisation-Venturi.		Condition d'existence : -Le couloir est constitué de parois peu poreuses : espacement $\leq$ l'épaisseur des bâtiments. -La largeur du couloir $< 2h$. -Hauteur minimum des bras $h \geq 6 m$
Effet de maille Juxtaposition de bâtiments qui forment alvéole ou poche.		Il existe si : -La hauteur moyenne $h > \lambda$ l'épaisseur. -Louverture ne représente pas plus de 0.25 du périmètre de la maille.

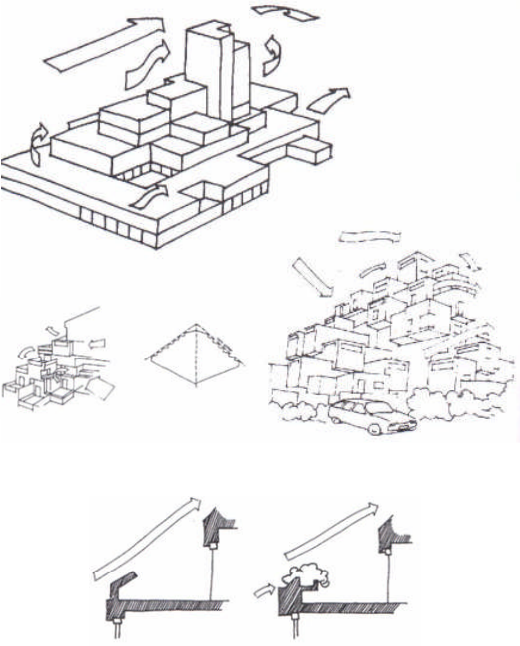
Effet de pyramide Groupement de construction à décrochement et à caractère pyramidal. Quantification du champ de vitesse au pied de ces structures et sur différentes terrasses. Ce mode de construction dissipe le maximum d'énergie du vent dans tous les azimuts : -les survitesses sont faibles, -les turbulences assez élevées, -le confort moyen est bon $\Psi < 0.6$.		Les secteurs critiques sont : -Les coins globaux de la pyramide. Si la hauteur de la pyramide $\approx 40\text{m}$, alors $\Psi_{\text{coin}} \approx 1.6$. - Les balcons ou loggias au vent et au voisinage des crêtes.
---	--	---

Tableau 2 : les effets types de vents en architecture (Chatelet et al, 1998.)

III-1-5-Les effets de la végétation :

La végétation peut jouer un rôle important dans la maîtrise des flux d'air, or elle peut apporter ou dévier un flux d'air selon le besoin saisonnier en utilisant le bon choix de type, taille et disposition de cette végétation(haies et arbre à feuillage persistant et caduque...). (Voire figure 23).

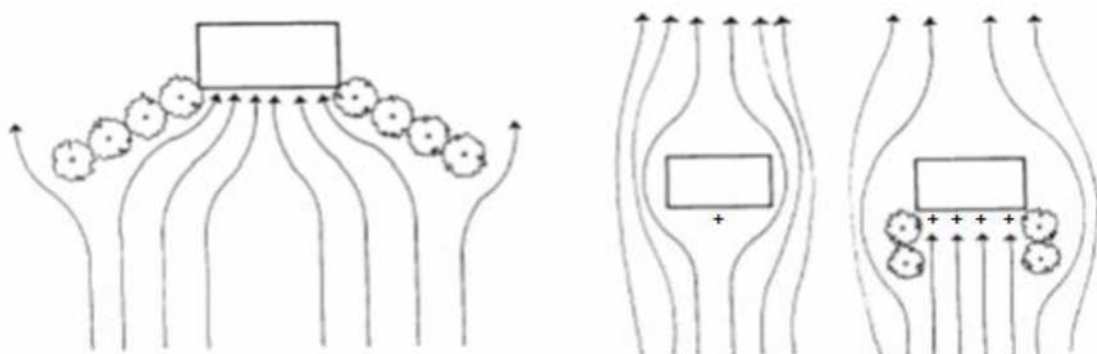
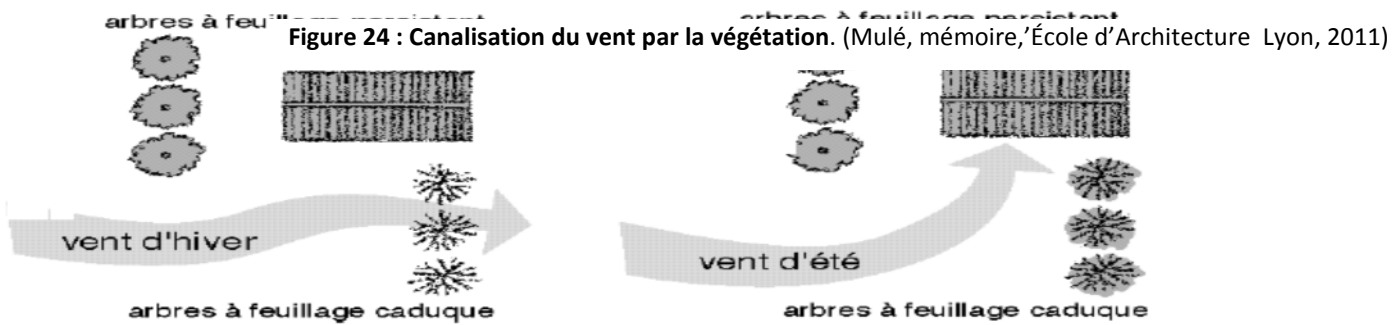


Figure 23 : Amélioration de la ventilation naturelle (Mulé, mémoire, 'École d'Architecture Lyon, 2011)

En hiver peut être utilisé pour freiner les vents dominants et modifier leur profil d'écoulement pour canaliser les brises en été. (Voire figure 24)



III.2-Effet de la ventilation naturelle à l'intérieur d'un édifice :

Pour la bonne utilisation d'une ventilation naturelle dans un espace, il est indispensable de connaître l'effet du mouvement d'air à l'intérieur de celui-ci, pour cette raison on va aborder en premier lieu, l'influence de l'orientation d'un édifice par rapport au vent, puis l'influence de la position et dimension des ouvertures et on finit par l'influence des obstacles à l'intérieur de celui-ci.

III.2.1-Influence de l'orientation d'un édifice par rapport au vent :

On distingue deux types de vent, les vents forts et les vents brises, les premiers constituent une nuisance et les seconds peuvent contribuer utilement à la ventilation naturelle, donc l'orientation peut être choisie à partir de l'utilisation du déplacement d'air qu'on estime. Il faut toujours protéger les parois exposées aux vents de pluies contrairement aux vents secs « mistral » dont il faut les exploiter pour le refroidissement par évaporation par l'ouverture des parois légèrement (Mansouri, thèse, école doctorale de Nante, 2003).

La répartition du champ de pression autour d'un édifice se fait suivant l'orientation de celui-ci par rapport à la vitesse de l'air et pour maximiser les surpressions sur une façade, il faut orienter cette dernière d'une manière qu'elle sera perpendiculaire au vent (Chatelet et al, 1998.)

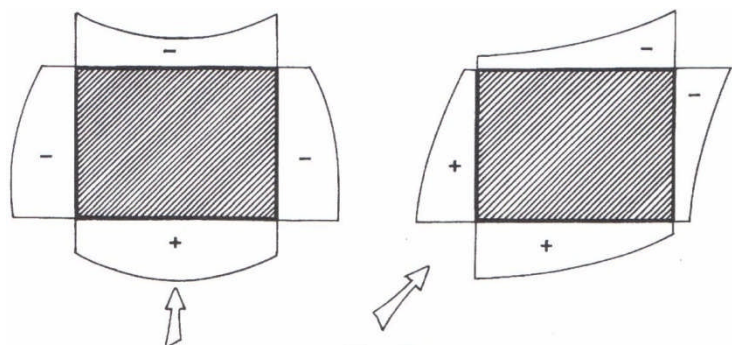


Figure 25 : les champs de pressions sur un édifice en fonction de l'orientation par rapport au vent (Chatelet et al, 1998.)



Figure 26 : augmentation des surpressions par l'effet d'arrêt aux niveaux des ouvertures
(Chatelet et al, 1998.)

III.2.2-Influence de la position et dimension des ouvertures :

Un grand débit d'air n'est pas toujours suffisant à obtenir, mais, il faut qu'il soit réglable et que dans l'édifice le courant d'air permet d'atteindre certaine vitesse en des lieux voulus pour que la ventilation soit avantageuse pour le confort. Pour maîtriser le débit et la distribution des vitesses d'air à l'intérieur d'un espace il faut bien choisir les dimensions et les positions des ouvertures car cette dernière influencent le schéma des déplacements d'air intérieur, dans les figures qui suivent sont définis les différents schémas d'écoulement d'air.

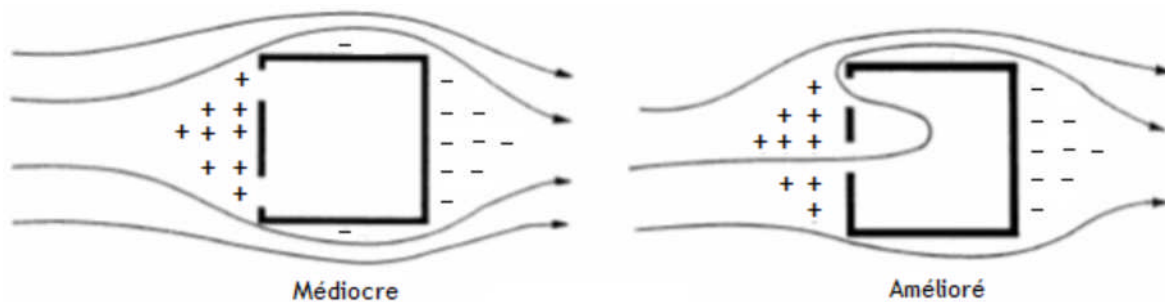


Figure 27 : Influence du positionnement des ouvertures. Ventilation simple exposition (Pacer, 1996)⁷

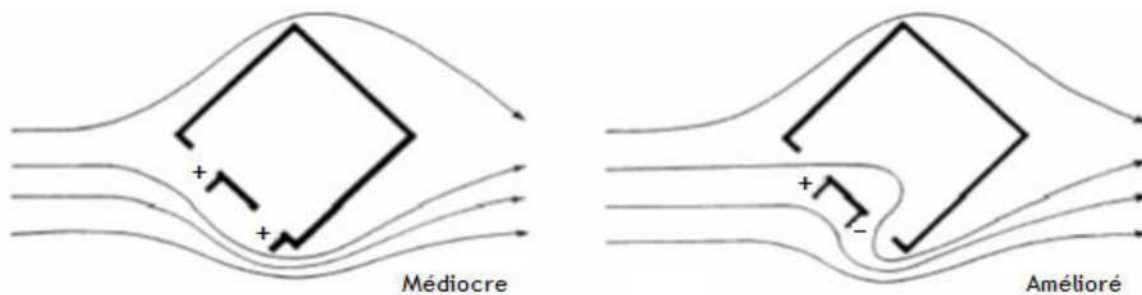


Figure 28: Influence du positionnement de déflecteurs. Ventilation simple exposition (Pacer, 1996)⁷



Figure 29 : influence de positionnement des ouvertures en ventilation traversante (Tareb, 2004)⁷

7- Tiré du mémoire Mulé, École d'Architecture Lyon, 2011.

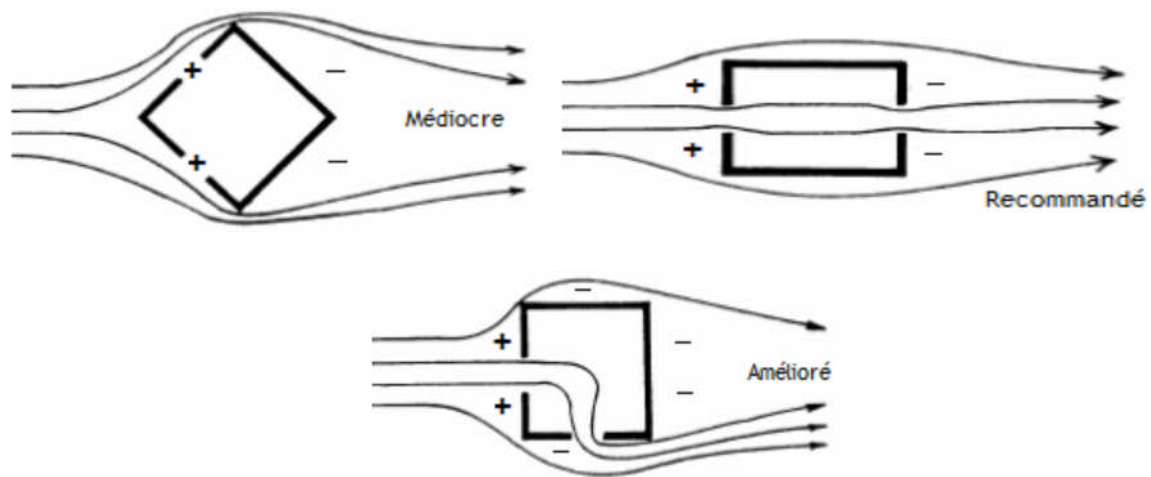


Figure 28 : Ventilation traversante due au vent (Pacer, 1996)⁷

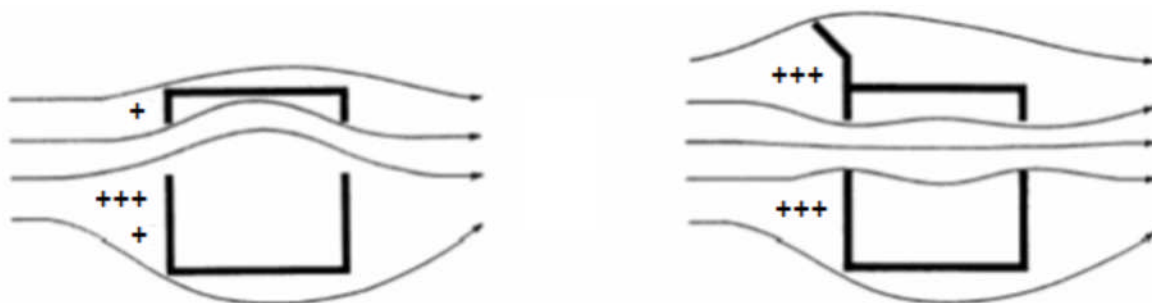


Figure 29 : ventilation lorsque le local le plus vaste est situé sous le vent (Allard, 1998)⁷

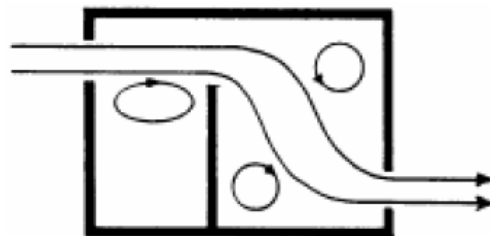


Figure 30 : Meilleure ventilation lorsque le local le plus vaste est situé sous le vent (Pacer, 1996)⁷

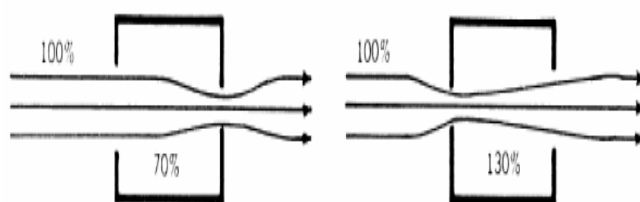


Figure 31 : Influence de la taille des ouvertures
(Pacer, 1996)⁷

(Les pourcentages se réfèrent à la vitesse et non au débit)

Pour le maximum d'efficacité, les entrée et sortie d'air devraient avoir la même taille. Si ce n'est pas possible, les ouvertures d'entrées d'air devraient être les plus petites pour maximiser la vitesse d'air et le confort d'été. (Mulé, École d'Architecture Lyon, 2011)

7- Tiré du mémoire Mulé, École d'Architecture Lyon, 2011.

III.2.3-Influence des obstacles à l'intérieur d'un espace :

L'organisation intérieure et le type d'ouverture jouent un rôle important sur la démunitions des vitesses d'air à l'intérieur d'un espace, donc il est indispensable de les bien choisir, pour cette raison on va aborder en premier lieu l'influence des cloisons interne puis l'effet de moustiquaires.

➤ L'influence des cloisons interne :

L'air change de direction face à une cloison, ce qui induit la démunitions de sa vitesse d'entrée, donc les vitesses étaient les plus faibles lorsque la cloison était en face et à proximité de la fenêtre, en conséquence, les meilleurs conditions acquises lorsque les cloisons étaient proches de la sortie d'air. Dans les édifices où l'air devrait passer d'une pièce à l'autre, tant que les communications entre les pièces restaient ouverte lorsque la ventilation est nécessaire, la meilleur ventilation qui sera possible c'est quand les pièces « amont » soit plus grande. (Givoni, 1978)

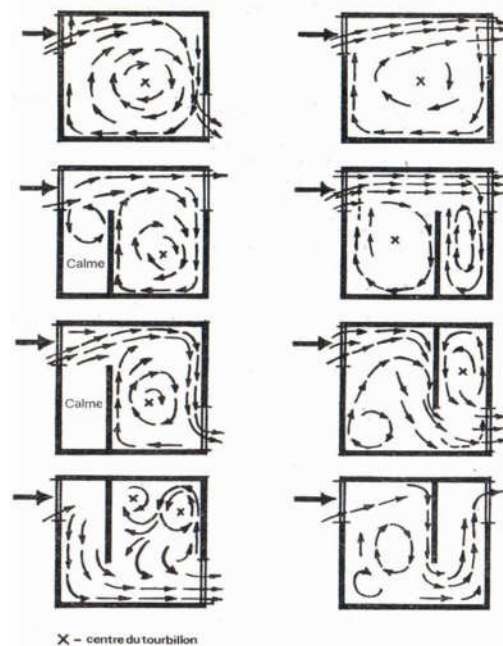


Figure 32 : régime des flux d'air dans des modèles subdivisés intérieurement de manière différente (Givoni, 1978)

➤ L'effet de moustiquaires :

Dans certains conditions climatiques, la vitesse d'air qui semblaient satisfaisante pour d'autre condition, sera nuisible comme pour les climats chaud et sec, pour cette raison les moustiquaires interviennent dans une grande partie du monde, sous les Tropiques, car elles veillent sur la réduction des flux d'air pénétrant par les fenêtres, surtout si le vent extérieure est léger, et que la direction du vent est oblique sur la fenêtre. D'après Van Straaten la démunitions du flux d'air total, provoqué par un écran métallique de maille



Figure 33 : moustiquaire, Le Caire, façade d'une villa moderne.

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Moucharabieh#/media/Fichier:GD-EG-Caire-Suhaymi033.JPG>

16 et de calibre 30, est à peu près de 60% et 50% lorsque les vitesses du vent sont respectivement 1.5 et 2 M P H, et seulement 25% lorsque la vitesse est de 10 M P H. (Givoni, 1978)



Figure 34 : moustiquaire moderne (archiexpo.fr)

III.3-Mode de ventilation naturelle :

III.3.1-Ventilation traversante :

L'effet du vent entraîne une ventilation traversante.

En ventilation traversante ou ascendante sans cheminée générale, l'air traverse très souvent deux espaces utiles ou un ensemble d'espaces en série. Cela signifie que les espaces ne sont pas refroidis avec les mêmes températures d'entrée d'air, puisque la température d'un espace qui suit correspond à la température de sortie d'un espace antérieur. Donc la meilleure organisation d'espace construit est de placer les volumes qui ont besoins le plus de refroidissement sur l'entrée directe d'air extérieur. Par exemple si une cuisine n'a pu être isolée et est contigüe à un séjour, l'air doit d'abord pénétrer dans ce dernier. (Figure 37).

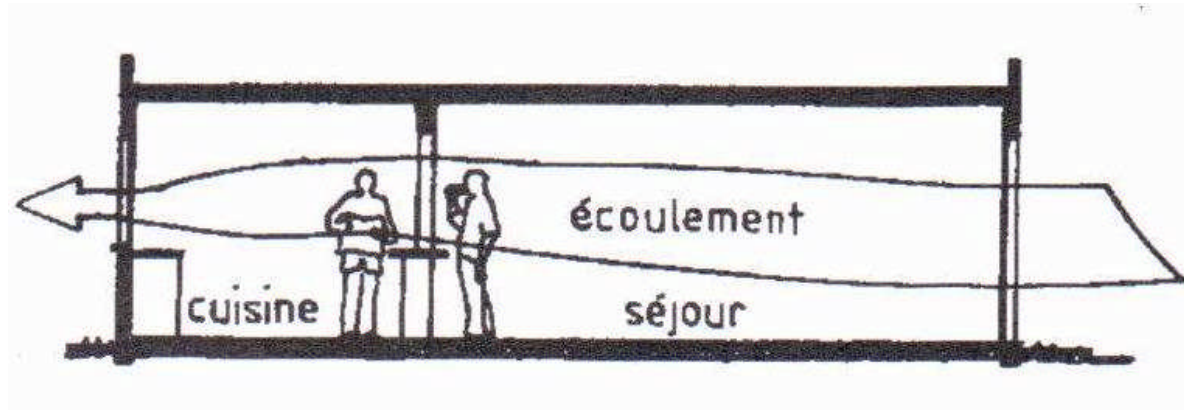


Figure 35 : Ventilation traversante (chatelet et all, 1998.)

Pour que les divers espaces bénéficient de la même température d'entrée de l'air de refroidissement, seule une architecture avec cheminée collective peut être prévue.

Il faut connaître les vents dominants éventuels sur lesquels il peut compter, afin, en fonction des autres paramètres climatiques et de la possibilité d'un courant traversant sans que le refroidissement en série soit gênant, de choisir un parti de ventilation en harmonie avec les autres partis architecturaux.

Dans le cas d'un vent dominant important et de direction pratiquement constante un système de ventilation par cheminée collectrice peut être prévu grâce à l'effet Venturi. (Figure 38).

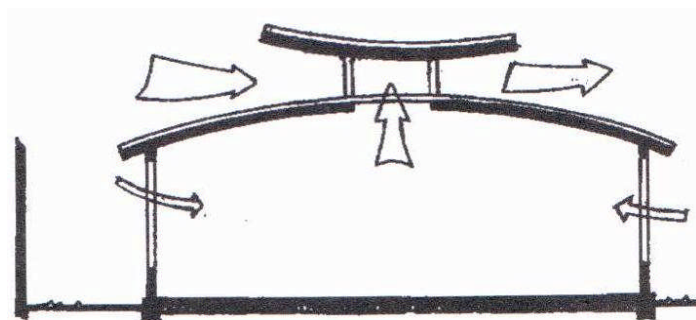


Figure 36 : cheminée collectrice (Chatelet et all, 1998.)

Toujours dans le cas d'un vent dominant important et de direction pratiquement constante, mais perpendiculaire aux façades ouvertes, une ventilation traversante peut être organisée à partir d'un effet d'arrêt obtenu en hauteur (Figure 39). (Chatelet et all, 1998.)

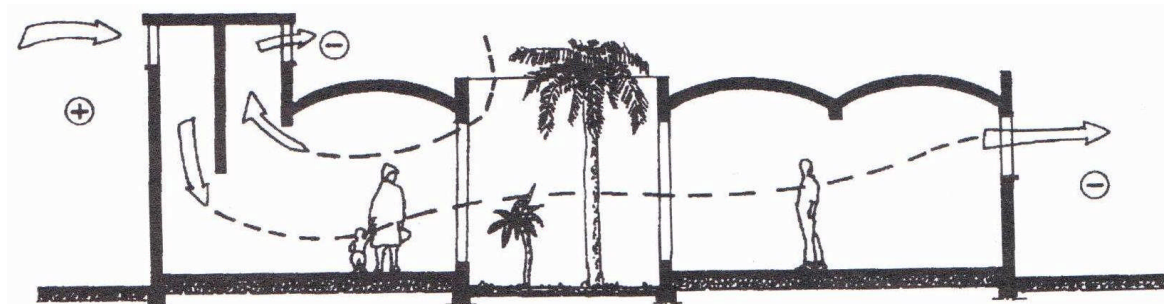


Figure 37 : ventilation traversante à partir d'un effet d'arrêt (Chatelet et all, 1998.)

Même sans vent une légère ventilation traversante peut avoir lieu grâce à l'échauffement différentiel que peut provoquer le soleil entre les côtés ensoleillés et ombrés d'un édifice.

L'air ambiant s'échauffe côté chaud et monte selon l'effet thermosiphon, ce dernier étant alimenté en air venant en partie directement de l'extérieur et en partie à travers l'édifice (Figure 40). (CHATELET et al, 1998.).

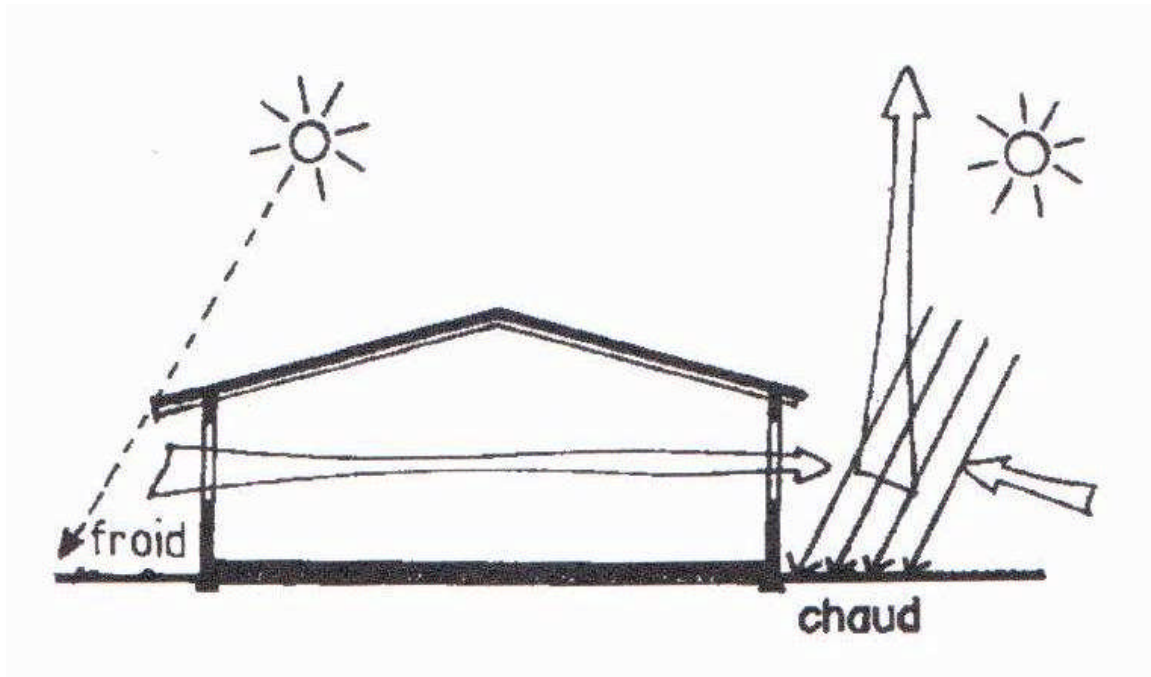


Figure 38 : ventilation traversante à partir l'échauffement différentiel.

(Chatelet et al, 1998.)

Pour l'habitat individuel, en qualifiant de plus l'effet du vent à partir de la connaissance du « potentiel vent » et de l'influence groupée de quatre familles de paramètres : les effets du site, l'orientation et la direction du vent, l'architecture et l'aérodynamique externe, l'architecture interne.

Débit d'air en ventilation traversante :

$$Q_v = C_d S V \sqrt{\Delta C_p} \quad (\text{http://www.etamine.coop})$$

où S est défini par la relation $1/S^2 = 1/S_1^2 + 1/S_2^2$, et $\Delta C_p = C_{p1} - C_{p2}$ avec S_1 : surface ouvrante au vent, S_2 : surface ouvrante sous le vent, et C_{p1} et C_{p2} les coefficients de pression au vent et sous le vent. ($C_p = (p - p_0) / \sqrt{(1/2 \rho V^2)}$). En pratique ΔC_p varie de 0,4 à 0,8 en fonction de la position relative des ouvertures et de l'angle d'incidence du vent par rapport à la façade. C_d est le coefficient de décharge de l'ouverture, coefficient théoriquement égal à 1, et en pratique compris entre 0,5 et 1. On prend $C_d = 0,65$ en absence de données plus précises.

En pratique, ces formules ne sont pas très utiles car de toute façon on ne connaît pas la vitesse du vent au niveau des ouvertures, éminemment variable et aléatoire. Il vaut mieux être prudent dans les estimations. L'idéal est d'obtenir le confort sans ouverture de fenêtre. Dans le cas contraire, on peut prendre en compte de 2 à 4 vol/h lorsque la ventilation est traversante (ouvertures sur des façades opposées), un peu moins en cas d'ouverture sur des façades

perpendiculaires, et encore moins si les ouvertures ne sont que sur une façade, 1 à 2 vol/h maxi, à condition que le ratio d'ouverture des baies soit au moins de 30%.
(<http://www.etamine.coop>)

III.3.2-Ventilation mono-exposition:

Contrairement à la ventilation traversante qui se caractérise par des ouvertures de part et d'autres, la ventilation « mono façade » se dit lorsque toutes les ouvertures sont disposées d'un seul coté.

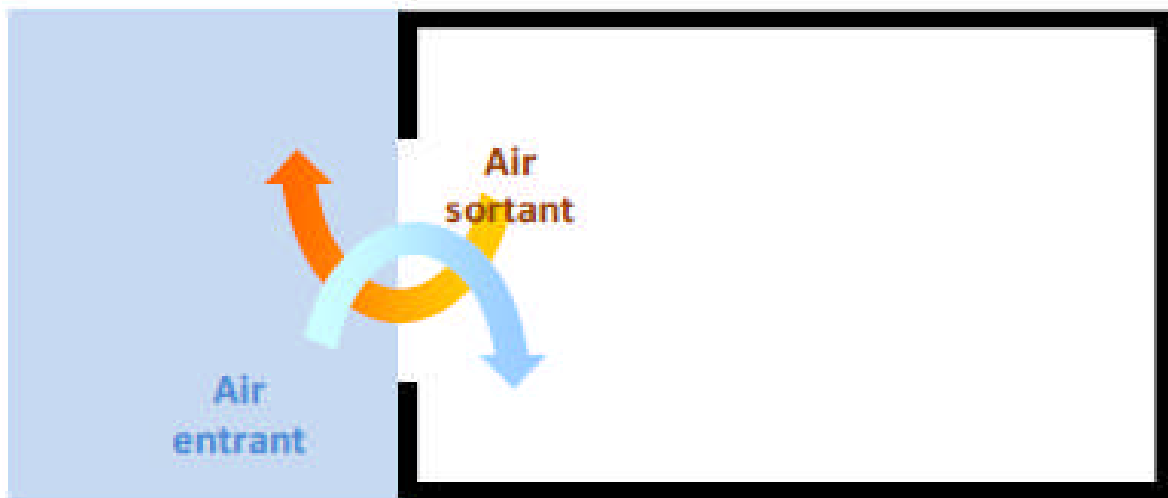


Figure 40 : la ventilation simple exposition (Mémoire, Marcello Caciolo, école des Mines de Paris, 2011.)

Le renouvellement d'air en cette ventilation se fait par deux mécanismes, l'effet thermique et celui du vent.⁸

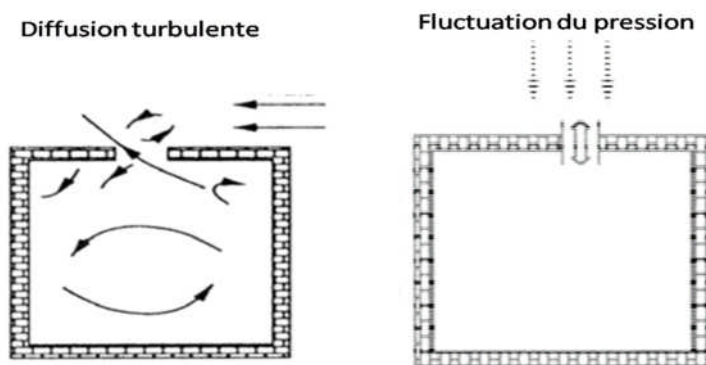


Figure 39 : Schématisation de l'effet turbulent du vent en ventilation naturelle mono façade (Haghigat et all, 1991).⁸

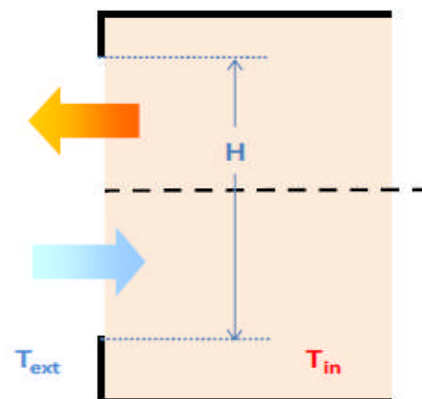


Figure 41 : shématisation du l'effet thermique en ventilation mono façade.
(Mémoire, Marcello Caciolo, école des Mines de Paris, 2011.)

Débit d'air en ventilation mono façade :

$$Q_v = 0,025 S V \text{ (http://www.etamine.coop)}$$

Où S = surface ouvrante, et V la vitesse du vent.

7- Tiré du mémoire Mulé, École d'Architecture Lyon, 2011.

8- Tirée du Mémoire, Marcello Caciolo, école des Mines de Paris, 2011.

La ventilation traversante peut ventiler efficacement des pièces bien plus profondes (cinq fois la hauteur sous plafond) que la ventilation à exposition simple (Tareb)⁷. Donc pour ce type de ventilation, pour bien profiter de l'effet thermique et celui du vent, nécessite une conception particulière des édifices, bien sûr c'est cela possible, quelques stratégies adoptées sont schématisées sur ce qui suit :

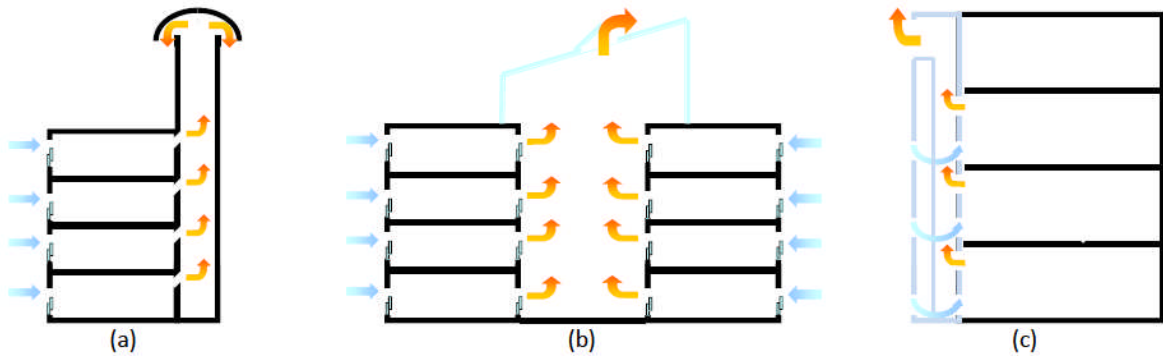


Figure 42 : exemple de solutions architecturales favorisant la ventilation traversante. (a) cheminée, (b) atrium, (c) double peau. (Mémoire, Marcello Caciolo, école des Mines de Paris, 2011.)

III.3.3-Ventilation par conduit vertical :

Ce type de ventilation vient pour surmonter la plupart des problèmes liés à la ventilation mono façade et améliorer aussi quelques fois les stratégies de ventilation traversante.

La ventilation par effet cheminée suppose que l'espace contient une ouverture en haut de l'espace à ventiler et une autre en bas, le réchauffement d'air entraîne des mouvements ascensionnels de ce dernier. Aujourd'hui, ce type de ventilation s'avère utilisable d'une manière moderne, à travers des dispositifs à plusieurs conduits dont l'air rentre dans un conduit froid puis est extrait par conduit chaud.

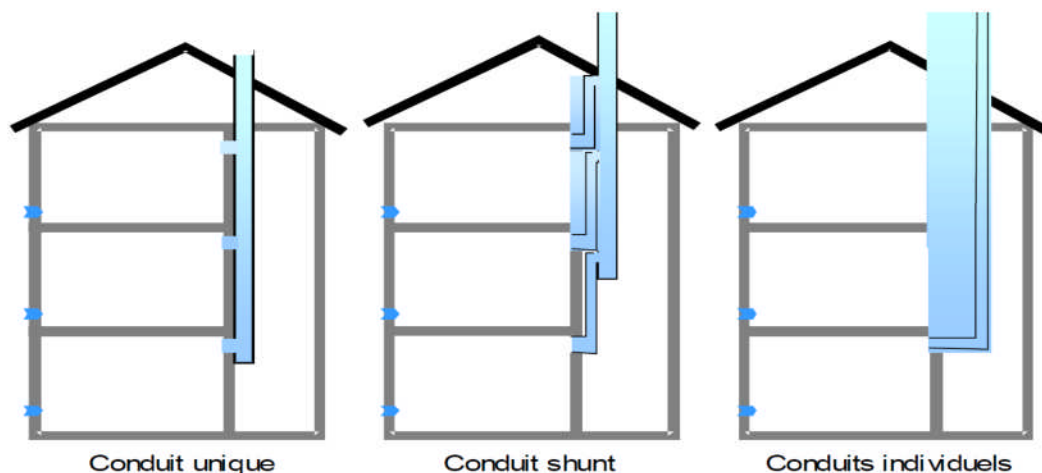


Figure 43 : Exemple d'intégration de conduits de ventilation naturelle (Mémoire Mulé, École d'Architecture Lyon, 2011)

7- Tiré du mémoire Mulé, École d'Architecture Lyon, 2011.

IV. Relation entre ventilation naturelle et rafraîchissement passif :

IV.1-Confort thermique :

Le confort thermique est d'abord un phénomène physique soumis à une faible part de subjectivité. Le fonctionnement de la « machine humaine » implique une température intérieure constante de 37° environ.

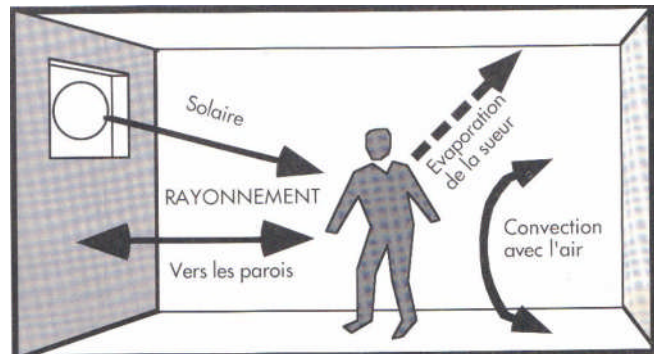


Figure 44 : les trois modes d'échange thermique entre le corps et l'environnement (Architecture d'été Izard)

La sudation est corrélée à une sensation d'inconfort chaud sensible. Dans la zone

de confort, la sudation est faible et l'humidité de l'air est un facteur dont l'influence est négligeable. L'appréciation d'une ambiance en été peut se faire alors principalement par la température de l'air et la température moyenne des parois (appelée température radiante moyenne). La conception des locaux devra donc engendrer des valeurs de ces températures compatibles avec une sensation de confort satisfaisante. (Architecture d'été Izard)

Si ce n'est pas le cas, un moyen supplémentaire s'offre à l'occupant **pour améliorer son confort : il s'agit, par la création d'une certaine vitesse d'air** (soit par une ventilation traversante, soit par des ventilateurs), d'augmenter les échanges avec l'air et favoriser l'évaporation de la sueur. (Architecture d'été Izard)

Ainsi, une vitesse d'air de 1 m/s se traduit par un gain en température ressentie de 3 à 4°C par rapport à un air calme. Cependant ce moyen est d'une mise en œuvre délicate car le contrôle des vitesses d'air est difficile à réaliser dans l'ensemble d'un local. Il ne doit être considéré que comme un recours éventuel, une conception correcte des constructions permettant en général d'obtenir, en air calme, un confort satisfaisant.

Les conditions d'ambiance correspondant au confort en air calme :

En prenant en compte une vêtue courante d'été et une activité de type travail sédentaire, on peut définir les conditions d'ambiance correspondant au confort :

-En air calme : et si la température des parois est proche de celle de l'air, la zone de bon confort correspond à une température d'air comprise entre 23° et 26°C, le confort restant acceptable entre 21° et 28°C (pour être plus précis on peut se baser sur la température opérative, demi-somme de la température radiante moyenne et la température d'air). Comme

indiqué précédemment, ces valeurs sont augmentées d'environ 3°C si une vitesse d'air de 1m/s peut être créée sur les occupants. (Architecture d'été Izard)

IV.2-Ventilation naturelle et confort d'été :

Pour améliorer le confort d'une ambiance en été à partir de la ventilation naturelle, on a recouru à l'utilisation du vitesse ou débit d'air selon le besoin, dans ce but, on vas expliquer cela en ce qui suit.

IV.2.1-Ventilation traversante :

La création de courants d'air doit pouvoir être réglée par l'occupant afin d'éviter les gênes dues à des vitesses d'air trop élevées, ce qui suppose que l'ouverture des volets ou des fenêtres soit modulable. L'effet thermique de la vitesse de l'air est lié à la température : plus la vitesse est grande, plus la température d'air doit être élevée. En confort d'été, on raisonne à l'inverse, en considérant que lorsque la température « subie » est élevée, on peut se permettre d'augmenter la vitesse de l'air.

La zone de confort dépend aussi des apports ou des pertes radiatives. Parmi les apports, il y a ceux qui proviennent du rayonnement solaire directement reçus par le corps et qui correspondent à une augmentation de la température opérative, comme le montre le diagramme ci après.

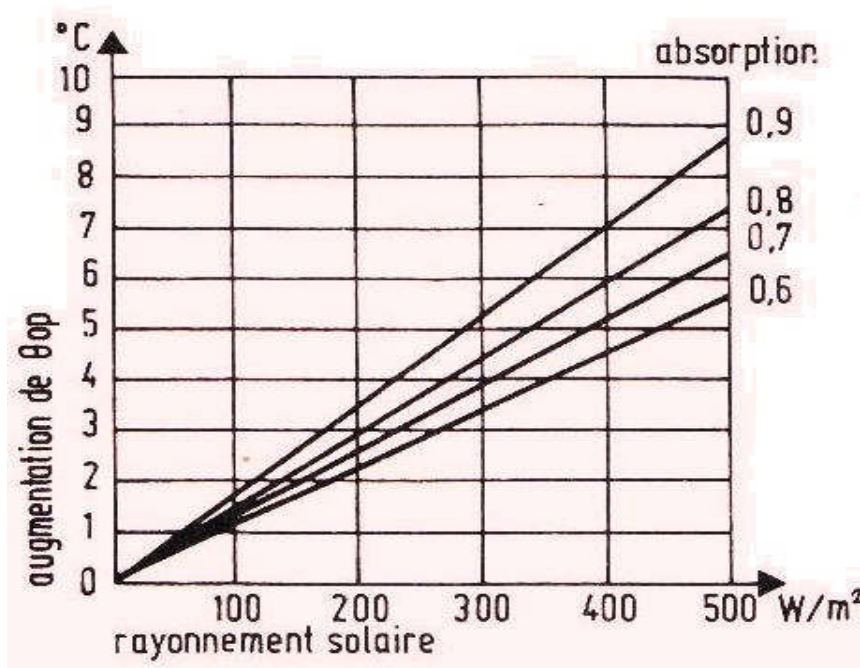


Figure 45 : augmentation de la température opérative d'une ambiance due au rayonnement solaire reçu, en fonction du facteur d'absorption des vêtements.

(Architecture d'été Izard)

Le paramètre « pénétration solaire » dans les locaux habités doit donc faire l'objet d'une attention particulière de la part de l'architecte. (Architecture d'été Izard)

Le confort peut être résumé comme une interaction permanente entre le métabolisme (activité=production d'énergie), la tenue vestimentaire (= isolation thermique), la température d'air, la température radiante de l'environnement et la vitesse d'air (= données climatiques). Le diagramme suivant montre un exemple de cette interaction. Ce diagramme montre la compensation entre la température d'air et la température radiante et comment cette compensation varie avec la vitesse de l'air.

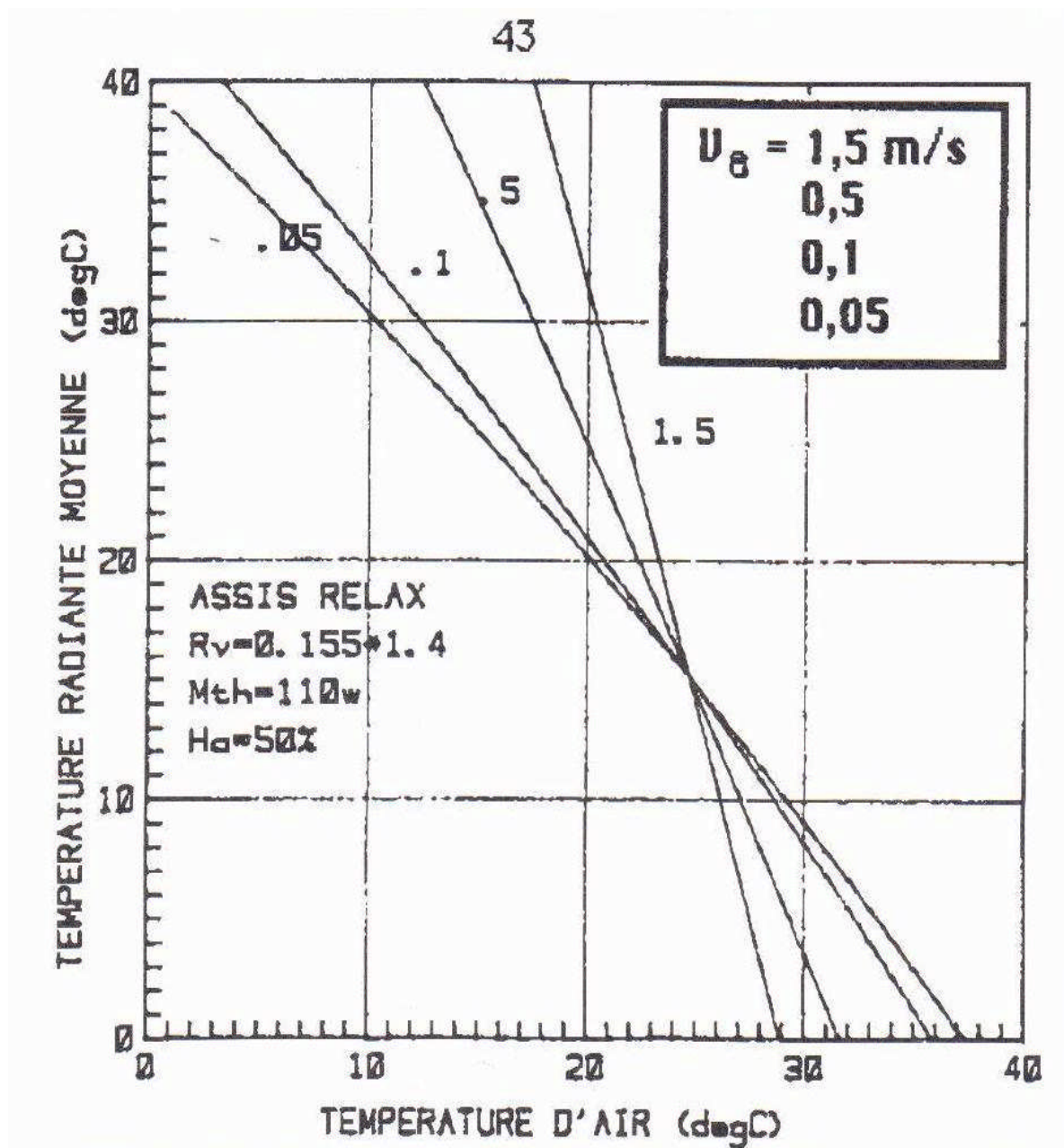


Figure 46 : courbes de confort pour un métabolisme correspondant à une position assise relax (110 W) et une tenue de type T-shirt à manches.
(Architecture d'été Izard)

IV.2.2-Ventilation nocturne :

Le principe de la ventilation nocturne est intéressant dès lors que la température d'air extérieur s'abaisse suffisamment la nuit, elle a un effet direct d'abaissement des températures d'air intérieur qui est surtout sensible la nuit. Le graphe suivant montre cet effet dans le cas d'une construction à inertie moyenne.

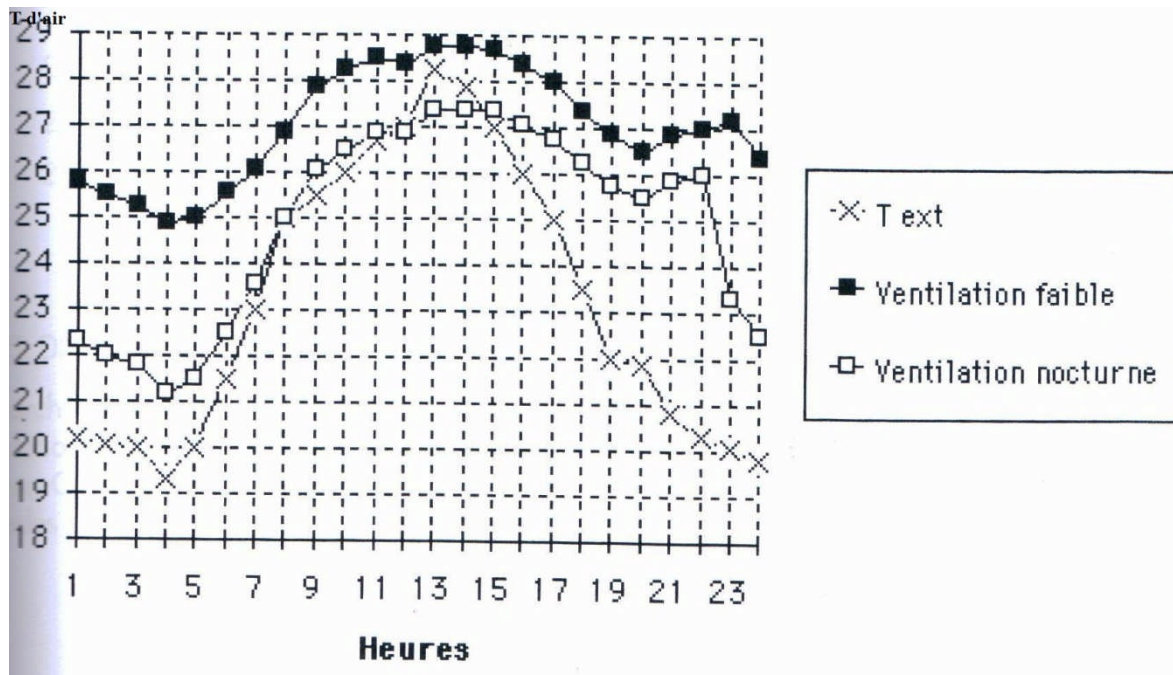


Figure 47 : effet de la ventilation nocturne sur la température intérieure (Architecture d'été Izard)

Givoni, selon les études expérimentales faite sur le centre de recherche du bâtiment d'Haïfa par rapport à la ventilation naturelle, a mentionner dans son livre que les bâtiments d'une couleur externe blanche ou approchante, d'une résistance thermique et une capacité calorifique moyennes à élevées, et avec des ouvertures relativement petites et protégées, connaissent pendant la journée des températures intérieures plus basses qu'à l'extérieur. Les bâtiments peints en sombre, ou ceux qui ont des fenêtres de grandes dimensions et peu protégées, ont des températures diurnes supérieures à celles de l'extérieur.

Donc le sens et la grandeur des effets de la ventilation sur la température intérieure ainsi que le régime diurne souhaitable de la ventilation, dépendent de la couleur externe des murs et de la grandeur et de la protection des fenêtres.

Stratégie de ventilation naturelle dans le contexte climatique Algérien

Pour mieux exploiter la ventilation naturelle pour le rafraîchissement d'été en contexte algérienne, il est indispensable de connaître les stratégies à adopter pour chaque type de climat, puis les différents climats qui existent en Algérie, en suite la stratégie la mieux adapter pour cette dernière. Ces ce qu'on va voir dans ce chapitre.

I. Exigence de ventilation naturelle en relation avec le climat :

Les exigences de ventilation minimale ou optimale dépendent du type de climat, et peuvent varier d'une saison à l'autre à l'intérieur d'une région donnée.

I.1- Les régions ou les saisons froides et sèches :

Sont caractérisées par des températures extérieures très basses. En conséquence l'humidité absolue ambiante et la tension de vapeur d'eau sont aussi faibles. L'infiltration incontrôlée d'air froid provoque des courants d'air très désagréables. L'humidité relative intérieure peut être trop basse, du fait qu'on chauffe un air pris à l'extérieur, et peut causer de l'irritation. L'humidification est donc parfois souhaitable dans ces régions. (Givoni, 1978)

La fonction de la ventilation sous de telles conditions est de garantir un certain taux maximal de renouvellement d'air, d'empêcher les odeurs corporelles et les autres odeurs d'atteindre un niveau déplaisant. Ce taux sera généralement suffisant pour la fourniture d'oxygène et la prévention de toute concentration excessive de dioxyde de carbone. (Givoni, 1978)

I.2- Les régions aux hivers humides et pas suffisamment froids :

Dans de telles conditions, une isolation thermique élevée et un chauffage central indispensable, les occupants tendent souvent à réduire le taux de ventilation pour ne pas faire baisser la température intérieure jusqu'à un niveau inconfortable. Dans de tels cas la condensation peut devenir le problème majeur puisque le taux de ventilation nécessaire à la prévenir est plus élevé que celui destiné au seul contrôle des odeurs. (Givoni, 1978)

La meilleure solution dans ce cas consiste à produire une ventilation aspirante dans les endroits où se produit la vapeur d'eau, c'est-à-dire dans les cuisines et les salles de bains. Par ce moyen, la vapeur est supprimée avant qu'elle puisse se disperser et la tension de vapeur d'eau intérieure est produite moyennant un faible taux de ventilation. (Givoni, 1978)

I.3- Les régions chaudes :

Les exigences de ventilation sont basées sur un critère différent. Ici, la principale fonction de la ventilation est de produire un confort thermique par un déplacement de l'air près du corps suffisant pour provoquer un refroidissement adéquat et une rapide évaporation de la sueur, surtout sous des conditions humides et chaudes. (Givoni, 1978)

Le volume d'air déplacé n'est pas le critère approprié dans de telles conditions et les exigences doivent s'exprimer en termes de vitesse de l'air dans les aires d'occupation. (Givoni, 1978)

I.4- Les régions chaudes et humides :

Dans de telles régions, on doit prendre des mesures pour obtenir une vitesse de l'air supérieure à 2 m/s, autant que possible il faudra utiliser les vents dominants pour déclencher ce mouvement d'air, par la conception particulière de certains détails de construction comme on le verra dans le chapitre qui suit. (Givoni, 1978)

I.5- Les régions à climat chaud et sec :

Il est souhaitable de réduire à un minimum la ventilation pendant la journée pour l'évacuation des odeurs générées dans l'habitation. Ici le taux de ventilation peut être inférieur à celui d'un climat froid car les fenêtres sont généralement ouvertes dans la soirée et le temps de constitution des odeurs est beaucoup plus court. Cependant il en est ainsi uniquement lorsque la température intérieure ne se situe pas au dessus du niveau où le confort peut être maintenu. Dans la soirée, le mouvement d'air est nécessaire pour réduire la température de l'air à l'intérieur et pour dissiper l'effet des surfaces internes chaudes. Comme généralement la température extérieure dans ces régions n'est pas élevée en soirée et la nuit, il suffit d'une vitesse de l'air de seulement 1 m/s environ. (Givoni, 1978).

II. Classification des étages bioclimatiques du monde :

La classification de Wladimir Peter Köppen du climat datant de 1900 reste aujourd'hui une référence grâce à ses mises à jour fréquentes. C'est une classification fondée sur les précipitations et les températures, elle touche toutes les zones du monde, comme on le voit dans la figure qui suit :

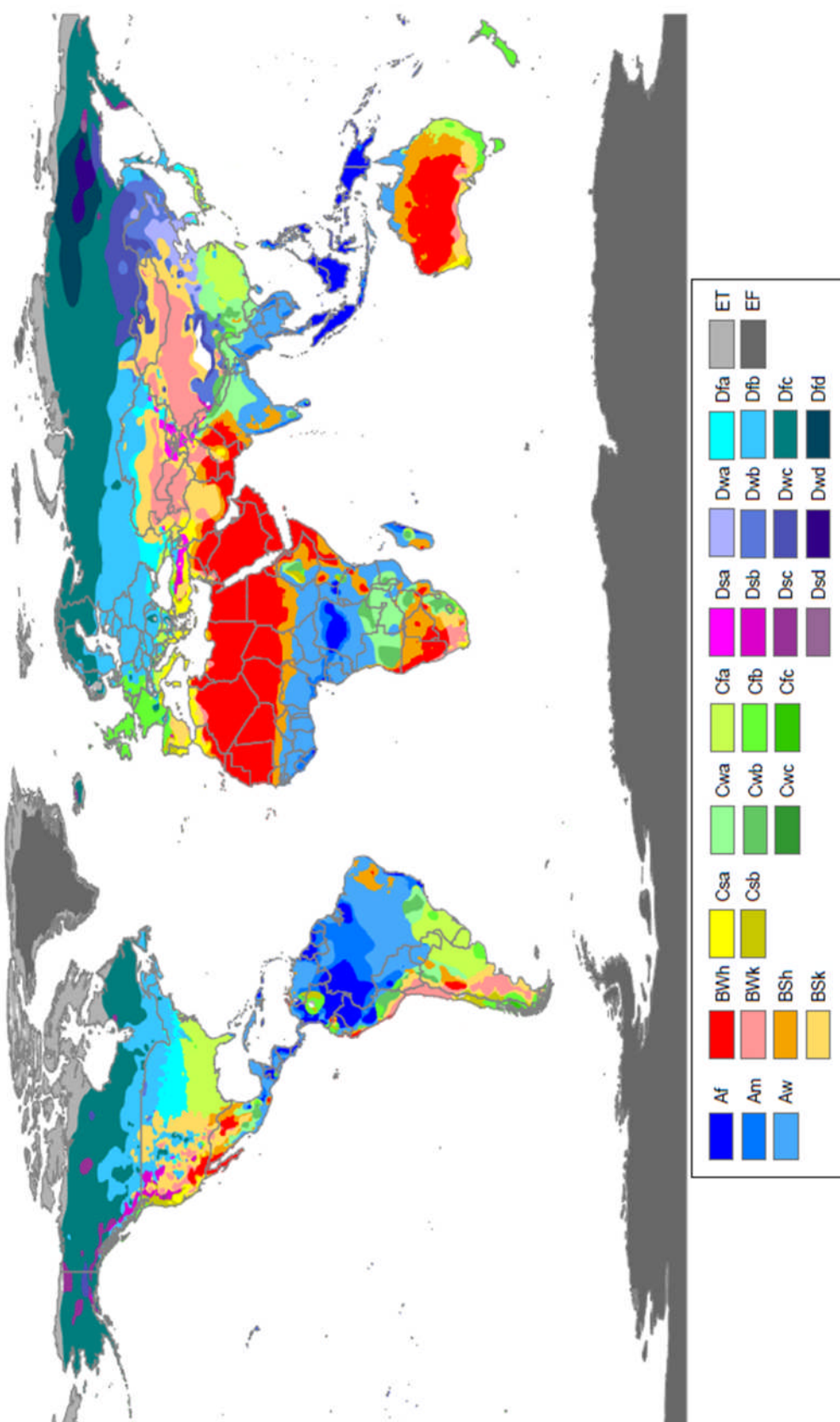


Figure 50 : Carte des climats du monde de type Köppen.
(<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00298818/>)

Un climat selon cette classification est repéré par un code de deux ou trois lettres, les critères indiqués dans le tableau qui suit sont ceux utilisés dans la carte qu'on a vus précédemment.

N° des lettres			Description	Critère
1	2	3		
A	Tropical	f	Forêt tropicale	Précipitation du mois le plus sec > 60 mm
		m	Mousson	Précipitation du mois le plus sec < 60 mm et > [100 – (précipitations annuelles moyennes)/25]
		w	Savane	Précipitation du mois le hivernal le plus sec < 60 mm et < [100 – (précipitations annuelles moyennes)/25]
B	Aride	W	Désertique	Précipitations annuelles < 50 % du seuil ⁹
		S	Steppe	Précipitations annuelles comprises entre 50 et 100 % du seuil calculé
		h	Sec et chaud	Température moyenne annuelle > 18 °C
		k	Sec et froid	Température moyenne annuelle < 18 °C
C	Tempéré	s	Sèche en été	Précipitation du mois estival le plus sec < 40 mm et < 1/3 du mois hivernal le plus humide)
		w	Sèche en hiver	Précipitation du mois hivernal le plus sec < 1/10 du mois le plus humide
		f	Humide	-Précipitations tous les mois de l'année. -Pas de saison sèche, ni « w » ni « s »

9-Ce seuil est calculé de la manière suivante :

- Si moins de 30 % des précipitations tombent en été (avril à septembre dans l'hémisphère nord) : Précipitations annuelles moyennes (mm) < 20 × température annuelle moyenne (°C)
- Si plus de 70 % des précipitations tombent en été : Précipitations annuelles moyennes (mm) < 20 × température annuelle moyenne + 280
- Autrement : Précipitations annuelles moyennes (mm) < 20 × température annuelle moyenne + 140

			a	Eté chaud	Température moyenne du mois le plus chaud $> 22^{\circ}\text{C}$	sont bien définies
			b	Eté tempéré	-Température moyenne du mois le plus chaud $< 22^{\circ}\text{C}$ -Températures moyennes des 4 mois les plus chauds $> 10^{\circ}\text{C}$	
			c	Eté court et frais	-Température moyenne du mois le plus chaud $< 22^{\circ}\text{C}$ -Températures moyennes mensuelles $> 10^{\circ}\text{C}$ pour moins de 4 mois -Température moyenne du mois le plus froid $> -38^{\circ}\text{C}$	
D	Continental	s		Sèche en été	Précipitation du mois estival le plus sec $< 40\text{ mm}$ et $< 1/3$ du mois hivernal le plus humide)	-Température moyenne du mois le plus froid $< 0^{\circ}\text{C}$ -Température moyenne du mois le plus chaud $> 10^{\circ}\text{C}$ -Les saisons été et hiver sont bien définies
		w		Sèche en hiver	Précipitation du mois hivernal le plus sec $< 1/10$ du mois le plus humide	
		f		Humide	-Précipitations tous les mois de l'année - Pas de saison sèche, ni « w » ni « s »	
		a		Eté chaud	Température moyenne du mois le plus chaud $> 22^{\circ}\text{C}$	
		b		Eté tempéré	-Température moyenne du mois le plus chaud $< 22^{\circ}\text{C}$ -Températures moyennes des 4 mois les plus chauds $> 10^{\circ}\text{C}$	

			c	Eté court et frais	-Température moyenne du mois le plus chaud $< 22^{\circ}\text{C}$ -Températures moyennes mensuelles $> 10^{\circ}\text{C}$ pour moins de 4 mois -Température moyenne du mois le plus froid $> -38^{\circ}\text{C}$	
			d	Hiver très froid	Température moyenne du mois le plus froid $< -38^{\circ}\text{C}$	
E	Polaire	T		Toundra	Température moyenne du mois le plus chaud comprise entre 0°C et 10°C	-Température moyenne du mois le plus chaud $< 10^{\circ}\text{C}$ -La saison d'été est très peu marquée
		F		gelé	Température moyenne du mois le plus chaud $< 0^{\circ}\text{C}$	

Tableau 3 : Description des symboles climatiques de Köppen et définition des critères

(https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00298818/)

Selon la carte de Köppen, on trouve deux principaux climats qui couvrent le territoire algérien, avec trois d'autres secondaires d'une surface minime (voir figures 51 et 52) qui sont :

-Les principaux climats :

1-Csa : Tempéré, sèche en été avec été chaud

2-BWh : Aride, désertique, sec et chaud.

-Les climats secondaires :

1-BSk : Aride, steppe, sec et froid.

2-BSh : Aride, steppe, sec et chaud.

3-BWk : Aride, désertique, sec et froid.

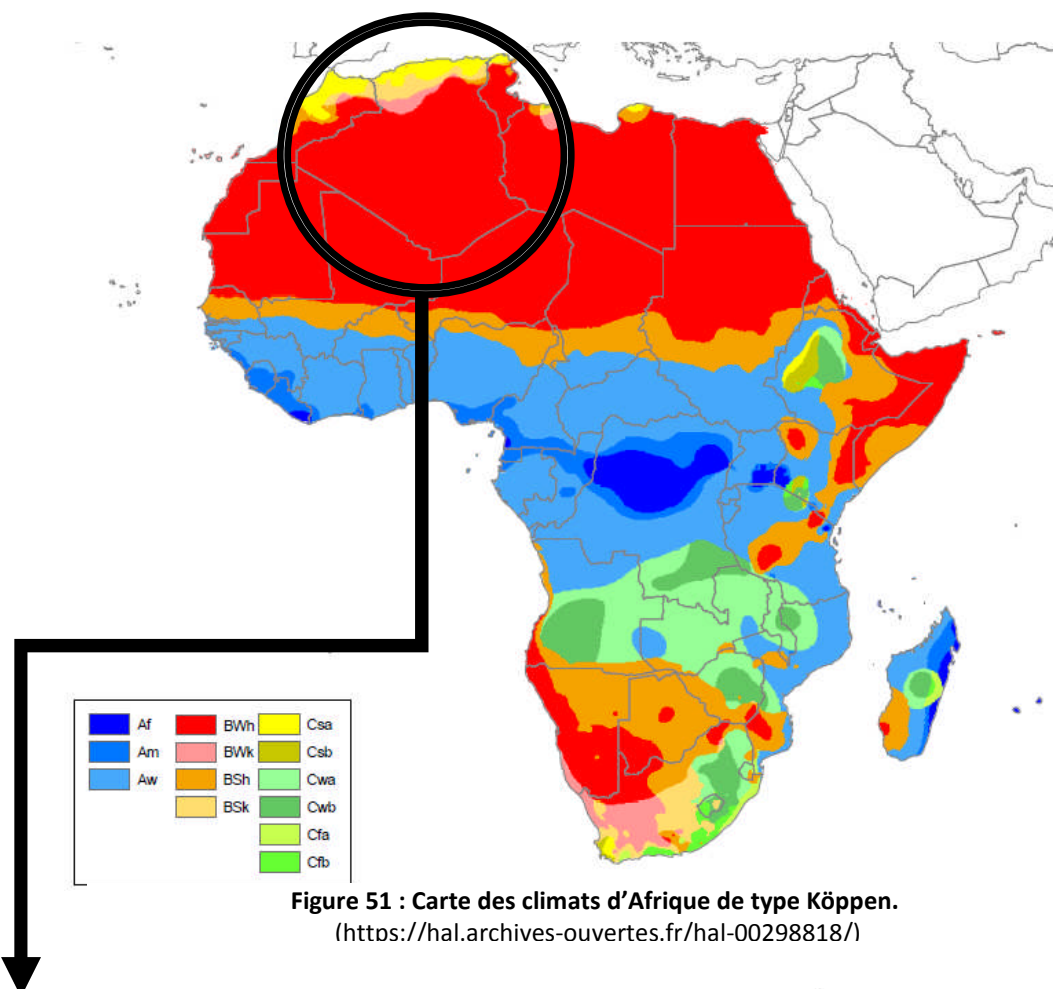


Figure 51 : Carte des climats d'Afrique de type Köppen.
(<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00298818/>)

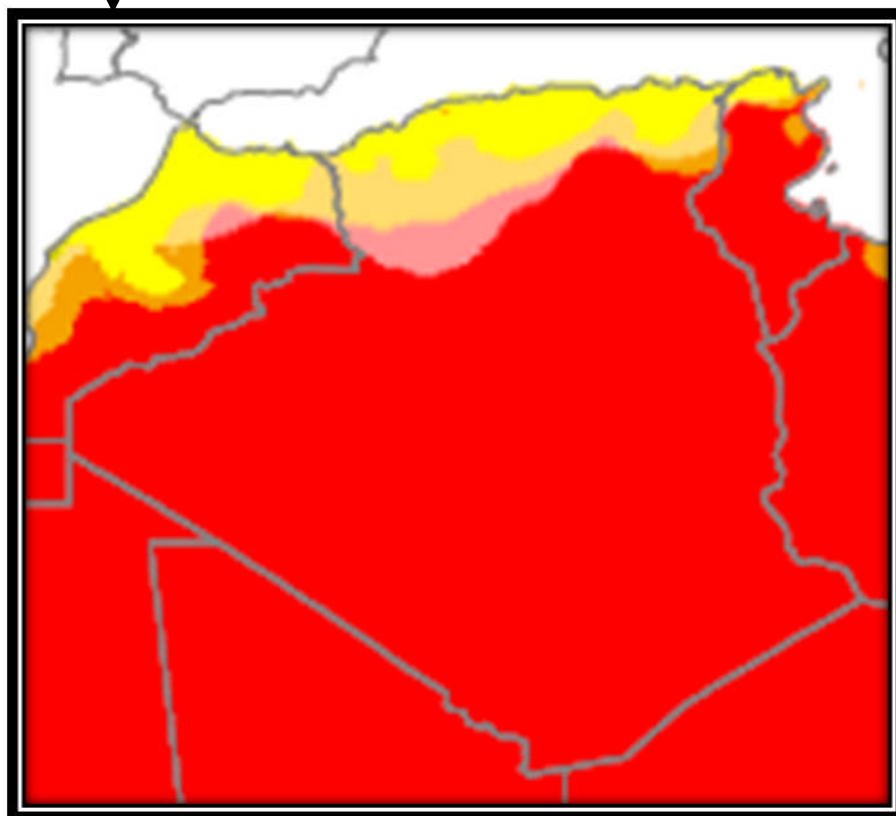


Figure 52 : Carte des climats d'Algérie de type Köppen.
(<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00298818/>)

III. Zone climatique en Algérie :

Le climat de l'Algérie est varié, car le pays a une très grande superficie, la partie nord possède un climat méditerranéen (Classification de Köppen Csa), alors que le reste du pays possède en majorité un climat désertique (Classification de Köppen BWh). Cependant entre ces deux grands types de climats, existent des climats de transition, notamment le climat semi-aride (Classification de Köppen BSk) qui correspond à un climat méditerranéen avec une sécheresse ne se limitant plus uniquement à la saison estivale mais à une bonne partie de l'année mais aussi un climat méditerranéen aux influences montagnardes, un petit plus continental. Néanmoins, l'Algérie est un pays de la zone subtropicale où le climat dominant est chaud et sec.

Plusieurs classifications sont faites pour le climat algérien, la figure qui suit illustre celle des étages bioclimatique :

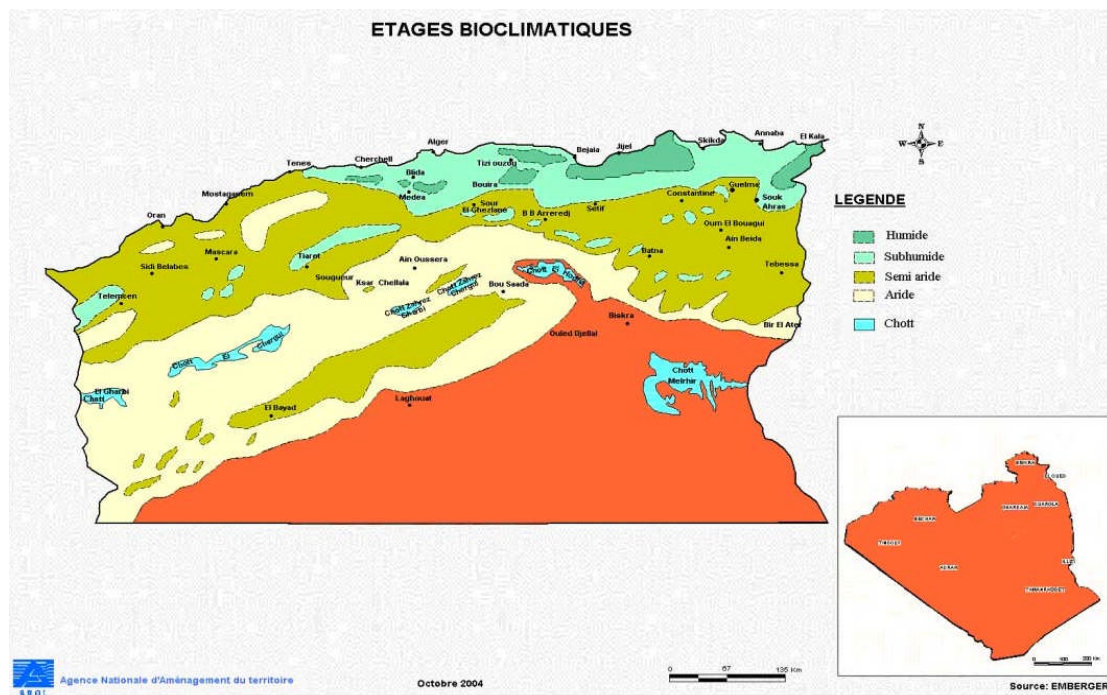


Figure 53 : carte des étages bioclimatiques en Algérie (Agence nationale d'aménagement du territoire)¹⁰

En résumé, dans les différentes études qu'ils sont faite, le climat dominant en Algérie est d'ordre de deux types, méditerranéenne (tempéré, sèche en été avec été chaud), et saharienne (aride, désertique, sec et chaud). Donc pour bien définir ces deux types, on va éclaircir les choses on prenant de chaque zone un exemple qui vont servir comme cas de pratique à notre étude de rafraîchissement passive.

10-<https://vertigo.revues.org/docannexe/image/5375/img-2.jpg>

IV. Proposition de stratégies de ventilation naturelle sur la base de l'analyse climatique de notre cas d'étude :

VI.1-choix des exemples et méthode d'analyse :

➤ Choix des exemples à étudier

Dans ce qui suit, nous allons analyser les données climatiques de deux villes représentatives du climat algérien à savoir:

- Alger pour son climat chaud et humide en été
- Biskra pour son climat chaud et sec

Ces deux exemples nous permettrons de voir quelle stratégie de ventilation naturelle la plus efficace dans deux contextes climatiques différents.

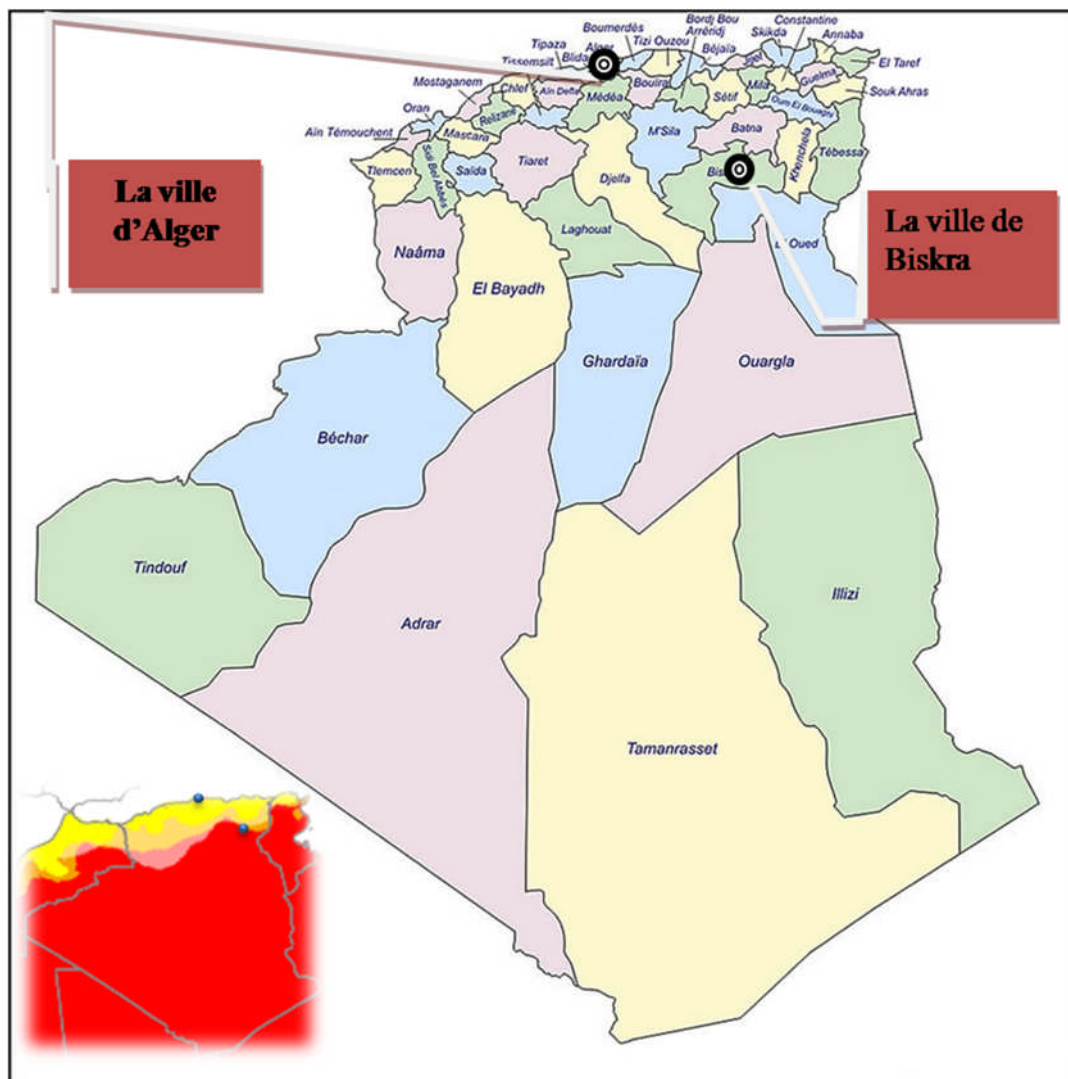


Figure 54 : situation des cas d'étude

<http://www.carte-algerie.com/carte-algerie-region-departement.html>

➤ Méthode d'analyse

Nous allons utiliser le logiciel **Weather Tool 2011** intégré dans le logiciel **Ecotect Analysis 2011** pour procéder à une lecture détaillée des données climatiques des deux exemples, ensuite nous allons interpréter les diagrammes et les graphes générés par le logiciel dans le but de définir la stratégie de ventilation naturelle la plus adaptée pour chaque ville.

Les données climatiques sont introduites dans le logiciel sous format numérique **WEA**.

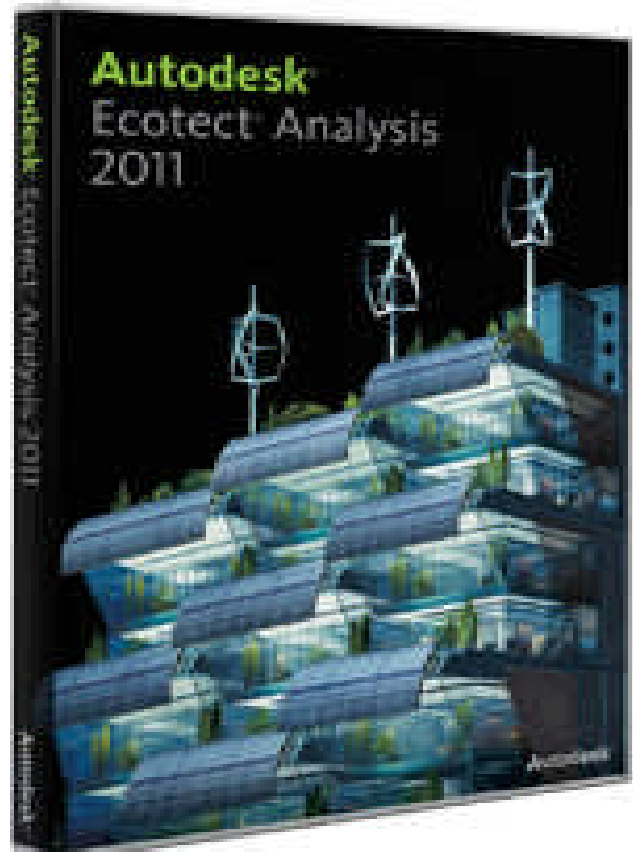


Figure 55 : logiciel Ecotect Analysis 2011 (Auteur)

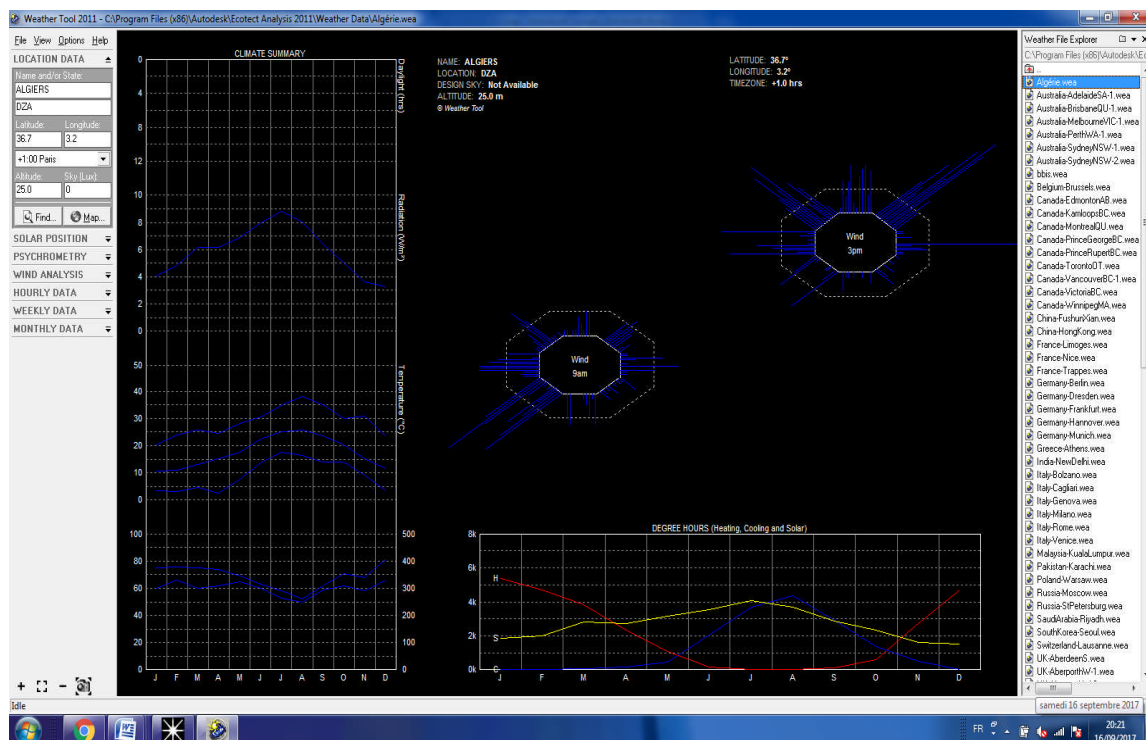


Figure 56 : logiciel Weather Tool 2011 (Auteur)

IV.2-La ville d'Alger :

La ville d'Alger bénéficie d'un climat tempéré chaud. La pluie dans Alger tombe surtout en hiver, avec relativement peu de pluie en été. D'après Köppen et Geiger, le climat y est classé Csa. La température moyenne annuelle à Alger est de 17.7 °C. Chaque année, les précipitations sont en moyenne de 707 mm. (<https://fr.climate-data.org/location/3684/>)



Figure 57 : la ville d'Alger (<http://www.mahdiaridjphotography.com/casbah-alger-photos/>)

IV.2.1- Analyse et interprétation de données climatiques de la ville d'Alger :

D'après ces données qu'on va voir par la suite, Alger souffre d'un été chaud et humide surtout en présence de la mer, c'est pour cette raison la recherche du confort a toujours été une préoccupation dans l'habitat des générations précédentes. Depuis le choix d'un site jusqu'au positionnement des ouvertures, un objectif majeur était de créer des lieux qui permettent de profiter des bienfaits du climat tout en se préservant de ses effets contraignants, dans la recherche d'un cadre de vie en accord avec l'environnement. Parmi les solutions adaptées pour ce problème est l'intégration du patio, la compacité...

➤ Diagramme des données climatiques

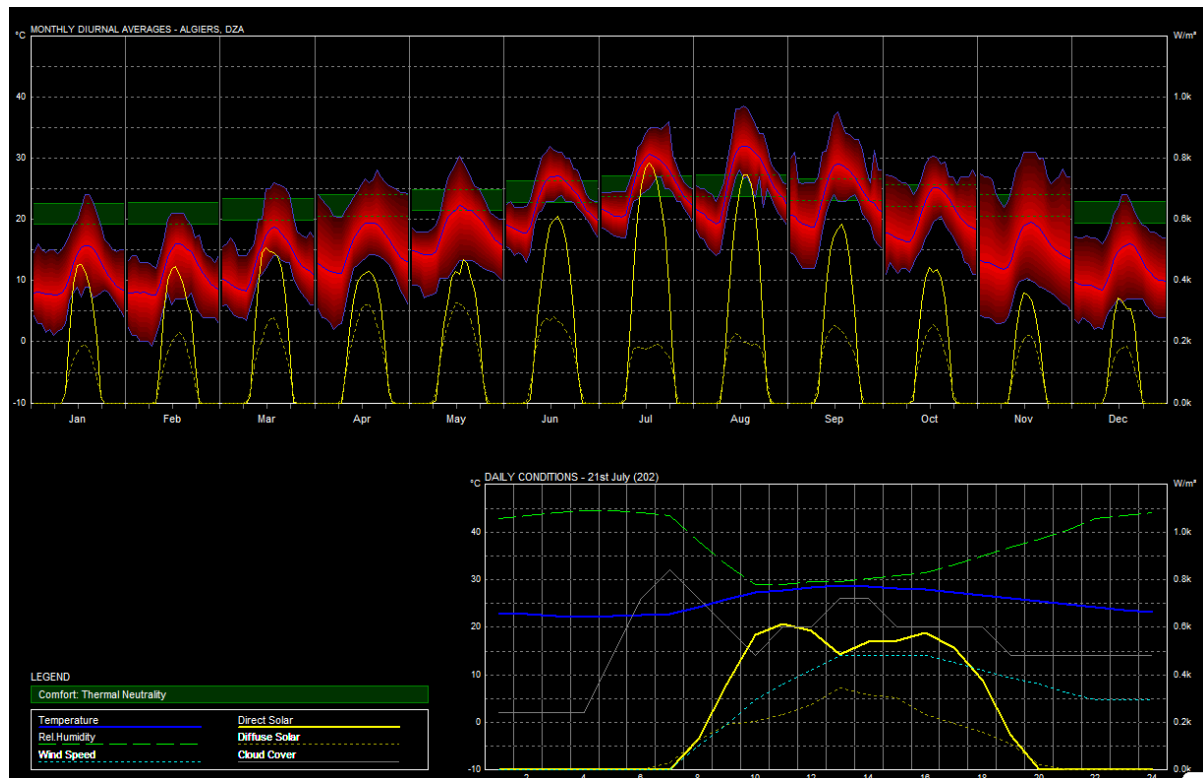


Figure 58 : Diagramme des données climatiques de la ville d'Alger

Source: Weather Tool / Ecotect Analysis 2011

• Lecture et interprétation du diagramme :

Le premier graphe représente les moyennes mensuelles des températures, on peut lire que les maximales sont enregistrées au mois d'août et juillet qui représentent les mois les plus chauds.

Le deuxième graphe exprime les conditions climatiques de la journée du 21 Juillet

-La température moyenne (ligne continue bleue) au milieu de la journée (12h) est très élevée, un niveau supportable à la limite du confort en présence d'une faible HR, ce qui n'est pas le cas de la ville d'Alger (présence de la mer), car l'humidité relative HR (la ligne discontinue verte) reste considérable même au milieu de la journée (12h) ce qui engendre des situations d'inconfort.

-La présence du vent (ligne discontinue bleue cyan) diminue l'humidité relative au milieu de la journée.

• Résultat de l'interprétation :

D'après ce diagramme, on peut conclure que même si le climat de la ville d'Alger présente des températures supportables en été, la présence d'une humidité relative élevée (présence de

la mer) génère un inconfort en périodes de surchauffe, celui ci peut être évité en favorisant le déplacement de l'air à l'intérieur du bâtiment (recherche de la vitesse de l'air). C'est ce qui sera expliqué par le diagramme psychrométrique qui suit :

➤ Diagramme psychrométrique

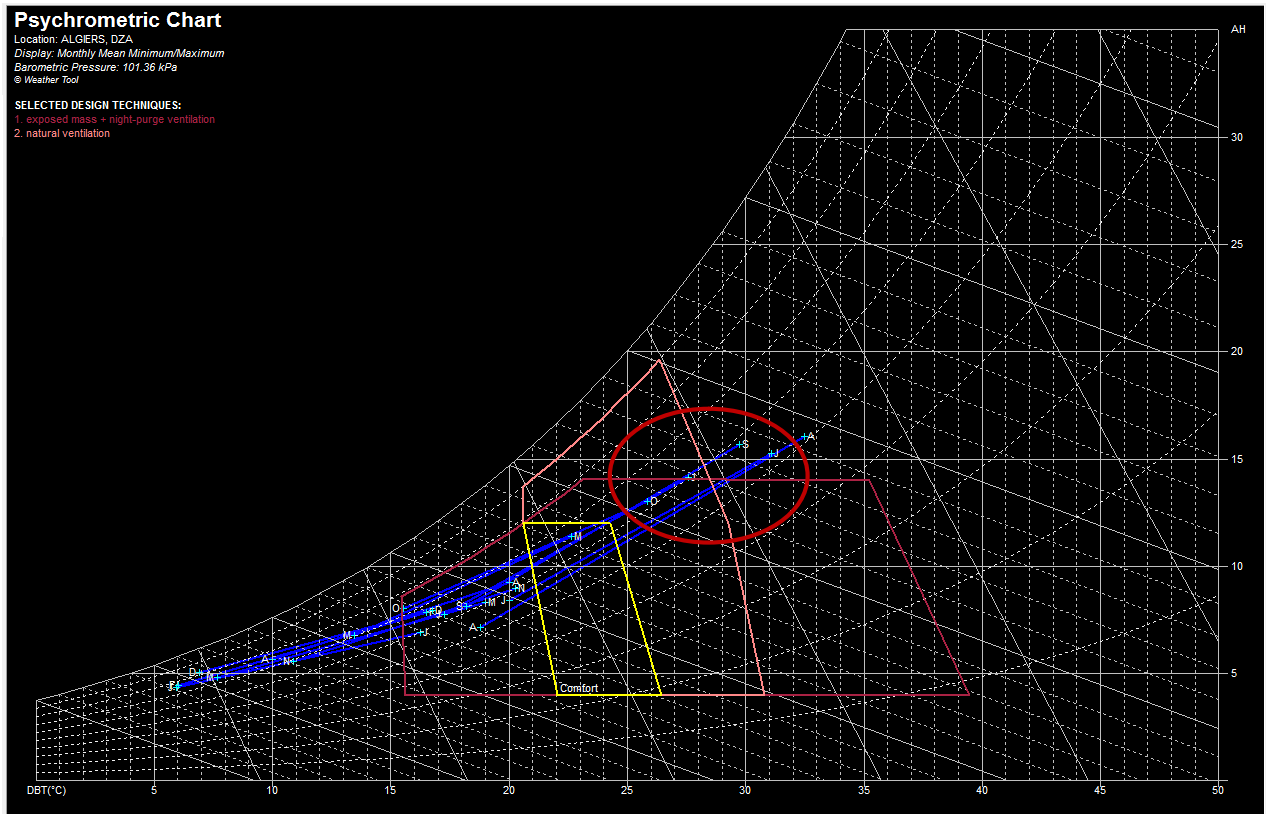


Figure 59 : Diagramme psychrométrique de la ville d'Alger

Source: Weather Tool / Ecotect Analysis 2011

• Lecture et interprétation du diagramme :

Ce diagramme psychrométrique montre bien la nécessité de ventiler en été pour les mois de Juin, Juillet et Aout qui se trouvent dans la zone ventilation naturelle (polygone rose clair), et ce dans le but de réduire les taux de HR afin de se rapprocher de la zone de confort (polygone en jaune) ; Or on voit bien dans ce diagramme que les segments de ses mois (Juin, juillet, Aout et Septembre) tend vers le haut en sortant du polygone de confort et cela dû à leurs important taux d'humidité (plus de 50%), mais en diminuant ce taux, les segments se rapprochent de la zone de confort et cela sera possible par la ventilation naturelle.

Or l'augmentation de la vitesse d'air accélère l'évaporation de la sueur, ce qui engendre une sensation du confort, car la machine humaine implique une température intérieure constante de 37°C environ. Cette température est le résultat de la production de chaleur interne et des

conditions d'échange de chaleur entre le corps et l'ambiance. Des mécanismes de thermorégulation entrent en jeu dès que les conditions d'ambiance tendent à modifier la température interne. Ainsi, en ambiance chaude, les échanges seront augmentés par une dilatation des vaisseaux sanguins (on devient « rouge »), une augmentation du flux sanguin et la sudation, (l'évaporation de la sueur absorbe de la chaleur), voir figure 60

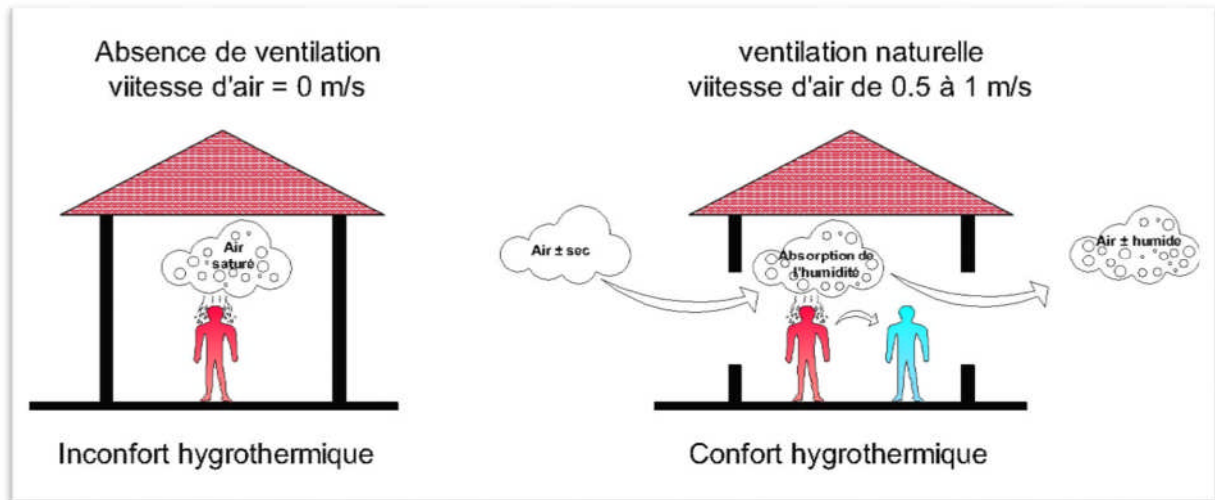


Figure 60 : refroidissement par évaporation de la sueur grâce à l'augmentation de la vitesse d'air (Auteur)

- **Résultat de l'interprétation :**

En conclue par cette analyse que les mois de surchauffes pour la ville d'Alger nécessite une ventilation naturelle pour créer une ambiance confortable, car l'augmentation de la vitesse d'air favorise le refroidissement par évaporation.

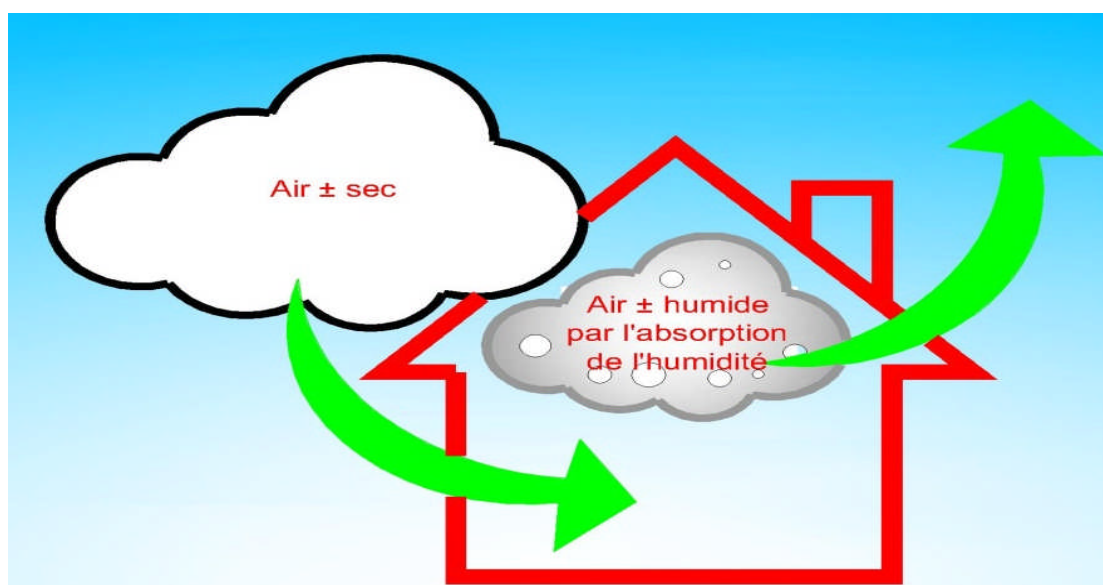


Figure 61 : le refroidissement passif par la ventilation naturelle sur les zones chaude et humide (Auteur)

On distingue deux stratégies de ventilation naturelle : diurne et nocturne, sur ce qui suit nous allons voir quelle est la plus efficace dans le contexte de la ville d'Alger.

➤ **Diagramme d'efficacité de la ventilation naturelle**

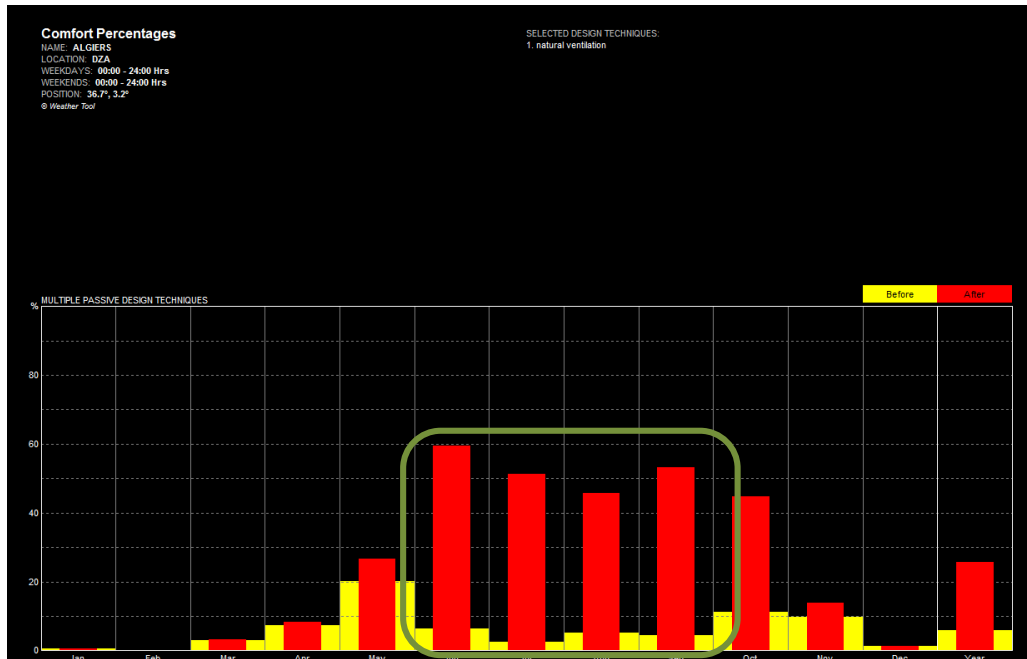


Figure 62 : Efficacité de la ventilation naturelle par mois. Source: Weather Tool / Ecotect Analysis 2011

• **Lecture et interprétation du diagramme de la figure 62 :**

On voit sur la figure 62 que le taux d'efficacité de la ventilation naturelle est important pour les mois de surchauffe (Juin, Juillet, Aout et Septembre) qui dépasse les 40%, contrairement aux autres mois de l'année où ce taux ne dépasse pas les 30%.

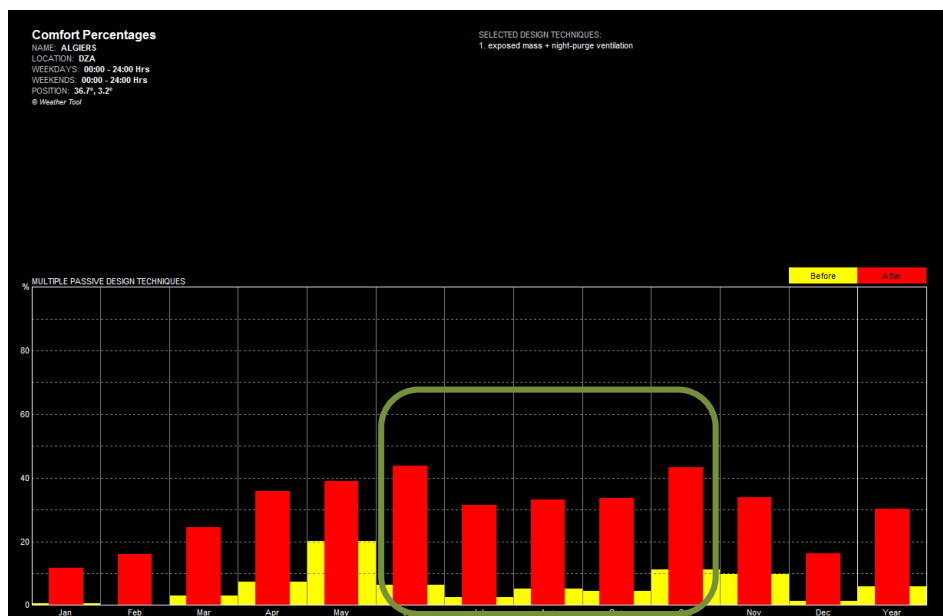


Figure 63: Efficacité de la ventilation nocturne. Source: Weather Tool / Ecotect Analysis 2011

- **Lecture et interprétation du diagramme de la figure 63 :**

On constate par la figure 63 que le taux d'efficacité ventilation nocturne ne dépasse pas les 45% pour tous les mois de l'année. Donc ce type de ventilation n'est pas déterminant pour le confort dans cette zone d'étude.

- **Résultat de l'interprétation :**

En résumé, la ventilation naturelle diurne est la plus recommandée pour le rafraîchissement passif sur la ville d'Alger.

IV.2.2- Synthèse :

La ville d'Alger est dotée d'un climat chaud et humide, en période de surchauffe les températures ne sont pas extrêmes par contre l'humidité relative reste considérable et induit une situation d'inconfort, mais grâce à la présence d'une ventilation naturelle diurne (déplacement d'air) le confort d'été peut être assuré.

IV.3-La ville de Biskra :

Biskra a un climat désertique. Tout au long de l'année, la pluie y est techniquement inexistante. Selon la classification de Köppen-Geiger, le climat est de type BWh. Biskra affiche une température annuelle moyenne de 21.8 °C. Sur l'année, la précipitation moyenne est de 141 mm. (<https://fr.climate-data.org/location/3691/>).



Figure 64 : la ville de Biskra.
(<http://www.algerie-monde.com/villes/biskra/>)

IV.2.1- Analyse et interprétation de données climatiques de la ville de Biskra :

Biskra souffre d'un climat chaud et sec surtout en présence des vents chaud et sec venant du désert. Pour remédier à ce problème d'inconfort, ses habitants à travers le temps adoptent des solutions architecturales en améliorant leurs confort dans l'habitat, comme les ruelles et ouvertures de petites dimensions, la compacité...

➤ Diagramme des données climatique

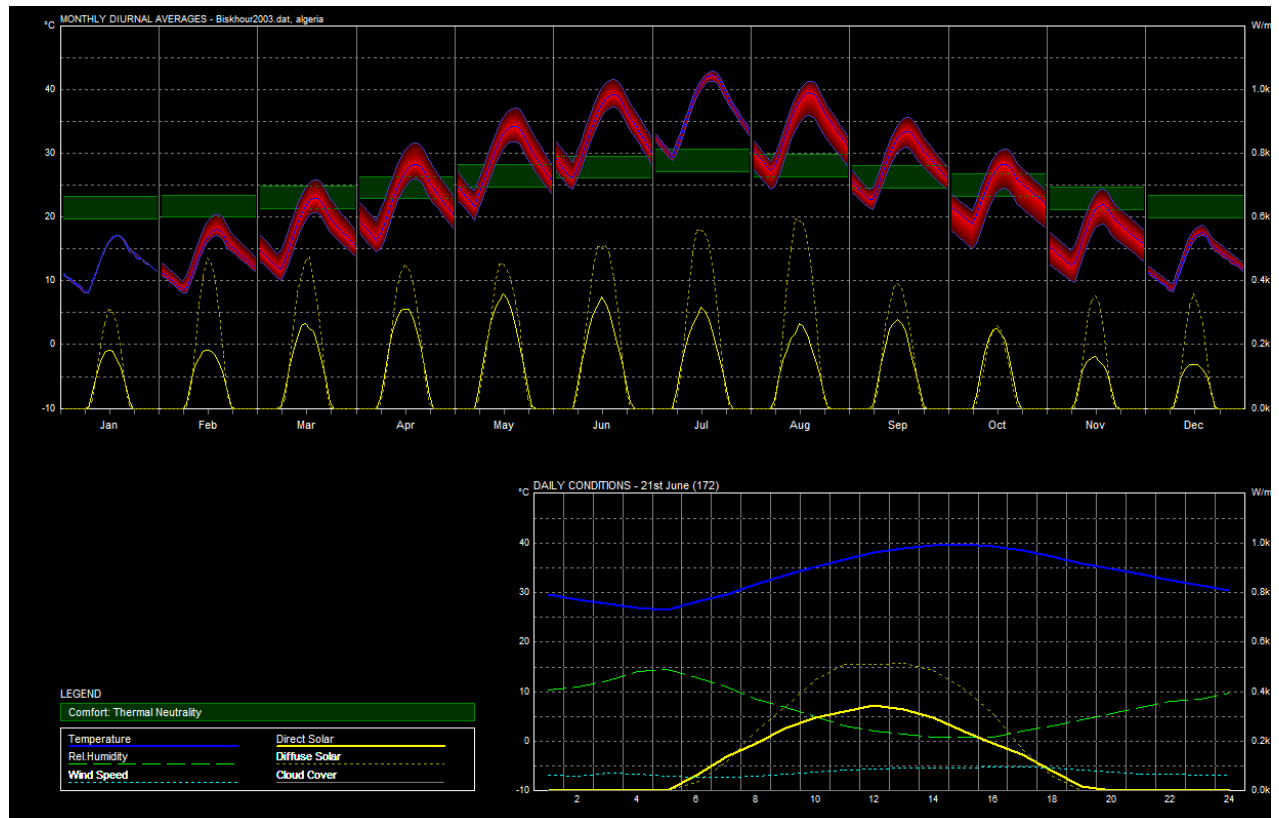


Figure 65: Diagramme des données climatiques de la ville de Biskra. Source: Weather Tool / Ecotect Analysis

• Lecture et interprétation du diagramme :

Le premier graphique représente les moyennes mensuelles des températures, on peut lire que les maximales sont enregistrées au mois d'août, juillet et juin qui représentent les mois les plus chauds.

Le deuxième graphique exprime les conditions climatiques de la journée du 21 Juillet

-La température moyenne (ligne continue bleue) durant la journée est très élevée (avoisinant les 40°C), des conditions dans lesquelles une ventilation naturelle diurne est à éviter, par contre pendant la nuit la température descend à des niveaux confortables (26°C à 30°C) ce qui favorise une ventilation naturelle nocturne qui permettra d'évacuer la chaleur cumulée la journée.

-L'humidité relative HR (la ligne discontinue verte) reste très faible au même moment de la journée (12h) conférant ainsi le qualificatif de sec au climat de Biskra.

- **Résultat de l'interprétation :**

On conclue que le climat de Biskra représente des températures très élevés pour les mois de surchauffe (Juin, Juillet et Aout) avec une faible humidité. Sur ce qui suit, on va expliquer la meilleure stratégie à adopter pour ce type de climat.

➤ **Diagramme psychrométrique**

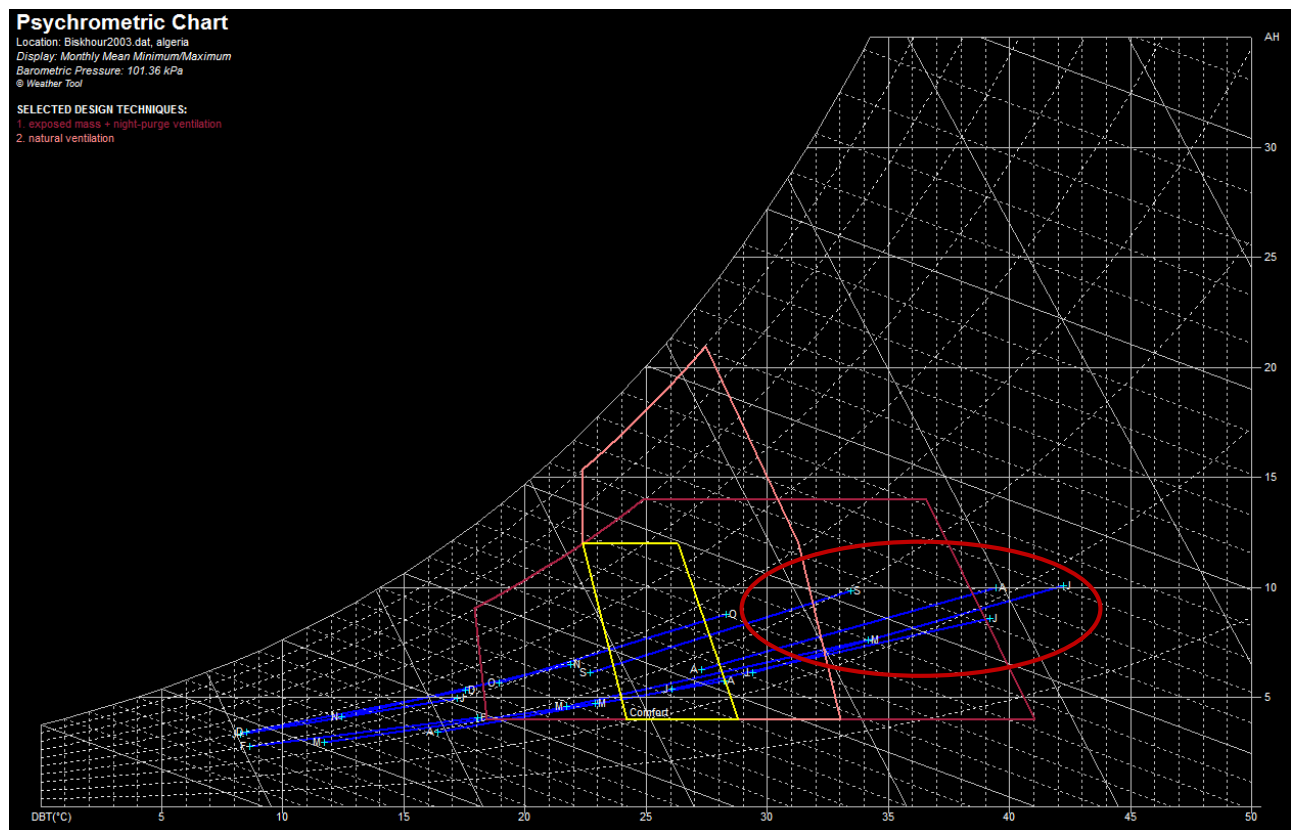


Figure 66: Diagramme psychrométrique de la ville de Biskra. Source: Weather Tool / Ecotect Analysis 2011

- **Lecture et interprétation du diagramme :**

Ce diagramme psychrométrique montre bien la nécessité de ventiler la nuit en été pour les mois de Juin, Juillet et Aout qui se trouve dans la zone de ventilation naturelle nocturne (polygone rose foncé), car le gradient de température entre la nuit et le jour est important (segment représentant le mois est long et parallèle à l'axe des températures). Or les segments qui représentent ces mois tendent vers le bas ce qui explique leurs importantes chaleurs avec une faible humidité, donc il faut éviter la ventilation naturelle diurne pour se protéger de cette chaleur, et favoriser la ventilation nocturne pour dissiper la chaleur accumulée la journée.

- **Résultat de l'interprétation :**

On conclue par cette analyse que les mois de surchauffe pour la ville de Biskra nécessite une ventilation nocturne avec la protection solaire diurne pour dissiper la chaleur accumulée la journée (voir figure 67).

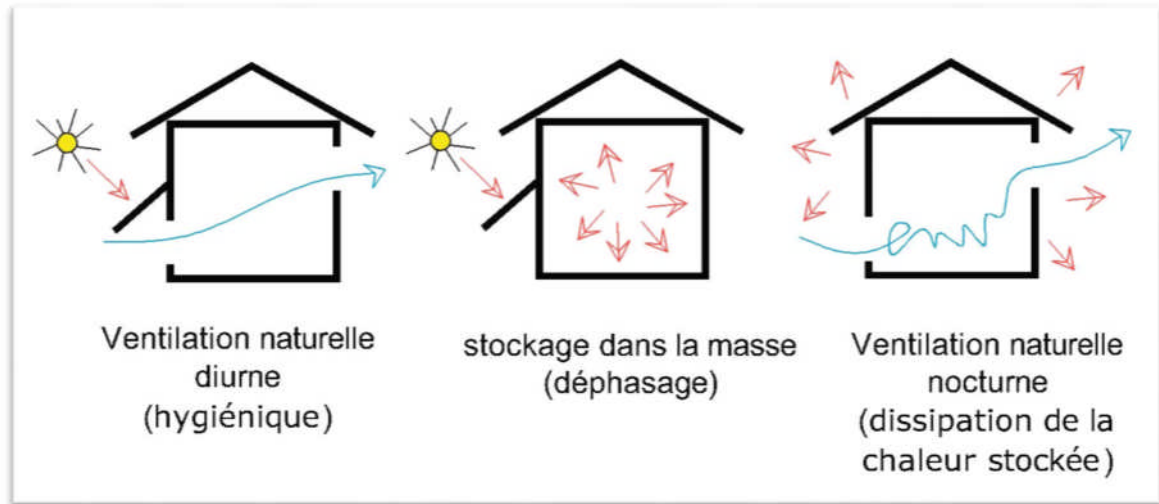


Figure67 : Stratégie de la ventilation naturelle dans la ville de Biskra pour contribuer au confort d'été
(Auteur)

Les diagrammes qui suivent représentent l'efficacité de la ventilation nocturne et diurne dans le climat de la ville de Biskra :

➤ **Diagramme d'efficacité de la ventilation naturelle**

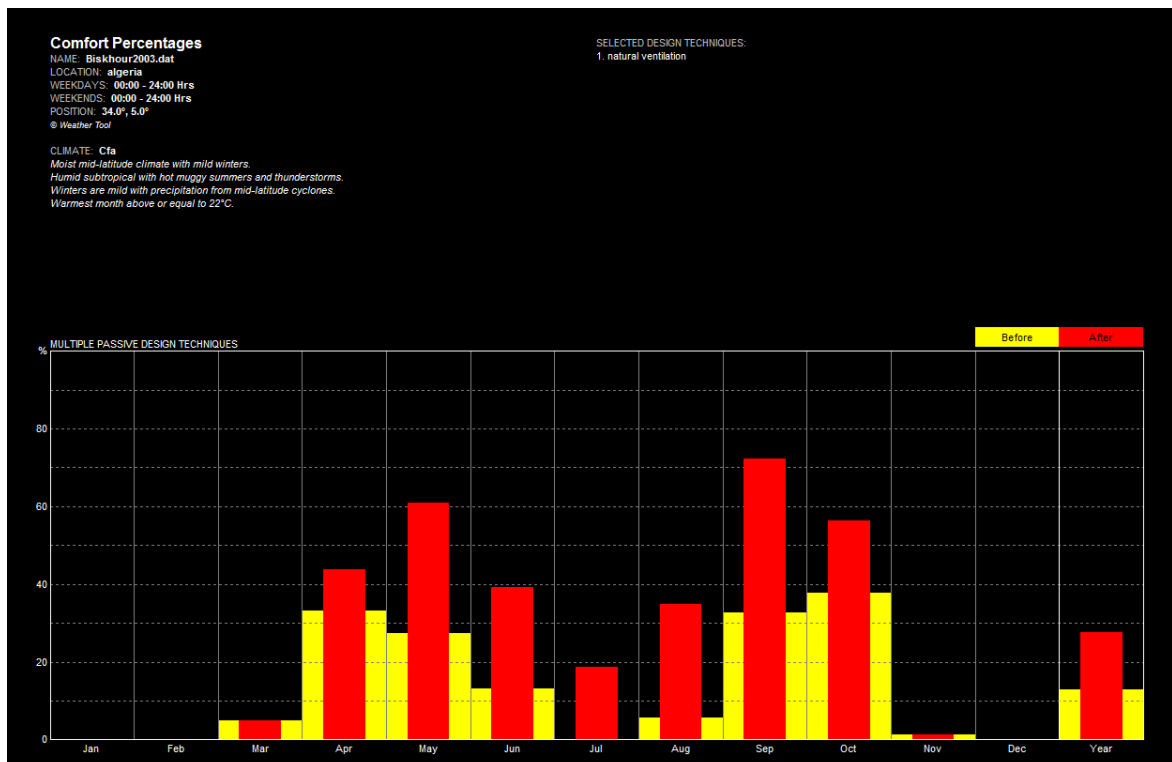


Figure 68: Efficacité de la ventilation naturelle par mois. Source: Weather Tool / Ecotect Analysis 2011

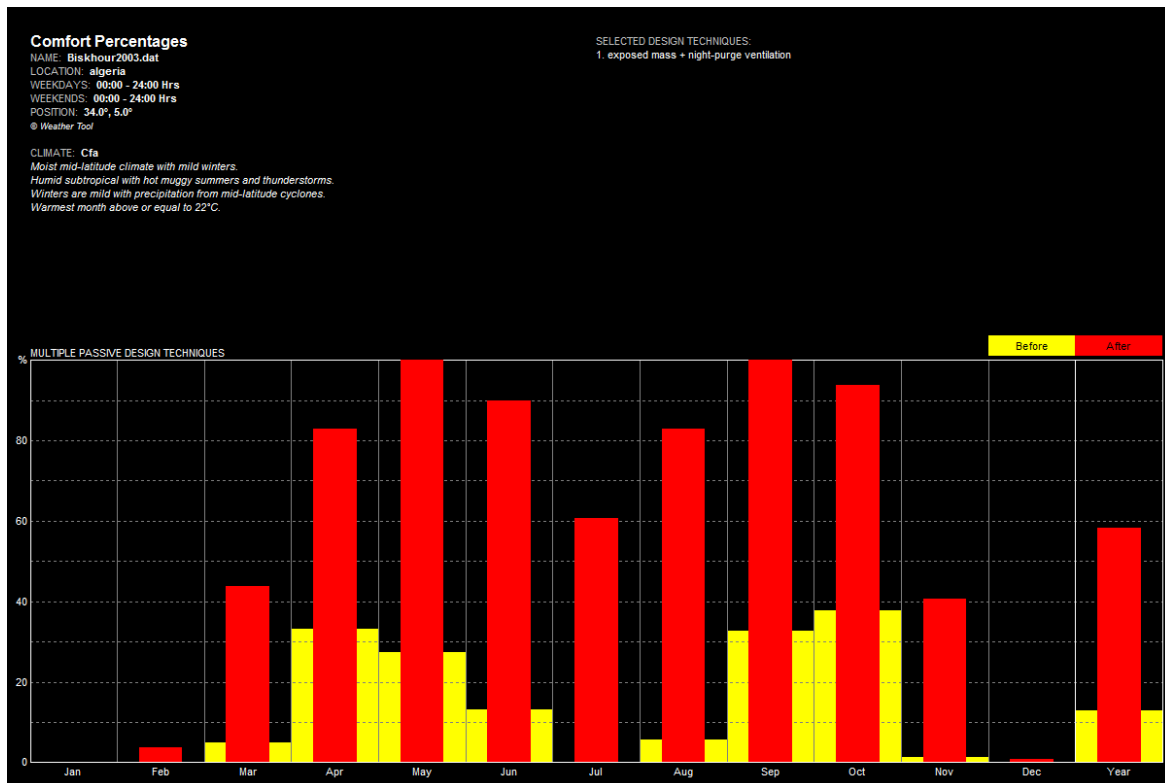


Figure 69: Efficacité de la ventilation nocturne. Source: Weather Tool / Ecotect Analysis 2011

- **Lecture et interprétation des diagrammes :**

On constate par La figure 68, que l'efficacité de la ventilation naturelle diurne n'est pas importante pour les mois de surchauffe (Juin, Juillet et Aout) ne dépasse pas les 40%, par contre celle de la ventilation naturelle nocturne représente un taux très élevé qui dépasse 60% pour atteindre 90% en mois de juin (voir figure 69).

- **Résultat de l'interprétation :**

En résumé, la ventilation naturelle nocturne est plus que nécessaire pour le rafraichissement passif sur la ville de Biskra.

IV.3.2- Synthèse :

La ville de Biskra est doté d'un climat chaud et sec, en période de surchauffe les températures sont importantes, on a recours à la protection solaire diurne et une ventilation naturelle nocturne, cette dernière sert à dissiper la chaleur accumuler la journée, pour arriver à un confort d'été.

V. Stratégie de ventilation pour chaque zone climatique en Algérie :

On a vu précédemment les climats dominants en Algérie et leurs inconforts en été avec l'effet de la ventilation naturelle sur eux, donc pour améliorer le confort dans ces zones, on va proposer des stratégies de ventilation naturelle à adopter. Dans ce qui suit un tableau explicatif dans ce sens :

Cas d'études	Etages bioclimatiques	Paramètres d'inconfort en été	Effet de ventilation recherché	Stratégie de ventilation à adopter
Ville d'Alger	Csa (Tempéré, sèche en été avec été chaud)	-été chaud -humidité élevé	-Vitesse de l'air -Rafraichissement par évaporation	Ventilation traversante
Ville de Biskra	BWh Aride, désertique, sec et chaud	-Température élevé	-Débit d'air frais -Rafraichissement par humidification	-Ventilation nocturne - La ventilation par effet cheminée

Tableau 4 : stratégie de ventilation naturelle pour le rafraichissement d'été en contexte algérienne (Auteur)

VI. Recommandations sur le plan architectural

D'après ce qu'on a vu dans notre étude sur la ventilation naturelle et les cas d'études qu'on a choisis, on peut aboutir à quelques recommandations sur le plan architectural :

- Orienter l'édifice face au vent pour maximiser la ventilation naturelle, dans le cas où l'orientation ne permet pas ça, prévoir les effets d'arrêt pour capter ou augmenter le flux d'air.

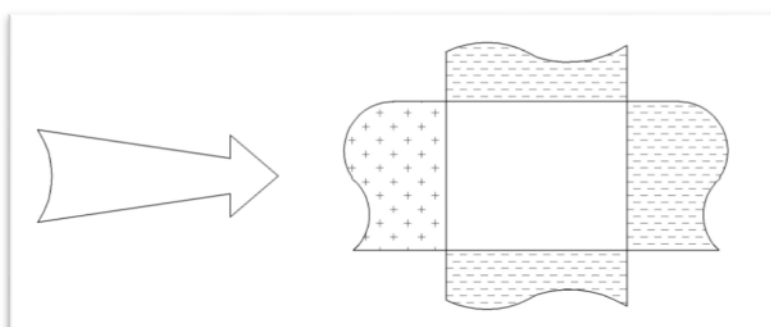


Figure 70 : les champs de pression suivant l'orientation face au vent (Auteur)

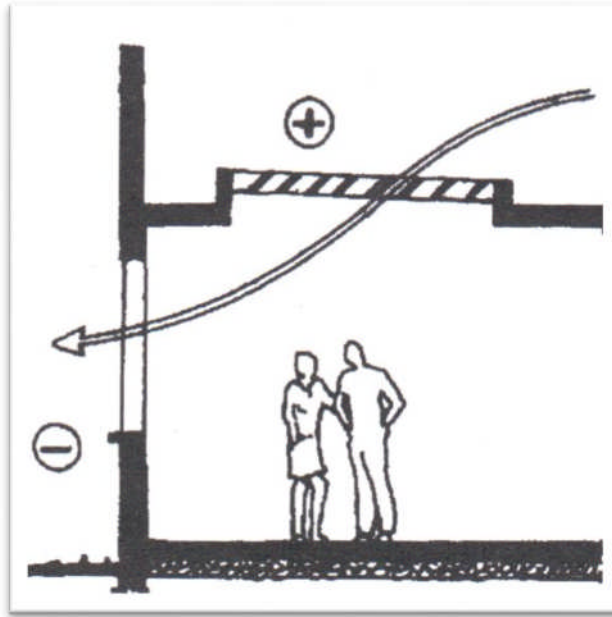


Figure71 : Effet d'arrêt par un acrotère sur un toit qu'on désire transformer en entrée d'air
(Chatelet et al, 1998.)

- Dans le cas où le local se situe sous le vent :
 - a) prévoir des jardins sur l'une des façades de l'édifice pour créer un échauffement différentiel de ces façades. L'air ambiant s'échauffe côté chaud et monte selon l'effet thermosiphon, ce dernier étant alimenté en air venant en partie directement de l'extérieur et en partie à travers l'édifice. Cela favorise la ventilation traversante.

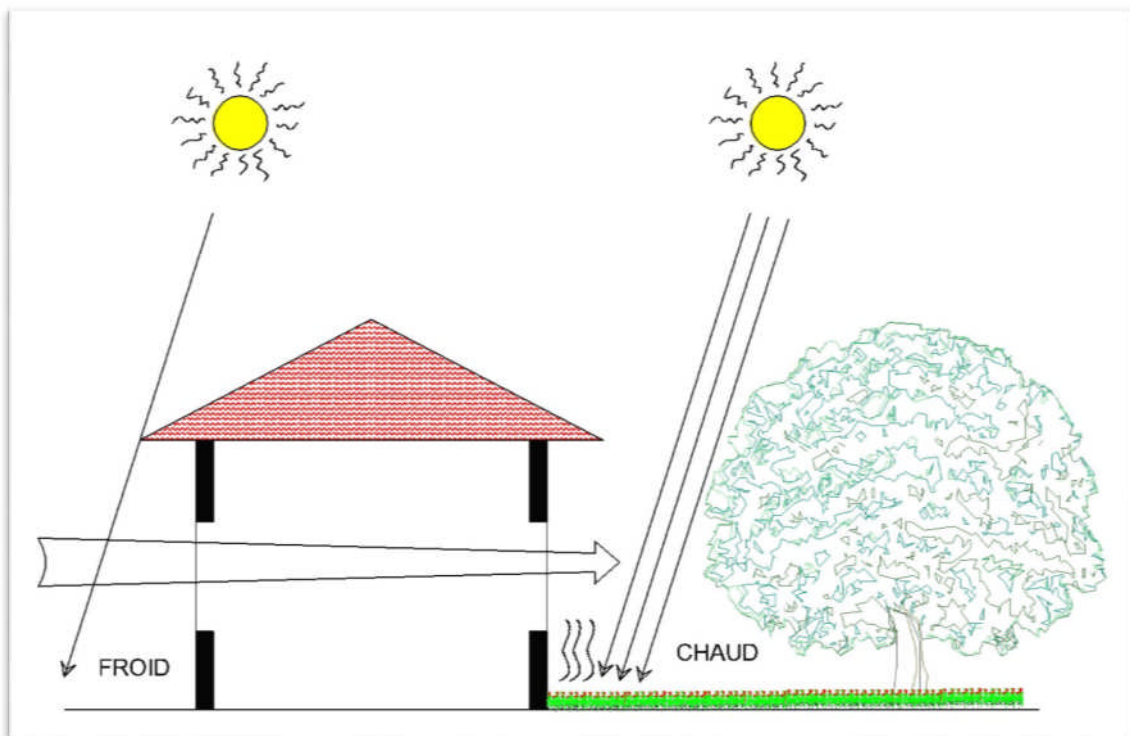


Figure 72 : ventilation naturelle par échauffement différentiel de la façade (Auteur)

- b) Prévoir des ouvertures en hauts et en bas de l'édifice pour favoriser l'effet cheminé.

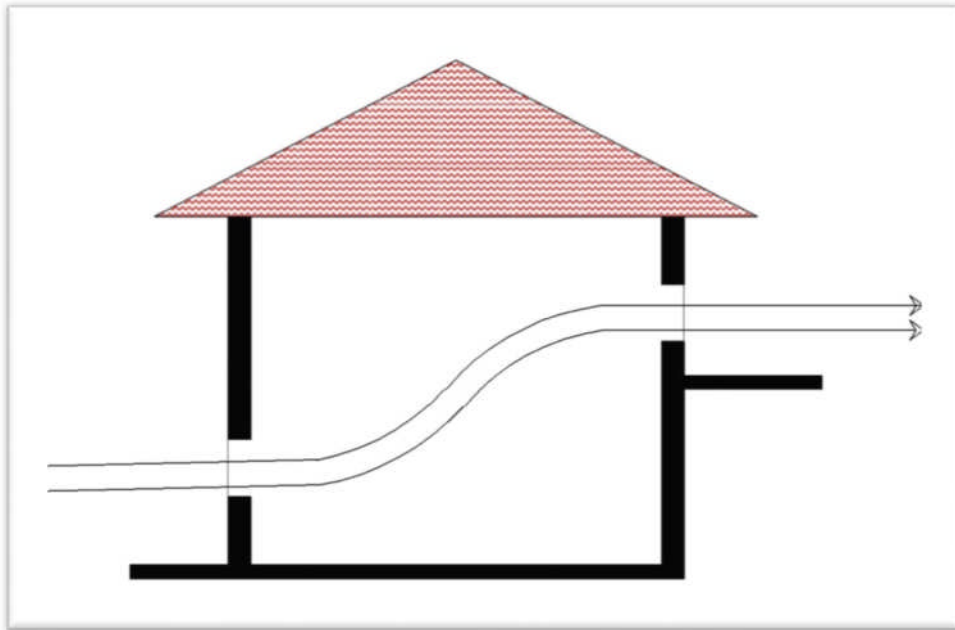


Figure 73 : effet cheminé par deux ouvertures, en haut et en bas de l'édifice (Auteur)

- En cas de possibilité d'ouvrir sur les deux façades opposées, prévoir des ouvertures de même dimensions. Si ce n'est pas possible, les ouvertures d'entrées d'air devraient être les plus petites pour maximiser la vitesse d'air.

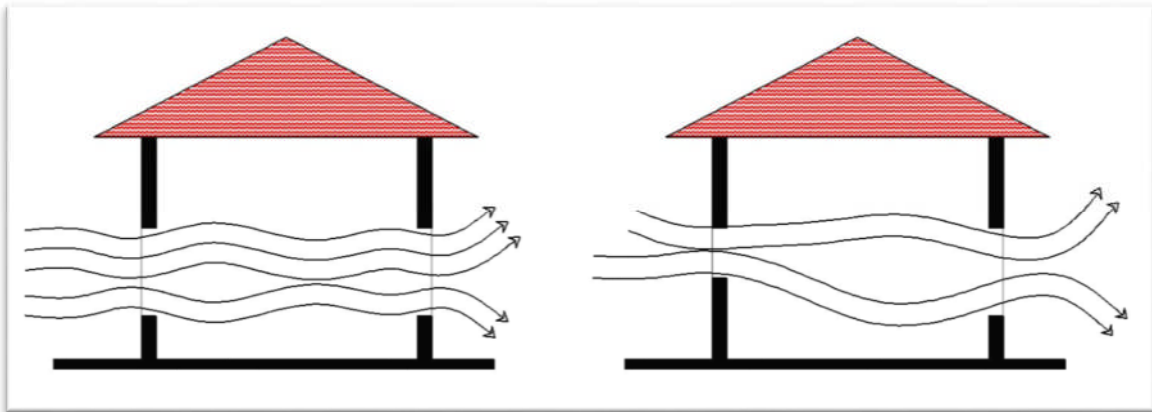


Figure 74 : les meilleures dimensions des ouvertures pour la ventilation traversante (Auteur)

- Dans les édifices où l'air devrait passer d'une pièce à l'autre, prévoir les pièces en amont plus grandes avec des grilles d'aération sur les portes en haut pour augmenter les pertes de charge.

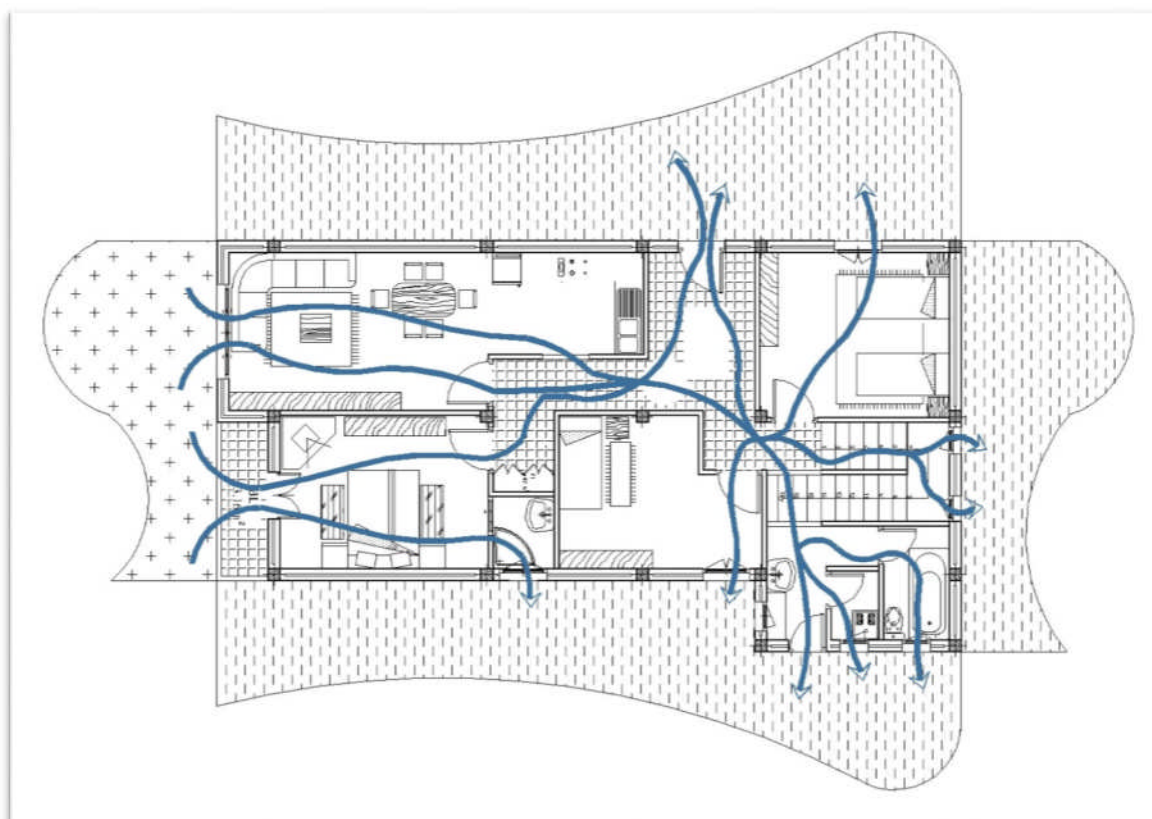


Figure 75 : ventilation naturelle dans un logement avec des pièces amont au vent plus grande et des grilles d'aération sur les portes (Auteur)

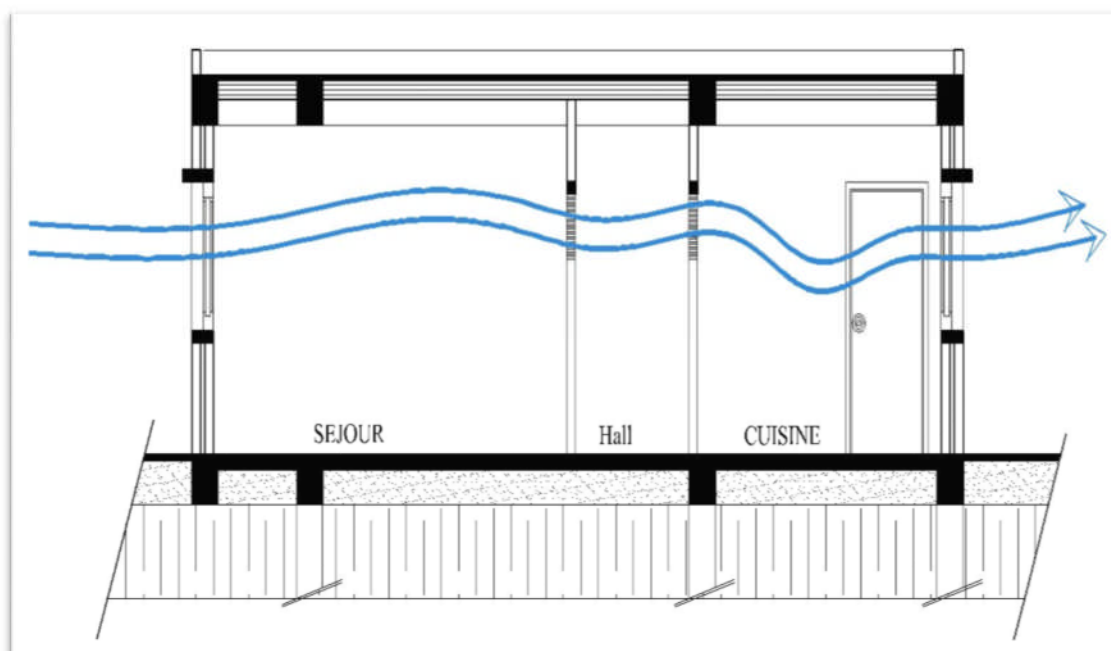


Figure 76 : Coupe sur un plan d'un logement ventilé naturellement avec une pièce amont au vent plus grande et des grilles d'aération sur les portes (Auteur)

- Prévoir des moucharabiehs pour favoriser la ventilation sans vitesse importante.



Figure 77 : Pôle Musique, Danse & Arts Plastiques à Brignais (atelier Philippe Madec)
http://www.atelierphilippemadec.com/architecture/equipment/pole-musique-danse-et-arts-plastiques-_qe-vnac-et-bbc.html

- Dans le cas d'un édifice avec une seule façade prévoir :
 - a) Des conduits verticaux (ventilation par effet cheminé)
 - b) Un atrium (ventilation traversante)
 - c) Façade double peau (effet cheminé)

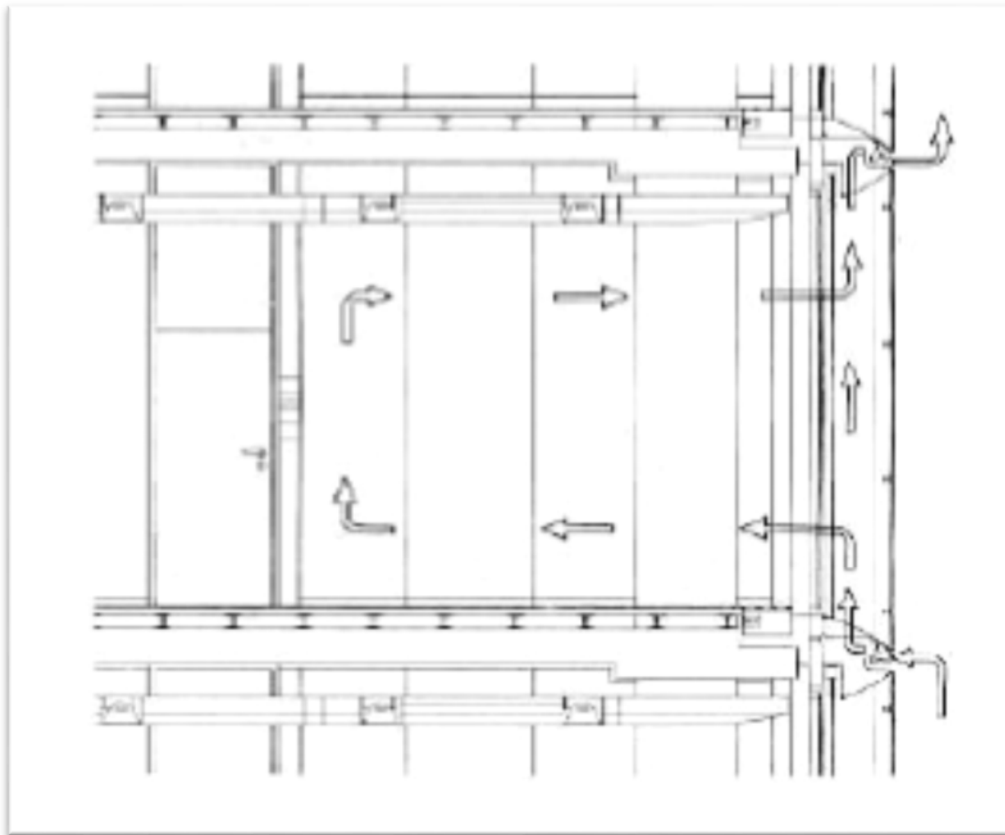


Figure 78 : Façade double peau d'un bureau.
 (Mansouri, thèse de doctorat, 2003)

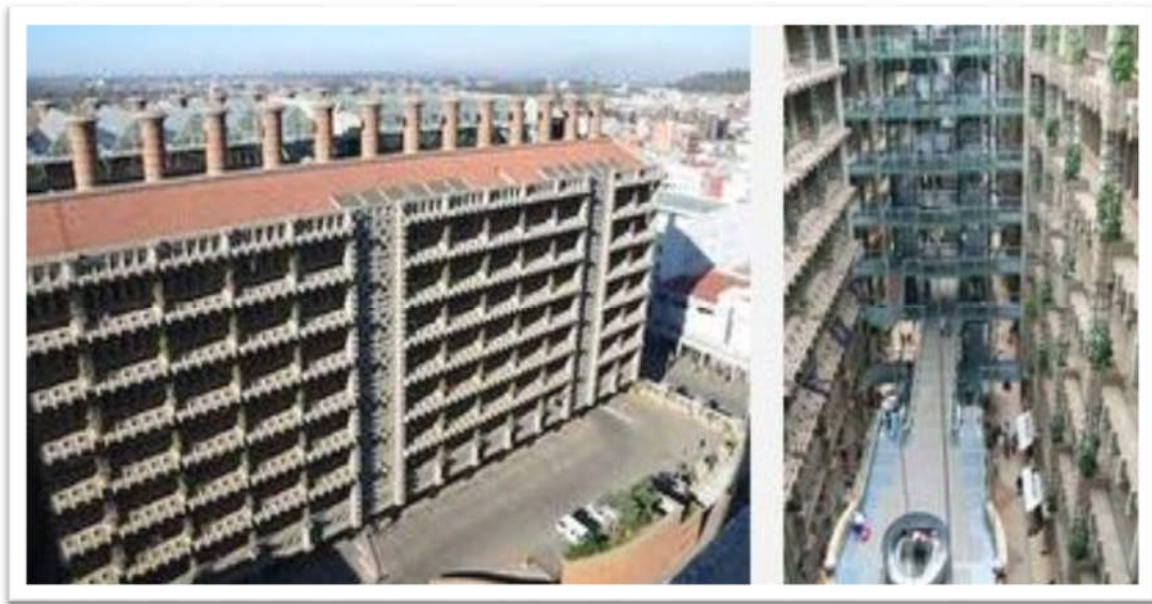


Figure 79 : ventilation par conduits verticaux et atrium. La ventilation, le refroidissement et le chauffage de l'Eastgate se font entièrement par des moyens naturels. L'architecte (*Mike Pearce, ingénieurs à Arup Associates*) a créé un réseau de tunnels de ventilation qui permettent à l'air de l'extérieur de circuler librement dans le bâtiment sans utiliser l'électricité. L'Eastgate est doté de quatre murs extérieurs en maçonnerie et d'un atrium intérieur de sept étages de hauteur. (<http://biomimetis.me/2014/02/clim-et-termite/>)

- Utiliser la cage d'escalier comme conduit vertical pour favoriser l'effet cheminé.

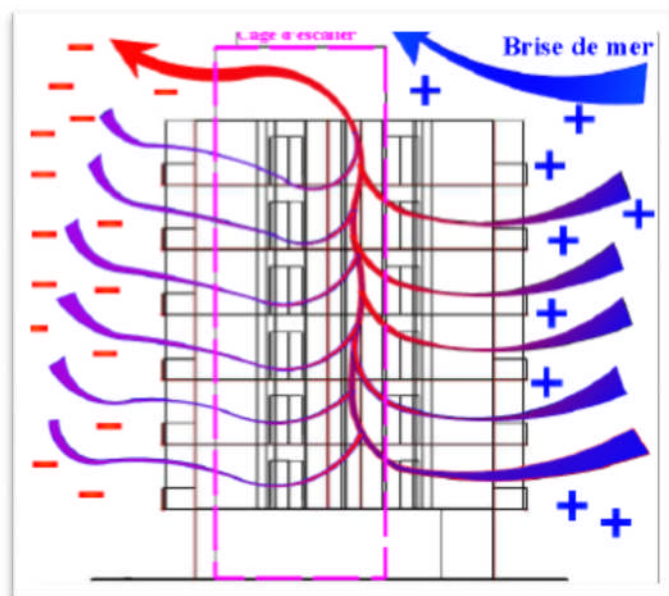


Figure 80 : principe de la fonction de la cage d'escalier comme conduit vertical
(Mémoire de magister Ait Kaci Zouhir 2014)

conclusion générale

Conclusion générale

Dans le but de trouver des solutions passives pour contribuer au rafraîchissement d'été en Algérie, nous avons axé notre travail de recherche sur l'utilisation de la ventilation naturelle comme paramètre déterminant dans le confort d'été. Pour cela, nous nous sommes fixés comme objectif principal la mise en valeur de l'importance de la ventilation naturelle dans le rafraîchissement passif des bâtiments, et plus particulièrement dans le contexte climatique algérien.

Pour cela nous avons vu à travers le premier chapitre théorique, que la connaissance des principes de base de l'écoulement d'air (dynamique des fluides) et de ses différentes interactions avec l'architecture du bâtiment et son environnement (aérodynamique) est primordiale pour élaborer une stratégie de ventilation naturelle efficace.

Par la suite à travers une première lecture du climat algérien et une analyse approfondie des données climatiques de deux exemples représentatifs à savoir la ville d'Alger et de Biskra, nous avons vu que le potentiel de l'utilisation de la ventilation naturelle dans les deux climats est non négligeable, car tous les deux présentent des périodes de surchauffes importantes. Mais cette analyse nous a permis de montrer qu'à chaque zone climatique correspond une stratégie de ventilation naturelle adaptée, et cela suivant le paramètre climatique prédominant (humidité, température) qui est à l'origine de l'inconfort en été. Enfin nous avons proposé quelques recommandations sur le plan architectural qui nous paraissent utiles aux concepteurs dès les premiers pas de l'esquisse et cela dans le but de favoriser la ventilation naturelle pour le rafraîchissement passif dans le contexte climatique Algérien.

Ce travail n'est qu'une première esquisse qui a pour but de démontrer, sur des bases scientifiques, la nécessité et la pertinence de développer des solutions passives architecturales qui visent à utiliser la ventilation naturelle comme élément principal dans le rafraîchissement passif des bâtiments en Algérie.

Bibliographie

Ait kaci Z, “*L’apport de la cage d’escalier dans la ventilation naturelle. Simulation thermo-aéraulique d’un habitat collectif en Algérie*”, mémoire de magister, université mouloud mammeri de tizi ousou, 2014.

Bouvin H, “*la ventilation naturelle. Développement d’un outil d’évaluation du potentiel de la climatisation passive et d’aide à la conception architecturale*”, thèse de doctorat, faculté d’aménagement. Architecture et arts visuels. Université Laval, Québec. 2007.

Chatelet A, Fernandez P, Brejon P, “*architecture climatique : une contribution au développement durable*”, tom 1 : bases physiques. Aix en Provence, Edisud, 1994, p160.

Chatelet A, Fernandez P, Lavigne P, “*architecture climatique : une contribution au développement durable*”, tom 2 : concepts et dispositifs. Aix en Provence, Edisud, 1998, p190.

Caciolo M, “*analyse expérimentale et simulation de la ventilation naturelle mono-façade pour le rafraichissement des umeubles de bureaux*”, chemical and process engineering. Ecole nationale supérieure des mines de Paris, 2011.

Chabi M, cours optionnelles. “*Module du développement durable*”, option : architecture et environnement, université mouloud mammeri de tizi ousou, 2016-2017.

Dehmous M, séminaire sur “*les politiques de maitrises de l’énergie et l’apport de l’architecture bioclimatique*”, option : architecture et environnement, université mouloud mammeri de tizi ousou, 2016-2017.

Givoni B, “*l’homme, l’architecture et le climat*”, Paris, édition du moniteur, 1978, 460p.

Huon C, “*ventilation : objectifs et solutions*”, formation class 4. Développement durable & qualité environnementale, école nationale supérieure d’architecture. Nancy S4. 2008.

Izard J L, “*architecture d’été, construire pour le confort d’été*”, Edisud, Marseille, 1993.

Khalidi S, “*étude numérique de la ventilation naturelle par la cheminée solaire*”, mémoire de magister en génie mécanique, université de tlemcen, 2012-2013.

Mulé M, “*ventilation naturelle dans l’habitat*”, mémoire dans le cadre de la formation : rénovation écologique, école nationale supérieure d’architecture de Lyon, 2011.

Mansouri Y, “*conception des enveloppes de bâtiments pour le renouvellement d’air par ventilation naturelle en climats tempéré. Proposition d’une méthodologie de conception*”, thèse de doctorat, école d’architecture de Nantes, 2003.

Pauline L, “*la ventilation naturelle intensive des bâtiments et leurs confort en été : étude de systèmes inspirés par la stratégie de refroidissement des termitières*”, travail de fin d’étude réalisé en vue d’obtention du grade de master en ingénieur civil architecte, université de liège. Faculté des sciences appliquées, 2014-2015.

Webographie

- www.enviroboite.net
- <https://fr.wikipedia.org/wiki/Moucharabieh#/media/File:GD-EG-Caire-Suhaymi033.JPG>
- archiexpo.fr
- <http://www.etamine.coop>
- <http://www.carte-algerie.com/carte-algerie-region-departement.html>
- <https://vertigo.revues.org/docannexe/image/5375/img-2.jpg>
- <http://www.mahdiaridjphotography.com/casbah-alger-photos/>
- <https://fr.climate-data.org/location/3684/>
- <http://www.algerie-monde.com/villes/biskra/>
- <https://fr.climate-data.org/location/3691/>
- <http://biomimetis.me/2014/02/clim-et-termites/>
- http://www.atelierphilippemadec.com/architecture/equipment/pole-musique-danse-et-arts-plastiques-_qe-vnac-et-bbc.html