



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des sciences et de la technologie
Département d'Architecture

MÉMOIRE DE MASTER

Domaine : Sciences et Technologies
Filière : Architecture et Urbanisme
Spécialité : ARCHITECTURE ET ENVIRONNEMENT
Réf. :

Présenté et soutenu par :
BENMOUSSA Sara Soumia

Le : dimanche 21 juillet 2019

**Thème : la lumière naturelle et la régulation thermique
dans les salles de sport couverte dans la ville de Biskra**

Projet : salle de sport

Jury

Mr	YOUCEF Kamal	MC(A)	Université de Biskra	Président
Mr	SAADI Med Yacine	MC(B)	Université de Biskra	Rapporteur
Mr	MEZERDI Toufik	MC(B)	Université de Biskra	Examineur

Année universitaire : 2018 - 2019

Résumé :

Aujourd'hui à une nouvelle tendance architectural qui favorise utilisation des grandes façades vitrées vu au développement des procédés de constructions et la recherché de la seule performance quantitative ou esthétique (production rapide de bâtiments, architecture de verre et l'acier) ,L'évolution des modes de vie de même que pour optimiser la lumière naturelle et favoriser une relation directe vers l'extérieur qui produisent des problèmes de surchauffe en créant un effet de serre et contribuent à une augmentation de la demande énergétique pour le refroidissement notamment dans les régions à climat chaud aride.

L'objectif principal de cette recherche consiste à évaluer des conditions de confort thermique et la lumière les plus favorables dans les salles de sport couverts en utilisant les potentialités de climatiques et architecturale. À ce propos, une méthodologie de recherché basée sur type du confort a été proposée pour cette étude, une expérimentation objective effectuée par l'utilisation simulations numériques à l'aide de logiciels : ecotect comme outils d'évaluation de la performance de l'environnement lumineux et d'évaluation du confort thermique de salle de sport couvert étudié, les résultats de simulation l'utilisation des dispositifs architecturaux qui assurent le confort thermique et lumière favorable intégration des systèmes d'isolation thermique d'appoints mécaniques pour le refroidissement . Assure un état confortable d'où ils peuvent n'utiliser pas l'éclairage artificiel et consommations énergétique.

Les mots clé : la lumière naturelle, confort thermique, chaud et aride

Sommaire

Résumé

الملخص

Liste des figures

Liste des tableaux

Chapitre : chapitre introductif

L'introduction générale	1
Hypothèses	2
Les objectifs	2
Vérification d'hypothèses	2
Structure de mémoire	2

Chapitre I : la lumière naturelle

L'introduction :	4
1.1 Définition de la lumière :	4
I.2 La lumière naturelle et l'architecture :	4
I.2.1 Lumière naturelle et architecte :	5
I.2.2 Le rôle de la lumière naturelle :	5
I.2.3. Les sources de lumière :	5
I.3. Les effets de la lumière au sens physique :	6
I.3.1. La dimension physique de la lumière naturelle :	6
I.3.1.1 La physique de la lumière réflexion réfraction :	7
I.3.1.2 Lumière et surface	9
I.3.1.3 Lumière et couleur	9
I.3.1.4 La quantification et la mesure de la lumière :	10
I.4 Effet De La Lumière Chez Les Usager Dans Le Monde :	14
I.4.1. Apports solaires et architecture :	15
I.4.2. Caractéristiques de la lumière naturelle :	15
I.5 Définition de l'éclairage naturel :	17
I.5.1 Type d'éclairage naturel :	17
I.5.2 Eclairage zénithal :	18
I.5.2.1 Dispositifs d'éclairage zénithal direct :	18
I.5.2.1 Les verrières :	18
I.5.3 Dispositif d'éclairage zénithal indirect	21

I. 5.4 l'éclairage latéral :	27
I.5.5 Dispositif d'éclairage latéral :	31
I.6 Confort visuel :	33
I.6.1 Définition :	33
I.6.2 Les paramètres physiques de confort visuel :	34
I.6.3. L'éblouissement :	35
Conclusion :	37

Chapitre II : la régularité thermique

L'introduction :	38
II.1. Définition du confort thermique :	38
II.2. Modes de transferts de chaleur :	38
II. 3. Les paramètres du confort thermique :	40
II.3.1 Paramètres liés à l'individu :	40
II.3.2 Paramètres liés à l'environnement :	41
II.3.3 Paramètres liés aux gains thermiques internes :	42
II.4 Le confort d'hiver et d'été :	42
II.5. La réglementation thermique :	44
II.5.1. La réglementation thermique en France :	45
II.5.2. La réglementation thermique en Algérie :	45
II.6. Etat de l'art en Algérie :	47
II.7. Les stratégies de refroidissement passif :	48
II.7.1. Ventilation naturelle :	48
II.7.2 Les système de confort :	51
II.7.3 La végétation :	57
II.8. Climat chauds et arides de la ville de Biskra :	59
II.8.1 Présentation la ville de Biskra :	59
II.8.1.2. Température de l'air :	60
II.8.1.4. Précipitations :	61
II.8 Evaluation du confort thermique :	63
II.8.1 Les méthodes Evaluation du confort et la détermination des besoins :	63
Conclusion	66

Chapitre III simulation de la lumière de la salle de sport

L'introduction :	67
III.1Caractéristiques climatiques de la ville de Biskra :	68
III.3.1Géométrie du local :	69
III.3.2Le logiciel de la simulation.....	69
III.3.3L'import géométrie et simulation du model :	70
III.3.4Intégration des données météorologique :	70
III.3.5La simulation du model :	71
Conclusion :	75
Conclusion et recommandation :	76
Les annexes	

الملخص

اليوم اتجاه معماري جديد يدعم استخدام الواجهات الزجاجية الكبيرة التي شوهدت في تطوير عمليات البناء والبحث عن الأداء الكمي أو الجمالي الوحيد (الإنتاج السريع للمباني، الهندسة المعمارية للزجاج والصلب)، التطور أنماط الحياة وكذلك لتحسين الضوء الطبيعي وتعزيز العلاقة الخارجية المباشرة التي تنتج مشاكل ارتفاع درجة الحرارة عن طريق خلق تأثير الدفيئة والمساهمة في زيادة الطلب على الطاقة للتبريد وخاصة في المناطق التي مناخ حار جاف.

الهدف الرئيسي من هذا البحث هو تقييم أفضل ظروف الإضاءة والراحة الحرارية في الصالة الرياضية الداخلية باستخدام إمكانات المناخية والمعمارية. في هذا الصدد، تم اقتراح منهجية بحثية تعتمد على نوع من الراحة لهذه الدراسة، وهي تجربة موضوعية أجريت باستخدام المحاكاة العددية باستخدام البرنامج ECOTECH أدوات لتقييم أداء الإضاءة الداخلية. والراحة الحراري في القاعة الألعاب الرياضية الداخلية المدروسة، نتائج محاكاة استخدام الاستراتيجيات المعمارية التي تضمن الراحة الحرارية وتكامل الإضاءة المواتية ويضمن حالة مريحة للمستخدمين حيث لا يمكنهم خلالها عدم استخدام الإضاءة الاصطناعية واستهلاك الطاقة.

الكلمات المفتاحية: الإضاءة الطبيعية، الراحة الحرارية، المناخ الحار والجاف، عوازل حراري

BIBLIOGRAPHIE :

LE LIVRES :

Adrien. D(2013) : Etude de stratégies de ventilation pour améliorer la Qualité environnementale intérieure et le confort des occupants en milieu scolaire, thèse de doctorat architecture université de la rochelle lile

A.Liebard, A de herde (2005) : traite d'architecture et d'urbanisme bioclimatique. France .le moniteur.

CHABANE, K. CHIBOUB, L(2017) : Amélioration du confort thermique par la résolution des ponts thermiques dans l'habitat individuel. Cas d'une maison à Bouira, thèse magister Architecture, Ville et Territoire, Universités Abderrahmane Mira

David, Roditi (2011) : ventilation et la lumière naturelles, France : eyrolles

Fontonynont.M ,payraudeau.M (2011) : construire avec la lumière naturelle ,France :CTBS.

GALLAS.A(2013) : de l'intention à la solution architecturale proposition d'une méthode d'assistance à la prise en compte de la lumière naturelle durant les phases amont de conception, thèse doctorat science et architecture l'École Nationale Supérieure d'Architecture de Nancy.

GIVONL.B(1978).l'homme .l'architecture et le climat ,paris :le moniteur

Henry Plummer (2009) : Architectes de la lumière, France : Hazan

SABBAH & VIGNEAU(2006) : Les Equipements Sportifs, France ; le moiteur

MEMOIRE EN LIGNE :

ZEMMOURI. M (2008) : caractérisation et optimisation de la lumière Naturelle en milieu urbain, Thèse doctorat Architecture université Ferhat Abbas Sétif.

MEDDOUR. S(2008) : Impact De l'éclairage Zénithal Sur la Présentation Et La Préservation Des Œuvres d'art Dans Les Musées, thèse de magister architecture bioclimatique, Université Mentouri Constantine

MEMOIRE :

BERKOUK. D(2017) : Évaluation du confort thermique et lumineux dans le logement collectif : Étude comparative entre le social et le promotionnel, dans la ville de Biskra

DAICHE .S(2011) : simulation et optimisation du système light shelf sous condition climatique spécifiques, cas de la ville de Biskra, thèse magister architecture université Mohammed khider Biskra

Les revues :

Derek .ph(2017).leisure.magasin daylighting.p148-159

Legendre. A. (2015) Architecture inspiration, magazine architecture d'intérieur.p12

MERZOUGUI. N(2018).la lumière. Journal Esdamm. D'art de design

Documents électroniques :

DTR C3-2. Règlement thermique des bâtiments d'habitation ; règle de calcul des déperditions calorifique fasciculé(1997).available from www.academia.edu/

RT2012, RT2000, la réglementation thermique. Available from www1.utt.fr/eclairage/presentations/2012_02__21_AFE_RT_2012_ARMIR1.pdf

Site web :

<https://energieplus-lesite.be/>

<https://www.archdaily.com>

<https://www.architonic.com>

<http://www.climat.arch.ucl.ac.be>

<https://issuu.com>

L'introduction :

Aujourd'hui l'énergie est fortement épuisée par le secteurs du bâtiment, les architectes se ruent beaucoup plus, vers l'artificiel (l'éclairage électrique) et négligent complètement l'utilisation de l'éclairage naturel, lors de la conception architecturale, pourtant, l'abondance, la gratuite et ma facilite de récupéré cette lumière, pour assurer une ambiance luminance de qualité dans l'environnement intérieur .le profil de l'éclairage naturel contraint une réduction considérable de la consommation d'énergie électrique dans les bâtiment à cause des ces bénéfiques d'éclairage naturel nous allons aborder dans ce chapitre les différent concepts relatifs à l'éclairage naturel , les paramètre influant l'éclairage naturel ainsi que allons présenter le confort visuel et ces les paramètres également nous introduisons les dispositifs d'éclairage naturel dans l'objectif de mieux comprendre la notion de l'éclairage naturel et l'optimiser dans le projet architectural

1.1Définition de la lumière :

« Lumière » vient du latin luminaria « flambeau » (le petit robert), dont la source originelle est le soleil. Elle fut l'objet de vénération par les peuples et les civilisations anciennes. Des Egyptiens aux Mayas, en passant par les Grecs, le soleil a toujours occupé une place de choix dans toutes les grandes civilisations (Medour, 2008).

C'est certainement, parce que nos ancêtres avaient observé et vérifié les propriétés essentielles de la lumière naturelle sur l'homme.

La lumière naturelle présente un facteur de performance à la fois, écologique et économique : Ecologique, car elle présente une source renouvelable pour une énergie propre et durable Economique, de part l'économie d'électricité qu'on peut réaliser grâce à l'usage de l'éclairage naturel (Réduction de 30 à 50 % des charges liées à l'éclairage artificiel); mais aussi, l'amélioration des rendements des travailleurs et la baisse des taux d'absentéisme comparés aux conditions où l'éclairage naturel fait défaut (Namias, 2007).

I.2La lumière naturelle et l'architecture :

« Avant l'apparition de la lumière artificielle, la lumière naturelle était l'un des éléments structurants de la ville et de l'architecture. » (Roger Narboni, 1988).

La lumière naturelle présente un moyen architectural riche et varié. Elle révèle un bâtiment par son action sur les espaces, les formes, les structures, les matériaux, les couleurs et les significations de l'édifice. De plus, elle est au cœur de la définition du geste créateur : exprimer, c'est à dire mettre en lumière, extraire de l'ombre (Namias, 2008).



Figure I-1 : le panthéon de rome debut IIe siecle(source :www.panoramadelart.com/pantheonrome)

I.2.1 Lumière naturelle et architecte :

La lumière naturelle est considérée par les architectes comme un outil d'expression architecturale qui participe au processus de genèse et de qualification de l'espace physique en lui attribuant une dimension sensible comme le décrit Le Corbusier : « *J'use, vous vous en êtes douté, abondamment de la lumière. La lumière est pour moi l'assiette fondamentale de l'architecture. Je compose avec la lumière* » (Corbusier, 1930).

La lumière naturelle est l'un des matériaux principaux permettant aux architectes de définir et de matérialiser la dimension sensible de leurs projets. L'objectif est de dépasser le simple aspect matériel et fonctionnel du projet pour lui attribuer une signification et une légitimité architecturale

I.2.2 Le rôle de la lumière naturelle :

La lumière naturelle joue un rôle dans l'affirmation et la caractérisation de la fonction d'un espace architectural. Ainsi, la dimension spirituelle et divine d'un espace de recueillement peut être matérialisée par une atmosphère sombre percée par un rayon lumineux incident. Un contraste entre la pénombre qui occupe l'espace et la présence d'une lumière intense isolant l'occupant du monde extérieur tout en gardant une preuve de son existence.

La lumière naturelle est un outil de matérialisation de la volonté du concepteur d'instaurer une continuité entre le projet architectural et l'environnement qui l'entoure. Cette continuité se formalise à travers le transfert des conditions d'éclairage extérieures vers l'intérieur du projet sans subir de transformation. La création d'une lumière directe de forte intensité sans subir de transformation de couleur et de direction supprime les barrières physiques qui séparent l'espace architectural du milieu extérieur et crée la continuité recherchée par le concepteur.

La lumière naturelle donne une identité visuelle à l'espace le différenciant des autres, une identité qui suggère la fonction et le public qu'il est sensé accueillir. Un espace clair couvert d'une lumière régulière, uniformément répartie, crée des conditions d'éclairage favorables à une activité professionnelle.



Figure I-2 : espaces / 3 identités différentes (source : site officiel de Campo Baeza (Jodidio, 2012) / (Cerver, 2005)]

I.2.3. Les sources de lumière :

Le soleil comme la bougie ou l'ampoule incandescente sont des sources de lumière thermiques qui produisent la lumière grâce à des corps chauds avec des températures variables. Cette différence est visible au niveau des courbes décrivant la densité spectrale des rayonnements. Le soleil présente une forte densité spectrale avec une grande partie de l'énergie produite localisée dans la zone visible du spectre qui crée une lumière blanche. Par contre, une

source artificielle à faible température comme une ampoule possède une faible densité spectrale. Elle génère ainsi une énergie située dans la zone des infra-rouges avec une partie visible du spectre qui a plus de lumière rouge que de bleu. La correspondance entre la notion de température et celle de couleur de lumière permet de créer le concept de « température de couleur ». Il s'agit d'un phénomène paradoxal, car les lumières qualifiées de « chaudes » ayant une teinte rouge sont obtenues à partir de corps à température basse alors que les lumières dites « froides » ont une teinte bleue et sont obtenues à des températures élevées.



Figure I-3 : le soleil (source :<http://larchedegloire.com/le-rayonnement/>)

I.3. Les effets de la lumière au sens physique :

Le comportement lumineux d'un espace architectural est le résultat d'une interaction entre la lumière naturelle, comme phénomène physique éphémère, et l'espace architectural comme phénomène matériel permanent.

I.3.1. La dimension physique de la lumière naturelle :

Caractérisation physique :

La lumière est caractérisée par deux aspects physiques dont la définition et la description ont évolué au cours de l'histoire des sciences. Un premier aspect ondulatoire décrit la lumière comme une onde électromagnétique à oscillation sinusoïdale d'une longueur d'onde (λ) et période (T) et une fréquence (ν). Un deuxième aspect corpusculaire décompose la lumière en grains d'énergies appelées photon résultant du mouvement des électrons de couches électroniques de niveau d'énergie élevé vers d'autres couches de niveau d'énergie faible. La lumière constitue la partie visible du spectre électromagnétique couvrant les ondes magnétiques d'une longueur d'onde allant de 380 nm jusqu'à 700 nm. La réfraction de la lumière blanche par un prisme permet ainsi de visualiser ses différentes radiations. Celles-ci sont colorées et s'étalent du violet (380 nm) au rouge (700 nm) en passant respectivement par l'indigo, le bleu, le vert, le jaune et l'orange constituant les couleurs de l'arc-en-ciel

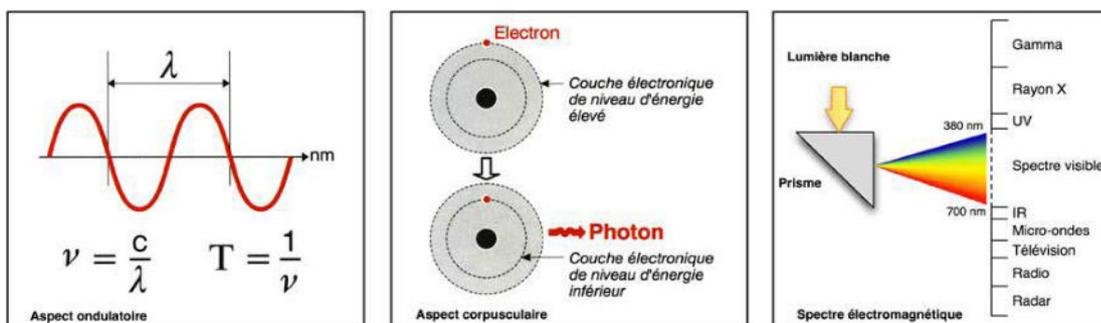


Figure I-4 : Aspects ondulatoire et corpusculaire de la lumière (source : (Reiter, De Herde, 2004) / Propriétés du spectre visible de la lumière naturelle)

I.3.1.1 La physique de la lumière réflexion réfraction :

La lumière produit ce qu'on appelle le spectre visible perceptible par les propriétés physiques des récepteurs visuels humains et nono par celles des ondes lumineuses. L'incidence des rayons lumineux avec les objets (opaque ou transparent peut se réaliser de plusieurs façons

- ❖ **La diffraction** : division de rayon lumineux
- ❖ **L'absorption** : elle correspond à une diminution de l'énergie du rayonnement qui est absorbée par les molécules du milieu (Bagot,1999). le coefficient d'absorption solaire dépend selon les caractéristique de couche de la paroi :
 - Un facteur d'absorption (lumière non réfléchié par la paroi)
 - Un facteur de réflexion de la lumière.
 - Ces facteurs sont fonction de la couleur de la paroi et la matière qui compose.
- ❖ **La réflexion** : elle correspond à la propriété de la surface des objets de renvoyer les rayons lumineux. Une surface dont le facteur de réflexion est élevé réfléchit beaucoup la lumière et apparait sombre.

Il existe deux types de réflexion :

- **Réflexion spéculaire** : la lumière est envoyée selon un angle de réflexion égal a l'angle d'incidence de rayon lumineux
- **Réflexion diffuse** : lorsque la réflexion se propage dans toutes les directions de l'espace en raison de la légère granulation de la surface, trois modes de réflexion diffuse :
 - **Parfaite** : la lumière est réfléchié distribuée dans toutes les directions
 - **Quelconque** : la lumière se répartit de manière aléatoire
 - **Mixte** : la lumière est réfléchié de manière diffuse, mais privilège une direction précise (figure I.5) c'est le cas d'une surface parfaitement polie

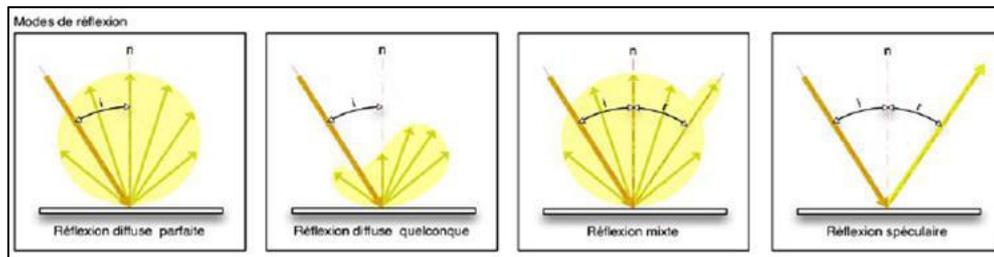


Figure I-5 : les modes de réflexion (source : Architecture et Climat.)

- ❖ **La transmission** : qui varie selon l'épaisseur de matériau rencontré par le rayon du soleil .il existe quatre modes de transmission
 - La transmission directionnelle : la lumière est transmise selon un angle égal à l'angle d'incidence du rayon lumineux
 - La transmission diffuse parfaite : la lumière transmise est distribuée dans toute la direction
 - La transmission diffuse quelconque : la lumière se répartit de manière aléatoire
 - La transmission mixte : la lumière est transmise de manière diffuse mais privilège une direction précise

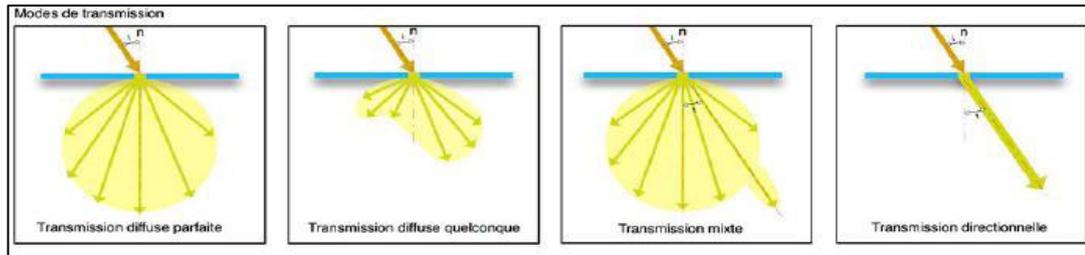


Figure I-6 : les modes de transmission (source : architecture et climat)

❖ **La diffusion :**

C'est la dispersion des rayons lumineux dans toutes les directions de l'espace par des particules microscopique et même par les molécules de l'air. Dans ce cas la diffusion est d'autant plus importante que la longueur d'onde est courte (bagot, 1999)

❖ **La Réfraction :**

Correspond à l'inclinaison de la direction des rayons lumineux lors d'un changement de milieu de propagation, Lorsqu'un rayon lumineux est réfracté, il existe un rapport constant entre le sinus de l'angle d'incidence et le sinus de l'angle de réfraction. Ce rapport est appelé l'indice de réfraction du second milieu traversé par rapport au premier.

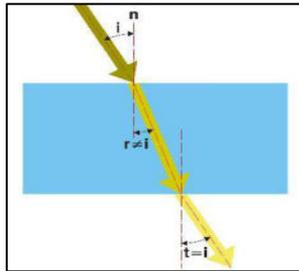


Figure I-7 : Réfraction
(Source : Architecture et Climat figure)

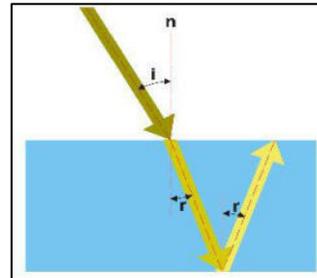


Figure I-8 Réfraction. Totale

- ❖ La polarisation : la lumière possède la symétrie de révolution et ses ondes lumineuses vibrent normalement dans trois directions.

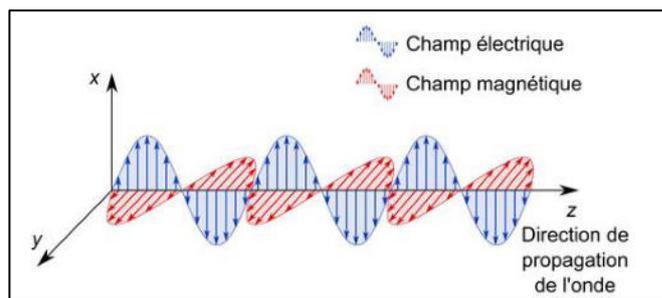
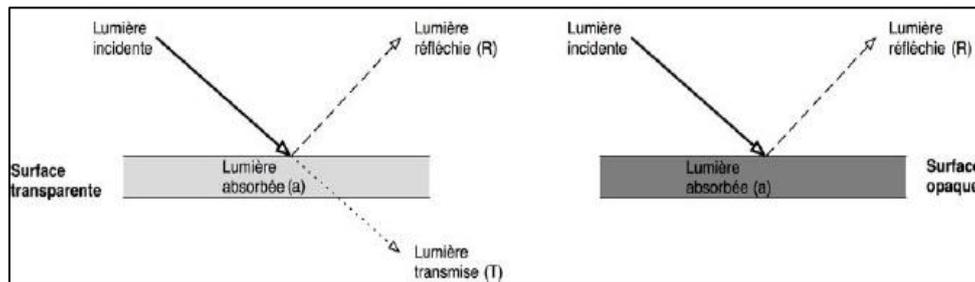


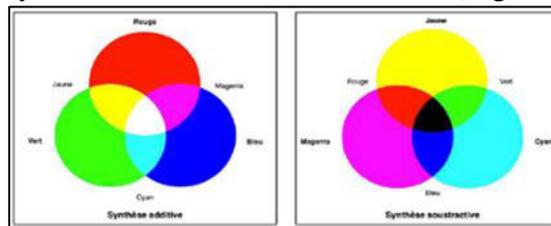
Figure I-9 : onde lumineuse avec champ magnétique et champ électrique à angle droit l'un de l'autre : (source : https://fr.sciencequestions.org/comment_ca_marche/158/Polarisation_de_la_lumiere)

I.3.1.2 Lumière et surface : La lumière naturelle peut se comporter de trois manières différentes au contact des surfaces d'objets physiques. Elle peut tout d'abord être réfléchi au contact d'une surface opaque. Le facteur de réflexion (R), défini comme étant le ratio de l'énergie réfléchi par rapport à l'énergie incidente quantifie ce comportement. La lumière peut être aussi transmise si elle est au contact d'une surface transparente. Le facteur de transmission (T) égal au ratio de l'énergie transmise par rapport à l'énergie incidente caractérise ce comportement. Finalement, la lumière peut être absorbée par les surfaces de contact, qu'elles soient transparentes ou bien opaques. Le facteur d'absorption de la lumière (a) est défini comme étant le ratio de l'énergie absorbée par rapport à l'énergie incidente. Les propriétés de réflexion (R), d'absorption (a) et de transmission (T) peuvent s'associer en totalité pour un matériau transparent ($R+T+a=1$) ou bien en partie pour un matériau opaque ($R+T+a=1$ avec $T=0$)(figI-8)



FigureI-10 : Comportement de la lumière au contact des surfaces de matériau transparent ou opaque (source : CIRIANI, Henri, 1991. Lumières de l'espace)

I.3.1.3Lumière et couleur : Lumière et couleur L'analyse du spectre visible des rayonnements lumineux dégage trois couleurs primaires : le bleu, le rouge et le vert. La synthèse additive de ces trois couleurs, à des proportions bien déterminées, génère toutes les autres couleurs. En revanche, les trois couleurs primaires de matière sont le jaune, le cyan et le magenta ; le mélange de ces derniers permet d'avoir les autres couleurs. Au contact de la lumière, la matière réfléchit une partie de la lumière incidente et absorbe le reste. La partie absorbée de la lumière est celle qui a la même couleur que les pigments de la matière. Ce principe constitue synthèse soustractive des couleurs (FigureI-11)



FigureI-11 : Synthèse additive / Synthèse soustractive (source :Goujet, Marine, 2007. Lumière D'architectes)

La perception de la couleur d'un objet physique est définie par la couleur de la lumière qui l'éclaire et qui le rend visible. Elle fait appel à l'ensemble des paramètres qui caractérisent la lumière naturelle, dont l'absorption, la réflexion et la transmission. La couleur perceptible est déterminée par l'absorption d'une part du spectre visible de la lumière incidente par les pigments de l'objet éclairé. Ce principe est valable pour les objets transparents ou opaques. Pour un objet composé de deux couches transparentes teintées respectivement en cyan et en jaune, la première couche absorbera la couleur rouge de la lumière blanche incidente et transmettra les rayonnements de couleurs bleues et vertes. La deuxième couche, de couleur jaune, transmettra les rayonnements de couleurs rouges et vertes et absorbera le bleu. Au final,

seule la couleur verte sera transmise aboutissant à une lumière de couleur verte. La définition de la couleur d'un objet opaque fait appel aux mêmes principes. Une surface opaque de teinte rouge éclairée par une lumière de couleur blanche absorbera toutes les autres couleurs et réfléchira la couleur rouge. Ainsi, l'objet aura finalement une teinte rouge (FigI-12) (Baker, K. A.Steemers, 2002).

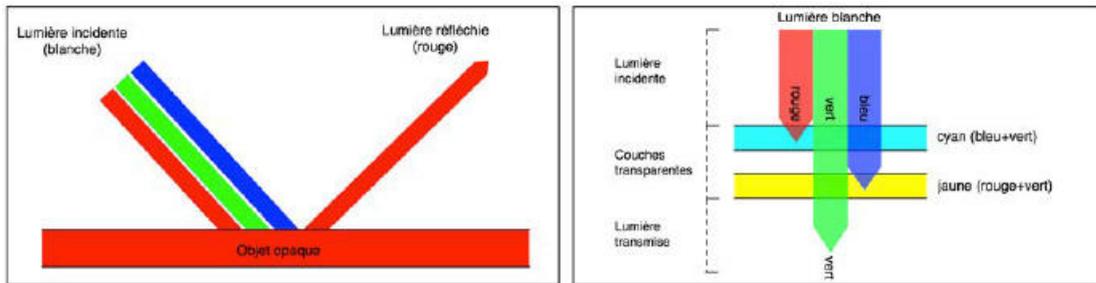


Figure I-12 :Définition de la couleur d'un objet opaque / d'un objet transparent (Baker, K. A.Steemers, 2002)

I.3.14 La quantification et la mesure de la lumière : Le cheminement du rayonnement solaire de la source (le soleil) vers la cible (l' homme). Ce cheminement sera caractérisé en faisant appel aux grandeurs photométriques qui dérivent le parcours des rayonnements solaires. Nous commençons par identifier les propriétés des sources d'éclairage

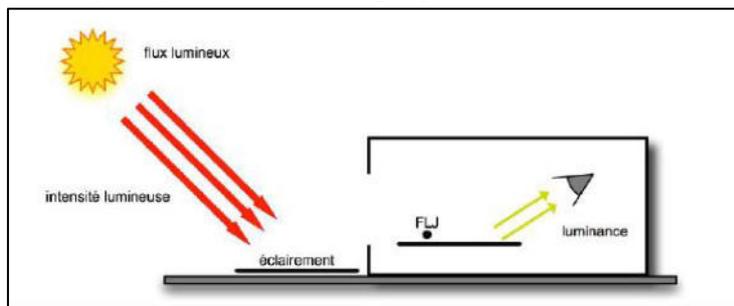


Figure I-13 : Types de grandeurs photométriques (source : Architecture et Climat, 2012)

- ❖ **Le flux lumineux :** Le flux lumineux (ϕ) exprimé en Lumen (lm), est la puissance énergétique émise par une source sous sa forme visible Il correspond au rayonnement prenant en compte la sensibilité de l'œil humain et ayant une longueur d'onde comprise dans le domaine visible (380 -700 nm). Le flux lumineux d'une source est calculé en fonction du flux énergétique émis par la source et de la sensibilité de l'œil pour chacune des longueurs d'ondes du domaine visible

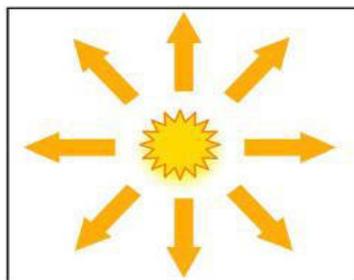


Figure I-14 : Le flux lumineux (source : Reitre, De Herde, 2004).

- ❖ **L'efficacité lumineuse :** Ce paramètre est décrit comme étant le rapport entre le flux lumineux (Φ) d'une source et sa puissance énergétique (P).

La puissance énergétique correspond au flux énergétique pour les sources naturelles et à l'énergie électrique consommée pour les sources artificielles $\eta = \Phi / P$ (lm/W)

- ❖ **L'intensité lumineuse** : L'intensité lumineuse (I) correspond au flux lumineux (Φ) émis par unité d'angle solide (Ω) dans une direction donnée. L'unité de mesure de l'intensité lumineuse est le candela (cd). $I = \Phi / \Omega$

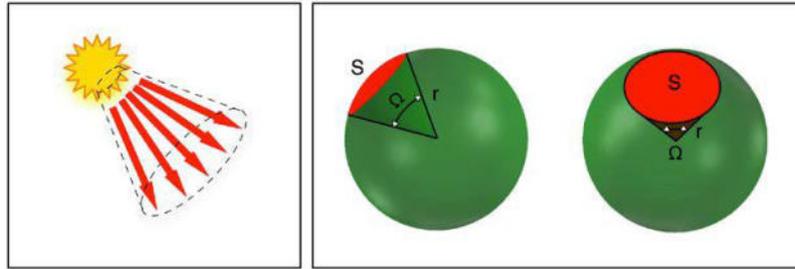


Figure I-15 : Intensité lumineuse / angle solide (Source/Reiter, De Herde, 2004).

- ❖ **L'éclairement** : L'éclairement lumineux correspond au flux lumineux (Φ) reçu par unité de surface (S). Il est exprimé en lux (lx). 1 lux équivaut à un flux lumineux de 1 lumen (lm) couvrant uniformément une surface de 1 mètre carré

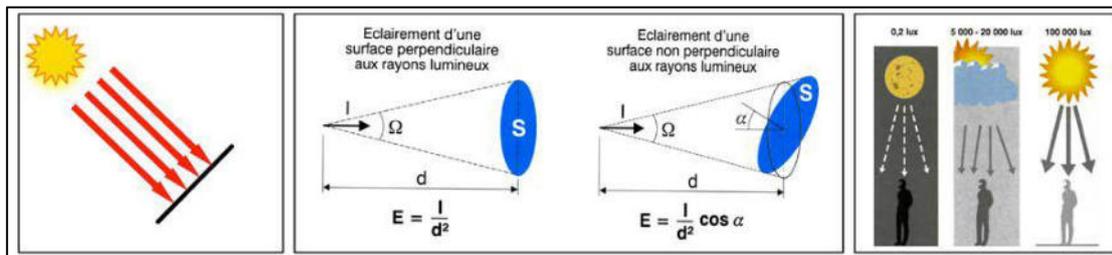


Figure I-16 : L'éclairement lumineux (source : Source/Reiter, De Herde, 2004)

- ❖ **La luminance** : La luminance est définie comme étant le rapport entre l'intensité lumineuse émise par une source lumineuse dans une direction donnée et la surface apparente de cette source dans la même direction. Elle traduit la sensation visuelle suggérée par une source de lumière principale (soleil) ou secondaire (surfaces éclairées). Ce paramètre permet au concepteur d'évaluer l'aspect visible de la lumière qui éclaire l'espace architectural et son niveau d'éblouissement l'aidant ainsi à atteindre ses objectifs en termes de qualité de lumière.

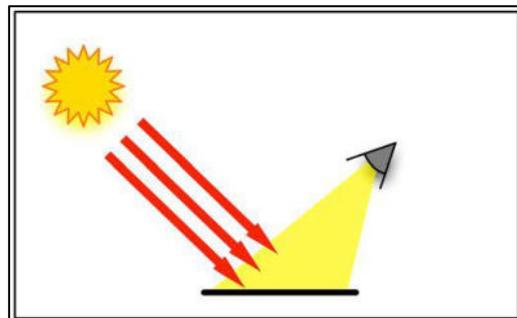
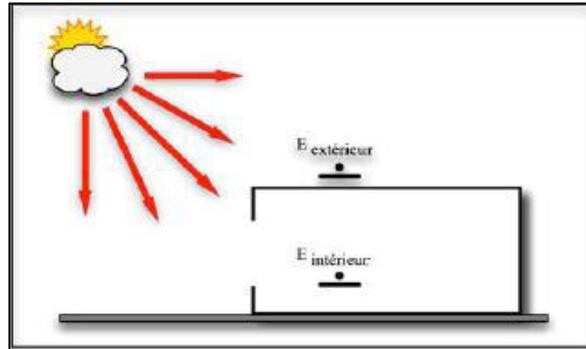


Figure I-17 : La luminance des surfaces éclairées (Source/Reiter, De Herde, 2004)

La différence des autres grandeurs photométriques, le facteur de lumière du jour (FLJ), est uniquement utilisé pour qualifier l'éclairage naturel en milieu architectural. Il correspond au

rapport entre l'éclairement naturel obtenu à l'intérieur d'un espace architectural mesuré au niveau du plan de travail et le niveau d'éclairement de l' environnement extérieur mesuré sur une surface horizontale parfaitement dégagée ($FLJ = E_{\text{intérieur}} / E_{\text{extérieur}}$). Ces deux niveaux d'éclairement sont calculés dans des conditions de ciel couvert diffusant une lumière homogène. Les valeurs de facteur de lumière du jour s'expriment en pourcentage (%)



FigureI-18 : Mode de calcul du FLJ (Source/Reitre, De Herde, 2004)

Le facteur de lumière du jour est mesuré sous des conditions de ciel couvert qui le rendent indépendant de la variation de l'orientation des ouvertures, de la saison ou des heures de la journée. Cette neutralité permet au facteur de lumière du jour d'être considéré comme étant une référence rendant la comparaison du comportement lumineux de différentes configurations architecturales moins complexe. La comparaison portera sur la position et la taille des ouvertures apportant une aide objective dans une démarche de conception.

- ❖ **Le rayonnement solaire** : Le rayonnement solaire décrit l'énergie solaire reçue par une surface pour une durée déterminée. Ce rayonnement est défini par la puissance de l'radiation solaire estimée à 63500 W/m² dont 1370 W/m² atteint les limites de l'atmosphère terrestre constituant la constante solaire. Comme les autres sources de lumière, le soleil émet un rayonnement à différentes longueurs d'onde composant ainsi le spectre solaire (FigureI-19)

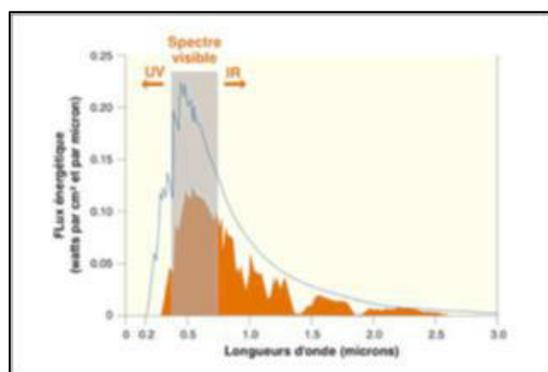


Figure I-19 : Spectre solaire (source : Architecture et Climat, 2012)

Le rayonnement solaire varie aussi en fonction de la position de la terre par rapport au soleil concrétisé par les solstices et les équinoxes. Ils définissent des angles d'exposition et

des temps d'ensoleillement différents variant ainsi la quantité de rayonnement solaire sur la surface de la terre.

La position du soleil est l'un des paramètres déterminants de la quantité d'apports solaire sur une surface. La connaissance de sa position permet de prévoir la direction des rayonnements et l'apport énergétique qu'ils apportent à une surface d'un bâtiment. Cette position est décrite par les notions de hauteur et d'azimut du soleil. La hauteur du soleil est définie comme étant l'angle que fait la direction du soleil avec le plan horizontal alors que l'azimut représente l'angle que fait le plan vertical passant à la fois par le soleil et le lieu considéré et le plan vertical Nord-Sud (Figure I-20)

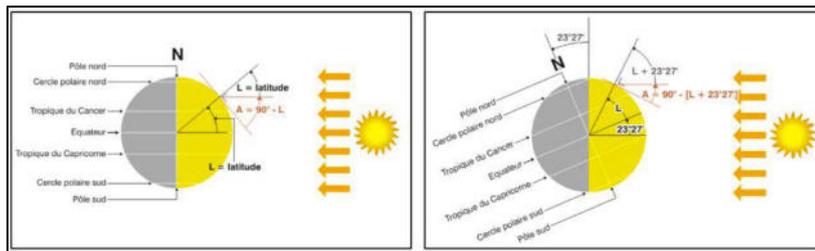


Figure I-20 : Equinoxes printemps et automne/solstice d'été (source : Architecture et Climat, 2012)

La position du soleil et le temps d'ensoleillement changent d'un lieu à un autre créant ainsi une variation des apports solaires d'un point géographique à un autre. Cette variation est plus importante entre les localisations de latitudes différentes (Figure I-21)

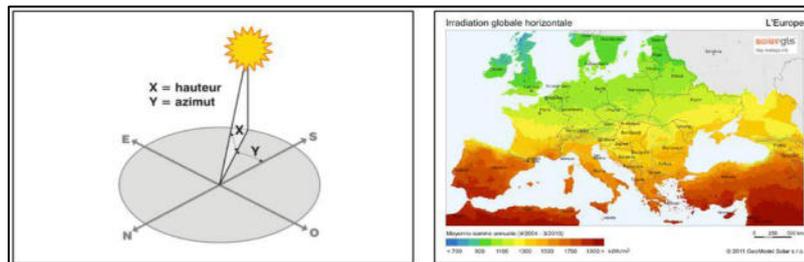
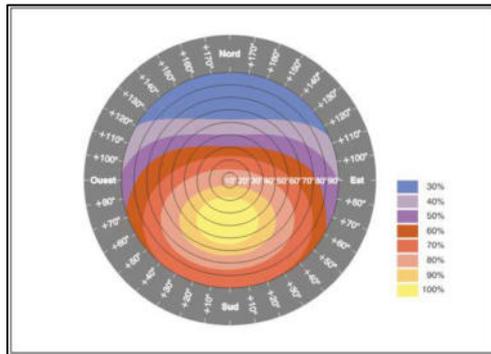


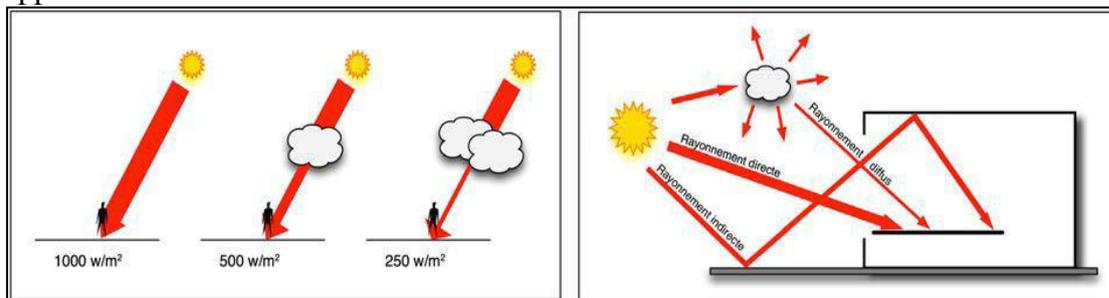
Figure I-21 : Azimut et hauteur du soleil (Architecture et Climat, 2012) / Variation des moyennes annuelles d'apport solaire [SolarGIS © 2012 GeoModel Solar)

Outre la position du soleil, le rayonnement solaire est influencé par la composition nuageuse qui caractérise l'atmosphère terrestre. La puissance de l'énergie solaire reçue par la surface de la terre varie suivant le type de ciel. Elle est estimée à 1000 W/m² alors que pour un ciel couvert cette valeur atteint 250 W/m². Ce rayonnement provient de trois composantes. Une première composante directe issue directement du soleil et qui s'annule quand le ciel est couvert ou quand il y a un obstacle qui cache le soleil. Une deuxième composante diffuse qui correspond au rayonnement reçu par la voûte céleste (seulement les rayonnements indirects). Ce rayonnement est diffusé de manière omnidirectionnelle à différentes proportions selon le type de ciel et la position du soleil dans l'horizon. Enfin une troisième composante réfléchie issue des rayonnements réfléchis par l'environnement extérieur (naturel et artificiel) ainsi que les surfaces intérieures de l'espace architectural (Figure I-22)



FigureI-22 : Variation de la puissance du rayonnement solaire sur la surface de la terre selon le type de ciel / les types de rayonnements solaires (Architecture et Climat, 2012).

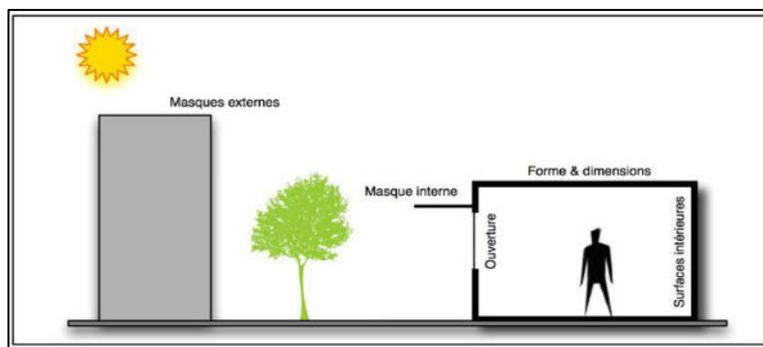
L'orientation des surfaces exposées aux rayons solaires ainsi que leurs inclinaisons participent aussi à la détermination de la quantité d'apports solaires reçue par ces surfaces. Le graphe Fig montre cette influence pour un point de mesure situé en Belgique. Une surface orientée au Sud avec une inclinaison de 40° reçoit le maximum d'apports solaires disponibles alors qu'une surface orientée au Nord avec une inclinaison 90° ne reçoit que 30% de ces apports



FigureI-23. Variation de l'apport solaire selon l'orientation et l'inclinaison des faces en Belgique (source : Architecture et Climat, 2012)

I.4 Effet De La Lumière Chez Les Usager Dans Le Monde :

L'environnement architectural peut influencer la trajectoire des rayons solaires incidents à une surface déterminée. Il peut constituer un obstacle par rapport à la trajectoire des rayonnements solaires réduisant ainsi les apports solaires. Une influence apportée par les bâtiments avoisinant un ou bien par une partie du bâtiment lui-même. Cet environnement peut modifier la trajectoire des rayonnements en les réfléchissant dans d'autres directions constituant ainsi une source secondaire d'apport solaire



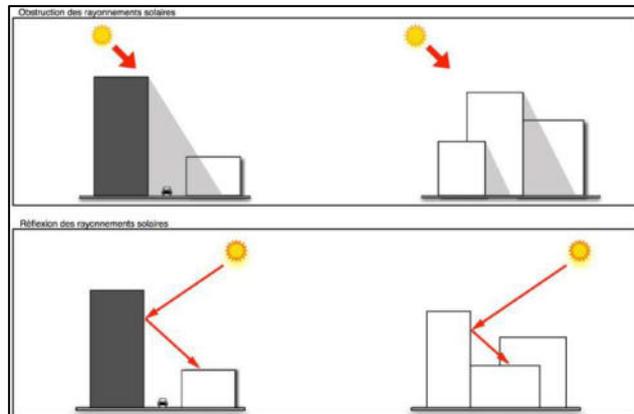
FigureI-24 : Obstruction des rayonnements solaires par l'environnement bâti / réflexion des rayonnements solaires par des écrans internes et externes au projet (source : L'architecture D'aujourd'hui, 1991)

I.4.1. Apports solaires et architecture :

Nous essayons dans cette partie de caractériser le comportement des rayonnements solaires à une échelle architecturale. Il sera question de quantifier et de qualifier l' influence des composantes de l'espace architectural sur la captation et la propagation des apports lumineux. Cette influence est déterminée à partir de l' évaluation du comportement lumineux de cas d'étude sur lesquelles on a réalisé des simulations¹ quantitatives et qualitatives (rendu photo-réaliste, éclairage, luminance).

Nous portons une attention particulière à quatre composantes :

- L'ouverture qui matérialise la liaison entre l'espace architectural et les rayons solaires
- La configuration architecturale déterminant la forme et la géométrie de l' espace
- Les surfaces intérieures de l'espace
- Les masques d'obstruction (internes et externes)



FigureI-25 : Les composantes régissant le rapport entre le rayonnement solaire et espace architectural (source : L'architecture D'aujourd'hui, 1991)

I.4.2. Caractéristiques de la lumière naturelle :

❖ Le changement et la variété de la lumière naturelle :

Le soleil est pour la dynamique, pour les changements de couleur. Le soleil est pour la beauté dans votre environnement. La lumière naturelle est une source De la changement constant, variant d'une heure à l'autre de la journée, d'une saison à l'autre de l'Année et d'un état météorologique à l'autre. Elle varie en intensité en flux lumineux et en direction, et ceci au rythme de la rotation de la terre autour du soleil. Cette variation est loin de représenter un inconvénient vis-à-vis de l'espace, car c'est cette dernière qui lui octroie sa dynamique et son attrait. La lumière et l'obscurité interagissent avec l'individu de façon physiologique



FigureI-26 : Chapelle Avila, Santa Maria, Transtevere, Rome. (source Architecte Antonio Gherardi.)

❖ La modélisation de la lumière naturelle et l'orientation du bâtiment :

La lumière interagit avec l'espace, sa structure, ses textures, et lui procure un jeu d'ombre et de lumière qui fait sa particularité, et ce : à travers sa modélisation. elle dépend de la configuration de l'espace architectural, de sa forme, de ses ouvertures et de son orientation qui influencent la distribution de l'éclairage, les ratios de luminance la perception de la lumière .etc. l'interaction de la lumière pénétrante avec la structure de l'espace intérieur et ses différentes textures déterminent l'aspect de cet espace, et l'expérience de cet espace par l'individu, dont l'appréhension dépend l'espace peut paraître lumineux, spécial ou sombre et cela dépend également du fait qu'il est éclairé latéralement ou de façon zénithale, tout ceci permet en fait d'améliorer l'image de l'espace et du lieu, et donc du bâtiment en lui octroyant son propre cachet, ainsi qu'une valeur durable



Figure I-27 : Galerie de Diana, Venaria Real, Turin. Filippo Juvarra (source Henri Plummer, 2012)

❖ L'orientation du bâtiment :

L'orientation du bâtiment revêt une importance cruciale lorsqu'il s'agit de l'intégration de la lumière naturelle à l'espace intérieur. Ceci dépend de la relation du bâtiment avec son site et de la course du soleil. Une orientation soigneusement réfléchie permettra d'optimiser la pénétration de la lumière, en plus de créer une sensation de bien-être et d'offrir un éclairage agréable, la lumière naturelle permet d'orienter l'individu spatialement et temporellement. À l'aide de la relation créée entre l'intérieur et l'extérieur, il est conscient du temps qui passe et de l'évolution de l'heure ainsi que du climat répondant de ce fait à un besoin biologique fondamental comme nous l'avons vu précédemment



Figure I-28: therme de Vals, Suisse. Architecte Peter Zumthor (source : Henry Plummer 2000 Le changement et la variété de la lumière)

❖ La couleur de la lumière naturelle :

L'homme s'est développé dans un environnement naturellement éclairé, ce qui fait de l'apparence des objets éclairés naturellement une référence. Ceci est étroitement lié à l'indice de rendu de couleur d'une source lumineuse, qui est défini comme étant la capacité pour cette source de restituer huit couleurs normalisées, et seul l'indice de la lumière blanche naturelle qui

possède un spectre complet et continu correspond à l'indice maximal de 100 (l'indice de rendu de couleur) l'aspect original de toute chose dépend donc de la quantité et de la qualité de la lumière.

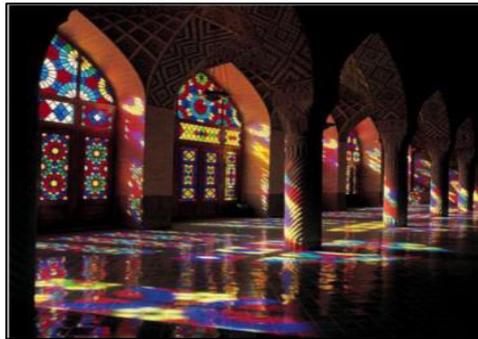


Figure I-29 : Mosquée Nasir-ol-Molk Chiraz, Iran. (Source David Stanely, 2011)

I.5 Définition de l'éclairage naturel :

« *L'utilisation de la lumière du jour pour éclairer les tâches à accomplir* » (Weir, 1998)

L'éclairage naturel est un phénomène physique qui participe à la relation intérieur / extérieur et qui résulte de la répartition de la lumière naturelle pénétrant l'espace construit à travers l'enveloppe et de réflexion de cette lumière par les matériaux constituant le bâtiment. Des facteurs incluant la quantité, le contenu et le contraste, caractérisent la qualité de l'éclairage.

Cette dernière dépend de la taille des fenêtres, de la construction et de propriété de la transmission, la finition appliquée aux murs, les plafonds et les planchers, l'aspect de la construction, le site et l'architecte, et finalement doit être adapté aux tâches et au confort des occupants du bâtiment (Weir, 1998) l'éclairage naturel peut être étudié selon quatre grandes tendances. Ces tendances proposées par Flynn (1980) sont :

- En fonction des besoins des individus
- En fonction de ses propriétés esthétiques et symbolique
- En fonction de ses propriétés techniques et fonctionnelles
- En fonction de sa propriété thérapeutique (luminothérapie)

I.5.1 Type d'éclairage naturel :

Le type d'éclairage naturel est défini par la position des prises de jour qui le procure et qui peuvent être placées soit en façade (éclairage latéral), soit en toiture (éclairage Zénithal), soit les deux à la fois. Mais leurs fonctions restent les mêmes. La prise de jour est cependant un des plus complexes et coûteux composants du bâtiment à cause du grand nombre de rôles contradictoires qu'elle doit jouer tels que l'éclairage et l'occultation, la vue sur l'extérieur et la recherche d'intimité, la pénétration du soleil et la protection solaire, et enfin, l'étanchéité et la ventilation.

En effet, il a toujours été difficile de répondre à toutes ces demandes et certaines priorités dominent chaque conception ; car en plus des qualités techniques nécessaires pour assurer le confort thermique, visuel et parfois acoustique, la prise de jour doit définir l'organisation de l'espace intérieur et situer l'entrée de la lumière naturelle.

Par conséquent, il est préférable lors de la conception des ouvertures de séparer la fonction « visuelle » qui est la vue vers l'extérieur, des fonctions « énergétiques » de la fenêtre qui comprend l'éclairage, le chauffage et la ventilation, puisque la conception d'une prise de jour adaptée à une fonction, n'est probablement pas adaptée aux besoins des autres.

I.5.2 Eclairage zénithal :

D'après c. Terrier et b. Vandevyver¹², le recours à l'éclairage zénithal est Indispensable Pour les constructions dont la hauteur sous plafond est supérieure à 4,50 Mètres. Quant aux locaux de hauteur intermédiaire, de 3 mètres à 4,50 mètres, le choix dépend d'autres caractéristiques à l'image de la profondeur, la largeur et la forme du bâtiment. Si la profondeur du bâtiment par exemple est importante par rapport à la hauteur du local, l'éclairage zénithal sera indispensable afin d'assurer une distribution uniforme des éclairagements intérieurs.

❖ Quels critères pour l'éclairage zénithal ?

Les choix en matière d'éclairage zénithal doivent prendre en compte simultanément quatre impératifs, Premier impératif : il faut assurer un éclairage naturel suffisant dans les locaux de moyenne et de grande hauteur, Pour atteindre cet objectif, la surface des parties transparentes ou translucides est l'élément essentiel. Deuxième impératif, il faut éviter les effets négatifs de l'éblouissement et du rayonnement solaire Les sheds exposés au nord sont préférables aux dômes et verrières qui présentent des inconvénients. Il faut prévoir également le nettoyage intérieur et extérieur dans des conditions de sécurité satisfaisantes par un choix approprié des matériaux (vieillessement, résistance...) et des accès aux faces intérieures et extérieures. Enfin, il faut assurer l'évacuation des fumées en cas d'incendie.

D'autre part, les systèmes d'éclairage zénithal peuvent procurer de la lumière naturelle soit directement ou indirectement. Pour ce qui est des systèmes d'éclairage zénithal direct, ils sont composés uniquement d'une ouverture percée dans la toiture. Tandis qu'un système d'éclairage zénithal indirect est composé de deux parties : une ouverture qui capte la Lumière naturelle et un système de distribution qui réfléchit ou diffuse cette lumière.

I.5.2.1 Dispositifs d'éclairage zénithal direct :

I.5.2.1 Les verrières :

L'architecture moderne utilise abondamment les verrières, notamment pour les halls D'accueil et les grandes surfaces. Elles peuvent être horizontales ou inclinées et sont Économiques à la construction. Elles sont recommandées particulièrement dans le cas de présence d'obstacles extérieurs élevés qui gêneraient éventuellement L'éclairage naturel intérieur.

❖ Verrières horizontales

Du point de vue saisonnier, les ouvertures horizontales se comportent exactement à l'inverse de ce qui est souhaitable : • Beaucoup de gains en été. • Peu de gains en hiver

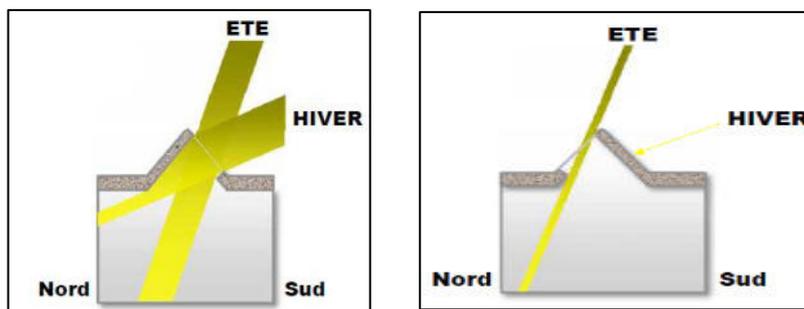


Figure I-30 : Verrières horizontales (source : l'éclairage naturel fiche pratique de sécurité, 2012)

❖ Verrières inclinées :

L'inclinaison des ouvertures permet de rééquilibrer les apports solaires entre hiver et été. L'orientation permet de choisir le « risque » de surchauffe estivale

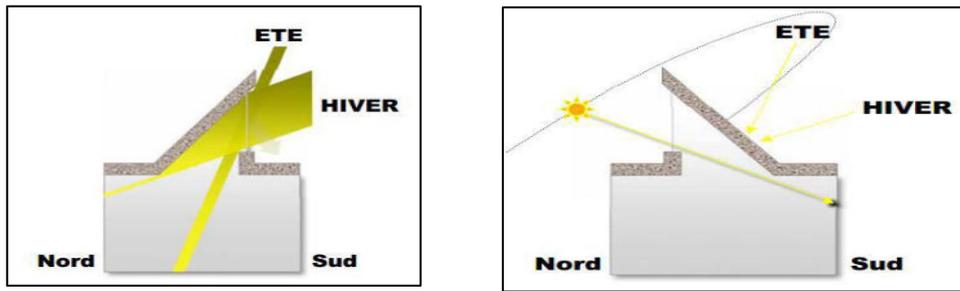


Figure I-31 : verrières inclinées (source : l'éclairage naturel fiche pratique de sécurité, 2012)

❖ **Direction de la lumière :**

Il est possible d'équilibrer les directions de lumière en jouant sur la forme de l'ouverture

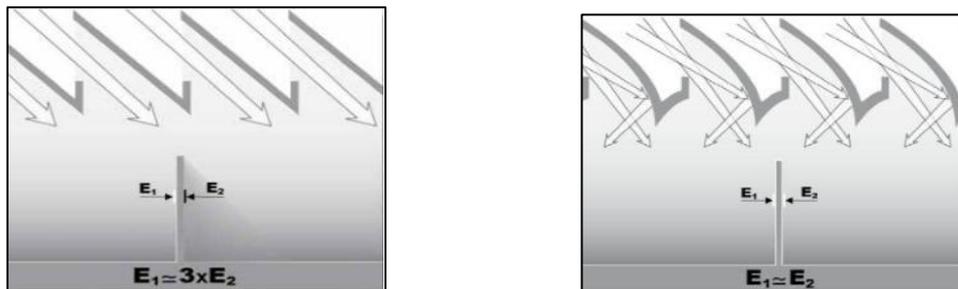


Figure I-32 : direction de la lumière (source : l'éclairage naturel fiche pratique de sécurité, 2012)

I.5.2.2 Les dômes :

Les dômes ne nécessitent pas de structure lourde et ils permettent d'environ 10 % d'indice de vitrage¹⁷. Cependant, ils n'évitent pas la pénétration solaire et, en conséquence, l'éblouissement. Pour empêcher l'éblouissement des occupants, les dômes ne doivent pas être dans un angle de 30 au-dessus de l'horizontale¹⁸. Ceci peut être obtenu en les équipant de costières surélevées et de garde-corps. Les gains de chaleur ainsi que les déperditions calorifiques sont également très importants. Il faut donc penser à les munir de systèmes de protection solaire performants.

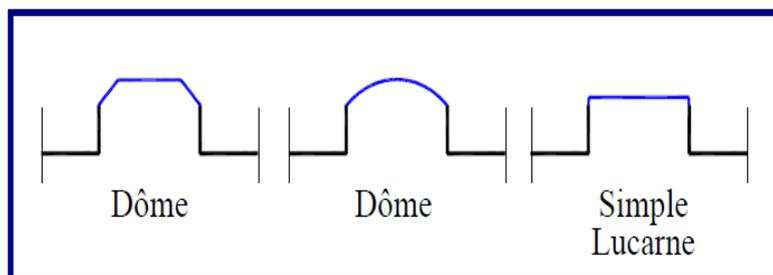


Figure I-33 : dispositifs zénithaux : dôme (source : Source : le milieu physique et le projet d'architecture. P. MILLER-CHAGAS)

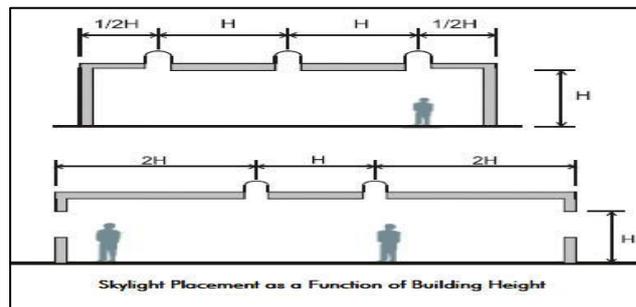
I.5.2.3 Les tabatières (ou skylights)

La tabatière est disposée horizontalement, elle est exposée à une plus grande portion du ciel visible à partir de l'intérieur du local, sans aucune obstruction et dont la luminance est plus élevée. Elle procure de la même manière, un éclairage intérieur uniforme.

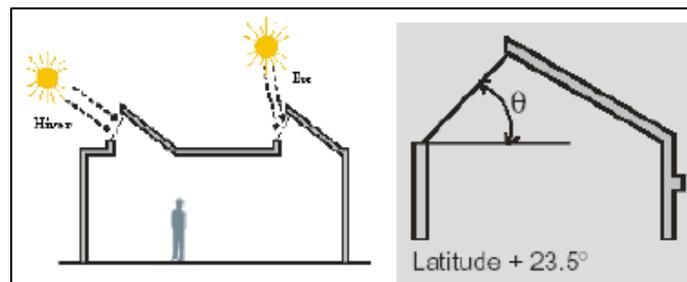


FigureI-34 : Exemples de tabatière (source //www.cahiers-techniques-batiment.fr).

Une autre solution consiste à incliner les vitrages vers le Nord ou vers le Sud afin de collecter plus de lumière l’hiver et moins en été, en sachant que pour une orientation Sud, l’inclinaison doit être supérieure à la latitude du site + 23,5°

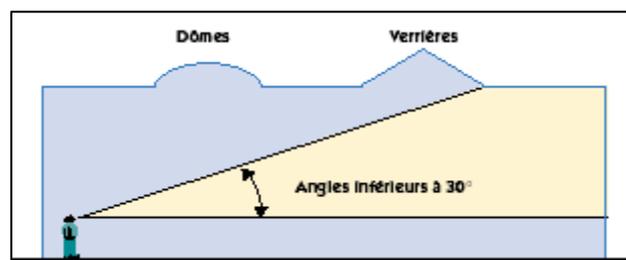


FigureI-35 : Exemple d’inclinaison des vitrages (Source : I. PASINI Et Al, 2002.)



FigureI-36 : Recommandations pour une bonne conception des tabatières (Source : I. PASINI et al, 2002.)

Ces trois dispositifs d’éclairage zénithal direct (tabatières, dômes et verrières), performant du point de vue éclairage, présentent de nombreux inconvénients, notamment un apport solaire important lié à la surface du vitrage, des problèmes d’étanchéité et une difficulté de nettoyage et d’entretien (extérieur et intérieur) qui pourrait réduire leur efficacité, surtout pour les surfaces horizontales (dépôt de poussière).



FigureI-37 : La disposition du dôme par rapport à l’angle de 30(Source : C. TERRIER et B. VANDEVYVER, 1999 [www.inrs.fr])

I.5.3 Dispositif d'éclairage zénithal indirect

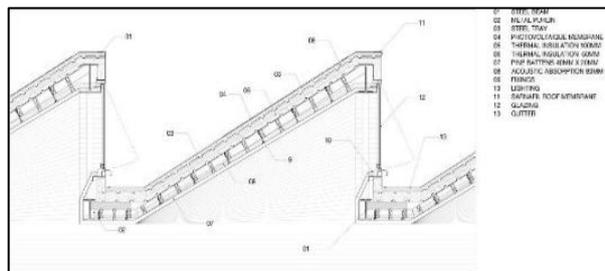
I.5.3.1 Toitures en dents de scie (ou sheds) :

Les sheds sont constitués d'une surface transparente ou translucide appelé « Ouverture » qui collecte la lumière naturelle pour la faire pénétrer à l'intérieur d'un local, et d'une surface opaque inclinée appelée « rampant » faisant face au rayonnement lumineux et qui a pour rôle de distribuer la lumière du jour à l'intérieur du local



FigureI-38 : exemple sheds (source : <https://www.archdaily.com/465263/pajol-sports-centre-brisac-gonzalez>)

Les sheds qui ont fait leur apparition au tournant du siècle précédent en Europe dans les bâtiments industriels puis en Amérique en 1930 (19), sont largement utilisés à présent dans les constructions scolaires. Ce système constitue la meilleure solution pour l'éclairage naturel en procurant de la lumière indirectement car il permet de concilier un éclairage suffisant, homogène (une répartition des sheds sur toute la toiture permet une homogénéité de l'éclairage) et une limitation des apports solaires en jouant sur l'orientation et l'inclinaison du vitrage. Ils permettent aussi de couvrir des espaces de grandes portées tout en bénéficiant des avantages des vitrages verticaux ou peu inclinés.



FigureI-39 : Composantes des sheds ((source : <https://www.archdaily.com/465263/pajol-sports-centre-brisac-gonzalez>)

Les vitrages des sheds peuvent en effet être verticaux et inclinés à 45° ou à 60° par rapport à l'horizontale, en prenant en considération que plus le vitrage ne se rapproche de la verticale, plus sa surface doit être importante pour un facteur de lumière du jour directe équivalent. Il est donc plus économique d'avoir un vitrage incliné qui évitera le rayonnement direct sur le plan de travail. D'après C. TERRIER et B. VANDEVYVER20, une inclinaison de 60° permet d'éviter totalement ce rayonnement, même en été. Tandis qu'une inclinaison de 45° est acceptable, mais moins favorable que la première à cause du rayonnement direct du soleil au zénith, en été.

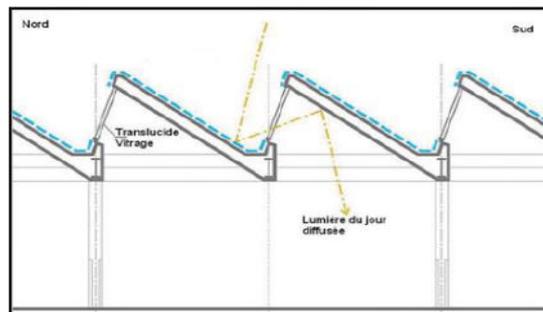


Figure I-40 : Schéma expliquant le dispositif d'une toiture en sheds (source : <https://energieplus-lesite.be/techniques/l-eclairage>)

L'ambiance lumineuse d'un espace couvert par une toiture sheds est diffuse si le vitrage est orienté au nord aux latitudes moyennes de l'hémisphère nord. Il y a homogénéité de l'éclairage si $D \leq 1,5H$.

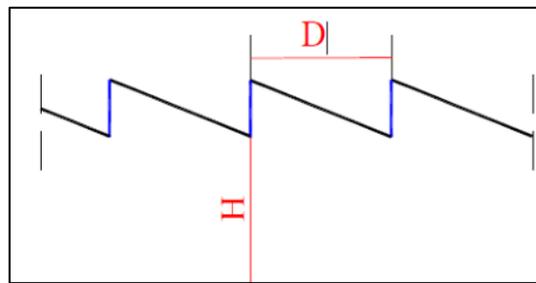


Figure I-41 : dimensionnement des sheds (source : Source : le milieu physique et le projet d'architecture. P. MILLER-CHAGAS)

Les variations de l'intensité lumineuse sont fonction de l'angle d'ouverture qui conditionne la dimension de la portion vitrée et de la portion réfléchissante

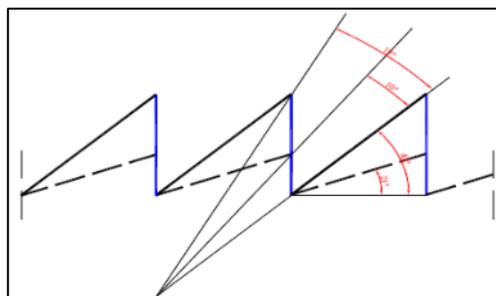


Figure I-42 : L'angle d'ouverture des sheds (Source : le milieu physique et le projet d'architecture. P. MILLER-CHAGAS)

L'inconvénient majeur des sheds consiste à une « directivité » prononcée de la lumière du jour (c'est-à-dire que les rayons lumineux se propagent dans une seule direction déterminée par la forme du shed) due à la mono exposition du vitrage. Ainsi, et comme la montre, la moitié du local faisant face aux vitrages enregistre des valeurs d'éclairage supérieures à l'autre moitié, car elle reçoit la lumière directe du ciel pénétrant à travers les vitrages. L'autre moitié est de plus en plus sombre au fur et à mesure qu'on se rapproche du mur de l'extrémité : le plan vertical à gauche, situé sous la partie opaque du dernier shed, ne reçoit pas de lumière directe du ciel et ne peut être éclairé que par les réflexions internes du local.



FigureI-43 : Effet directif des sheds (source : www.gif-lumiere.com.)

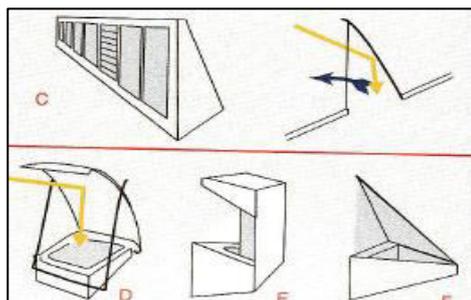
Il existe d'autres dispositifs du type de sheds tels que les **mini sheds** et les **sheds**



FigureI-44 : Les types des sheds (Source : [www.squ1.com])

I.5.3.2Lanterneaux :

Les lanterneaux sont constitués de surélévations de la toiture totalement ou partiellement translucides. Ils peuvent se présenter sous différentes formes tels que : le lanterneau symétrique vertical, le lanterneau asymétrique, le lanterneau symétrique incliné...etc. L'avantage de ce type de système d'éclairage naturel indirect C'est qu'il supprime l'effet directionnel de la lumière du jour que nous rencontrons avec les sheds, grâce à la pénétration de la lumière selon deux ou plusieurs directions à la fois. Ainsi, la distribution des facteurs de lumière du jour est symétrique par rapport à l'axe du lanterneau. Le centre du local enregistre les valeurs maximales et les deux extrémités sont éclairées à peu près de la même manière car elles reçoivent toutes les deux la lumière directe du ciel à travers les deux vitrages, en plus des réflexions internes des parois opaques.



FigureI-45 : les différents forme lanterneaux (source : ventilation et la lumière naturelle)

Pour des exigences d'uniformité de l'éclairage, A. VANDENPLAS²⁵ recommandé que la hauteur du lanterneau soit égale à la moitié de sa largeur (w); et son pas (e) ne doit pas dépasser le double de sa largeur, avec une hauteur sous plafond (H) toujours supérieure à sa largeur (w). D'autre part, F. BOUVIER²⁶ indique que le rapport du pas des lanterneaux (e), à la hauteur moyenne des vitrages (h) doit être inférieur ou égale à 2

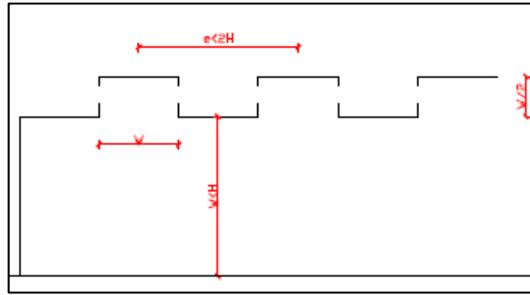


Figure I-46 : dimensionnement des lanterneaux-(source : S. BENHARKAT, 2006)

Une orientation préférentielle Nord-Sud et l’usage de matériaux diffusants auront pour avantage de réduire les effets thermiques.

Pour éviter les zones sombres sur les parties opaques des lanterneaux, dont l’effet est de produire une ambiance triste et déplaisante, il est recommandé de peindre les parties opaques de la toiture en couleurs claires faciles à entretenir, ainsi que les sols. Il faut l’éblouissement des occupants. Pour cela, les sources lumineuses ne doivent pas être situées dans des angles inférieurs à 30° de la direction naturelle du regard²⁴.

Le problème du contrôle du rayonnement solaire direct se posera donc pour toutes les orientations, sauf pour le nord. Voici quelques solutions pour les différentes orientations :

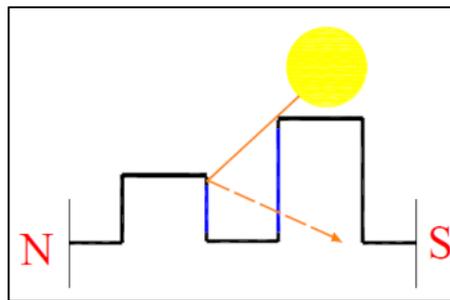


Figure I-47 : Exemples de contrôle du rayonnement solaire dû aux lanterneaux (source : le milieu physique et le projet d’architecture. P.MILLER-CHAGAS)

Une orientation N/S permet une dissymétrie du dispositif (pas de problème de rayonnement solaire direct au N).

Les problèmes du soleil du matin (E) et du soir (W) en sont négligeables : grand angle D’incidence et réflexion du rayonnement dans le lanterneau.

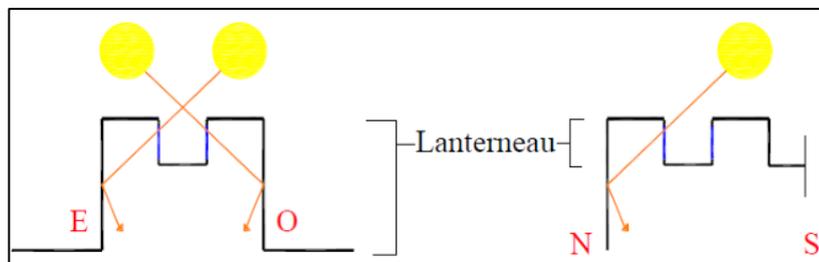


Figure I-48 : Exemple de contrôle du rayonnement solaire dû aux lanterneaux (source : le milieu physique et le projet d’architecture. P.MILLER-CHAGAS).

I.5.3.3 Puits de jour

L'utilisation des puits de jour (patio, cour intérieure et atrium) pour éclairer et pour ventiler les pièces sans ouverture directe sur l'extérieur, remonte à très loin dans l'histoire de l'architecture. C'est une conséquence de la densité du bâti dans la plupart des villes anciennes. La performance énergétique de ces dispositifs est complexe car elle dépend, d'après A. BELAKEHAL et K. TABET AOUL²⁷, de leur géométrie (forme, rapport entre la hauteur et la largeur), des propriétés de leurs surfaces verticales et horizontales (surtout la couleur), de la proportion de fenêtres dans les murs de séparation, de leur orientation et de la qualité du vitrage utilisé (soit pour la couverture ou bien pour les fenêtres latérales).

Par contre leur inconvénient réside dans le fait que la quantité de lumière naturelle disponible aux niveaux des différents étages organisés autour d'eux, diminue au fur et à mesure qu'on s'éloigne de l'ouverture du ciel



Figure I-49 : Performance lumineuse de puits de jour (source : [www.squ1.com])

Pour cela, la partie opaque supérieure de ces systèmes doit avoir un facteur de réflexion élevé pour permettre, en particulier pour les étages inférieurs, une pénétration importante de la lumière. Mais ceci peut conduire à créer des protections contre l'éblouissement dans les parties hautes. De même, l'inclinaison des murs du puits de jour (par exemple de 10°) En ce qui concerne le dimensionnement des puits de jour, les spécialistes recommandent que le ratio de la hauteur sur la largeur de ce type de système d'éclairage zénithal indirect ne doit pas être supérieure à 2/1 pour qu'il soit efficace car un puits de jour trop profond suscitera des problèmes d'éclairage dans les niveaux inférieurs²⁹. Cependant, une augmentation de sa largeur aura pour effet d'accroître considérablement la quantité de lumière naturelle dans les pièces mitoyennes. Selon I. PASINI et al³⁰, le ratio optimal est égal à 1

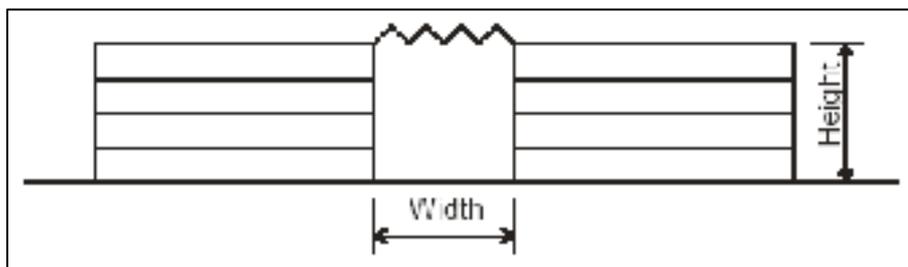


Figure I-50 : ratio optimal de la hauteur sur largeur du puits de jour (source : I. PASINI, 2002)

I.5.3.4 Conduits de lumière ou « light pipes » :

A cause de nombreuses fonctions qu'il apporte (la collecte, direction et canalisation de la lumière solaire vers n'importe quel espace d'un bâtiment) il est défini comme un système d'éclairage naturel sophistiqué. Ce système est constitué de trois composants principaux fig.

- Collecteur/ concentrateur, connu sous le nom d' « héliostat »

- Un système de transport dont les surfaces internes ont grande réflectivité
 - Un émetteur.
- La technique de conduit de lumière a pour but d'éclairer par la lumière du jour des espaces qui n'ont pas un contact direct vers l'extérieur, comme des sous-sols, par exemple. Ce système permet aussi de rendre les luminaires électriques offrant une lumière propre dont la source initiale est la lumière naturelle

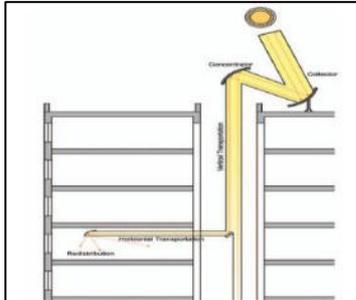


Figure I-51 : Les composants du système
(Source: Butgenbach L'chtLabor)



Figure I-52: Le fonctionnement du système
(Source: Butgenbach L'chtLabor)

I. 5.3.5 Puits de lumière :

Le puits de lumière consiste à conduire la lumière du soleil à l'intérieur d'une pièce par le biais d'un tube. La lumière est captée par une coupole ou par une vitre, installée sur le toit. Il est constitué de trois composants : une coupole qui capte la lumière de l'extérieur, un conduit de lumière qui se présente sous la forme d'un tube recouvert d'un film réfléchissant permettant de guider la lumière par réflexion et enfin, un diffuseur, qui répartit la lumière dans la pièce à éclairer.

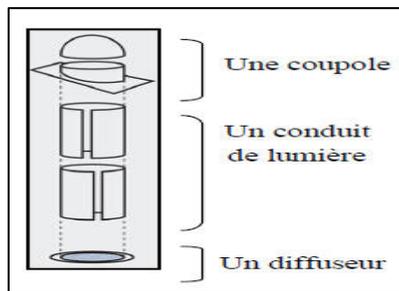
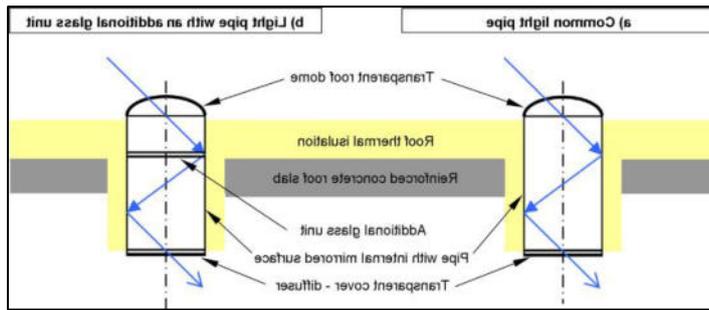


Figure I- 53 : composant de puit de lumière
(Source : Guide de dimensionnement des conduits de lumière naturelle)



figure I-54 : exemple de puit de lumière
(Source : <http://www.natureetconfort.fr>)

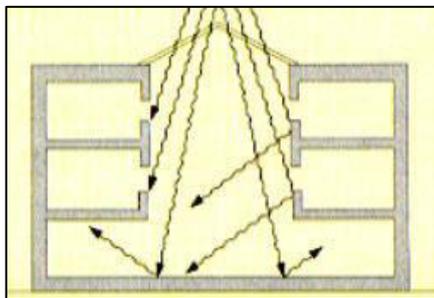
Ce nouveau système d'éclairage zénithal permet d'éclairer naturellement les espaces sombres et de réduire considérablement la consommation énergétique de la pièce pendant le jour. Cette quantité de lumière fournie par le système varie au cours de l'année.



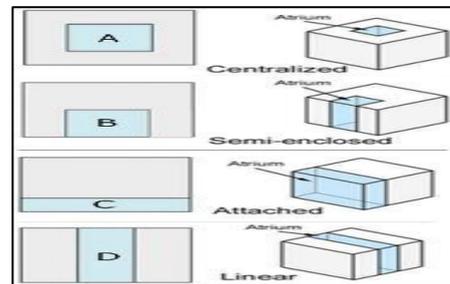
FigureI-55 : Schéma expliquant le dispositif puits de lumière (source : <https://www.researchgate.net/figure/Types-of-light-pipes>)

I.5.3.6 Atrium :

Un atrium est une cour intérieure couverte d'une verrière. Il s'agit d'une percée, en général effectuée sur toute la hauteur d'un édifice qui accroît fortement les possibilités de pénétration de la lumière naturelle au cœur des bâtiments. Un atrium au centre d'un bâtiment permet à la lumière du jour de mieux pénétrer dans cet édifice, tout en formant un espace très attrayant. La présence d'un atrium permet également de diminuer les risques d'éblouissement dans les pièces adjacentes, l'atrium permettent d'apporter au centre d'un édifice l'agrément des conditions extérieur de luminosité naturelle que l'atrium extérieures de luminosité, sans leurs désavantages. La quantité de lumière naturelle que l'atrium procure aux espaces adjacents dépend de son orientation de ses dimensions, de l'inclinaison et de la réflectivité des parois ainsi que de la transmission lumineuse de la couverture transparente et de la taille des fenêtres donnant sur l'atrium



FigureI-56 : L'atrium, la cour intérieure



FigureI-57 : forme de l'atrium

(Source : Herzog et Partner, L'éclairage naturel 2ème partie)

I. 5.4 l'éclairage latéral :

L'éclairage latéral est le plus courant, notamment car c'est le plus facile à mettre en place, et dans une construction à plusieurs étages pratiquement le seul possible.

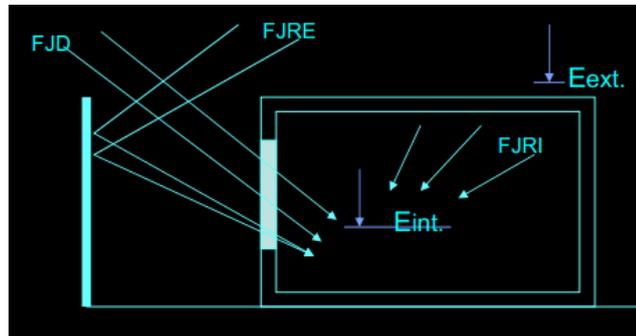
L'éclairage latéral caractérisé par l'usage de prises de jour en façade, ce type d'éclairage est associé aux locaux de faible hauteur sous plafond : de 2,50 mètres à 3mètres.

C'est le type le plus utilisé et le plus ancien et qui répond à trois besoins fondamentaux : la lumière, la vue et la ventilation. Une intégration des dispositifs de protection solaire est souvent mise en place afin de réduire l'éblouissement grâce à la pénétration du flux lumineux indirecte.

Il est impératif de noter aussi que l'éclairage naturel latéral est accompagné de l'effet du contraste qu'on peut diminuer à l'aide de l'éclairage bilatéral ou à l'aide d'autres moyens tel que la taille des ouvertures, leurs dispositions...etc.

❖ **Quels critères retenir pour l'éclairage latéral ?**

On retient, pour l'évaluation des valeurs d'éclairage pour des ouvertures unilatérales, la méthode de la CIE, Commission internationale de l'éclairage. Cette méthode est basée sur une évaluation du FJD, à l'intérieur du local à travers des prises de jour, donc sans châssis, ni vitrage. donne les valeurs de FJD (fac en fonction des caractéristiques du local et des prises de jour, il faut noter que si un obstacle vient occulter la prise de jour la hauteur d'ouverture à considérer. Ensuite, on peut ajouter l'éclairage réfléchi par l'obstacle égal à l'éclairage avec une hauteur.



FigureI-58 : Les valeurs FJD (source : Auteur)

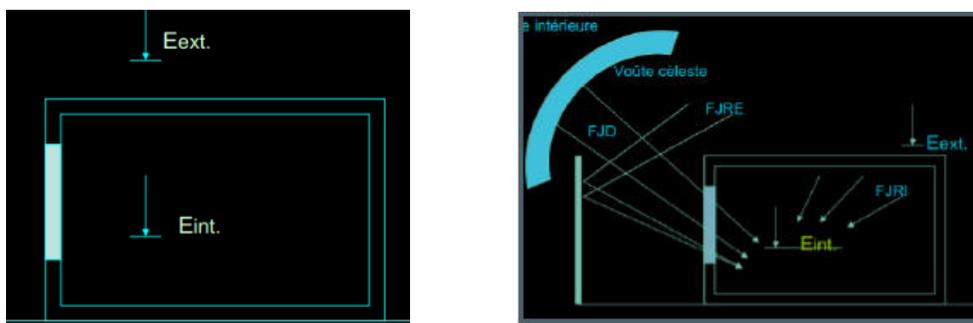
Le facteur de lumière du jour (FJ) :

Le paramètre qui quantifie l'éclairage naturel en un point intérieur d'un local est le facteur de lumière du jour FJ, exprimé en % : rapport de l'éclairage en un point du plan considéré à l'éclairage extérieur sur un plan horizontal, en site dégagé, par ciel couvert. (rayonnement.solaire.diffus).

- $FJ = (E_{int}/E_{ext}) \times 100$.

E_{int} = Eclairage horizontal à l'intérieur du local.

E_{ext} = Eclairage horizontal extérieur en site dégagé



FigureI-59 : les facteurs de Fj(source :auteur)

Le facteur de lumière de jour est décomposé en trois parties :

1. Composante directe. FJD.
2. Composante réfléchie extérieure FJRE.
3. Composante réfléchie intérieure. FJRI.

avec : $D = FJD + FJRE + FJRI$ en %. Avec :

- FJD : composante directe de la voûte céleste.
- FJRE : composante réfléchie extérieure.
- FJRI : composante réfléchie intérieure.

Ces trois composantes ont des importances diverses :

Près des fenêtres la composante du FJD est en général prépondérante sauf s’il y a un masque crée par des bâtiments devant la façade (dans ce cas-là, c’est la composante du FJRE qui est importante). Par contre, au fond du local, la composante FJRI prend une valeur relativement importante alors qu’elle est négligeable près des ouvertures

Facteur de lumière du jour et fonctions des bâtiments :

Facteur de jour	<1%	1 à 2 %	2 à 4 %	4 à 7%	7 à 12%	>12%
	Très bien	bien	modère	moyen	élevé	Très élevé
Impression de clarté	Sombre à peu éclairé		Peu éclairé à clair		Clair à très clair	
Ambiance	Le local semble être sur lui-même			Le local s’ouvre vers l’extérieur		
Activité recommandées	Circulation, sanitaire, greniers, garages		Minimum pour les pièces habitables		Activités ponctuelles, lecture, couture, mécanique	
Eclairage intérieur quand l’éclairage extérieure est de 10000 lux	Moins de 100 lux	100 à 200 lux	200 à 400 lux	400 à 700 lux	700 à 1200 lux	Plus de 1200 lux

Tableau I-1 : indicatif liant le facteur de lumière du jour avec activité possibles (source : ventilation et la lumière naturelle)

/		compétition	
Sports	Entrainement loisirs	Nationale régionale	Internationale
Gymnastique	200	400	600
Athlétisme	200	400	600
Volley Ball	300	500	800
Hand Ball	300	500	800
Tennis	300	500	800
Basket	300	500	800
Escrime	300	500	800
Tennis de table	500	500	800

Tableau I-2 : niveau d’éclairage recommandés dans salle de sport (source : Les équipements sportifs programmation, conception et maintenance)

L’orientation : Nord : Les espaces orientés au nord ne bénéficient pratiquement pas du soleil. La qualité de la lumière naturelle y est très constante.

Sud : Les espaces orientés au sud bénéficient d’un ensoleillement maximum en hiver (soleil bas). En été les ouvertures orientées au sud peuvent être facilement protégées à l’aide d’un avant-toit (balcon, auvent, etc.).

Est et Ouest : Les espaces orientés à l’est ou a l’ouest reçoivent un maximum d’énergie en été, le matin pour l’est et le soir pour l’ouest. Le soleil étant bas sur l’horizon, il convient d’équiper ces ouvertures d’un vitrage de contrôle solaire adapté afin de réduire les risques de surchauffe et d’éblouissement. Les ouvertures orientées à l’ouest sont particulièrement concernées puisque, lorsqu’elles sont ensoleillées, la température extérieure est souvent élevée (fin d’après-midi) ; l’ouverture des fenêtres ne permet alors pas de rafraichir l’espace.

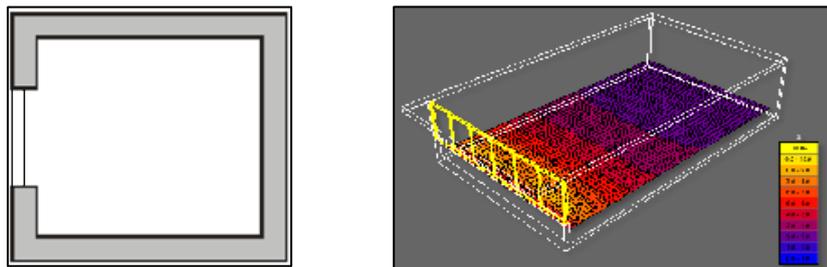
La position : Il s’agit donc de la configuration de la baie : latérale sa position dans la paroi influe de manière directe sur la quantité de lumière naturelle à l’intérieur de l’espace. Plus la fenêtre est élevée, mieux le fond du local est éclairé (Reiter et Herde, 2004)

L'inclinaison : Que la fenêtre soit en creux, au nu ou en avancée ne change rien aux performances lumineuses globales de la pièce. En revanche, un ébrasement permet de créer une zone de transition lumineuse entre intérieur et extérieur.

La proportion : Pour le cas de la baie latérale on se basera sur l'indécente la surface de la fenêtre et la surface sol. Les valeurs référentielles prise en compte sont comme suit : Très faible : inférieur à 1 %, Faible : 1 à 4 %, Moyen : 4 à 10 %, Grand : 10 à 25 %, Très grand : supérieur à 25 %

I. 5.4.1 Les types d'éclairage latéral :

Il s'agit d'un éclairage fourni par une ou plusieurs ouvertures verticales disposées sur une même façade d'une orientation donnée.



FigureI-60 : performance lumineuses d'un dispositif d'éclairage unilatéral (source :www.squ1.com)

Cet emplacement cause des effets de reliefs et des contrastes. Le défaut majeur de ce type est que l'éclairage intérieur résultant est très peu uniforme, et cela est dû au rapport entre la profondeur du local et la hauteur de l'ouverture. En effet, si l'intérieur est trop profond par rapport à la hauteur de l'ouverture au-dessus du plancher, l'éclairage sera insuffisant au fond du local car, d'après ROBERTSON, K22, une lumière du jour suffisante pénètre sur une distance d'une fois et demie la hauteur de l'ouverture au-dessus du plancher, bien que cette distance puisse atteindre deux fois cette hauteur sous un ensoleillement direct

I. 4.5 Eclairage bilatéral :

L'éclairage bilatéral consiste à avoir des ouvertures verticales sur deux murs, soit parallèles, soit perpendiculaires, d'un même local

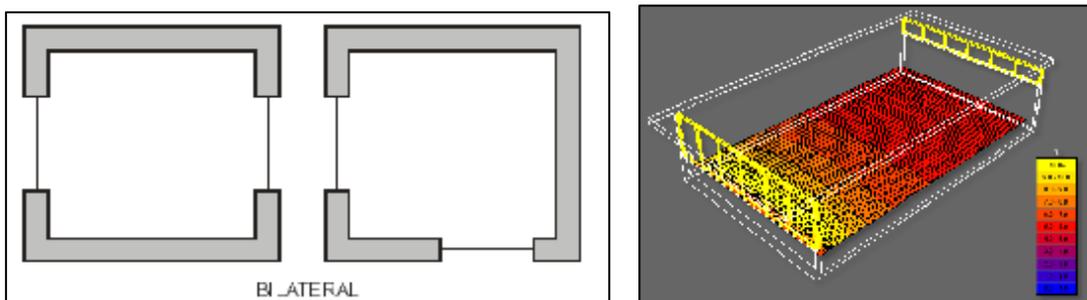


Figure I-61 : dispositifs d'éclairage bilatéral et ses performances lumineuses (Source : [www.squ1.com])

Cette solution remédie au défaut majeur que pose l'éclairage unilatéral. En effet, selon A. VANDENPLAS41, la profondeur des pièces éclairées par un dispositif bilatéral peut atteindre facilement quatre fois la distance entre le plafond et le plan utile. Ce qui permet d'éclairer efficacement un local de dimensions plus importantes que celles permises par un éclairage unilatéral. En plus, il procure un éclairage plus uniforme et réduit les contrastes ainsi que les risques d'éblouissement.

I.5.4.2 Eclairage multilatéral

L'éclairage multilatéral présente de nombreux avantages, notamment :

- Favoriser la ventilation naturelle transversale des pièces en la doublant ou en la triplant.
- Les ouvertures réduisent les ombres denses et augmentent les contrastes à l'intérieur des pièces.
- Les ouvertures réduisent le risque d'éblouissement du ciel en augmentant l'éclairement des murs de fenestration.

Mais il présente certaines contraintes dont la plus importante consiste à augmenter les risques de surchauffe en période estivale ainsi que les déperditions de chaleur en période hivernale.

I.5.5 Dispositif d'éclairage latéral :

I.5.5.1 Les étagères de lumière (light shelf) :

Un light shelf est un auvent dont la surface supérieure est réfléchissante qui se situe au niveau de la fenêtre, utilisé aussi bien pour canaliser passivement l'éclairage naturel dans un espace et pour fournir de l'ombre. La lumière du soleil est réfléchiée par la surface supérieure du light shelf vers l'intérieur de local et en particulier vers le plafond qui fournit une lumière diffuse supplémentaire qui donne un éclairage uniforme et permet également la pénétration de la lumière profondément, ce qui réduit le besoin d'éclairage artificiel.



Figure I-62 : Dispositif d'éclairage naturel (light shelf)

(Source : <https://rivercitygranitestl.com/office-lighting-daylight>)

C'est de faire pénétrer la lumière profondément dans la pièce de réduire les charges de refroidissement en diminuant les gains solaires et d'augmenter le confort visuel. Les light shelves permettent de contrôler la lumière directe du soleil en réduisant l'éblouissement, tout en admettant la lumière du ciel et les rayons solaires réfléchis. La surface du light shelf doit être aussi réfléchissante que possible mais peut être mate, brillante ou spéculaire. Le plafond est aussi un élément important influençant les performances des light shelves car il joue le rôle de distributeur de la lumière naturelle qui est redirigée vers l'intérieur par le light shelf. Il est donc important de combiner le light shelf un plafond très réfléchissant. L'orientation la plus favorable c'est l'orientation sud dans les locaux profonds. La plus défavorable c'est l'orientation est et ouest car ses performances sont fortement réduites, pour lesquelles le rayonnement solaire a un angle d'incidence plus faible. Pour un bon éclairement il faut placer les light-shelves l'extérieur

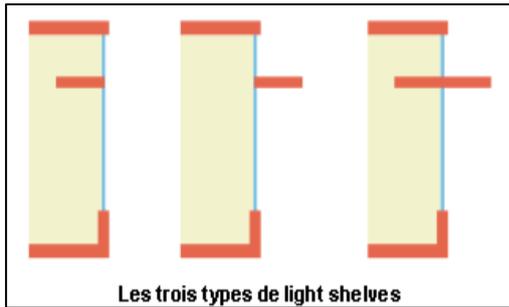


Figure I-63: les types light shelf

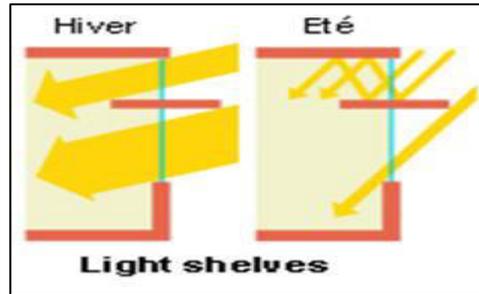


figure I-64 : schéma explicatif du dispositif

(Source : www.energieplus.com)

Effet de la hauteur de la partie supérieure de la fenêtre

Pour que l'étagère de lumière fonctionne efficacement, il doit être installé au moins à 2 m au sol. Si le light shelf se trouve en haut et si la hauteur de la partie supérieure de la fenêtre est grande, le light shelf peut fournir une pénétration plus profonde de la lumière naturelle dans le local tout en ombrant la fenêtre. Ceci est parce que le système peut jeter tous les rayons directs du soleil vers l'intérieur du local. Ainsi, grâce à ce système, la profondeur de la zone intérieure peut s'étendre sur une distance de 3 mètres à 7 mètres de la fenêtre. La figure montre que la lumière naturelle captée par le light shelf se distribue plus profondément dans le local dans le cas où le light shelf est placé le plus haut possible dans la fenêtre.

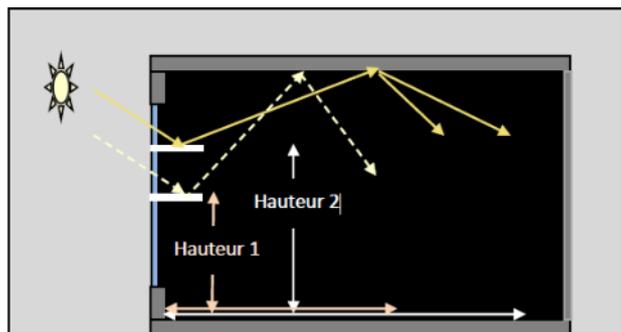


Figure I-65 : La hauteur du light shelf (source : Auteur)

I.5.5.2 Les stores réfléchissants :

Les stores réfléchissants actuels sont utilisés dans le double but d'ombrager un espace du rayonnement solaire direct et de rediriger la lumière naturelle vers le fond du local.

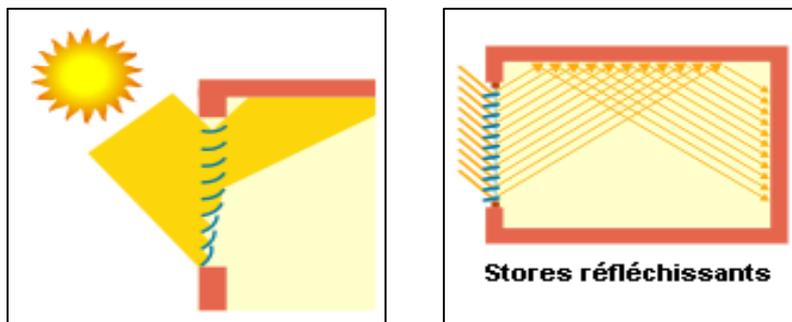


Figure I-66 : Les stores réfléchissants (source : www.energieplus.com)

Ces stores peuvent être fixes ou mobiles. Les stores réfléchissants peuvent être considérés comme un développement compact d'un light shelf. Cependant, les lamelles ombragent la fenêtre moins complètement et redirigent moins efficacement la lumière vers le fond de la pièce qu'un light shelf, cependant, les lamelles ombragent la fenêtre moins complètement et redirigent moins efficacement de la lumière vers le fond de la pièce qu'un light shelf. il existe des stores réfléchissants dont l'inclinaison des lames peut être variable en fonction de leur emplacement dans la fenêtre : la partie supérieure de la fenêtre redirige la lumière vers le plafond, alors que la zone inférieure produit un ombrage du même type que les stores vénitiens conventionnels

I.5.5.3 Les système anidoliques :

Le système anidoliques utilisent des réflecteurs spéculaires courbes, conçu pour profiter de la lumière diffuse du ciel, Le plafond anidolique est un système de distribution intensif de la lumière naturelle adapté au ciel couvert, Il s'agit en fait d'un conduit lumineux intégré dans un plafond suspendu au milieu de la pièce. Les éléments anidoliques sont placés aux deux extrémités du conduit lumineux : à l'extérieur pour collecter la lumière du ciel et à l'intérieur pour contrôler la direction de la lumière émise dans le local. Le problème des conduits lumineux traditionnels pour récolter la lumière du ciel réside dans leur section importante qui nécessite l'ajout d'un volume supplémentaire aux volumes habitables du bâtiment. L'adjonction d'un système anidolique permet de diminuer fortement la section du conduit lumineux par concentration de la lumière. Ce système permet donc d'augmenter le niveau d'éclairage dû à la lumière naturelle dans les espaces profonds, ce qui peut devenir considérable par ciel couvert, tout en occupant l'espace réduit d'un faux plafond.

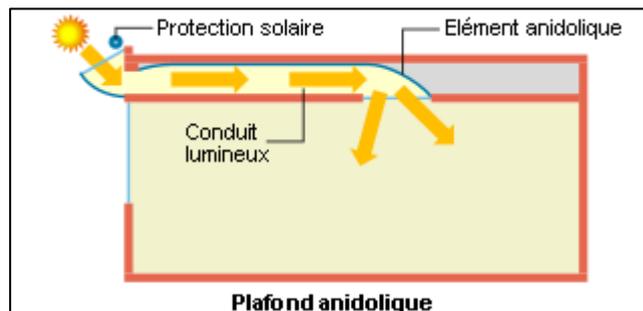


Figure I- 67: schéma explique système anidoliques: (Source: Energy Efficiency Manual, Control And Use Of Sunlight,)

I.6 Confort visuel :

I.6.1 Définition :

Le confort visuel c'est une relation visuelle satisfaisante avec l'extérieur. Le confort visuel lié à la perception et la sensation de l'être humain dans son environnement notre vision aux objets diffère d'une personne à une autre soit on les voit nette ou flou ça dépend le degré d'éclairage élevé ou faible, hétérogène dans l'espace ces facteurs peuvent cause une fatigue à l'œil voire même des troubles visuels, accompagnés d'une sensation d'inconfort et d'une performance visuelle réduite Le confort visuel agence plusieurs paramètres physiques :

L'éclairage, la luminance, le contraste. L'éblouissement et le spectre lumineux. Auxquels, ils octroient un ajout sur les caractéristiques de l'environnement et à la tâche visuelle à accomplir comme la taille des éléments à observer et le temps disponible pour la vision [Liebard, 2003-5) a défini le confort visuel comme une impression subjective liée à la quantité, la distribution et la qualité de la lumière L'environnement visuel nous procure une sensation de

confort quand nous pouvons voir les objets nettement et sans fatigue dans une ambiance colorée agréable.

En 2002 Gratia confirme que le confort visuel dépend d'une combinaison de paramètres physiques : l'éclairage. La luminance, le contraste, l'éblouissement et le spectre lumineux, auxquels s'ajoutent des caractéristiques propres à l'environnement et à la tâche visuelle à accomplir, comme la taille des éléments à observer et le temps disponible pour la vision. Le confort visuel relevé, en outre, de facteurs physicothéologiques et psychologique liés à l'individu tels que son âge, son acuité visuelle ou la possibilité de regarder à l'extérieur.

Ainsi que Reitre en 2003 indique dans sa thèse que l'obtention d'un environnement visuel confortable dans un local favorise le bien-être des occupants. Par contre, un éclairage trop faible ou trop fort, mal réparti dans l'espace ou dont le spectre lumineux est mal adapté à la sensibilité de l'œil ou à la vision des couleurs, provoque à plus ou moins longue échéance une fatigue, voire même des troubles visuels, accompagnés d'une sensation d'inconfort et d'une performance visuelle réduite

L'exigence de confort visuel consiste généralement d'une part à voir certains objets et certaines lumières sans être ébloui, et d'autre part à avoir une ambiance lumineuse satisfaisante, quantitativement en termes d'éclairage et d'équilibre des luminances, et qualitativement termes de couleurs. Utilisée à bon escient, la lumière naturelle a des effets positifs, physiologiquement et psychologiquement, et est recommandée par le Code du Travail. Pour réaliser les conditions de confort visuel dans l'environnement intérieur du bâtiment.

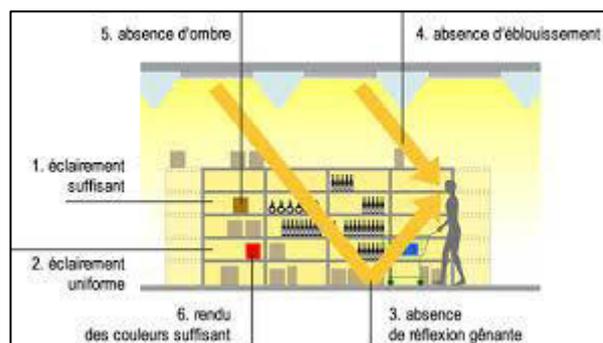


Figure I-68 : les critères du confort visuel en un coup d'œil. (Source : energieplus-lesite.be)

I.6.2 Les paramètres physiques de confort visuel :

Le confort visuel dépend d'une combinaison de paramètres physiques, auxquels s'ajoutent des caractéristiques propres à l'environnement et à la tâche visuelle à accomplir, comme la taille des éléments à observer et le temps disponible pour la vision. Le confort visuel relève, en outre, de facteurs physiologiques

1. Le niveau d'éclairage de la tâche visuelle.
2. Rendu des couleurs correct.
3. Une répartition harmonieuse de la lumière dans l'espace.
4. Les rapports de luminance présents dans le local.
5. L'absence d'ombres gênantes.
6. La mise en valeur du relief et du modelé des objets.
7. Une vue vers l'extérieur.
8. Une teinte de lumière agréable

Dimension des ouvertures : Sans tenir compte de l'ensoleillement direct, et donc indépendamment de l'orientation, on considère qu'une pièce est correctement éclairée jusqu'à une profondeur de 2,5 à 3 fois la hauteur du linteau, D'autre part, une surface éclairante équivalente à 1/5 de la surface plancher.

Position des ouvertures : Plus une ouverture est haute, mieux le fond du local est éclairé naturellement, Une zone d'ombre est néanmoins créée le long de l'allège.

Forme des ouvertures : La forme de l'ouverture permet d'augmenter le confort visuel en limitant le risque d'éblouissement et les zones d'ombres (39).

Les ombres gênantes : Les ombres qui sont créées par la présence d'un élément entre la tâche visuelle et la source lumineuse sont mauvaises pour la vision puisqu'elles diminuent fortement les contrastes, le travail de lecture ou d'écriture ne peut être perturbé par des ombres parasites (40). La présence d'ombres peut s'avérer gênantes pour les tâches visuelles. En effet, en fonction de sa direction, et de la position de l'observateur, la lumière peut provoquer l'apparition d'ombres portées qui seraient gênantes pour l'accomplissement de l'activité (41). Il faut donc éviter les situations suivantes :

- Un éclairage latéral venant de droite pour les droitiers.
- Un éclairage latéral venant de gauche pour les gauchers.
- Un éclairage provenant du dos des occupants.

I.6.3. L'éblouissement :

L'éblouissement résulte de conditions de vision dans lesquelles l'individu est moins apte à percevoir les objets, suite à des luminances ou à des contrastes de luminance excessifs dans l'espace et dans le temps. L'éblouissement est dû à une luminosité trop intense de surfaces placées dans la direction de la vision ou à un contraste lumineux trop important entre surfaces contiguës. Il place l'individu dans des situations de grand inconfort visuel.

Les sources principales d'éblouissement sont :

- La vision directe du soleil ou du ciel au travers des fenêtres.
- La réflexion du soleil ou du ciel sur les bâtiments voisins
- Un contraste de luminance excessif entre fenêtres et le mur dans lequel s'inscrit,
- Un contraste excessif entre une fenêtre et son châssis
- Une surface intérieure réfléchissante qui crée des contrastes de luminance trop élevé par rapport aux surfaces voisines

Les types d'éblouissement :

- L'éblouissement direct
- L'éblouissement indirect
- L'éblouissement perturbateur
- L'éblouissement invalidant

❖ L'éblouissement indirect :

Provient d'une réflexion perturbatrice sur des surfaces spéculaires ou brillantes telles que le papier, l'éblouissement indirect se présente sous deux formes : L'éblouissement par réflexion et l'éblouissement par effet de voile L'éblouissement réfléchi est produit par la réflexion, sur des surfaces brillantes ou spéculaires, de l'image d'une source de lumière vers l'œil de l'observateur. . L'éblouissement de voile apparaît lorsque des petites surfaces de la tâche

visuelle réfléchissent la lumière provenant d'une source lumineuse et réduisent ainsi le contraste entre la tâche visuelle et son environnement immédiat.

L'éblouissement est classé en deux types selon son degré d'intensité, à savoir l'éblouissement perturbateur (ou d'inconfort) et l'éblouissement aveuglant (ou invalidant)

- ❖ **L'éblouissement perturbateur** : diminue la capacité de l'observateur à distinguer les détails. Si un objet lumineux est placé dans l'axe de la vision de quelqu'un, son œil doit s'ajuster entre la luminance de l'objet lumineux et celle de la tâche visuelle à accomplir, au détriment de la perception des détails. Ce type d'éblouissement peut à la longue entraîner une fatigue
- ❖ **L'éblouissement invalidant** : L'éblouissement aveuglant est tellement intense que l'observateur ne peut plus discerner aucun objet pendant un certain temps.

Pour diminuer les risques d'éblouissement dus à l'éclairage naturel, il faut :

- ✓ Prévoir une grande fenêtre plutôt que plusieurs petites fenêtres
- ✓ Diminuer les contrastes des fenêtres -menuiserie en augmentant le coefficient de réflexion de celle-ci
- ✓ Voiler le ciel par l'utilisation d'une protection solaire
- ✓ Diminuer le contraste mur - fenêtre en éclairant le mur contenant la fenêtre
- ✓ Diminuer le contraste mur - fenêtre en augmentant la part indirecte de l'éclairage naturel (parois du local très claires)
- ✓ Voiler en partie le ciel en assombrissant la fenêtre par un élément déflecteur
- ✓ Voiler en partie le ciel en disposant à l'extérieur des éléments moins lumineux que le ciel (Atrium, cour intérieure)

Conclusion :

A travers ce chapitre nous avons insisté sur l'essentiel des notions de base qui définissent la lumière naturelle dans un cadre architectural, accumulant ainsi plusieurs informations sur la composition de la lumière naturelle, ces grandeurs, ces valeurs ainsi que ces sources.

La lumière est l'élément essentiel qui nous permet de percevoir les objets architecturaux, de l'extérieur comme de l'intérieur, jour et nuit.

Nous avons en parle sur l'éclairage naturel les différents paramètres influant l'éclairage naturel parmi ces derniers qui ont en relation avec l'environnement, par suite les différents dispositifs d'éclairage naturels tels que sont des technique et pratique : les sheds, puits de lumière, les atriums, les lanterneaux, les light selves, les conduits de la lumière, les conduits de lumière...etc. Ainsi les caractéristiques de chacune.

La présence de la lumière naturelle dans les espaces doit impérativement assurer le « confort visuel » de ses occupants, grâce à l'interaction de plusieurs facteurs qu'ont des répercussions tant sur le plan physiologique que psychologique des individus.

Table des matières

L'introduction :	4
1.1 Définition de la lumière :	4
1.2 La lumière naturelle et l'architecture :	4
1.2.1 Lumière naturelle et architecte :	5
1.2.2 Le rôle de la lumière naturelle :	5
1.2.3. Les sources de lumière :	5
1.3. Les effets de la lumière au sens physique :	6
1.3.1. La dimension physique de la lumière naturelle :	6
1.3.1.1 La physique de la lumière réflexion réfraction :	7
1.3.1.2 Lumière et surface.....	9
1.3.1.3 Lumière et couleur	9
1.3.1.4 La quantification et la mesure de la lumière : Le cheminement du rayonnement solaire de la source (le soleil) vers la cible (l'homme). Ce cheminement sera caractérisé en faisant appel aux grandeurs photométriques qui dérivent le parcours des rayonnements solaires. Nous commençons par identifier les propriétés des sources d'éclairage.....	10
1.4 Effet De La Lumière Chez Les Usager Dans Le Monde :	14
1.4.1. Apports solaires et architecture :	15
1.4.2. Caractéristiques de la lumière naturelle :	15
1.5 Définition de l'éclairage naturel :	17
1.5.1 Type d'éclairage naturel :	17
1.5.2 Eclairage zénithal :	18
1.5.2.1 Dispositifs d'éclairage zénithal direct :	18
1.5.2.1 Les verrières :	18
1.5.3 Dispositif d'éclairage zénithal indirect	21
1.5.4 l'éclairage latéral :	27
1.5.5 Dispositif d'éclairage latéral :	31
1.6 Confort visuel :	33
1.6.1 Définition :	33
1.6.2 Les paramètres physiques de confort visuel :	34
1.6.3. L'éblouissement :	35
Conclusion :	37

L'introduction :

Le confort thermique dans les régions à climat chaud et aride se base essentiellement sur limitation des gains de chaleur en période d'été ceci permet de minimiser au maximum les consommations énergétiques liées à la climatisation des bâtiments

La notion de confort demeure plus vaste et ne peut se limiter aux seules conditions physiques qui déterminent le confort de type hygrothermique (température, humidité...etc.), sonore ou olfactif.

Dans ce chapitre nous allons présenter les différents paramètres influant le confort thermique à savoir les paramètres relatifs au climat à l'individu et au milieu bâti.

L'objectif est de dégager les éléments sur lesquels le concepteur peut intervenir pour améliorer les conditions du confort hygrothermique à l'intérieur du bâtiment.

II.1. Définition du confort thermique :

Le confort thermique a été défini comme étant la condition dans laquelle aucune contrainte significative n'est imposée en mécanisme thermorégulateurs du corps humain.

Le confort thermique permet l'obtention de conditions optimales pour tous les systèmes fonctionnels de l'organisme ainsi qu'un haut niveau de capacité de travail.

C'est ainsi la création d'une ambiance qui évite au corps de réagir aux conditions extérieures et d'économiser de l'énergie de son métabolisme, le confort thermique est le bilan équilibré entre les échanges thermiques du corps humain et de l'ambiance environnante.

« Le confort thermique est défini comme un état de satisfaction vis-à-vis de l'environnement thermique. » (Ashrae, 1997)

Il est déterminé par l'équilibre dynamique établi par l'échange thermique entre le corps et son environnement, Pour assurer le confort thermique une personne ne doit avoir ni trop chaud, ni trop froid et ne ressentir aucun courant d'air gênant, donc l'appréciation du confort thermique dépend du métabolisme de chacun ; par exemple : dans une même ambiance quelqu'un pourra se sentir bien (sensation de confort) alors qu'une autre personne pourra éprouver une certaine gêne.

II.2. Modes de transferts de chaleur :

Il est habituel, dans l'étude des transferts thermiques, de distinguer trois grandes parties se rattachant chacune à un mode de transfert particulier de la chaleur. La conduction, la convection et le rayonnement. Chacun de ces modes étant lui-même lié à un processus physique bien déterminé. En effet, comme l'énergie thermique d'un milieu matériel correspond à l'énergie cinétique de ses constituants fondamentaux ayant une certaine liberté de mouvement (molécules, atomes, électrons libres, ...), ceux-ci pourront échanger tout ou une partie de leur énergie thermique, c'est-à-dire gagner ou perdre l'énergie cinétique: Soit par interaction directe avec les particules voisines (choc de molécules par exemple), ce qui correspond à la conduction, soit par absorption ou émission de radiations électromagnétiques, ce qui correspond au rayonnement, enfin dans le cas d'un gaz ou d'un liquide ce qui correspond à la convection(figI-1)

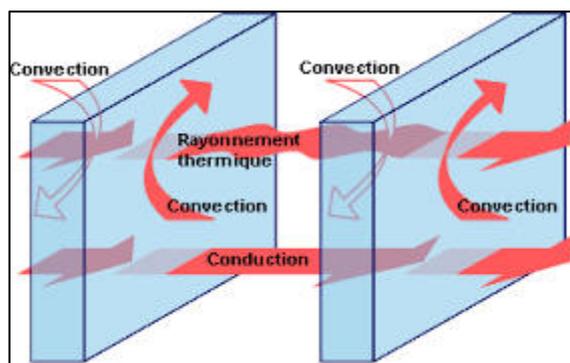


Figure II-1 : Les modes de transferts de chaleur. Source (<http://www.ecohabitation.com/guide/fiches/portesfenetres-entrer-lumiere-conservez-chaleur>)

1) Rayonnement : le rayonnement est un processus physique de transmission de la Chaleur sans support matériel. Ainsi, entre deux corps, l'un chaud, l'autre froid, mis en vis-à-vis (même séparés par du vide), une transmission de chaleur s'effectue par Rayonnement du corps chaud vers le corps froid : le corps chaud émet un flux ϕ_1 et absorbe une partie du flux ϕ_2 émis par le corps froid. comme $\phi_1 > \phi_2$, le bilan du Flux est tel que le corps chaud cède de l'énergie au corps froid. A l'inverse, le bilan du flux peut être retrouvé sur le corps froid qui émet moins d'énergie qu'il n'en absorbe.

2) Convection : La convection est le mécanisme le plus important de transfert d'énergie entre une surface solide et un liquide ou un gaz. Le transfert d'énergie par convection d'une surface dont la température est supérieure à celle du fluide qui l'entoure s'effectue en plusieurs étapes. D'abord la chaleur s'écoule par conduction de la surface aux molécules du fluide adjacentes. L'énergie ainsi transmise sert à augmenter la température et l'énergie interne de ces molécules du fluide. Ensuite les molécules vont se mélanger avec d'autres molécules situées dans une région à basse température et transférer une partie de leur énergie.

3) Conduction : C'est le transfert de chaleur au sein d'un milieu opaque, sans déplacement de matière, sous l'influence d'une différence de température. La propagation de la chaleur par conduction à l'intérieur d'un corps s'effectue selon deux mécanismes distincts: une transmission par les vibrations des atomes ou Molécules et une transmission par les électrons libres.

Matériaux	Capacité thermique massique j/kg.°k	Densité kg/m ³	Capacité thermique par volume kJ/m ² °kc
béton	880	2300	2024
Brique terre crue	900	2000	1800
Brique pleines cuites	840	2000	1680
Eau	4180	1000	4180
Bois	420	600	252
Air	1005	1.2	1.2

Tableau II-1 : tableaux comparatifs de la capacité thermique massique de quelques matériaux (source : ventilation et la lumière naturelle)

II. 3. Les paramètres du confort thermique :

La sensation de confort thermique est fonction de plusieurs paramètres donnés par le tableau II-2 ci-dessous :

Paramètres liée à l'individu	l'activité physique et l'habillement
Paramètre liés à l'environnement	La température de l'air, les sources de rayonnement (radiateurs, soleil), température des surfaces environnements, la vitesse relative de l'air par rapport au sujet et l'humidité relative de l'air.
Autres influences	Les gains thermiques internes, degré d'occupation des locaux, couleur, ambiance,...etc.

Tableau II-2 : Paramètres influents sur la sensation du confort thermique. (Source : Auteurs)

II.3.1 Paramètres liés à l'individu :

a) La vêtue (habillement) :

Les vêtements permettent de créer un microclimat sousvestimental, à travers leurs résistances thermiques en modifiant les échanges de chaleur entre la peau et l'environnement. Leur rôle essentiel est de maintenir le corps dans des conditions thermiques acceptables, été comme hiver.

La vêtue a un rôle primordial d'isolant thermique, notamment en période hivernale et dans toutes les ambiances froides, ce rôle est pris en compte à travers la définition d'un indice de vêtue exprimé en Clo, caractérisant la résistance thermique d'un vêtement. La nature, la coupe des vêtements et l'activité du sujet influencent aussi ces échanges thermiques avec l'environnement

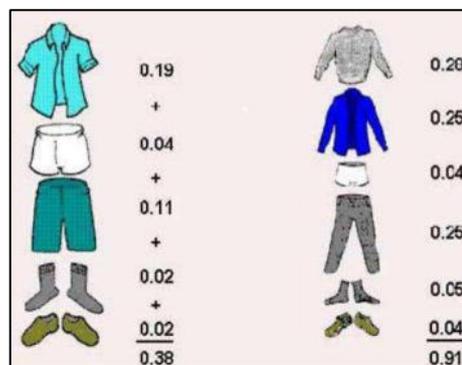


Figure II-2 : Valeur exprimée en Clo des tenues vestimentaires. (Source : http://fr.slideshare.net/naila_athamnia/chapitre3-conf-th)

b) **L'activité :** c'est un paramètre essentiel pour la sensation thermique de l'individu, définissant directement le métabolisme¹³ de l'individu c'est-à-dire la qualité de chaleur produite par le corps humain. Dans le cas d'une très forte activité, elle peut être responsable de sensations d'inconfort chaud, même en présence de conditions météorologiques très favorables

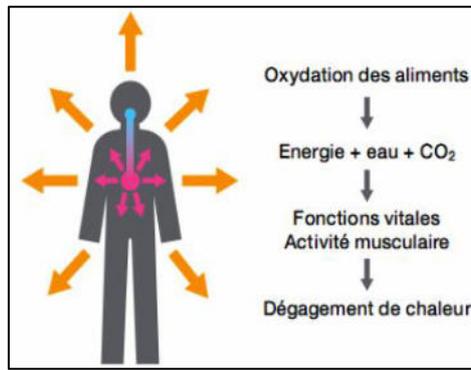


Figure II-3 : Le métabolisme humain (source : Mr MAZARI Mohammed. Etude et évolution confort thermique des bâtiments à caractère public : cas du département d'Architecture de Tamda (Tizi-Ouzou). Mémoire de Magister en Architecture.)

II.3.2 Paramètres liés à l'environnement :

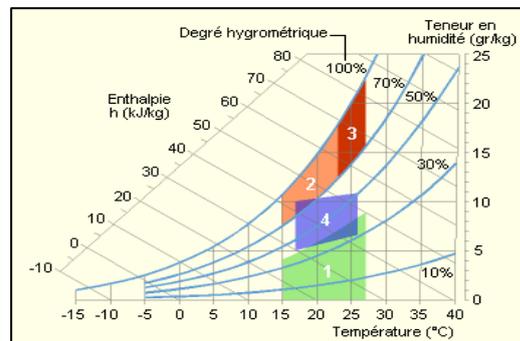
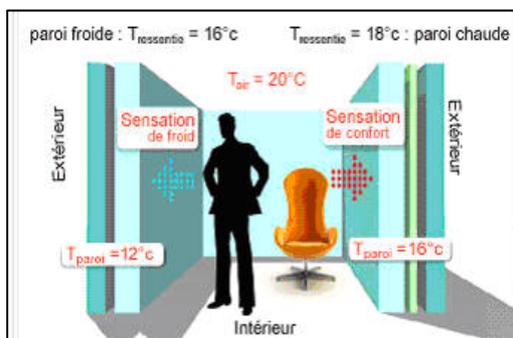
a) La température de l'air ambiant : la température de l'air, ou température ambiante (T_a), est un paramètre essentiel du confort thermique. Elle intervient dans l'évaluation du bilan thermique de l'individu au niveau des échanges convectifs, Conductifs et respiratoire.

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

b) La vitesse de l'air : la vitesse de l'air joue un grand rôle dans les échanges convectifs et évaporatoires, elle intervient dans la sensation de confort thermique de l'occupant dès qu'elle est supérieure à 0.2m/s. toutefois, à l'intérieur des bâtiments, ces vitesses demeurent limitées, ne dépassants pas généralement cette vitesse, sauf en cas de mauvaise conception du bâtiment ou du système d'aération. Elle peut, en revanche être tenue pour responsable de l'application d'inconforts locaux, liées à la présence de courants d'airs froids ou chauds localisés.

c) L'humidité de l'air : l'humidité relative de l'air influence les échanges évaporation cutanés, elle détermine la capacité évaporatoire de l'air et donc l'efficacité de refroidissement de la sueur.

Selon A. Lié bard, entre 30% et 70% l'humidité relative influence peu la sensation de confort thermique¹⁴. Une humidité trop forte dérègle la thermorégulation de L'organisme car l'évaporation à la surface de la peau ne se fait plus, ce qui augmente la transpiration¹⁵, le corps est la plupart du temps en situation d'inconfort



FigureII-4 : La température de l'air ambiant **FigureII-5**:Le diagramme de l'air humide source :www.ecodomisons.fr/- (source :www.energiplus.lesitelestie)

II.3.3 Paramètres liés aux gains thermiques internes :

Avec l'essor de la technologie et des besoins électriques (éclairage, électroménager,...), les apports thermiques internes ont fortement augmenté. Les appareils électriques transforment en effets quasiment toute l'énergie qu'ils consomment en chaleur, les postes informatiques sont également de vraies sources de chaleur et les occupants constituent eux aussi une autre source d'apports internes par le métabolisme. Les apports internes comprennent donc, toute quantité de chaleur générée dans l'espace par des sources internes autre que le système de chauffage.

Ces gains de chaleur dépendent du type du bâtiment, du nombre des utilisateurs et de son usage. D'après H. Boivin¹⁶, le confort de l'espace est directement influencé par le taux de ces gains interne (figure), on peut dire que ces apports sont inévitables dès lors que les locaux sont habités. Il faut noter cependant que ces apports sont variables selon le comportement des occupants, et qu'il constituent donc un facteur d'aggravation de l'inconfort chaud, sur lequel les moyens d'actions architecturaux sont limités. Seuls, une bonne ventilation et un comportement adéquat de l'occupant peuvent réduire ces apports ou leur influence sur la température intérieure

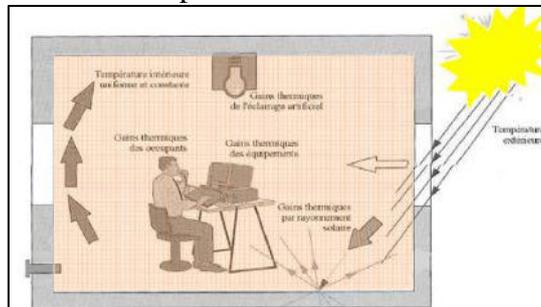


Figure II- 6: Gains thermiques internes d'un espace. (Mr MAZARI Mohammed)

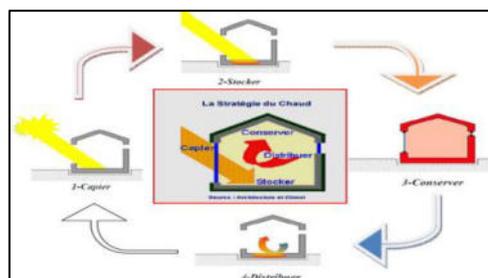
II.4 Le confort d'hiver et d'été :

Le confort thermique peut être défini, lorsque le corps humain ne perçoit ni sensation de froid ni sensation de chaud.

II.4.1 Le confort thermique d'hiver :

II.4.1.1 La stratégie de chaud :

Les bâtiments que l'on construit ou rénove doivent permettre la création de conditions de confort, tant en hiver qu'en été. Pour cela, outre l'architecture, on se base sur des installations de chauffage et éventuellement de climatisation, consommatrices d'énergie. Dans une démarche d'architecture durable, on cherchera à limiter au maximum ces consommations d'énergie par une réflexion sur la conception du bâtiment, encadrée par une « stratégie du chaud »,



FigureII-7 : Concepts de la stratégie du chaud. (Mr MAZARI Mohammed)

La stratégie du chaud consiste en premier à capter les apports solaires qui constituent une source d'énergie inépuisable à travers l'enveloppe extérieure du bâtiment, il dépend essentiellement de l'orientation, la couleur des surfaces exposées au soleil, de type de matériaux et leurs propriétés.

En deuxième lieu stocker la chaleur (l'inertie thermique) pour profiter mieux de l'énergie solaire passive. En dernier la distribution de chaleur, au moment où la chaleur sera accumulée, il faut donc la répartir dans le bâtiment, naturellement par le phénomène de la convection et de rayonnement ou en encore par le mouvement d'air léger (air chaud) vers le haut. La régularisation de la chaleur est garantie par l'inertie des matériaux et par la ventilation.

Au confort d'hiver répond à la stratégie du chaud : capter la chaleur du rayonnement solaire, la stocker dans la masse, la conserver par l'isolation et la distribuer dans le bâtiment tout en la régulant.

II.4.1.2. Les concepts intervenant dans une stratégie du chaud sont les suivants :

- Capter la « chaleur gratuite ».
- Stocker cette chaleur dans le bâtiment.
- Conserver la chaleur accumulée, tout en assurant la qualité sanitaire de l'ambiance.
- Définir des consignes de température assurant un confort thermique suffisant, sans surchauffer.
- Produire le complément de chaleur nécessaire de façon efficace.
- Distribuer efficacement la chaleur dans le bâtiment.

II.4.1.3. Exigences d'hiver :

- En période d'hiver (période de chauffe), les deux (02) éléments importants par rapport aux
- exigences sont la température de l'air intérieur et la température radiante de la pièce.
- Température intérieur : elle est fixée au centre de la pièce à 1.25m de hauteur à 19°C.
- Température moyenne de radiation : cette température ne doit pas dépasser 4°C par rapport à 1m de la paroi froide (l'homme en voisinage stable de ces parois).
- Humidité relative : elle doit être entre 30% et 70%.
- Vitesse de circulation de l'air : à 20°C elle ne doit pas dépasser 0.25m/s

II.4.2. Le confort thermique d'été :

II.4.2.1 La stratégie du froid :

Les canicules récurrentes de ces dernières années font du confort d'été un souci majeur de la conception architecturale. La réponse à ce souci par un recours systématique à la climatisation. Mais cela provoque une augmentation dans la consommation énergétique ainsi que les fluides frigorigènes utilisés dans ces installations sont nuisibles à l'environnement. Dans une démarche d'architecture durable, on cherchera à limiter au maximum ces consommations d'énergie par une réflexion sur la conception du bâtiment encadrée par une « stratégie du chaud »,

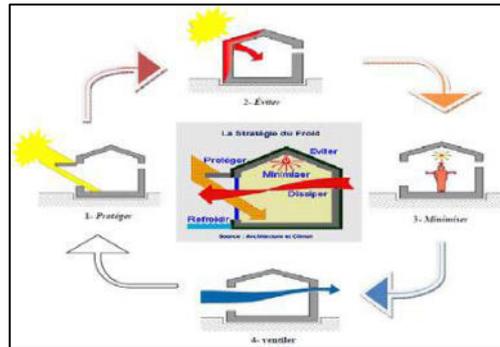


Figure II-8 : Concepts de la stratégie du froid.(Mr MAZARI Mohammed)

Au confort d'été répond la stratégie du froid se protéger de rayonnement solaire et ses apports de chaleur, minimiser les apports internes, dissiper la chaleur excès de refroidir naturellement

II.4.2.2 Les concepts intervenant dans une stratégie du froid sont les suivants :

- La limitation de la demande de froid par la limitation des gains solaires et des charges internes.
- Le rafraîchissement naturel des locaux par une ventilation intensive et une inertie thermique importante.
- L'utilisation raisonnée de l'éventuelle climatisation, par une bonne conception et régulation.

II.4.2.3 Exigences d'été :

En période d'été (période de rafraîchissement), les deux (02) éléments importants par rapport aux exigences sont la température de l'air extérieure et la température effective :

- La température d'ambiance moyenne :
- Climats tempérés : 25 °C à 27 °C
- Climats chauds et secs : 28 °C à 30 °C
- Courant d'air : la vitesse de l'air est limitée de 0.30 à 0.40m/s.
- Température effective : elle est d'ordre de 26 °C

II.5. La réglementation thermique :

La réglementation thermique est un ensemble de lois visant à maîtrise de l'énergie dans le bâtiment, ceci pour assurer le confort des occupants du bâtiment, réduire les émissions de polluants locaux et globaux et diminuer les charges d'exploitations des locaux(notamment le chauffage).

La réglementation thermique présente donc des enjeux économiques pour réduire la facture énergétique, des enjeux environnementaux, pour réduire l'effet de serre dans le cadre des accords de Rio et du protocole de Kyoto et des enjeux sociaux, pour assurer un meilleur confort des occupants.

La réglementation thermique donne un seuil règlementaire de performance pour l'habitation, lieu de travail ou lieu de vie. Ce seuil tient compte de nombreux paramètres dont l'isolation bien entendu, l'ensoleillement, la ventilation, les équipements et système de chauffage, et de leur finesse de régulation et de programmation.

Finalement la réglementation thermique peut aussi comprendre un ensemble de règles obligatoire à observer lors de la construction des bâtiments afin de réduire leur Consommation d'énergie toute en assurant le confort des utilisateurs.

II.5.1. La réglementation thermique en France :

Dans les pays avancés, notamment l'Europe et les États-Unis, la lutte contre les pertes de chaleur avec les réglementations thermiques RT (les deux (02) chocs pétroliers) a permis d'atteindre des niveaux d'efficacité intéressants. En France la RT a connu des principales évolutions entre 1988-2000, qui ont ramené de suite les premières réflexions :

- Les déperditions par les ponts thermiques représenteront 30 à 40% du coefficient U bât, qui caractérise le coefficient moyen des déperditions par les parois du bâtiment comprises surfaces et linéaires des liaisons. Entre 2001 et 2016 ou 2021, il va falloir diviser par trois les déperditions par les ponts thermiques :
- l'isolation thermique par l'extérieur (ITE) est une réponse chère qui ne réduit pas les ponts thermiques en plancher bas, en terrasse ou en façade décrochée ; pour des bâtiments tertiaires, les solutions pertinentes lorsque le bâtiment comporte plus de quatre niveaux identiques.
- l'isolation thermique répartie (ITR), avec des façades en béton cellulaire (BC) ou en terre cuite isolante (TCI) ou "Mono-mur", de 25 à 30 cm d'épaisseur sans doublage thermique rapporté, devrait se développer en habitat individuel et en petit bâtiment résidentiel ou de locaux tertiaires.
- l'isolation thermique par l'intérieur (ITI) doit évoluer avec la mise au point de rupteurs de ponts thermiques (RPT) pour traiter la plupart des ponts thermiques horizontaux et verticaux ; des solutions existent, elles sont chères ou insuffisantes pour atteindre les objectifs aux horizons 2011 et 2016.
- Envisager les traitements des ponts thermiques, par la mise au point de rupteurs thermiques en ITI, l'utilisation de matériaux isolants en ITR ou le recours à l'ITE.
- mettre au point des solutions pour améliorer l'étanchéité à l'air de nos bâtiments, avec, par système constructif, le repérage des jonctions défectueuses, des propositions efficaces

II.5.2. La réglementation thermique en Algérie :

En Algérie, un arsenal juridique important a été lancé, visant à la rationalisation et la maîtrise de l'énergie dans le bâtiment, au-delà de la réglementation Algérienne s'est enrichie par le "**décret exécutif portant réglementation thermique des bâtiments (n°2000-90 du 24/04/2000) qui contient plusieurs règles :**

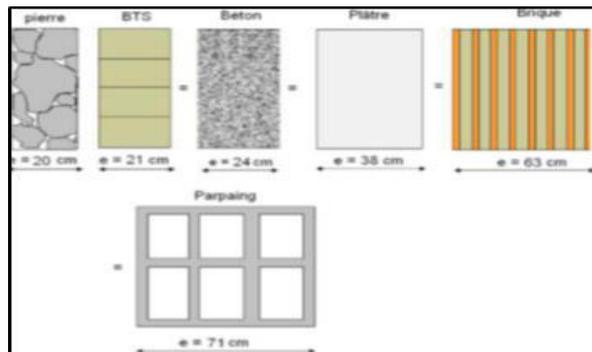
- DTR C 3-2 intitulé « Règles de calcul des déperditions calorifiques » pour le problème d'hiver : Ce DTR concerne la période d'hiver. Il stipule que les déperditions calorifiques par transmission à travers les parois calculées pour la période d'hiver doivent être inférieures à une valeur de référence.
 $DT \leq 1.05 D_{réf.}$ (RETA- Logiciel d'application de la Réglementation Thermique Algérienne. IMESSAD Khaled Maître de Recherche B. Division Solaire Thermique et Géothermie.
- +DTR C 3-4 intitulé « Règles de calcul des apports calorifiques » pour le problème d'été : Ce deuxième DTR est réservé à la période d'été et mentionne que les apports de chaleurs à travers les parois (opaques et vitrées) calculés à 15h du mois de juillet (considéré comme le mois le plus chaud de l'année) doivent être inférieurs à une limite appelée « Apport de Référence » APO (15 h) + AV (15 h) $\leq 1.05 A_{réf.}$
- Le DTR C 3-2 fixe également la procédure de vérification réglementaire.

- DTR portant sur la ventilation naturelle des locaux à usage d'habitation (2005).

Loi N°99-09 du 28 Juillet 1999 relative à la maîtrise de l'énergie :

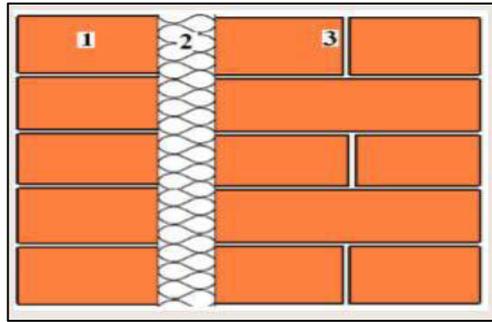
Mesures actives et passives pour améliorer l'efficacité énergétique dans le bâtiment c'est Limiter les déperditions énergétiques en hiver et les apports calorifiques en été par :

Utilisation des matériaux non énergivores (localement disponibles tels que le Béton de Terre Stabilisée (BTS), la pierre et le plâtre : Classification des matériaux de construction suivant leur capacité de stocker une chaleur de 5700 kJ, pour un écart de température de 10 °C entre l'intérieur et l'extérieur comme la démontre la figure suivante.



FigureII-9 La classification des matériaux de construction. (Source : République Algérienne Démocratique et Populaire. Ministère de l'Habitat et de l'Urbanisme. Centre National d'Études et Recherches Intégrées du Bâtiment. Euromed Green Building, Lisbonne 13 et 14 mai 2010. Réglementation thermique et performance énergétique du bâtiment.)

- ❖ **L'orientation adéquate des bâtiments** : L'orientation du logement est un facteur très important à considérer, surtout pour la distribution des ouvertures :
 - L'exposition nord ne peut être retenue,
 - Les expositions est et ouest sont à éviter en raison des surchauffes d'été
 - L'exposition sud est intéressante car elle permet de profiter pleinement des apports solaires en hiver et moyennant des protections solaires adéquates évitent les surchauffes d'été
 - L'idéal est donc une maison dont la façade principale, la plus vitrée, regarde vers le sud.
- ❖ **L'isolation de l'enveloppe et des planchers** : Combinaison de parois : Le idéal est d'avoir des parois qui combinent avantageusement une faible conductivité thermique avec une grande inertie thermique, comme un mur en BTS (14 cm), des Panneaux en polystyrène expansé (9 cm) et un autre mur en BTS (29 cm).



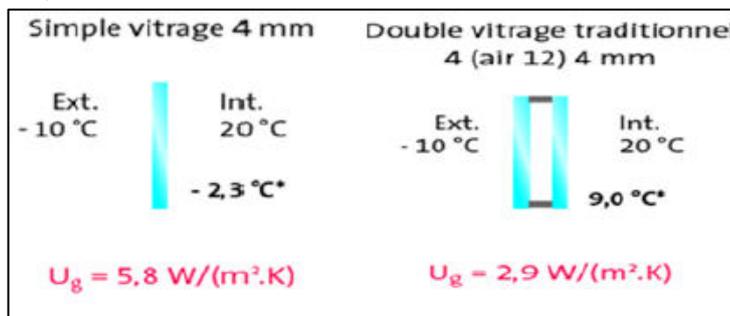
FigureII-10 : paroi qui combine une faible conductivité thermique avec une grande inertie thermique. (source : Source :Réglementation thermique et performance énergétique du bâtiment.)

- ❖ **Ventilation naturelle** : C'est une bonne méthode d'économie d'énergie, facile à mettre en oeuvre. Il est nécessaire de ventiler les locaux pour assurer une ambiance intérieure confortable et de bonne qualité par l'élimination du gaz carbonique, de l'humidité et de tous les composés organiques volatils.

Le système de ventilation naturelle doit comporter :

- Des entrées d'air : elles permettent l'entrée de l'air extérieur et peuvent être Auto-réglables et anti-retour,
- Des dispositifs de transfert de l'air : grilles ou d'étalonnage sous les portes,
- Des sorties d'air dans les pièces humides ou de service (cuisines, SDB, Douches, WC, etc.).

• **Le double vitrage** : Le double vitrage permet d'utiliser la faible conductivité thermique de l'air. L'insertion d'une lame d'air de quelques millimètres entre 2 feuilles de verre réduit le coefficient de transmission, global U_g du vitrage de 5,8 W/m².K à 2,9 W/m².K.



FigureII-11 : La capacité de double vitrage de permettre d'utiliser la faible conductivité thermique de l'air. (Source : PDF : Réglementation thermique et performance énergétique du bâtiment).

D'autre part, malgré cet arsenal juridique il faut signaler que ces réglementations n'ont été suffisamment concrétisées, et cela est dû à la non volonté politique de prendre en charge la surconsommation énergétique dans le bâtiment. Rappelant qu'actuellement les habitats individuels ne sont pas dotés d'une réglementation thermique spécifique.

II.6. Etat de l'art en Algérie :

Malgré la réglementation thermique et tous les décrets cités dedans, on ne trouve aucun d'entre eux met en évidence ou bien concrétiser dans une construction. Déjà, au

niveau de territoire national y a que deux petits essais sur l'habitat de future (quelques techniques d'isolation sont appliquées dans sa construction) ; la preuve que ce volet architectural n'est pas pris en considération.

L'ensemble de ses obstacles, revient à la présence de plusieurs facteurs qui manipulent le système constructif en Algérie, venant du pouvoir politique jusqu'à la simple société ; sans oublier les concepteurs et les techniciens.

La majorité des professionnelles concentrent leurs pensées sur la stabilité sismographique et non le volet thermique, c'est pour cela la plupart des maisons Algériens souffrent d'une surchauffe et un phénomène de parois chaude dans la période estivale, et un courant d'air et accompagner avec le phénomène de parois froide qui causent à leur tour plusieurs anomalies et mal aise à la vie des occupants ainsi que la durée de vie des constructions

II.7. Les stratégies de refroidissement passif :

Le refroidissement des bâtiments suggère quatre systèmes passifs :

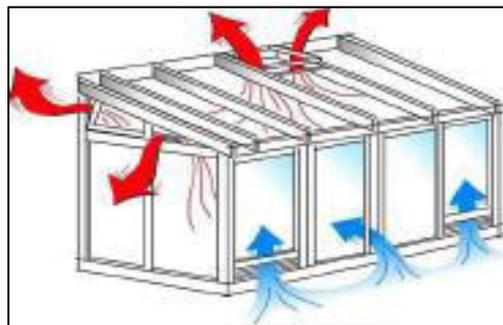
- Refroidissement par convection
- Refroidissement par radiation
- Refroidissement évaporation
- Refroidissement par inertie de terre

L'intérêt de présenter ses stratégies est dans le but d'optimiser le confort thermique les systèmes passifs de refroidissement adoptés dans les milieux climat chaud aride sont : la protection solaire, la ventilation, l'inertie thermique, évaporation et l'isolation thermique

II.7.1. Ventilation naturelle :

II.7.1.1 Définition :

La ventilation naturelle est un système de ventilation permettant de renouveler l'air intérieur des bâtiments en reposant sur l'action de deux forces principales, le vent et l'écart de température entre l'air extérieur et l'air intérieur. Ces deux moteurs sont variables dans le temps et suivant le site et rendent ainsi difficile le contrôle des débits d'air internes.

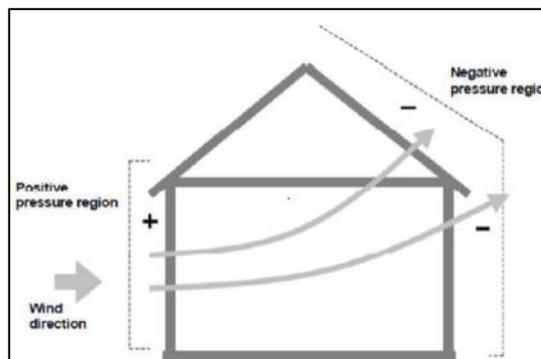


FigureII-12 : Représentation de la ventilation naturelle. (source <http://www.deco-modernefr.com/t4281-une-maison-confortable>)

II.7.1.2 Les fonctions de la ventilation :

Les systèmes de ventilation doivent satisfaire à des exigences d'hygiène, de confort, de respect de l'environnement et d'économie d'énergie. La ventilation est au service de trois fonctions principales

- La ventilation a un rôle hygiénique qui consiste à maintenir une bonne qualité de l'air intérieur. Il s'agit essentiellement de prévenir l'accumulation de polluants gazeux et d'odeurs désagréables au sein du bâtiment
- La ventilation a un rôle d'entretien sert à éviter ou d'éliminer la condensation de la vapeur d'eau sur les parois. Elle permet d'atteindre cet objectif de pérennité du bâti en remplaçant l'air humide par de l'air moins humide. Cette fonction est étroitement liée à la ventilation d'hygiène.
- Le troisième rôle est l'obtention d'un confort d'été en favorisant les échanges thermiques convectifs et évaporatifs. L'augmentation du renouvellement d'air permet d'accroître les échanges avec l'air extérieur et de refroidir le bâtiment lorsque la température de l'air extérieur est inférieure à celle de l'air intérieur. Le renouvellement d'air doit être limité quand les températures s'inversent

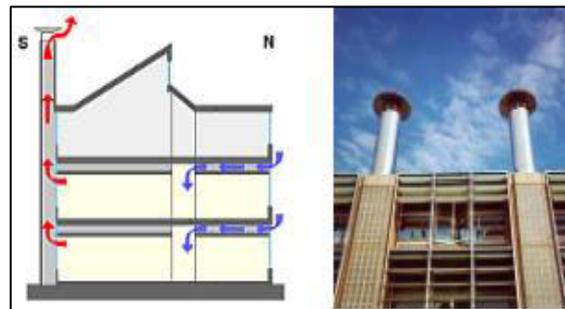
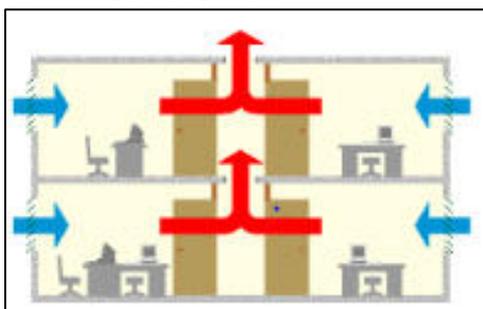


FigureII-13: Action du vent sur les bâtiments (source : Russel, 2000)

II.7.1.3.les types de ventilation naturelle

II.7.1.3.1.La ventilation par tirage thermique :

La ventilation par tirage thermique est due à la différence d'air entre intérieur et l'extérieur du bâtiment. Cette technique est possible tant qu'il y a une différence de température entre intérieur et l'extérieur elle ne permet cependant pas d'atteindre les débits obtenus par effet du vent. De plus, la position des ouvrants doit respecter d'autres consignes, il faut ici privilégier une ouverture basse et une ouverture haute, voire une évacuation en toiture.



FigureII-14 : La ventilation par tirage FigureII-15 : façade Sud, l'effet thermique
(Source : www.energiplus.ter/tirage/20.com)

II.7.1.3.2 La ventilation naturelle par ouverture des fenêtres :

La ventilation naturelle par ouverture des fenêtres permet de réduire les infiltrations d'air par les défauts d'étanchéité de l'enveloppe et donne aux occupants la possibilité de contrôler les ouvertures des fenêtres et des entrées d'air en façade.

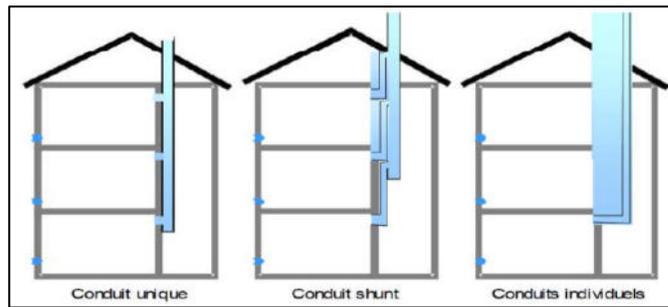


Figure II-16 : La ventilation naturelle par ouverture des fenêtres
(Source : www.energiplus.ter/tirage/20.com)

II.7.3.3 La ventilation naturelle par conduits verticaux :

La ventilation naturelle par conduits verticaux à tirage naturel est largement utilisée en France dans le résidentiel collectif existant construit avant 1982 [39]. Le bâtiment doit être suffisamment étanche afin d'éviter des infiltrations d'air importantes qui sont nuisibles au bon fonctionnement du système

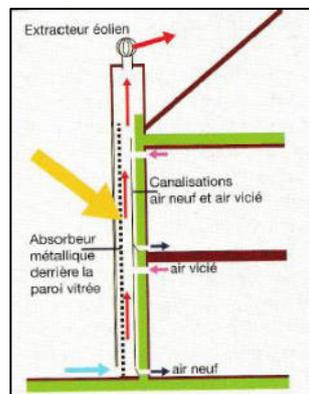


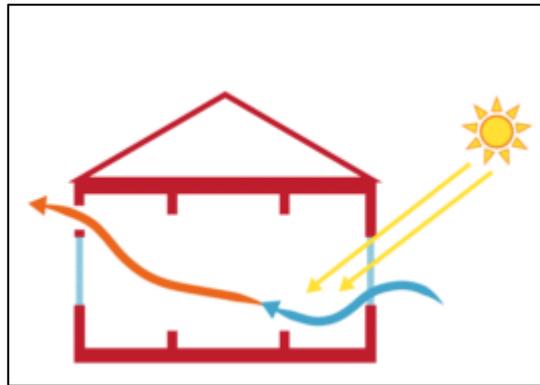
Figure II-17 : Illustrations de la ventilation naturelle par conduits verticaux
(source : Koffi, 2009)

II.7.3.4 Ventilation naturelle assistée par l'énergie solaire :

Le principe général est d'assister le phénomène de tirage thermique en utilisant l'énergie solaire pour augmenter les écarts de températures et donc l'effet de tirage thermique. Dans le présent travail, on s'intéresse à ce dernier type de ventilation.

II.7.3.4.1. La ventilation hybride :

La ventilation hybride est un système qui combine à la fois les stratégies passives de la ventilation naturelle et les moyens actifs de la ventilation mécanique pour maintenir un environnement confortable. Selon les conditions météorologiques disponibles, le système de ventilation du bâtiment échange entre les modes passif et mécanique de manière à assurer constamment une ventilation et un refroidissement des espaces adéquat tout en minimisant la consommation énergétique



FigureII-18 : Exemple d'une installation de ventilation hybride
(Source David Roditi, ventilation et la lumière naturelle)

A) Avantages de la ventilation naturelle :

- Procure une ventilation qui assure la sécurité, les conditions de confort et de santé aux occupants des bâtiments sans l'utilisation de ventilateur,
- Procure un rafraîchissement passif sans système thermodynamique,

Réduit les coûts de construction et d'utilisation des bâtiments quand elle est conçue soigneusement

- Réduit les consommations d'énergie liées au système de conditionnement et aux ventilateurs,
- Elimine les bruits de ventilateurs.

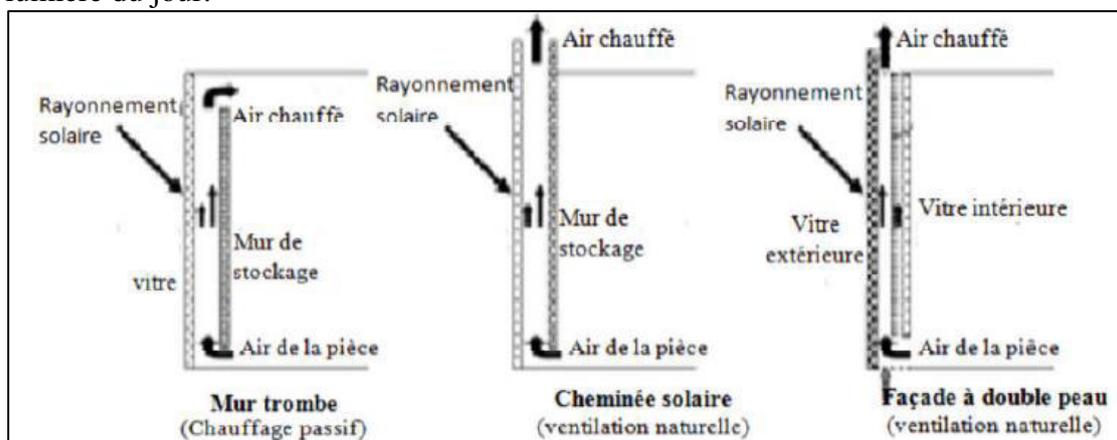
B) Les inconvénients de la ventilation naturelle :

- Pas de régularisation des débits d'air extraits
- Pas de débit de pointe (réglementation)
- pertes d'énergie l'hiver (Surconsommation de chauffage)
- soumise aux aléas climatiques

II.7.2 Les système de confort :

II.7.2.1. Différentes cavités ouvertes :

Les cheminées solaires, les façades à doubles peaux et les murs trombe sont des Cavités ouvertes, ont conçu pour se servir de l'énergie solaire pour le chauffage passif, ventilation naturelle et dans le cas de la façade à double peau fournie également la lumière du jour.



FigureII-19 : Diagramme schématique de trois types de cavité pour le chauffage passif et la ventilation naturelle(source : Guohui Gan. Simulation of buoyancy-induced flow in open cavités for natural ventilation. Energy and Buildings).

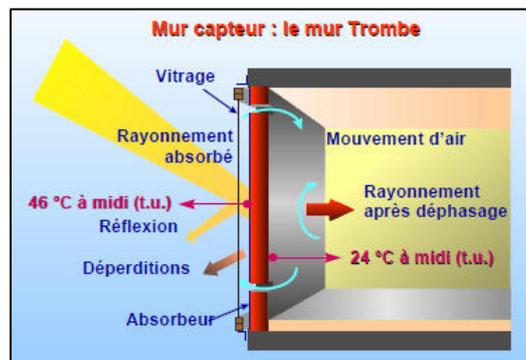
II.7.2.2 Le mur trombe :

Le mur trombe consiste à un mur en maçonnerie lourde muni de deux orifices et disposé derrière un vitrage orienté vers le sud. Il rassemble et stocke l'énergie solaire pour fournir le chauffage de la pièce en hiver ou facilite la ventilation de la pièce en été.

Le mur Trombe-Michel, ou mur trombe, est basé sur le même phénomène physique que le mur capteur. Le rayonnement solaire vient chauffer une lame d'air présente entre un vitrage à faible émissivité et un mur à forte inertie thermique. Via un système de clapets situés en partie supérieure et inférieure du mur, une circulation d'air est possible entre l'intérieur de la pièce et la lame d'air chauffée. Il existe deux modes de fonctionnement :

- Lorsque le rayonnement est présent dans la journée, il est possible d'ouvrir les clapets afin de permettre une convection naturelle. L'air de la pièce, relativement plus froid, vient se réchauffer au contact du mur capteur, et ainsi créer un mouvement convectif qui va permettre le réchauffement de la pièce en contact avec le mur. Il y a donc circulation aéraulique entre la lame d'air et le volume adjacent.
- En l'absence d'ensoleillement, on ferme les clapets, et la chaleur emmagasinée par le mur capteur est restituée par rayonnement à la pièce, créant ainsi une convection naturelle, mais cette fois-ci sans mouvement d'air

Cette technique permet également d'éviter les surchauffes en été, grâce à la présence d'une ouverture, située en partie supérieure du vitrage. En position ouverte, ce clapet permet d'évacuer l'air chauffé produit dans la lame d'air. Ceci n'est possible que si les clapets du mur capteur, sont eux fermés.



FigureII-20 : schéma du principe mur trombe (source : Alain Lié bard, Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques)

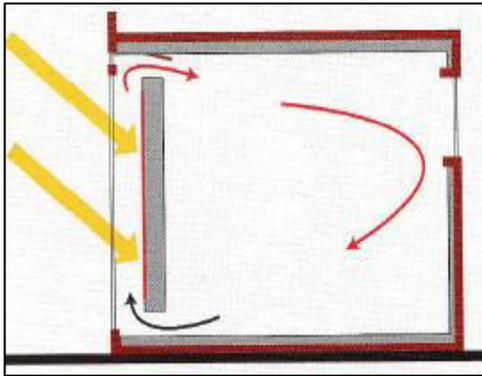


Figure II-21 : schéma fonctionnel d'un Mur trombe en hiver
(Source : David Rodti, ventilation et la lumière naturelle)

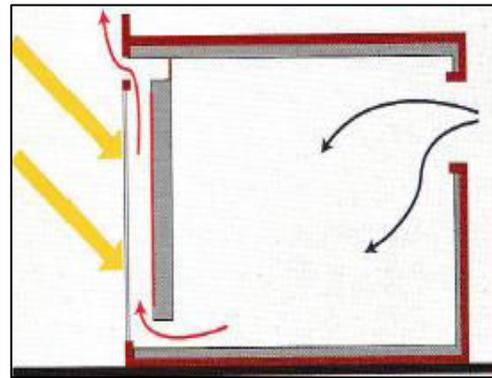


Figure II-22 : schéma fonctionnel d'un mur trombe en été

II.7.2.3. Double peau :

Une façade à double paroi d'un bâtiment se compose d'une paroi intérieure et l'autre externe, elle fournit au bâtiment l'isolation thermique. Elle a une fonction de régulation thermique du bâtiment.

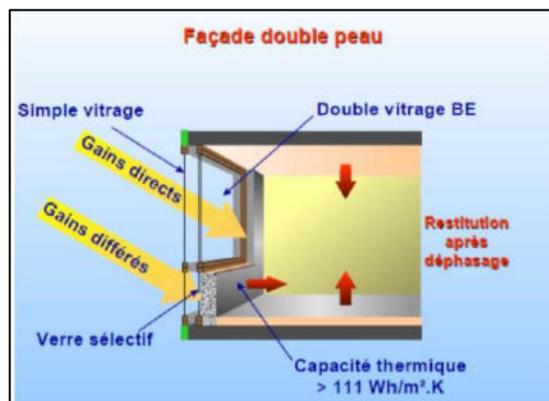


Figure II-23: Façade double peau (source : Alain Lié bard, Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques)

La façade à double peau protège le bâtiment aux contraintes météorologiques par rapport aux rayonnements directs du soleil, elle évite les surchauffes d'été et limite le recours à la climatisation. En évitant l'action directe du vent, elle supprime l'effet de paroi froide en hiver, qui produit l'inconfort d'intérieur. Elle permet aussi d'apporter une température et une humidité de l'air agréable. En comparant avec la façade glacée traditionnelle. Elle peut également être employée pour la ventilation naturelle du bâtiment.

II.7.2.4 Les tours à vent (Malqaf) :

La tour à vent telle que son nom l'indique, est un outil de ventilation utilisé pour obtenir un refroidissement naturel. Elle a été employée pendant des siècles dans les pays à climat chaud et aride, en particulier en Iran. Les tours à vent dans les villes centrales de l'Iran sont connues en tant que « badgir » voulant dire capteurs à vent. Des tours à vents se trouvent dans l'ensemble du moyen orient, de l'Égypte au Pakistan leurs formes s'adaptant aux caractéristiques du vent ainsi qu'au mode de construction.



FigureII-24 : Tour à vent à YAZD, IRAN (source : ventilation et la lumière naturelle)

Principe de tour à vent :

La hauteur crée une différence de pression entre la base et le sommet de la colonne interne du badghir, qui aide alors à remonter l'air chaud et à amener de l'air frais en bas. Cet effet de cheminée est couplé aux propriétés de la terre crue qui assurent l'effet de cheminée, sans vent, par l'accumulation de la chaleur dans le matériau

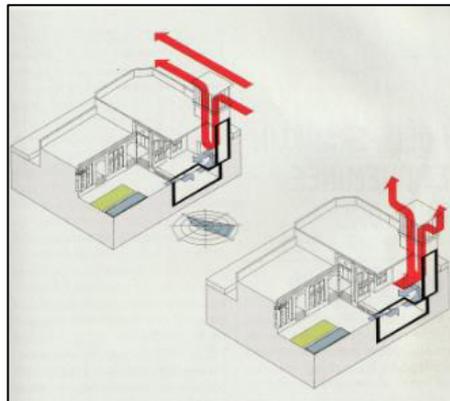
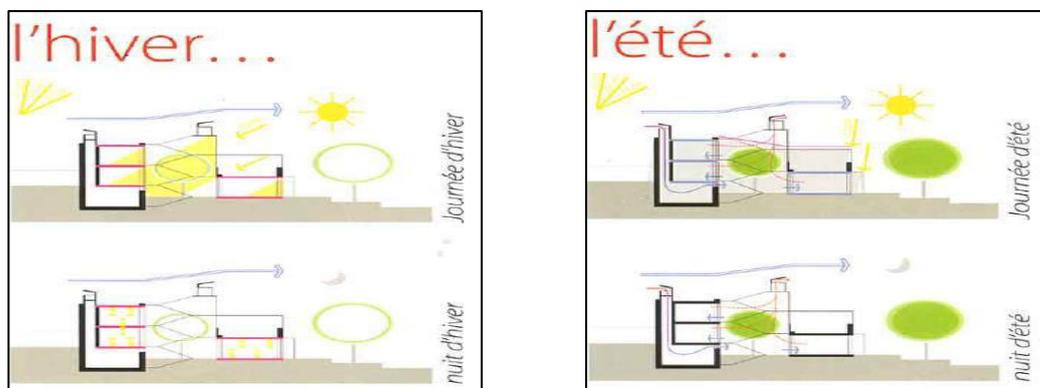


Figure II-25 : schéma fonction (source : David Roditi, ventilation et la lumière naturelle)

Le Malqaf peut fonctionner de trois façons : diriger le flux d'air vers le bas en utilisant l'entrée directe du vent, diriger le flux d'air vers le haut en utilisant un gradient de température assisté par l'air ou diriger le flux d'air vers le haut en utilisant un gradient de température assisté par l'énergie solaire.



FigureII-26: fonctionnement des tours à vent pendant les saisons
(Source : www.energieplus.vent%25%leb.com)

II.7.2.5 Les dômes :

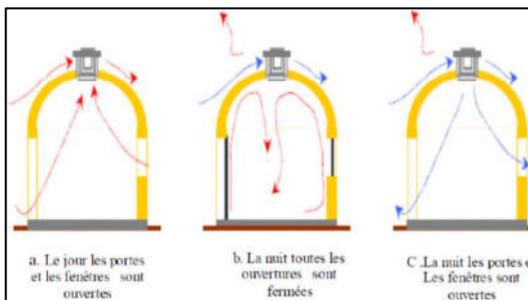
Cette technique de construction est employée depuis l'Antiquité. Elle est largement Associée aux pays du Maghreb et du Proche-Orient, et notamment à l'Algérie, l'Égypte, la Jordanie, la Palestine et la Tunisie. Son utilisation est généralement courante dans tous types de milieux : urbain, rural, en plaine, en montagne ou en bord de mer.

Constructive est utilisée en rez- de chaussée, en premier ou en dernier étage. Elle fait généralement office de couverture, Ce sont des coupoles qui, ayant au sommet une fenêtre, recouvrent soit une partie de la maison soit la pièce principale d'un bâtiment Ces ouvertures sont généralement faites dans le même matériau que le corps de l'ouvrage, et servent à assurer la ventilation et l'éclairage de l'espace couvert

Principe de fonctionne :

Le jour, lorsque le sommet du dôme est chaud, l'air intérieur au contact de ce dôme s'échauffe. Si les fenêtres et les portes du bâtiment ainsi que la fenêtre du dôme sont ouvertes, l'air à l'intérieur du bâtiment a tendance à monter ; ce mouvement ascendant est favorisé par l'air plus froid donc plus dense autour du bâtiment, qui pénètre à l'intérieur. L'air chaud est alors entraîné et évacué par effet de cheminée à l'extérieur par la fenêtre du dôme

La nuit, la chaleur accumulée dans la journée par le dôme est échangée radiativement avec la voûte céleste et par convection avec l'air. La fenêtre supérieure étant fermée, l'air à l'intérieur du bâtiment Monte par la partie centrale, se refroidit au contact du dôme, devient plus dense, et redescend par la partie latérale. Si par contre dans une nuit sans vent, tous les volets sont ouverts, l'air à l'intérieur du bâtiment étant plus chaud, l'air froid de l'extérieur a tendance à descendre, pénétrer alors à l'intérieur par le sommet du dôme, y crée une forte pression et évacue l'air chaud de l'intérieur par les volets du bâtiment.



FigureII-27 : Les différents cas de fonctionnement des Dômes
(Source : [http : //forum.d4school.com/t46740.html](http://forum.d4school.com/t46740.html), 25-02-2011.)

Au cours des nuits où le vent souffle, l'évacuation de l'air chaud s'effectue dans le sens inverse. Sous l'effet de la pression de l'air extérieur, froid, très dense, accumulé au du bâtiment, le vent qui souffle, entraîne l'air chaud du bâtiment par la fenêtre du dôme. Enfin, le dôme n'a pas un facteur de forme plus grand que les autres surfaces vis à vis du volume interne et donc son échauffement ne peut être ressenti

II.7.2.6. Le puits canadien :

Le puits canadien est un système géothermique avant tout. Il consiste à utiliser l'inertie thermique du sol de manière passive pour traiter l'air neuf de renouvellement d'air de la maison, des bureaux, de la construction... Ce procédé consiste à refroidir l'air extérieur en le faisant passer à l'intérieur d'un circuit enterré dans le sol où la

température est plus fraîche en été. Il peut également servir à réchauffer l'air extérieur pour le chauffage de l'habitation en hiver.

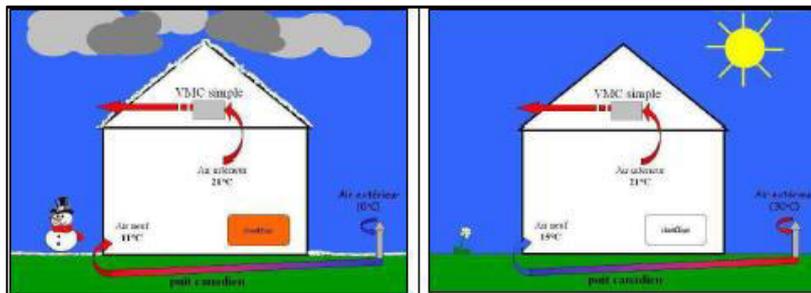


Figure II- 28 : représentation simplifiée d'un puits canadien (source : G. Chanute – A ATLANTIC C)

Principe de fonctionnement :

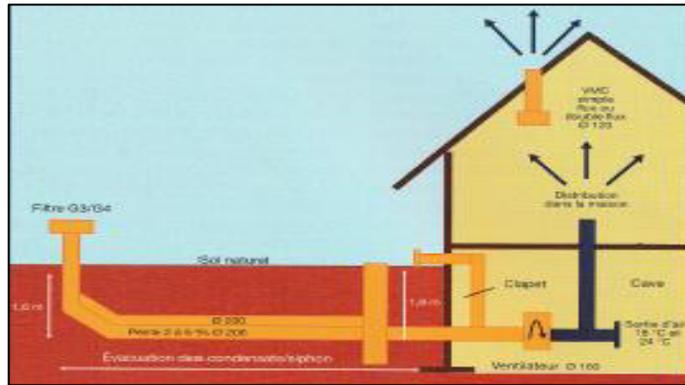
Le puits canadien, appelé aussi puits provençal, est un système géothermique qui utilise l'inertie thermique du sous-sol à une profondeur limitée de 2 à 3 m. Ce système sert pour le préchauffage de l'air en hiver et pour le rafraîchissement en été. Il est basé sur le simple constat que la température à 2 mètres de profondeur est à peu près constante, environ 12°C en été et 7°C en hiver.

Si l'on fait circuler de l'air dans une canalisation enterrée à faible profondeur, il ressortira plus chaud que l'air extérieur l'hiver, et plus frais que l'air extérieur l'été, d'où l'application de ce principe pour le renouvellement de l'air d'une habitation pour réaliser des économies d'énergie. En demi-saison la différence de température entre l'air extérieur et le sol n'est pas significative et la circulation dans le sous-sol n'est pas nécessaire.



FigureII-29 : schéma fonctionnement d'un puits canadien actuel (source : David Roditi, ventilation et la lumière naturelle)

L'installation nécessite que le tube enterré ait une légère pente (1 à 2%), afin de permettre à l'eau de s'écouler vers le regard de visite, où l'on aura installé une pompe permettant d'évacuer les condensats. Le by-pass permet, en intersaison, de court-circuiter le puits canadien lorsque les températures sont comprises dans la plage de confort 18-24°C.



FigureII-30 : Schéma illustrant le fonctionnement d'un puits canadien (source : d'Architecture, d'Urbanisme et d'Environnement de la Seine-Maritime)

Choix des matériaux pour le conduit :

Le conduit est l'élément le plus important du puits canadien. C'est lui qui échange des Calories avec le sol.

Le choix des matériaux est également primordial pour la durée de vie de votre puits canadien. Voici les caractéristiques optimales conseillées :

- Paroi intérieure lisse : évite les dépôts de saletés et de bactéries.
- Paroi extérieure annelé : meilleure conductivité.
- Matériau résistant aux fortes chaleurs : sans dégagement de vapeurs toxiques.
- Matériau offrant une bonne conductivité thermique.
- Matériau résistant : évite les risques de déchirures et donc assure une bonne Étanchéité.

II.7.3 La végétation :

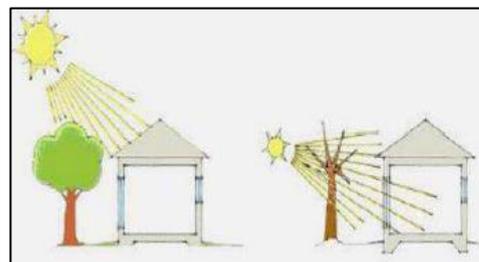
La végétation participe à la protection solaire. Elle permet de stabiliser la température de l'air par rétention de l'eau dans ses feuilles et par évaporation de l'eau à leur surface. Elle apporte aussi un ombrage et créer un microclimat par évapotranspiration. Le choix de l'espèce est important car la qualité de l'ombre d'un arbre dépend de sa densité.

II.7.3.1. Les végétations naturelles :

La végétation est un outil efficace de protection solaire et de contrôle de rayonnement Solaire. Elle permet de créer un microclimat par l'évapotranspiration. Le choix de type de végétation est important puisque la qualité de l'ombre d'un arbre dépend de sa densité



FigureII-31 : Protection solaire par naturel (Source : Traité d'architecture et d'urbanisme)



FigureII-32 : Ombrage naturel (source Eco-habitation. Canad)

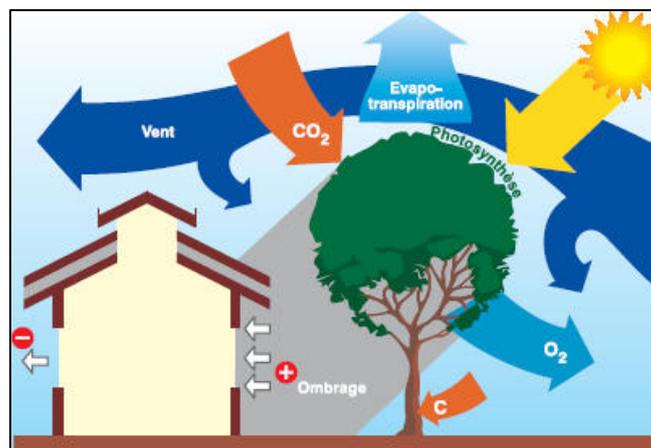
II.7.3.2 Les ambiances d'hiver:

La végétation ne doit pas porter ombre sur les espaces extérieurs de repos et les Surfaces de captage, c'est donc une végétation à feuillage caduc et/ou de faible dimension permettant le captage solaire

II.7.3.3 Les ambiances d'été :

En été, la climatisation est réduite par l'ombrage des fenêtres et par l'évapotranspiration des plantes. Il s'agit au contraire de réduire les risques d'échauffement intempestifs.

On y parvient par la création d'ombres, l'humidification de l'air et la ventilation L'échauffement des matériaux est défavorable, c'est pourquoi on doit assurer l'ombrage au sol ou sur les parois. Le port du feuillage donnera l'effet d'ombre recherché. On demande



FigureII-33 : Le différent effet de la végétation (source : Groupe A.B.C, 1999)

II.7.3.4 Les Choix des végétaux selon l'orientation :

- **Exposition nord**, Les plantes persistantes, en particulier : Arbres et haies assurant un effet brise-vent, Peupliers, Cyprès de Provence, Filao, Pittosporum, lierre ...
- **Exposition Sud**, Les plantes à feuilles caduques sont les plus appropriées pour des Expositions sud et proche du sud, pour permettre au soleil d'hiver de chauffer Passivement la maison ; grimpants offrant une protection solaire d'été : Aristolochie Siphon, Bignone à grandes fleurs, Bougainvillée, Glycine de chine, Jasmin de virginie, Vigne, Vigne vierge à 5 feuilles, Volubilis, Roses grimpantes, Vigne de Trompette, Vigne russe, les clématites, et la Glycine.
- **Façades orientées Est**, peuvent être traitées en tant que mur sud ou ouest sinon il est préférable d'employer des plantes persistantes.
- **Façades ouest**, les plantes qui peuvent convenir à cette orientation incluent : grimpants offrant une isolation thermique en hiver et en été : Figuier grimpant, Fusain Grim pant, Lierre commun des bois, Lierre des canaries, chèvrefeuille

II.8. Climat chauds et arides de la ville de Biskra :

II.8.1 Présentation la ville de Biskra :

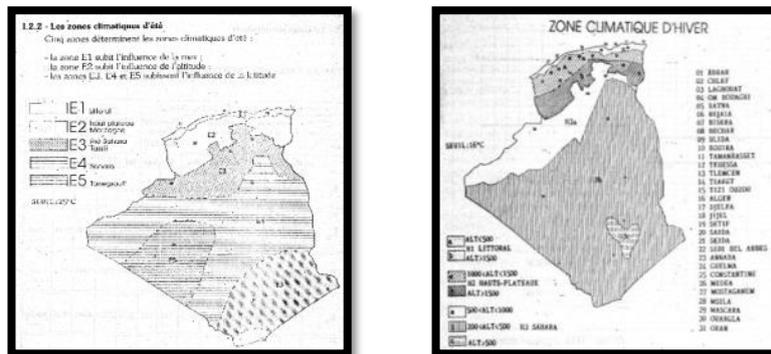
La ville de Biskra est située au sud-est de l'Algérie. Elle se trouve dans la partie nord du désert avec latitude de 34.8°, longitude 5.37° est et une l'altitude 87m



FigureII-34 : situation ville de Biskra (source : google-earth)

D'après la classification zonale indiquée par ould hnia , elle est située dans la zone climatique d'hiver H3a et la zone climatique d'été E3 possédant :

- ✓ Un été très chaud et sec
- ✓ Un hiver très froid la nuit par rapport au jour. Les écarts de température entre le jour et la nuit sont importants



FigureII-35: les zone climatique d'hiver et d'été(source :ould hnia)

Elle est citée comme l'une des villes où le nombre de jours secs, suivant la formule de Gaussen, atteint les 316 jours de l'année (demangeot et bernus, 2001) Les journées d'hiver sont douces (16° à 22°C) alors que les nuits sont froides (7° à 9°C), par contre, il fait très chaud en été et les 40°C de température sont souvent atteintes. tandis qu'il peut varier de 40 à 70% en hiver, le taux d'humidité est réduit à 15 % en été. Les précipitations ne sont pas courantes et viennent le plus souvent sous forme d'averses. Enfin, le vent souffle le plus souvent du nord-ouest vers le sud-est avec vitesse de 6 à 12m/s (ONM , 1998).alors il est conseillé de limiter la pénétration des rayons solaires par les ouvertures , il est clair maintenant que les ouvertures dans les régions chaudes doivent être prises en considération du point de vue climat pour éviter l'inconfort d'été provoqué par la pénétration rayons solaires qui participent à la surchauffe de l'ambiance intérieure et l'augmentation de la chaleur dans le corps humain ;il est donc nécessaire de penser à :

- ✓ L'orientation des fenêtres

- ✓ Leurs dimensionnements
- ✓ Leurs dispositions
- ✓ Le contrôle de l'ensoleillement
- ✓ Type de vitrage

Les fenêtres doivent répondre seulement aux besoins de l'éclairage et ventilation. C'est pourquoi, il est nécessaire de réduire leurs surfaces et de bien choisir leurs orientations et les moyens de protection contre les radiations solaires de l'été approximativement entre 10T et 18T, « Alain Chatelet & Al ; 1998 »

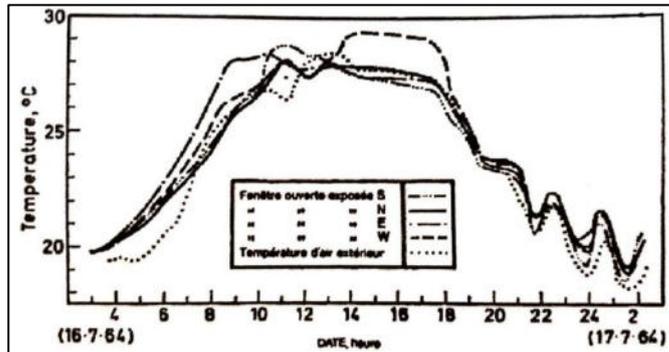


Figure II-36 : effet de l'orientation de l'ouverture sur la température de l'air intérieur (source : Givoni ; 1978)

II.8.1.2. Température de l'air :

C'est une grandeur physique qui indique le taux d'échauffement et de refroidissement de la surface de la terre. Elle est définie comme étant (l'état atmosphérique de l'air du point de vue de son action sur nos organes : degré de froid ou de chaleur » (Larousse, 1986). De ce fait, les régimes diurnes et nocturnes de la température de l'air dépendent des variations de température de surface. (À savoir que les mêmes surfaces continentales et maritimes ne se comportent pas de la même manière sous les mêmes conditions de rayonnement solaire, les masses d'eau chauffent plus lentement que les masses de la terre) La température de l'air varie avec le changement d'altitude

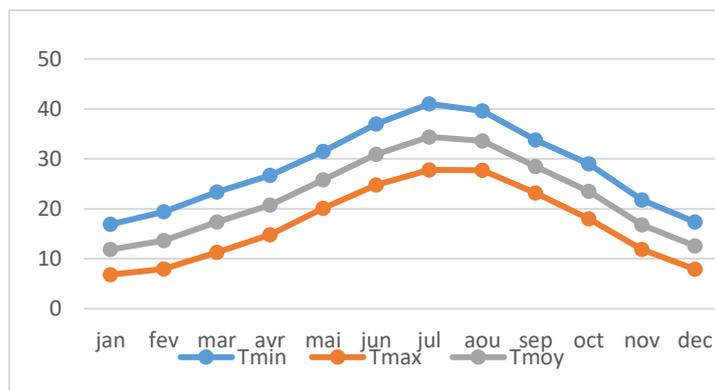


Figure II-37 : température de l'air extérieure. (Périodes 1997-2007). (Source Station météorologique de Biskra)

Données climatiques de Biskra montrent que la température moyenne annuelle est de 22,25 °C, avec un maximum de 34,40°C en juillet le mois le plus chaud et un minimum de 8,28 °C en janvier le mois le plus froid

La courbe des températures moyennes mensuelles évolue d'une manière régulière avec des grandes amplitudes journalières. Une période très chaude et sèche qui s'étale du mois de juin au mois de septembre, et une autre plus longue caractérisée par le froid et l'humidité et qui s'étale du mois d'octobre au mois de mars.

II.8.1.3. L'humidité relative :

Indique une évaluation directe du pouvoir évaporant de l'air Elle est l'expression en pourcentage du degré hygrométrique ce qui représente le rapport entre la quantité de vapeur d'eau dans l'air que l'air peut contenir pour la même température GIVONI,

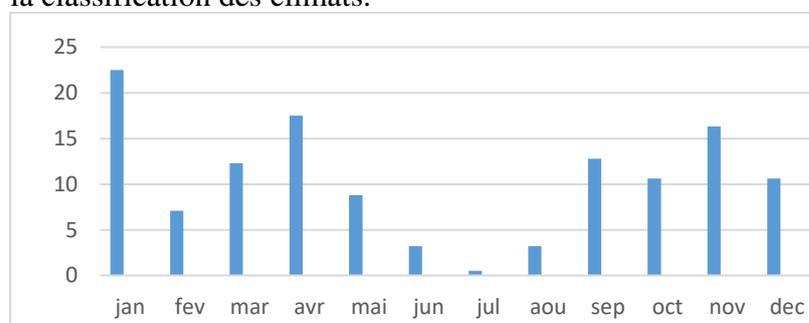


FigureII-38 : humidité relative (%) période (1997-2007). (Source : Station météorologique de Biskra)

L'humidité relative moyenne enregistrée dans la période hivernale est de l'ordre de 40-60.8 %, le taux le plus élevée est enregistré durant le mois de décembre Par contre, pendant période estivale, elle est inférieure à 40 % et le plus bas pourcentage 26 % est enregistré durant mois de juillet, ce qui prouve que le climat de la ville de Biskra est humide et froid en hiver et assez sec et chaud en été .

II.8.1.4. Précipitations :

Les précipitations sont produites par le phénomène de condensation de l'air dans les couches supérieures de l'atmosphère, sous forme de nuages contenant des gouttelettes d'eau, l'air s'élevant de plus en plus haut, le poids des gouttelettes augmente, provoquant ainsi la chute de pluies ou de neige. (GIVONI, 1978). Les précipitations sont influencées notamment par les mouvements des vents et les changements des régimes de températures. Elles sont considérées comme un élément déterminant dans la classification des climats.

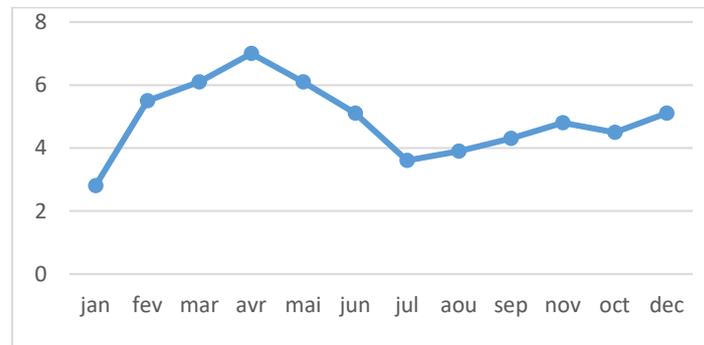


FigureII.39 : précipitation en mm période (1997-2007) Station météorologique de Biskra)

Précipitations sont très faibles, inférieures à 200 mm/an. La répartition annuelle des précipitations est marquée par une importante période de sécheresse (cinq mois : mai juin, juillet, août, et septembre) où les précipitations sont très faibles, et si elles existent, elles tombent sous forme d'orage et provoquant parfois des crues et des débordements d'oued

II.8.1.5. Vitesse du vent :

Le vent est un écoulement d'air qui tend à équilibrer des zones de pression différentes dans l'atmosphère. Les variations dans la distribution des pressions et des températures sont dues essentiellement à une distribution inégale de l'énergie solaire sur l'ensemble du globe terrestre .et aux différences dans les propriétés thermiques des surfaces des continents et des océans. Lorsque les températures de l'environnement deviennent inégales, l'air le plus chaud s'élève et à s'écouler par-dessus l'air le plus froid qui est le plus lourd.



FigureII.40 : vitesse du vent (m/s) période « 1997-2007 » (source :Station météorologique de Biskra)

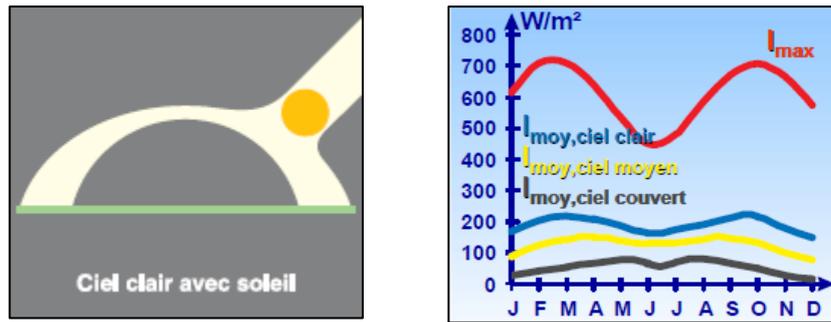
Les vents qui prédominent à la ville de Biskra se diffèrent suivant la saison :

- En hiver vent dominant Nord-ouest (vents froids)
- En été elles proviennent du sud-est (vent chaud et sec)

Avec des vitesses moyennes qui varient 3.49 m/s la période des vents poussiéreux ses moyennes qui varient entre, la période des vents poussiéreux s'échelonne entre le mois de mars et mai

II.8.1.6 Le macroclimat lumineux de Biskra :

Le macroclimat lumineux de la ville de Biskra ressemble en beaucoup d'aspects à celui des régions désertiques aux paysages cosmiques. Au-dessus d'un sol dépouillé et dans un ciel sans nuages et infini dans le paysage, le soleil décrit une course absolument apparente (Norberg- Schulz, 1981). Bas à l'horizon au lever, il s'élève clairement haut dans le ciel au midi pour ensuite revenir sur la ligne d'horizon au coucher.



FigureII-41 : le type de ciel de Biskra (source : traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique)

La lumière intense inonde l'environnement naturel d'une manière où l'homme sera massacré : « la lumière drue de ce ciel sans pitié agit comme révélateur chimique, elle dissout l'accessoire, l'ajouté, le superflu, et elle accentue l'essentiel » (Vergnaud, 1962, p.13) Le modèle de ciel dominant pour la ville de Biskra est celui clair ensoleillé.

Les régions du désert sont caractérisées par un ciel clair, la luminance atteint des valeurs très élevées près du soleil et diminue rapidement en s'éloignant d'elle. [Ouahrani, 2000] Le ciel est clair pendant presque toute l'année. En juillet et août la fraction solaire est plus de 85 % En octobre et novembre, qui sont considérés les mois les plus pluvieux, la fraction solaire est plus de voûte 60 % La clarté du ciel pendant la période d'été facilite le rayonnement nocturne vers la voûte la céleste, un phénomène important pour le refroidissement passif dans les régions du désert.

II.8 Evaluation du confort thermique :

Plusieurs études ont été faites pour déterminer les limites de confort thermique en tenant compte des paramètres climatiques et de leurs évaluations combinées, elles dépendent selon d'individu, les vêtements, la nourriture...etc. Parmi les méthodes qui ont été développées par les chercheurs pour répondre aux besoins de l'utilisateur vis-à-vis du climat

- Méthode de la température effective
- Méthode de la température résultante
- Méthode de l'indice de contrainte thermique.
- Méthodes des diagrammes bioclimatiques de B.Givoni, V. Olgyai, S.Zokolayetc.
- Méthode des indices PMV et PPD

II.8.1 Les méthodes Evaluation du confort et la détermination des besoins :

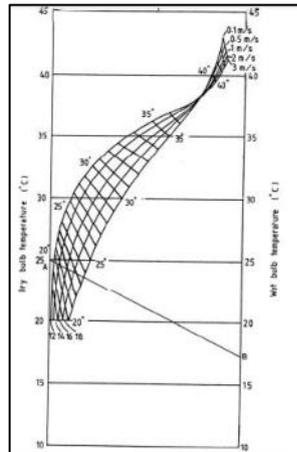
Nous présentons quelques méthodes d'évaluation du confort et de la détermination des besoins et même les nécessités d'intervention pour l'équilibre thermique

II.8.2 La température résultante :

L'indice de la température résultante développé par Missenard en 1948 est basé sur la supposition qu'une base solide pour un indice thermique serait formée par des expériences dans lesquelles l'équilibre thermique est effectué entre le corps et l'ambiance afin de trouver les effets du vent et d'humidité.

Des résultats expérimentaux sont issus d'un monogramme pour le corps vêtu. Pour l'exemple de la température efficace, la température résultante lue du monogramme s'avère être 23.50 °C la rangée des facteurs climatiques couverte par la température

résultante est une température de l'air comprise entre 20, 45 °C, une température humide comprise entre 18, 40 °C et une vitesse de l'air entre 0 et 3 m/s



FigureII-42 : diagramme de la température résultante (source Missenard, 1948)

II.8.3. Méthode diagrammes psychométriques :

Plusieurs chercheurs ont développé, par le biais des diagrammes psychométriques, des outils de synthèse permettant de définir les exigences de confort thermique

La zone de confort : Selon la température et l'humidité des conditions extérieures et leur influence sur le confort hygrométrique

Les zones de performance : Déterminant les besoins thermiques du corps humain pour rattraper les conditions de confort et remédier aux sollicitations du climat.

Ces zones de performance proposent des techniques ou dispositifs (ventilation chauffage. .etc.) dans le cas où les segments qui représentent le mois en question par le couple (température / humidité) sortant de la zone de confort. Pour se servir de besoin de procéder par étapes :

1. Récolte des données climatiques -de 10 à 50 ans- (Températures minimales. Températures maximales) (Humidité minimale et maximale) pour chaque mois .
2. Si on travaille sur le diagramme de GIVONI, on doit représenter les mois (12) par des segments dont les deux points ont les coordonnées (T min, Hr.max) (T max, Hr min).
3. La lecture selon la position du segment dans les différentes zones de confort ou de performance.
4. Détermination des besoins, techniques, dispositifs nécessaires pour chaque mois

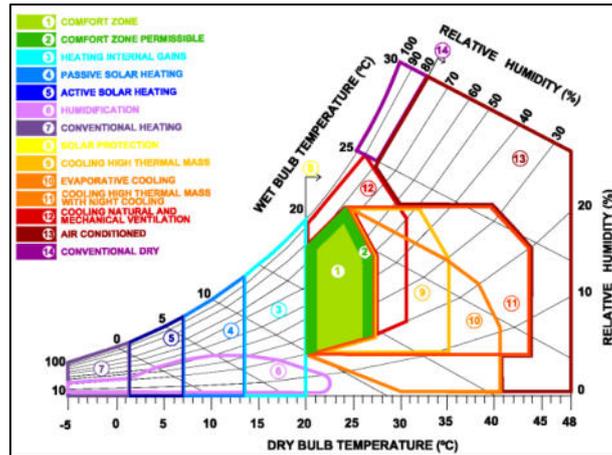


Figure II-43 : diagramme bioclimatique et des zones d'influence des paramètres climatiques (source : Alain chatelet, 1998)

II.8.4 La méthode des indices PMV et PPD :

Comme l'on a déjà expliqué, la sensation de confort thermique dans une ambiance ne dépend pas seulement de conditions physiques de l'équilibre thermique, mais elle dépend aussi d'autre conditions purement personnelles et relatives à l'état de santé, l'âge, le sexe, l'habillement et acclimations... .Ets. La méthode "PMV" et "PPD" propose l'évaluation et la mesure des ambiances à l'intérieur des bâtiments, selon les deux indices, PMV (Predicted Mean Vote) qui donnent l'avis moyen des appréciations du confort. Le PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) indique le nombre prévisible des non-satisfaits. « André Bonhomme ; 1986»

Le vote moyen prévisible "PMV":

L'indice PMV exprime la réponse physiologique moyenne de la sensation pour un nombre de personnes placées après l'équilibre thermique d'une ambiance

+3	+2	+1	0	-1	-2	-3
chaud	Tiède	Légèrement tiède	Neutre	Légèrement frais	frais	froid

Tableaux II-1 : l'échelle des réponses demandées aux sujets (source :André bonhomme)

Les valeurs numériques du PMV sont calculées par des équations ou des systèmes informatisés en tenant compte des paramètres suivants :

- ✓ Le métabolisme énergétique
- ✓ Résistance thermique des vêtements
- ✓ Température de l'air
- ✓ Température moyenne de rayonnement
- ✓ Vitesse de l'air

II.8.5. Pourcentage prévisible d'insatisfaits :

Le PPD est le pourcentage des personnes votants au-delà de -2 et +2 : ces derniers se déclarant insatisfaits thermiquement ; donc, l'indice PPD est en fonction des valeur de PMV ; notons qu'il est recommandé que les valeurs de PPD ne doivent pas dépasser les 10% pour assurer un bon confort Pour les cas normaux l'indice PMV est de 80 % à 95 % , selon les exigences de confort et les raisons d'économie de l'énergie.

La norme internationale ISO 7730 propose des graphiques précisant les zones de confort pour diverses températures opératives optimales associées à des conditions variables.

Conclusion

Dans ce volet nous avons ressorti les paramètres influant le confort thermique dans les bâtiments Ces paramètres relèvent à la fois des :

- a) Conditions climatiques (rayonnement, température de l'air, humidité, vent),
- b) Des aspects architecturaux (orientation, dimension des ouvertures, matériaux..).
- c) Des paramètres relatifs à l'individu (activité et habillement)

Nous avons exploré les stratégies de refroidissement passif qui aident à améliorer les exigences de climat intérieur dans les locaux en suite nous avons identifié les différents dispositifs pouvant être utilisé par le concepteur pour assurer un certain confort hygrothermique dans le bâtiment, à savoir la protection solaire, l'inertie thermique, la ventilation et l'évaporation .en fin dans ce volet nous avons introduit les méthodes d'évaluation du confort thermique ,car chaque architecte voudra concevoir des bâtiments adaptés aux besoins physiologiques de l'usager, il doit passer avant tout par, l'analyse des éléments du confort, la détermination des besoins thermiques et l'évaluation des conditions de l'équilibre thermique selon les différentes méthodes.

L'introduction :

La lumière naturelle n'est pas simplement une contrainte, c'est aussi affecter la température du bâtiment, c'est aussi une source de bien-être et de confort. Afin de répondre à ces exigences, l'architecte doit traiter cette question et fournir l'occasion d'un dialogue entre lui-même et entre toutes les parties prenantes au moment de la conception .cela permet au futur usager de maitrise son environnement

Alors par ce phénomène, on peut éclairer un espace et le confort thermique au mémé temps de plusieurs matières.

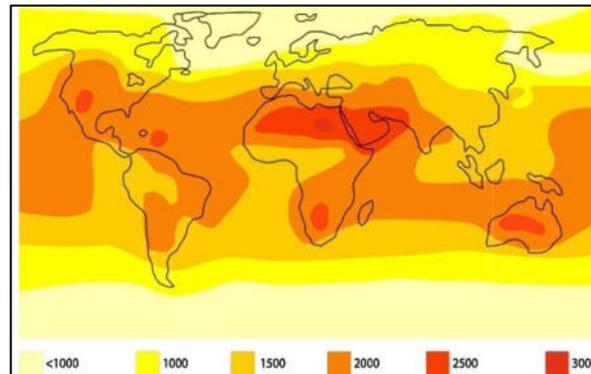
Il faut donc leur assure des conditions de travail optimal dans un environnement confortable, favorise notamment par un bon éclairage et une régulation thermique. Pour cela on utilise outils informatique : **Ecotect**. Ces outils facilement l'étude quantitative et qualitative du niveau d'éclairage et température dans espace architecturale.

Dans ce chapitre portera sur le cas d'étude de notre recherche nous allons commencer dans ce qui suit par la présentation les conditions climatique et caractéristique de la ville du Biskra.

Modélisation des nos modèles effectuée a l'aide de logiciel ecotect. Puis on va interpréter nos résultats de simulation. Prendre de la recommandation pour garantir un confort thermique et confort visuel optimal

III.1 Caractéristiques climatiques de la ville de Biskra :

Le contexte de cette étude se limite aux régions à climat chaud et sec, cas de la ville de Biskra-Algérie (34.8°N, 5.7°E), Biskra bénéficie de 2000 à 2500 heures de soleil par an dans tout point de cette ville, (FigureIII-3) Elle se caractérise par un ciel clair et ensoleillé presque pendant toute l'année, avec un rayonnement global qui varie entre 240 kWh/m² et 90 kWh/m² (Meteonorm7, no date).



FigureIII-1: Irradiation solaire annuelle dans le monde (Goussous, Siam et Alzoubi 2015)

La précipitation :

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Pluviométrie (p mm)	12.7	6.98	15.37	10.75	9.99	4.95	1.73	4.82	18	13.15	18.18	11.5	128.7

Tableau III-1 : Précipitation annuelle de la ville de Biskra (1997-2007)

La Température :

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T°C _{min}	5.72	8.22	11.52	15	19.86	24.57	27.35	27.14	22.94	17.85	11.78	7.44
T°C _{max}	16.81	18.96	22.87	26.49	31.83	37.05	40.26	39.55	34.19	28.46	21.81	17.06
T°C _{moy}	11.2	12.31	17.02	28.37	30.87	37.06	33.06	28.49	23.03	16.57	12.2	22.61

Tableau III-2 : Température mensuelles de la ville de Biskra(1997-2007)

Le vent :

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
V km/h	16.4	16.11	19.6	20	25.1	16	16.5	13.2	14	11.9	14.7	12.2

Tableau III-3 vitesse mensuelles de vent la ville de Biskra (1997-2007)

Situation de terrain : Le projet est situé dans la région nord de Biskra



Figure III-2 : la situation du terrain (source : Google Earth pro consulte 07/07/2019)

III.3 Présentation de cas d'étude (salle de sport) :

Nous proposons une application qui se basera sur le logiciel, ecotect.pour manipuler notre thème recherche, on va faire une simulation d'une salle de sport pour l'évaluation de son environnement lumineux intérieur

III.3.1 Géométrie du local :

Le local :

Diamètre =109,0m, hauteur=22m.

Le vitrage l'atéral : longueur=7m, hauteur =20m.

Shed : Hauteur =1,5m, longueur=45%

Vitre en mieux de salle : diamètre : 10 m

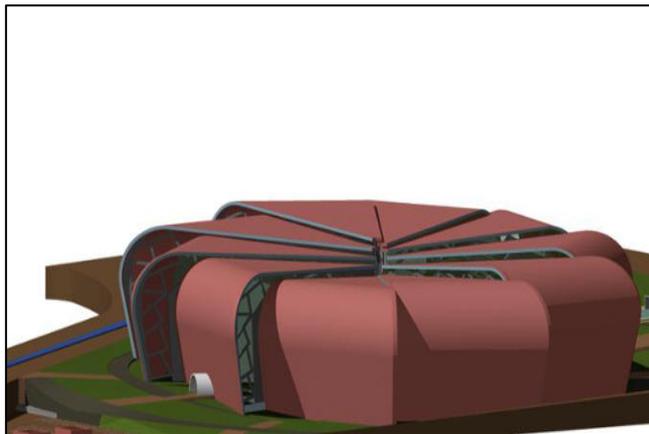


Figure III-3 : la géométrie du local

L'éclairage dans les salles de sport :

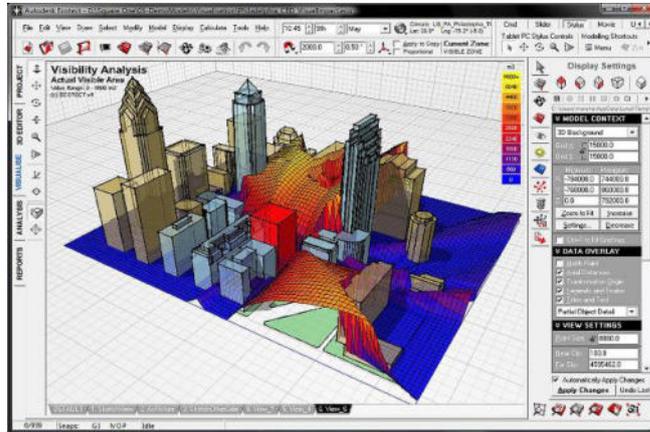
Sports	Entrainement loisirs	compétition	
		Nationale régionale	Internationale
Gymnastique	200	400	600
Athlétisme	200	400	600
Volley Ball	300	500	800
Hand Ball	300	500	800
Tennis	300	500	800
Basket	300	500	800
Escrime	300	500	800
Tennis de table	500	500	800

Tableau II-4 : niveau d'éclairage recommandés dans salle de sport (source : le guide AFE de la norme d'éclairage des installations sportives

III.3.2 Le logiciel de la simulation : ecotect analysais 2011 :

C'est un logiciel de simulation complet, associe un modeleur 3D avec des analyses solaires, thermiques, acoustiques et de coût. Il est également un outil d'analyse simple et qui donne des résultats très visuels. Ce logiciel a été conçu avec un principe de

conception environnementale qui est le plus efficace à valider pendant les étapes conceptuelles du design. Le logiciel répond à cet impératif en fournissant la rétroaction visuelle et analytique, guidant progressivement le processus de conception en attendant que les informations plus détaillées soient disponibles. Ses sorties étendues rendent également la validation finale de conception beaucoup plus simple en se connectant par interface à Radiance et à beaucoup d'autres outils plus spécialisés.



FigureIII-4 : logiciel ecotecte (source : <http://andrewmarsh.com>)

III.3.3L'import géométrie et simulation du model :

L'import du model :

Pour import model en archicad à l'logiciel Ecotect. Je Suivi par Les étapes :
Premièrement : nous avons cliqué sur file .ensuite clique sur import- 3D CAD géométrique

Deuxièmes : clique chose file. En suite définie les matériel

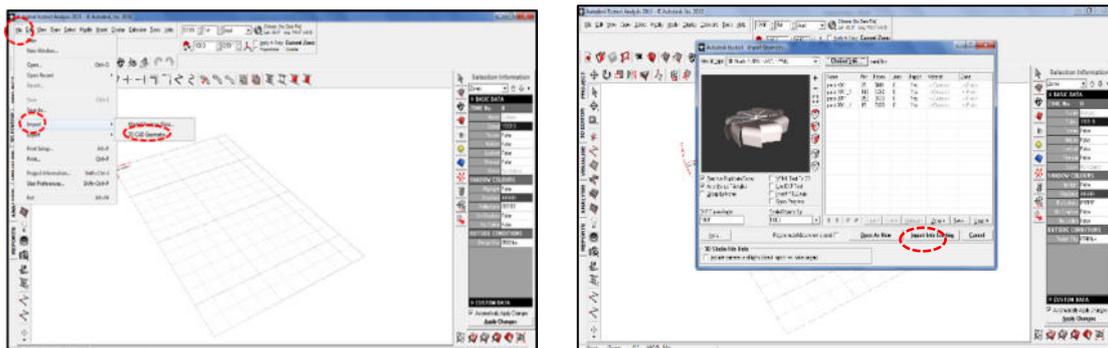


Figure III-5: l'import de model a l'ecotecte (source : auteur)

III.3.4Intégration des données météorologique :

Après l'import des modelés il a été nécessaire d'intégrer les données météorologique de la ville de Biskra dans le logiciel Ecotect après avoir convertir le fichier a un fichier (Weather data) . Les étapes d'intégration des données sont comme suite :

Premièrement nous avons cliqué sur projet et chercher (Weather Data File) . Ensuite sélectionne le fichier (Weather data) de la ville de Biskra dans le tableau (Lad Climate Data File) et enfin cliqué sur ouvrir

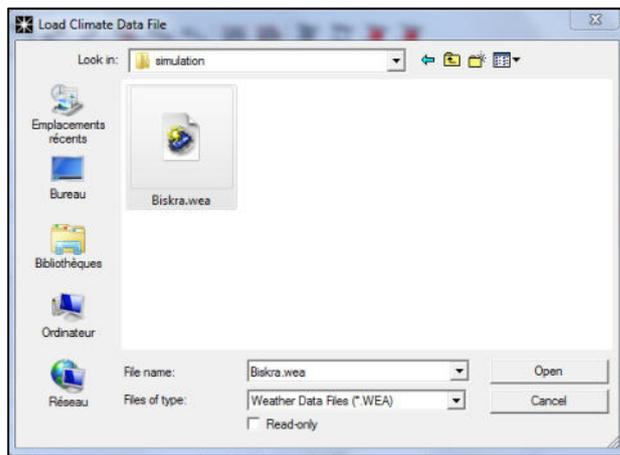


Figure III-6 : choix des données météorologiques (source auteur)

III.3.5 La simulation du model :

Pour la modélisation de notre model on a utilisé l'ecotece : pour démarre le calcul de l'éclairage naturel, choses la date et heure on clique sur (calculate) ensuite (lighting Analysais) le menu suivant apparait. On sélectionne (naturel light level) puis on clique next.

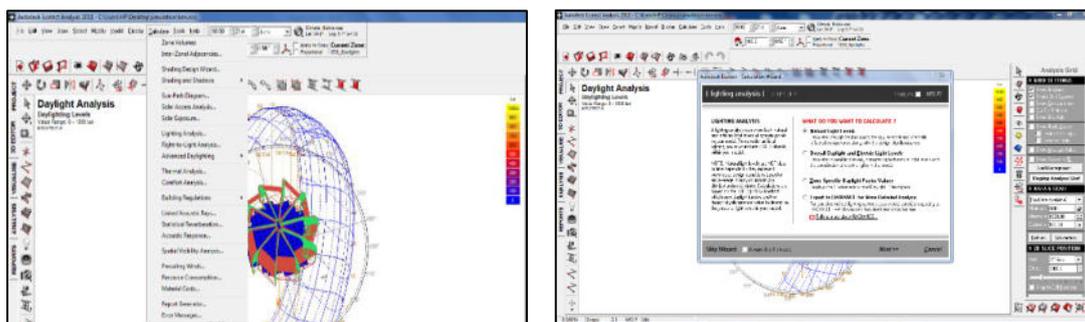


Figure III-7 : sélection du calcul d'éclairage (source : auteur)

Ensuite clique (over the analysis grid) next clique medium pour les nombre des point de mesures.

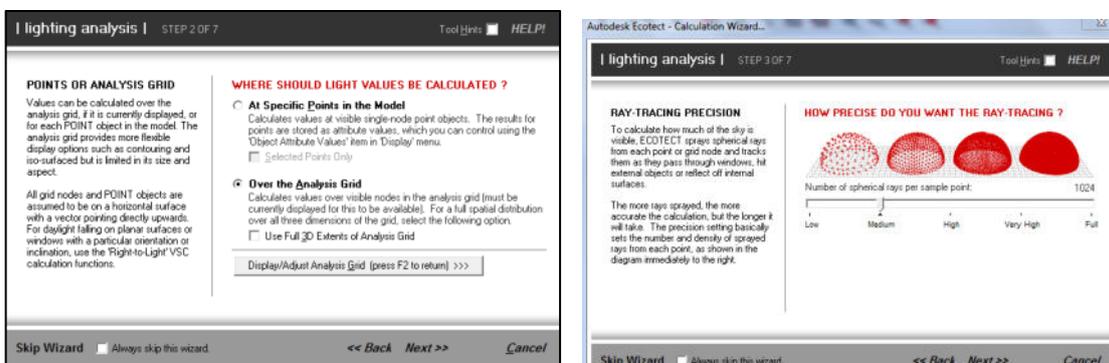


Figure III-8 : sélection de la quantité de point mesure (source :auteur)

Ensuite choses niveau d'éclairément 1000 lux next l'ouverture de average nexte (increased accuracy) next

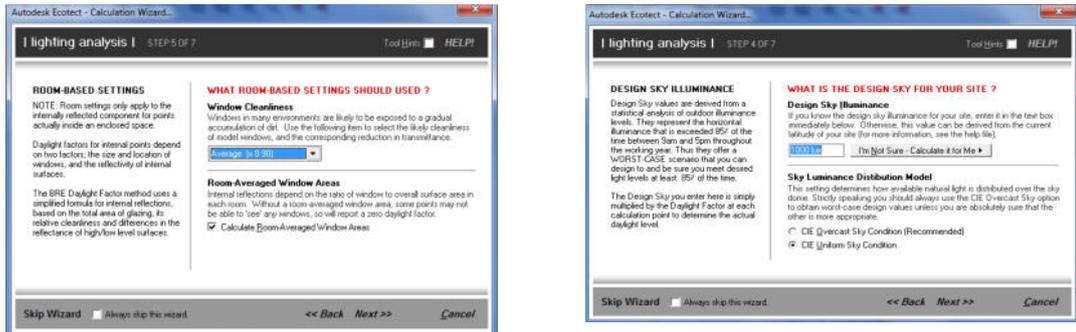


Figure III-9 : sélection de dimension du Windows (source : auteur)

Ce dernier écran est sous forme de résumé de tous les paramètres que nous avons sélectionnés à l'aide de l'assistant

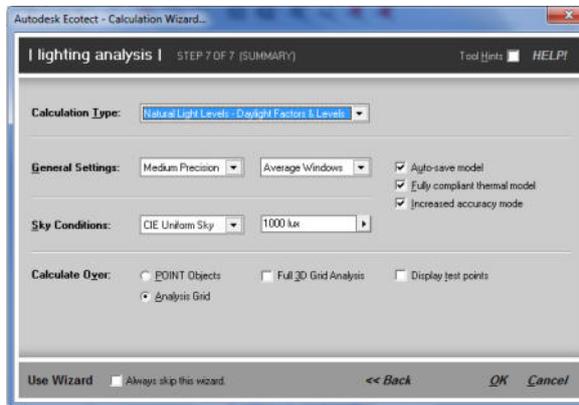
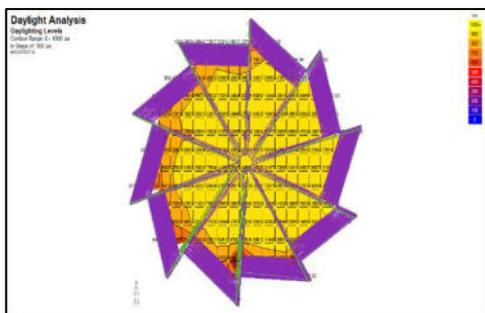


Figure III-10 : synthèse des paramètres de simulation (source : auteur)

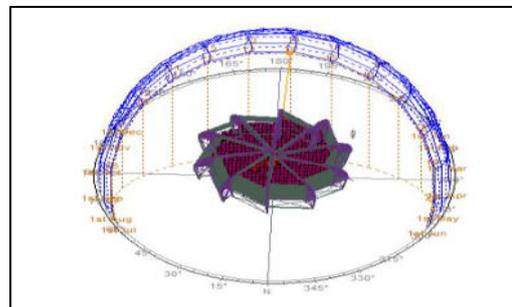
Interprétation des résultats de la simulation :

L'objectif de cette simulation est de connaître la quantité d'éclairément qui rentre dans la salle par les sheds :

1^{er} cas en été : 21 jaune à 14 :00h



FigureII-11 : résultat du 1^{er}cas (source : auteur)



FigureII-12 : position du soleil du ca1^{er} (source :auteur)

Zone1 : $900 < E < 1100 \text{ lux}$ ----- 60%
 Zone2 : $700 < E < 830 \text{ lux}$ ----- 30%
 Zone3 : $100 < E < 700 \text{ lux}$ ----- 10%

Problème :

Dans la salle central : éclairage élevé en 14 :00h un problème d'éblouissement un Eblouissement.

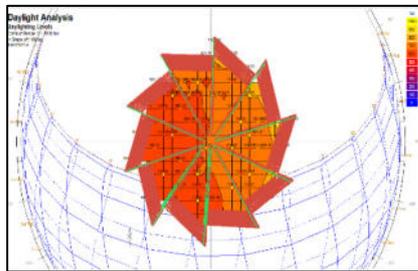
Règle : $800 < E_s$

Solution :

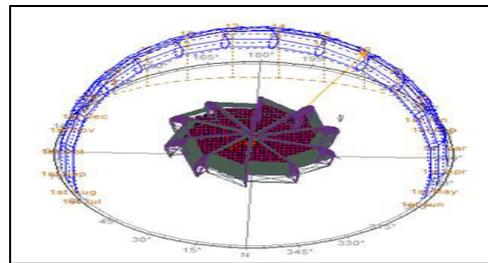
Pour réduit la quantité d'éclairément :

Diminue l'angle de shed à 45% ou change le type de vitrage à vitrage réfléchissante (transmission lumineuse inférieure) comme double vitrage et tripleEtc.

2^{ème} cas en été : 21 jaune à 16 :00h :



FigureII-13 : résultant du 2^{ème}cas
(Source :auteur)



FigureII-14: position du soleil du cas 2^{ème}
(source : auteur)

Zone1 $700 < E < 813 \text{ lux}$ ----- 60%
 Zone2 : $700 < E < 600 \text{ lux}$ ----- 30%
 Zone3 : $E < 900 \text{ lux}$ ----- 10%

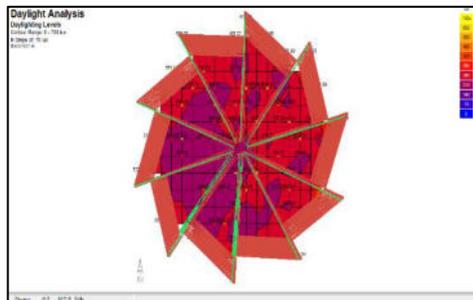
Problème :

Dans la salle central : éclairage moyen en 16 :00h

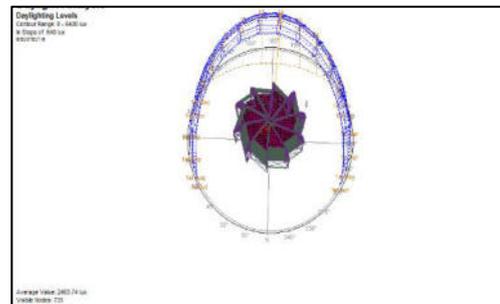
Regle : $800 \leq E_s$

la quantité d'éclairément : moyen assure le confort visuelle

3^{ème} cas en hiver : 21 décembre à 14 :00 h



FigureII-15 : résultant du 3^{ème}cas
(Source : auteur)



FigureII-16 : position du soleil du cas 3^{ème}
(Source : auteur)

Zone1 : $E > 500 \text{ lux}$ ----- 60%
Zone2 : $E > 400 \text{ lux}$ -----30%
Zone3 : $E > 300 \text{ lux}$ -----10%

Problème :

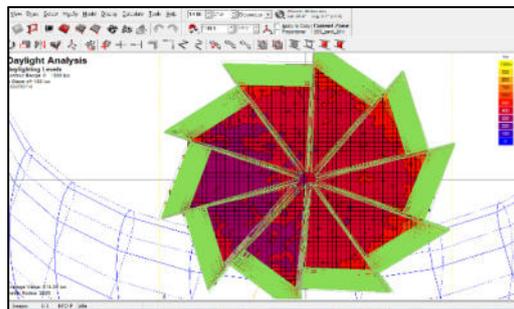
Dans La salle central : éclairage est faible la salle est sombre à 14h

Règle : $800 > E_s$: inconfort visuelle

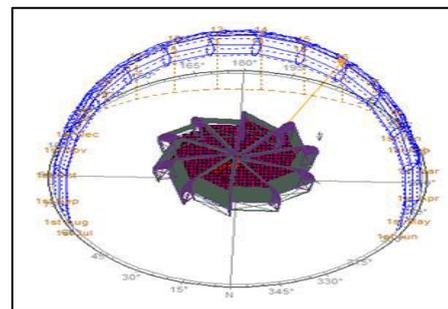
Solution :

Augement l'angle du shed en 60% ou change le type de vitrage en translucide utilise la lumière artificielle

4^{émé} cas en hiver : 21 décembre à 16 :00 h :



FigureII-17 : résultant du 4^{émé}cas
(Source : auteur)



FigureII-18 : position du soleil du cas 4^{émé}
(Source : auteur)

Zone1 : $270 < E < 300 \text{ lux}$ ----- 60%
Zone2 : $270 < E \text{ lux}$ -----30%
Zone3 $600 < E < 700 \text{ lux}$ -----10%

Problème :

Dans La salle central : éclairage est modère la salle est peu éclairé à clair à 14h
 $800 > E_s$: inconfort visuelle

Solution :

Augement l'angle du shed en 60% ou change en côte ouest le type de vitrage en translucide utilise la lumière artificielle une protection solaire

Conclusion :

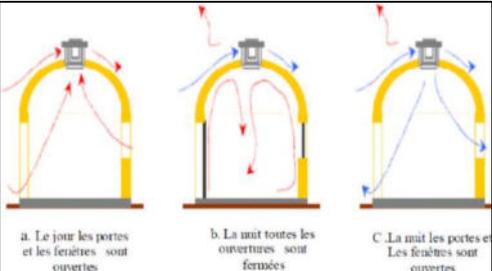
A travers ce chapitre nous avons proposé outils de simulation logicielle ecotect pour les performances de la lumière naturelle dans la salle de sport couvert dans la ville de Biskra

En propose la diapositive les sheds pour choisir le plus performant en période hiver et été en calcule niveau l'éclairément et Trouver des problèmes et propose des solutions et qui correspond aux régions désertique a climat chaud et aride pour garantir un confort visuel, ce qui est d'ailleurs l'objectif final de notre recherche

Conclusion et recommandation :

Notre Intérêt primordial est de répondre aux exigences du climat chaud et aride notamment pour l'éclairage naturel et le confort thermique adéquat pour les occupants. Ce volet a pour objectif de proposer des recommandations et des stratégies de conception dans les climats arides a travers une comparaison des études qui été faite au paravent.

Nous arguons que pour assurer le confort thermique et l'éclairage naturel sous les climats chauds et arides il faut :

Des recommandations pour l'éclairage naturel et confort thermique	
Recommandation pour l'éclairage naturel	
L'éclairage zénithal	 <p>utiliser toitures en dents de scie (les sheds) : pour éviter totalement ce rayonnement direct du soleil (45° en été et 60°hiver)</p>
	 <p>Utiliser Puits de lumière : Pour éviter le rayonnement direct du soleil par diffuseur, qui répartit la lumière dans la pièce à éclairer</p>
Latérale	 <p>Les étagères de lumière (light shelf) : pour contrôle la quantité de la lumière naturelle protection solaire dans la zone chaude et</p>
Recommandations pour le confort thermique	
	<p>Les tours à vent (Malqaf) : système de refroidissement passif</p>
 <p>a. Le jour les portes et les fenêtres sont ouvertes b. La nuit toutes les ouvertures sont fermées c. La nuit les portes et Les fenêtres sont ouvertes</p>	<p>Les dômes : L'air chaud est alors entraîné et évacué par effet de cheminée à l'extérieur par la fenêtre du dôme</p>

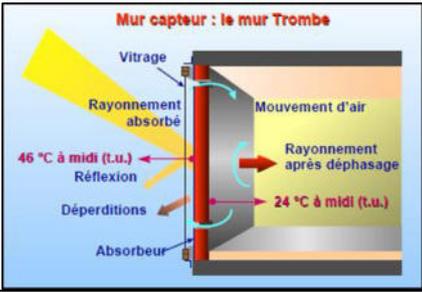
	<p>Mur ventilé : favoriser la ventilation naturelle à travers le mur ventilé</p>
	<p>La végétation participe à la protection solaire. Elle permet de stabiliser la température de l'air par rétention de l'eau dans ses feuilles et par évaporation de l'eau à leur surface</p>

Table des matières

L'introduction :	67
III.1Caractéristiques climatiques de la ville de Biskra :	68
III.3.1Géométrie du local :	69
III.3.2Le logiciel de la simulation	69
III.3.3L'import géométrie et simulation du model :	70
III.3.4Intégration des données météorologique :	70
III.3.5La simulation du model :	71
Conclusion :	75
Conclusion et recommandation :	76

Remerciement :

*En tout premier lieu, je remercie **ALLAH**, tout puissant, de m'avoir donné la force pour survivre, ainsi que l'audace pour dépasser toutes les difficultés*

Je remercie Dr SAADI Med Yacine de m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé.

*Je tiens à exprimer ma gratitude envers l'ensemble des membres de jury :
Dr Mezerdi Toufik et Mr Youssef Kamel*

. Mes chaleureux remerciements aux enseignants et étudiants de département d'architecture université Mohamed khider Biskra pour leurs soutiens et encouragements

J'ai appris que le succès n'est jamais une fin en soi, que l'échec n'est jamais fatal mais c'est la persévérance et le courage qui comptent, ils sont source de réussite.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail en signe de respect, reconnaissance et de remerciement :

*A mes chers parents,
Qui m'ont aidé de
Près et de loin.*

*A ma cher sœur
Salma
A mes chers frères
Med soufiane
Ahmed Hichem*

Ma chère Nice AICHA Batoul

*A toutes mes chers amies :
Nadia, fairouz, Halima,
Aicha, Rachida, Donia,
Maroua , Nour, nourra
,*

*A tout mon promo
2019 Master 2 maeza*

*A tout ma famille, qui porte le nom **BENMOUSSA** et **BOULIFA***

A tout ceux qui ont participé à l'élaboration de ce modeste travail et tous ceux qui nous sont chers.

M^{lle} BENMOUSSA Sara soumia

L'introduction générale :

Aujourd'hui, la pratique des activités physique et sportive s'est diffusée et concerne aujourd'hui toute les classes d'âge de l'ensemble de la population, elle est devenue une donnée sociale majeure dont lieux spécifiques, des stades aux piscines en passant par les gymnases scolaires, sont plus souvent perçus comme des lieux de vie contribuant à l'épanouissement des individus et à la création de lien social.

Des pratiques qui doivent à la fois permettre aux pratiquants des différentes disciplines de bénéficier des conditions de température et d'éclairage optimales ainsi qu'à réduire la consommation d'énergie pour atteindre ces objectifs et/ou produire l'énergie nécessaire à partir de sources renouvelables. Contribuent a une augmentation de la demande énergétique pour le refroidissement notamment dans les régions a climat chaud aride.

Par conséquent l'éclairage et la climatisation totalisent 90% de la consommation de l'électricité. Également le chauffage représenté 50% de la consommation du gaz naturel.

Dans ces régions sont caractérisés par une intensité de radiation solaire très important qui peut atteindre $900\text{w}/\text{m}^2$ sur une surface horizontale et d'une température extérieur dépassant 42c° à l'ombre en été.

Face à cette situation d'inconfort qui dure au moins six mois pendant l'année les personnes sont habitués à s'adapter au problème par l'industrie et la consommation excessive de l'énergie fossile il est donc trouver des solutions passive pour minimiser les recours de système active afin d'assurer le confort thermique et d'économiser énergie et réduire la quantité de lumière.

Dans ce travail nous nous intéressons a la question de la lumière naturelle et la régulation thermique dans les salles de sport couvert dans la ville de Biskra. dans ces régions les personnes tendent a de protéger contre le rayonnement solaire pour évite les surchauffes mais cela a un effet négatif sur l'éclairage naturelle dans les salles de sport couvert ce qui implique le recours a l'éclusage artificiel et donc l'augmentation énergétique. la pénétration des rayons solaire direct non contrôlé peut conduire a la apporte thermiques excessifs ainsi que l'éblouissement.

Nous essayons à travers ce travail de répondre aux questions suivantes :

- Comment assure un bon éclairage naturelle toute on réduit le risque de surchauffe dans les salles de sport couvert sous le chaud local ?
- Est-ce que La forme architecturale peut le rôle d'un régulation environnementale (la lumière naturelle et thermique) dans les salles de sport couverte ?

Hypothèses :

Afin de répondre à cette problématique, nous émettons les hypothèses suivantes.

- On peut assurer un confort thermique et une bonne lumière naturelle dans la salle de sport couvert en utilisant des stratégies architecturales qui assureraient une lumière optimum sans laisser lieux à des surchauffes
- La forme architecturale peut jouer le rôle de protection solaire et régulateur thermique à la fois.

Les objectifs :

Nous envisageons à travers ce travail d'étudier les deux notions la lumière naturelle et du confort thermique, Notre objectif principale est assuré des conditions de confort thermique et la lumière les plus favorable dans la salle de sport couvert en utilisant les potentialités de climatiques et architecturale

Vérification d'hypothèses :

Pour essayer de répondre à nos questionnements énoncés et de vérifier nos Hypothèses, nous avons proposé une méthode de recherche basée sur les dimensions du confort suivante :

- Une expérimentation objective effectuée par des simulations informatisées à l'aide de logiciels ECOTECT outils d'évaluation de la performance de l'environnement lumineux, et d'évaluation du confort thermique.

Structure de mémoire :

D'autre part, il est à noter que cette mémoire est structurée en deux grandes parties qui s'agencent de la manière suivante :

La première partie : qui consiste en une recherche bibliographique et documentaire dont l'objectif est de mettre en évidence l'importance du climat dans la conception architecturale l'impact des facteurs climatique sur le confort thermique et la lumière naturelle dans les salles de sport couvert, tandis que la seconde partie : est plutôt pratique en utilise logiciel pour évaluation thermique et la lumière naturelle dans le but de faire ressortir de recommandation aux concepteurs.

Pour ce faire, ce manuscrit de mémoire est divisé en 3 chapitres qui couvrent les deux parties, portant sur l'évaluation du confort thermique et lumineux dans la salle de sports couvert :

Le premier chapitre :(la lumière naturelle) : envoute de définir les notions de la lumière et les paramètres de la lumière naturel et ses dispositifs

Le deuxième chapitre : (la régulation thermique) : présente les paramètres qui agissent sur le confort thermique, les différents systèmes de refroidissement passifs adopte dans les milieux à climat chaud et aride

Troisième chapitre : (simulation de la lumière naturelle de la salle de sport) étude expérimentale : donne l'objectif donne l'objective de notre travail qui est étude la lumière naturelle dans la salle de sport couvert dans la ville de Biskra.
Ou on va arguer à la base des conclusions des chapitre précédent et partir de comparaison de deux études pour synthétiser les résultats de ces dernières et proposer des recommandations aux concepteurs.

Liste Des Tableaux

Tableau I-1 : indicatif liant le facteur de lumière du jour avec activité possibles	29
Tableau I-2 : niveau d'éclairément recommandés dans salle de sport.....	29
Tableau II-1 : l'échelle des réponses demandées aux sujets	39
Tableau II-2 : Paramètres influents sur la sensation du confort thermique.....	40
Tableau III-1 : Précipitation annuelle de la ville Biskra	68
Tableau III-2 : Température mensuelles de la ville de Biskra.....	68
Tableau III-3 vitesses mensuelles de vent la ville de Biskra.....	68
Tableau III-4 : niveau d'éclairément recommandés dans salle de sport.....	69

Listes Des Figures

Figure I-1 : le panthéon de rome debut IIe siecle	4
Figure I-2 : espaces / 3 identités différentes	5
Figure I-3 : le soleil.....	6
Figure I-4 : Aspects ondulatoire et corpusculaire de la lumière	6
Figure I-5 : les modes de réflexion.....	7
Figure I-6 : les modes de transmission	8
Figure I-7 : Réfraction	8
Figure I-8 Réfraction. Totale	8
Figure I-9 : onde lumineuse avec champ magnétique et champ électrique à angle droit l'un de l'autre	8
FigureI-10 : Comportement de la lumière au contact des surfaces de matériau transparent ou opaque	9
FigureI-11 : Synthèse additive / Synthèse soustractive.....	9
Figure I-12 : Définition de la couleur d'un objet opaque / d'un objet transparent	10
Figure I-13 : Types de grandeurs photométriques	10
Figure I-14 : Le flux lumineux	10
Figure I-15 : Intensité lumineuse / angle solide	11
Figure I-16 : L'éclairement lumineux	11
Figure I-17 : La luminance des surfaces éclairées	11
FigureI-18 : Mode de calcul du FLJ	12
Figure I-19 : Spectre solaire	12
FigureI-20 : Equinoxes printemps et automne/solstice d'été	13
Figure I-21 : Azimut et hauteur du soleil	13
FigureI-22 : Variation de la puissance du rayonnement solaire sur la surface de la terre selon le type de ciel / les types de rayonnements solaires.....	14
FigureI-23. Variation de l'apport solaire selon l'orientation et l'inclinaison des faces en Belgique	14
FigureI-24 : Obstruction des rayonnements solaires par l'environnement bâti / réflexion des rayonnements solaires par des écrans internes et externes au projet	14
FigureI-25 : Les composantes régissant le rapport entre le rayonnement solaire et espace architectural	15
FigureI-26 : Chapelle Avila, Santa Maria, Transtevere, Rome.	15
FigureI-27 : Galerie de Diana, Venaria Real, Turin. Filippo Juvarra.....	16
Figure I-28: therme de Vals, Suisse. Architecte Peter Zumthor	16
Figure I-29 : Mosquée Nasir-ol-Molk Chiraz, Iran.	17
FigureI-30 : Verrières horizontales	18
FigureI-31: verrières inclinées	19
FigureI-32 : direction de la lumière	19
FigureI-33 : dispositifs zénithaux : dôme.....	19
FigureI-34 : Exemples de tabatière	20
FigureI-35 : Exemple d'inclinaison des vitrages	20
FigureI-36 : Recommandations pour une bonne conception des tabatières	20

FigureI-37 : La disposition du dôme par rapport à l'angle de 30.....	20
FigureI-38 : exemple sheds	21
FigureI-39 : Composantes des sheds	21
FigureI-40 : Schéma expliquant le dispositif d'une toiture en sheds	22
FigureI-41 : dimensionnement des sheds	22
Figure I-42 : L'angle d'ouverture des sheds	22
FigureI-43 : Effet directif des sheds	23
FigureI-44 : Les types des sheds	23
FigureI-45 : les différents forme lanterneaux	23
FigureI-46 : dimensionnement des lanterneaux.....	24
FigureI-47 : Exemples de contrôle du rayonnement solaire dû aux lanterneaux	24
FigureI-48 : Exemple de contrôle du rayonnement solaire dû aux lanterneaux	24
FigureI-49 : Performance lumineuses de puits de jour	25
FigureI-50 : ratio optimal de la hauteur sur largeur du puits de jour	25
FigureI-51 : Les composants du système	26
FigureI-52 : Le fonctionnement du système	26
Figure I- 53 : composant de puit de lumière	26
FigureI-54 : exemple de puit de lumière	26
FigureI-55 : Schéma expliquant le dispositif puits de lumière	27
FigureI-56 : L'atrium, la cour intérieure	27
FigureI-57 : forme de l'atrium	27
FigureI-58 : Les valeurs FJD	28
FigureI-59 : les facteurs de Fj.....	28
FigureI-60 : performance luminances d'un dispositif d'éclairage unilatéral	30
Figure I-61 : dispositifs d'éclairage bilatéral et ses performances lumineuses.....	30
FigureI-62 : Dispositif d'éclairage naturel	31
FigureI-63 : les types light shelf	32
FigureI-64 : schéma explique dispositif	32
FigureI-65 : La hauteur du light shelf	32
FigureI-66 : Les stores réfléchissants.....	32
Figure I- 67 : schéma explique système anidoliques.....	33
Figure I-68 : les critères du confort visuel en un coup d'œil.	34
Figure II-1 : Les modes de transferts de chaleur.	39
Figure II-2 : Valeur exprimée en Clo des tenues vestimentaires.....	40
Figure II-3 : Le métabolisme humain	41
FigureII-4 : La température de l'air ambiant	41
FigureII-5 :Le diagramme de l'air humide	41
Figure II- 6 : Gains thermiques internes d'un espace.	42
FigureII-7 : Concepts de la stratégie du chaud.	42
Figure II-8 : Concepts de la stratégie du froid.	44
FigureII-9 La classification des matériaux de construction.	46
FigureII-10 : paroi qui combine une faible conductivité thermique avec une grande inertie thermique.	47

FigureII-11 : La capacité de double vitrage de permettre d'utiliser la faible conductivité thermique de l'air.....	47
FigureII-12 : Représentation de la ventilation naturelle.....	48
FigureII-13 : Action du vent sur les bâtiments	49
FigureII-14 : La ventilation par tirage	49
FigureII-15 : façade Sud, l'effet thermique	49
FigureII-16 : La ventilation naturelle par ouverture des fenêtres.....	50
FigureII-17 : Illustrations de la ventilation naturelle par conduits verticaux.....	50
FigureII-18 : Exemple d'une installation de ventilation hybride.....	51
FigureII-19 : Diagramme schématique de trois types de cavité pour le chauffage passif et la ventilation naturelle.....	51
FigureII-20 : schéma du principe mur trombe	52
Figure II-21 : schéma fonctionne d'un Mur trombe en hiver	53
Figure II-22 : schéma fonctionné d'un mur trombe en été	53
FigureII-23 : Façade double peau	53
FigureII-24 : Tour à vent à YAZD, IRAN	54
Figure II-25 : schéma fonction	54
FigureII-26 : fonctionnement des tours à vent pendant les saisons.....	54
FigureII-27 : Les différents cas de fonctionnement des Dômes.....	55
Figure II- 28 : représentation simplifiée d'un puits canadien	56
FigureII-29 : schéma fonctionnement d'un puits canadien actuel	56
FigureII-30 : Schéma illustrant le fonctionnement d'un puits canadien	57
FigureII-31 : Protection solaire par naturel	57
FigureII-32 : Ombrage naturel	57
FigureII-33 : Le différent effet de la végétation.....	58
FigureII-34 : situation ville de Biskra.....	59
FigureII-35 : les zone climatique d'hiver et d'été.....	59
FigureII-36 : effet de l'orientation de l'ouverture sur la température de l'air intérieur	60
FigureII-37 : température de l'aire extérieure. (Périodes 1997-2007)	60
FigureII-38 : humidité relative (%) période (1997-2007)	61
FigureII.39 : précipitation en mm période (1997-2007)	61
FigureII.40 : vitesse du vent (m/s) période « 1997-2007 »	62
FigureII-41 : le type de ciel de Biskra	63
FigureII-42 : diagramme de la température résultante	64
FigureII-43 : diagramme bioclimatique et des zones d'influence des paramètres climatique.....	65
FigureIII-1 : Irradiation solaire annuelle dans le monde.....	68
FigureIII-2 : la situation du terrain.....	68
Figure III-3 : la géométrie du local.....	69
FigureIII-4 : logiciel ecotecte.....	70
Figure III-5 : l'import de model a l'ecotecte	70
FigureIII-6 : choix des données météorologiques.....	71
FigureIII-7 : sélection du calcul d'éclairement.....	71
Figure III-8 : sélection de la quantité de point mesure.....	71
Figure III-9 : sélection de dimension du Windows.....	72

Figure III-10 : synthèse des paramètres de simulation.....	72
FigureII-11 : résultat du 1 ^{er} cas.....	72
FigureII-12 : position du soleil du ca1 ^{er}	72
FigureII-13 : résultant du 2 ^{émé} cas.....	73
FigureII-14 : position du soleil du cas 2 ^{émé}	73
FigureII-15 : résultant du 3 ^{émé} cas.....	73
FigureII-16 : position du soleil du cas 3 ^{émé}	73
FigureII-17 : résultant du 4 ^{émé} cas.....	74
FigureII-18 : position du soleil du cas 4 ^{émé}	74