

## INTRODUCTION:

L'apprentissage sensoriel débute par une sensation qui découle d'une stimulation d'un organe sensoriel. Dans la discipline de l'architecture, et de l'urbanisme, plusieurs travaux de recherche font recours à d'autres disciplines et d'autres sciences, comme la physiologie et la physique, en vue de comprendre certains phénomènes physiques liés à l'homme, et afin de mieux le cerner dans le but d'améliorer son cadre de vie. Ces recherches portent sur certains domaines sensoriels, comme la vue, l'ouïe, l'odorat, et le toucher.

La physiologie est une science qui étudie des processus physiques et chimiques qui ont lieu dans les organismes vivants lors de l'accomplissement des fonctions vitales. Elle entretient des relations étroites avec l'anatomie et la médecine. Ce n'est sans doute pas étonnant que l'organe sensoriel soit étudié par l'entremise de cette science. En effet, à l'aide de la physiologie, la possibilité de comprendre la composition et le fonctionnement de l'organe sensoriel de la vue s'offre à nous. Il s'agit en réalité du système visuel commençant par l'œil organe récepteur de ce système.

Partant d'une stimulation, la sensation n'aurait pas eu lieu sans un stimulus, élément déclencheur de cette stimulation. La physique peut être définie comme une science qui étudie par l'expérimentation et par développement de concepts et de théories les propriétés fondamentales de la matière, de l'énergie, de l'espace et du temps, et qui vise à expliquer l'ensemble des phénomènes naturels en établissant des lois qui les régissent. Cette définition nous indique que la physique peut être par excellence la science qui explique le stimulus de la vision: la lumière.

En fonction de l'apprentissage sensoriel, une prise de conscience doit se faire durant la formation du futur architecte, c'est à dire, l'étudiant en architecture. Cette prise de conscience correspond à des connaissances relatives à la lumière naturelle qui peuvent être acquises dans le domaine de l'architecture. Le contenu, l'emplacement, et les méthodes d'enseignement de ces connaissances sont fortement liés au processus sensoriel. C'est cette prise de conscience, cette acquisition de connaissances qui est abordée dans la deuxième partie de ce chapitre.

### 1. SENSATION:

Les sens sont au nombre de cinq : la vue, l'ouïe, l'odorat, le goût et le toucher ; c'est ce que chacun de nous sait, depuis sa plus tendre enfance. Les cinq sens correspondent a priori à des organes précis de notre corps: les yeux, les oreilles, le nez, la langue et la peau. Ces organes sensoriels se situent plus ou moins à la surface de notre corps, en interface entre notre corps et le monde extérieur (Corcuff, 2007).

La sensation peut être définie comme 'Phénomène par lequel une stimulation physiologique (externe ou interne) provoque, chez un être vivant et conscient, une réaction spécifique produisant une perception; état provoqué par ce phénomène. Sensation gustative, olfactive, tactile, visuelle; sensation du goût, du tact, du toucher, de la vue. Sensation de chaud, de froid; sensation de faim, de soif; sensation d'acidité, d'aigreur, d'oppression, de picotement'. (CNRTL, 2010).

C'est un phénomène psychologique concomitant de l'arrivée d'un flux nerveux au cortex cérébral. Elle est donc spécifique d'une modalité sensorielle, ou même d'une seule caractéristique de la stimulation (Bagot, 1999).

Elle peut aussi être définie comme un ‘État de conscience plus affectif qu'intellectuel; perception immédiate (d'un état physique ou moral). Sensation agréable, délicieuse, exquise, enivrante, forte, subtile, vive, sensation violente, sensation d'attente, de dégoût, d'écoeurement, de fatigue, accroître, diminuer les sensations’ (CNRTL, 2010).

C'est ‘ un psychique élémentaire résultant d'une modification de l'environnement. Cette définition implique qu'il ait eu un traitement minimum d'information par le système nerveux central à la suite d'une stimulation d'organe sensoriel’ (Bagot, 1999, p14).

Ces définitions révèlent l'existence de deux domaines disciplinaires pour l'étude de la sensation : i) la psychologie et ii) la physiologie. Dans ce chapitre nous traitons uniquement le domaine physiologique de la sensation.

### **1.1. Classification des sensations:**

Il existe un système sensoriel responsable de sensations spécifiques pour chacune des cinq sensations, sans oublier d'y ajouter le système vestibulaire, impliqué dans l'équilibration de notre tête dans l'espace et sur les emplacements qu'elle subit (Bagot, 1999).

#### **1.1.1. Sensations somesthésiques:**

Les sensations somesthésiques englobent celles de nature :

- **Extéroceptive** : tactile et thermique : il s'agit de récepteurs externes.
- **Proprioceptive**: la tension des muscles, des tendons et des ligaments, ses sensations sont inconscientes.
- **Intéroceptive**: la sensibilité des viscères : dans ce cas il s'agit de récepteurs internes.
- **Nociceptive** : la sensibilité à la douleur.

#### **1.1.2. Sensations spécifiques:**

Elles incluent : vision, audition, olfaction, gustation et équilibration. Dans notre travail de recherche, nous nous intéressons aux sensations spécifiques et plus précisément à la **vision**.

### **1.2. La vision:**

Pour appréhender son environnement, l'homme a besoin de modalités sensorielles comme la vision qui est parmi celles des plus utiles (Bagot, 1999). L'œil est l'organe de la vue ; mais la vision, nécessite l'intervention de zones spécialisées du cerveau (le cortex visuel). Celles-ci analysent, synthétisent et interprètent le flux lumineux qui a pénétré l'œil afin de nous permettre de prendre connaissance de notre environnement (Tabart 2006).

Dans cette partie, nous allons tenter d'expliquer ce processus visuel, en partant de l'œil lorsque la lumière frappe les récepteurs spécialisés au fond des globes oculaires jusqu'au cortex visuel.

### **1.3. Mécanismes de la vision:**

La vision est une expérience visuelle essentielle. Comparée à d'autres modalités sensorielles, elle prend une partie importante du cerveau humain. A la base du mécanisme de la vision, un stimulus issu du monde physique qui passe par des spécifiques, qui ont une certaine configuration physiologique et possèdent des récepteurs qui réagissent à ce stimulus. Comprendre les mécanismes de la vision consiste à suivre un itinéraire pour découvrir où il mène. Cet itinéraire commence par le système visuel d'analyse, à savoir la lumière, passe ensuite par le système optique pour se terminer au niveau du cerveau (Kolb et Whishaw, 2002).

## **1.4. Sciences liées aux mécanismes de la vision:**

Pour pouvoir expliquer les mécanismes de la vision il faut chercher des explications dans toutes les sciences qui se sont intéressées à ces mécanismes. La physique et la physiologie ont fortement contribué à l'explication de la vision. Elles ont apporté, chacune dans son domaine, beaucoup de réponses. En effet, la physique a expliqué un phénomène issu de son monde, il s'agit du stimulus visuel qui est la lumière. Quant à la physiologie, elle a apporté sa contribution en expliquant la structure et le fonctionnement organique du système visuel (Corcuff, 2007).

### **1.4.1. La physique:**

La physique est une science exacte qui étudie l'ensemble des phénomènes naturels associés à la matière, au temps ou à l'espace, et qui élabore leurs lois constitutives. La lumière fait partie de ces phénomènes, et c'est de ses caractéristiques physiques que nous allons parler dans cette partie (Kolb et Wishaw, 2002).

#### **1.4.1.1. La lumière : Stimuli visuel:**

##### ***1.4.1.1.1. Survol historique***

La lumière est un phénomène physique qui nous permet de voir autour de nous. Sa nature et ses propriétés physiques ont attiré la curiosité et l'intérêt des penseurs depuis l'antiquité. Plusieurs théories sont apparues pour expliquer ce phénomène comme la théorie d'Ibn al-Haytham (965-1039), celle de Huygens (1629-1695) élève de Descartes et celle de Newton (1643-1727). Mais, c'est au milieu du XIX<sup>ème</sup> siècle que Maxwell a pu déduire que la lumière est une onde électromagnétique.

Au début du XX<sup>ème</sup> siècle, Einstein crée une nouvelle théorie : la lumière est formée de grains d'énergie qui se propagent (les photons). Louis de Broglie (1892-1987) qui a fait beaucoup de recherche dans ce domaine, est considéré comme le fondateur de la mécanique ondulatoire. (Taillet, 2006). C'est à cette théorie ondulatoire que nous allons nous référer dans ce travail de recherche (ACA, 2011).

##### ***1.4.1.1.2. Définition***

A la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle James Maxwell définit la lumière comme un faisceau d'ondes électromagnétiques se déplaçant à vitesse constantes dans le vide (300.000 kilomètres par seconde). C'est le domaine très restreint des ondes électromagnétiques auxquelles le système visuel est sensible. La lumière peut être représentée sous forme d'une onde en continu mouvement, avec des ondes "lumineuses" qui n'ont pas la même longueur. La lumière est une énergie électromagnétique qui provient d'une source lumineuse. Cette énergie en provenance du monde extérieur est conduite à l'intérieur de l'œil, frappe une surface sensible à la lumière localisée à l'arrière de l'œil, appelée la rétine. C'est à partir de la stimulation de récepteurs localisés à l'arrière de la rétine que commence le processus de création d'un monde visuel (Kolb et Wishaw, 2002).

##### ***1.4.1.1.3. Sources de la lumière***

La lumière est une énergie électromagnétique. Dès lors nous pouvons affirmer que ce que nous voyons est constitué d'énergie électromagnétique. Cette énergie provient soit directement de la source qui la produit, comme une lampe ou le soleil, soit directement d'une source lumineuse dont

la lumière est réfléchiée par un ou plusieurs de ses objets même. Dans chacun des deux cas il s'agit d'énergie lumineuse en provenance du monde extérieur (ACA, 2011).

#### 1.4.1.1.4. Spectre visible

On appelle spectre visible la partie du rayonnement solaire (pour la lumière du jour) qui parvient sur terre après avoir traversé les couches de l'atmosphère. Ces ondes sont comprises entre 400 et 700 nanomètres (nm) (Figure II.1).

Le spectre de la lumière visible est déterminé non pas par les propriétés physiques des ondes lumineuses, mais par celles de nos récepteurs visuels. Si nous possédions des récepteurs capables de détecter la lumière dans le registre de l'ultra-violet ou dans celui de l'infrarouge, nous verrions des couleurs supplémentaires, (Kolb et Whishaw, 2002).

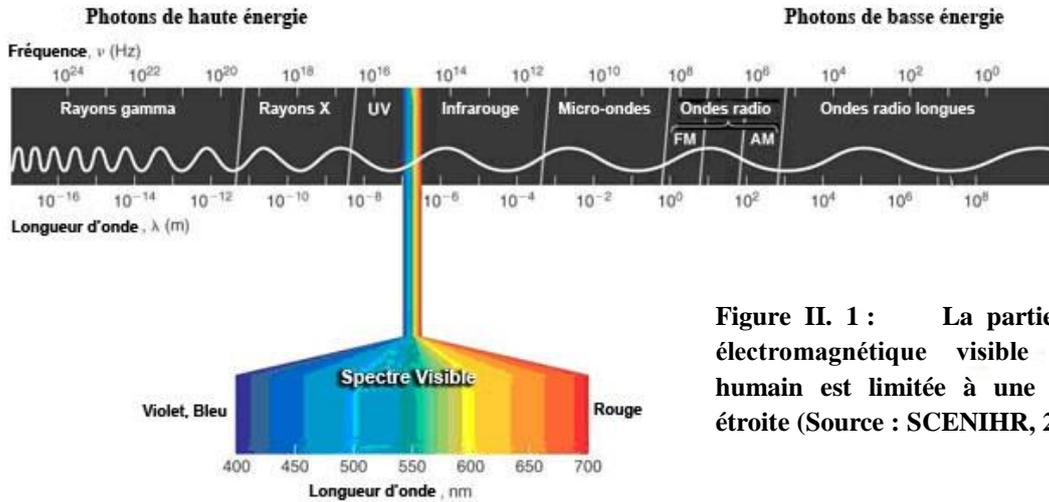


Figure II. 1 : La partie du spectre électromagnétique visible pour l'œil humain est limitée à une fenêtre très étroite (Source : SCENIHR, 2008).

#### 1.4.1.1.5. Unité de mesure

Une onde électromagnétique (O.E.M.) est définie par la longueur d'onde (L), la période (T) et L'amplitude (A). La longueur d'onde est exprimée en nanomètre (Figure II. 2). Un nanomètre correspond à un milliardième de mètre (ACA, 2011).

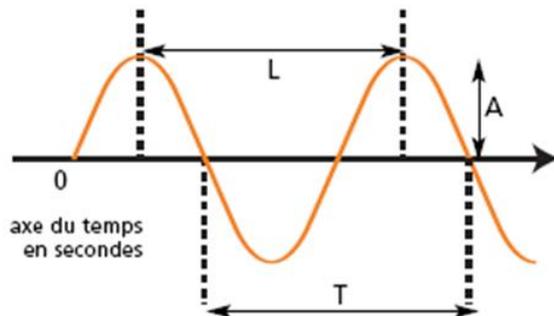


Figure II. 2 : Une onde électromagnétique. (Source : ACA, 2011).

#### 1.4.1.1.6. Vitesse de la lumière

Le rayonnement lumineux se déplace en ligne droite dans tous les milieux y compris le vide, contrairement au son qui a besoin des petites particules d'air comme support de diffusion. Sa vitesse est de 300 000 km/s dans le vide ou dans l'air. C'est la vitesse limite de l'univers, appelée vitesse de la lumière. Aucun objet ayant une masse ne peut se déplacer aussi vite. La lumière se transmet dans plusieurs milieux (l'air, le vide, l'eau...) (Kolb et Whishaw, 2002). (Figure II. 3)

air-vide	300 000 km/s
eau	225 000 km/s
verre	200 000 km/s
diamant	124 500 km/s

Figure II. 3 : Vitesses de la lumière (Source : ACA, 2011).

### 1.4.1.1.7. Propagation de la lumière

Dans un milieu homogène, la lumière se déplace suivant des lignes droites, appelées rayons lumineux. La lumière du soleil met environ huit minutes pour nous parvenir selon une trajectoire rectiligne. Les faisceaux lumineux regroupent un nombre infini de rayons lumineux. (Bagot, 1999). Le contact d'un rayon lumineux avec un objet (opaque ou transparent) peut s'effectuer selon plusieurs manières.

*La diffraction :*

Un rayon lumineux rasant les bords d'un corps opaque est divisé, c'est la diffraction. Lorsque l'objet est macroscopique, l'effet est généralement négligeable mais il devient important quand les dimensions de l'objet sont compatibles avec la longueur d'onde de la lumière. Ce phénomène varie en fonction de la longueur d'onde des radiations lumineuses (De Herde, 2002).

- L'absorption : Elle correspond à une diminution de l'énergie du rayonnement qui est absorbée par les molécules du milieu. Elle est négligeable dans l'air, et très importante dans l'eau. Un objet éclairé par la lumière naturelle, en absorbe plus ou moins les composantes. Il apparaît respectivement noir ou blanc, s'il les absorbe ou les renvoie. L'absorption lumineuse est responsable de l'ombre portée et de la pénombre. L'ombre portée est créée lorsqu'un corps opaque placé devant une source lumineuse obscurcit une région de l'espace. La pénombre est la zone de transition qui apparaît entre l'ombre portée et la pleine lumière lorsque les dimensions de la source lumineuse augmentent, tandis que lorsque la source lumineuse est ponctuelle, le passage de la région de l'espace éclairée à la région obscure se fait sans transition (Bagot, 1999).
- 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 apparaît claire. Une surface dont le facteur de réflexion est faible réfléchit peu de lumière et apparaît sombre. Il existe trois modes de réflexion (Figure II.4).

La réflexion spéculaire : la lumière est renvoyée selon un angle de réflexion égal à l'angle d'incidence du rayon lumineux. C'est le cas d'une surface parfaitement polie.

La réflexion diffuse : lorsque la réflexion se propage dans toutes les directions de l'espace en raison de la légère granulation de la surface. Il existe deux types de réflexion diffuse : la réflexion diffuse parfaite : la lumière est réfléchie distribuée dans toutes les directions, et la réflexion diffuse quelconque : la lumière se répartit de manière aléatoire.

La réflexion mixte : la lumière est réfléchie de manière diffuse, mais privilégie une direction précise.

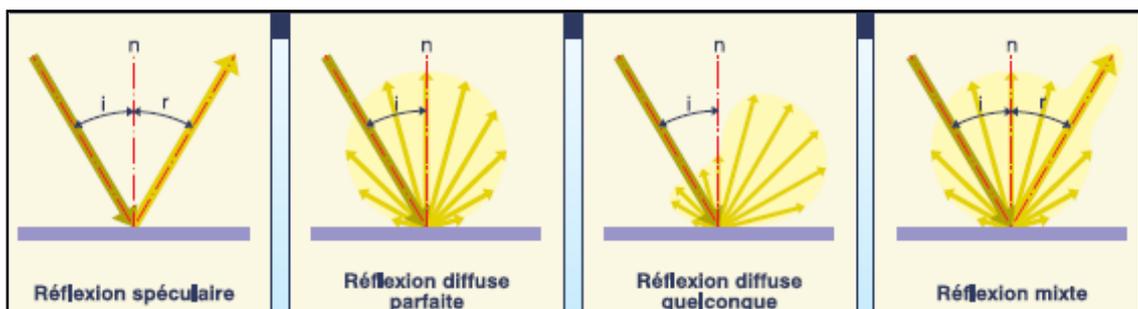


Figure II. 4 : Les modes de réflexion (Source : De Herde, 2002)

*La transmission :*

Concernant la transmission de la lumière, les corps peuvent être regroupés en trois catégories : transparents, translucides ou opaques. La transmission lumineuse est une propriété variable en

fonction de l'épaisseur d'un matériau (De Herde, 2002). On compte quatre modes de transmission de la lumière (Figure II. 5):

- 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 toutes les directions
- La transmission diffuse quelconque: la lumière se répartit de manière aléatoire
- La transmission mixte : la lumière est transmise de manière diffuse mais privilégie une direction précise.

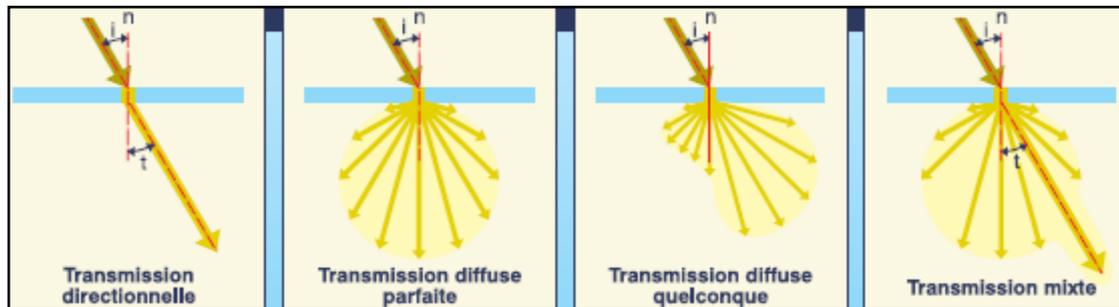


Figure II. 5 : Les modes de transmission (Source : De Herde, 2002)

*La diffusion :*

C'est la dispersion des rayons lumineux dans toutes les directions de l'espace par des particules microscopiques 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. C'est grâce à la réfraction des rayons lumineux par la cornée et le cristallin, que des images optiques de l'environnement peuvent se former sur la rétine (Bagot, 1999).

*La polarisation:*

La lumière possède la symétrie de révolution et ses ondes lumineuses vibrent normalement dans les trois directions. Mais après réflexion, les ondes lumineuses perdent leurs symétries de révolution et ne vibrent plus que dans deux dimensions. En utilisant ce phénomène et en croisant des filtres polariseurs, nous pouvons éteindre complètement un faisceau lumineux. L'utilisation d'un filtre polariseur permet notamment de supprimer les réflexions lumineuses indésirables sur les vitrages des magasins (De Herde, 2002).

### 1.4.2. La radiométrie:

C'est la discipline qui étudie et mesure l'énergie transportée dans l'ensemble de la gamme des rayonnements électromagnétiques, y compris la lumière visible. C'est un système d'unités physiques bien défini qui permet de quantifier l'énergie de toutes les radiations qu'elles soient visibles ou non. La radiométrie ne tient pas compte de la nature du récepteur. Ces grandeurs ne sont pas idéales pour la lumière, car des sources de même énergie peuvent être visibles ou invisibles selon leurs longueurs d'onde. Le radiomètre est l'appareil utilisé pour effectuer ces mesures afin d'avoir la totalité de l'énergie transportée par le rayonnement (Rigaudière, 2009).

#### 1.4.2.1. Les unités radiométriques:

Les unités principales sont au nombre de quatre, elles sont en réalité des unités physiques indépendantes de la longueur d'onde (Figure II. 6).

Deux unités sont définies pour des sources émissives ponctuelles (le flux énergétique et l'intensité énergétique), la troisième pour des sources émissives étendues (la luminance énergétique) et la quatrième pour des sources émissives ponctuelles ou étendues (Annexe B) (Rigaudière et al, 2009).

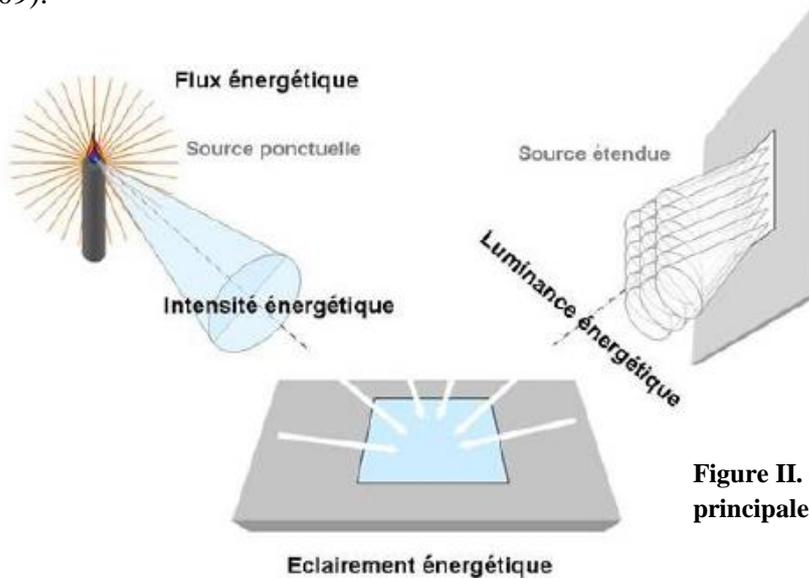


Figure II. 6 : Quatre grandeurs énergétiques principales (Source : Rigaudière et al, 2009).

### 1.4.3. La photométrie:

La photométrie n'est qu'une section limitée de la radiométrie. Elle définit des grandeurs adaptées à la mesure de la lumière, en pondérant les grandeurs énergétiques en fonction du système visuel (Bagot, 1999).

La photométrie a pour but, la qualification des grandeurs relatives au rayonnement en fonction de l'impression visuelle produite (Liébard, 2005).

Pour pouvoir mesurer et qualifier objectivement les phénomènes lumineux, il faut recourir aux grandeurs photométriques qui sont : le flux lumineux, l'intensité lumineuse, l'éclairage et la luminance. Il est dès lors nécessaire de définir ces grandeurs (Annexe C).

### 1.4.4. La physiologie:

La physiologie humaine, dans son sens actuel est la science des fonctions de l'homme vivant. Elle étudie la composition, le fonctionnement, le rôle et l'organisation des organismes vivants. La méthode utilisée en physiologie est essentiellement descriptive.

Pour définir ce qui est important dans une scène, il est nécessaire de savoir comment notre système visuel capte, traite et analyse le flux et les images qu'il reçoit de notre environnement.

Chaque sens correspond physiologiquement à des récepteurs d'un type particulier : pour la vue il s'agit des récepteurs sensibles à la lumière.

De cette façon, le stimulus de la vision à savoir la lumière, est suivie de l'organe récepteur jusqu'au lieu où les informations sont traitées, afin de mieux comprendre le processus sensoriel de la vision.

Dans ce qui suit il est question de présenter de manière non exhaustive les fonctionnalités du système visuel de la rétine jusqu'aux premières aires du cortex visuel primaire (Tabart G. 2006).

#### 1.4.4.1. Structure et physiologie du système optique (visuel):

L'œil est l'organe de la vue, mais la vision nécessite l'intervention de zones spécialisées du cerveau (le cortex visuel) qui analysent et synthétisent les informations collectées. Il s'agit d'un

mécanisme de base de la vision; un système visuel avec sa propre structure et sa propre physiologie, allant de l'œil jusqu'au cortex visuel (Tabart G. 2006).

#### 1.4.4.1.1. L'œil

L'œil est l'organe récepteur du système visuel, (Figure II. 7). Fonctionnellement, il possède plusieurs parties distinctes. i) la sclérotique : partie blanche qui forme le globe oculaire, de forme presque sphéroïdale de diamètre 24mm chez l'adulte dont la fonction est de former une image sur la rétine, ii) la cornée : couche translucide qui recouvre la partie externe du globe oculaire, iii) l'iris qui s'ouvre ou se ferme pour moduler la quantité de lumière entrant dans l'œil ;iiii) le cristallin qui focalise la lumière, et la rétine où l'énergie lumineuse est transformée en activité nerveuse (Kolb,Whishaw. 2002).

Dans cet organe, la lumière passe, d'abord par la cornée, traverse ensuite l'humeur aqueuse, puis l'iris et le cristallin, pour atteindre enfin la rétine. (Bear M.F, 2002). C'est cette partie de l'œil, c'est-à-dire la rétine, qui est traitée dans ce qui suit.

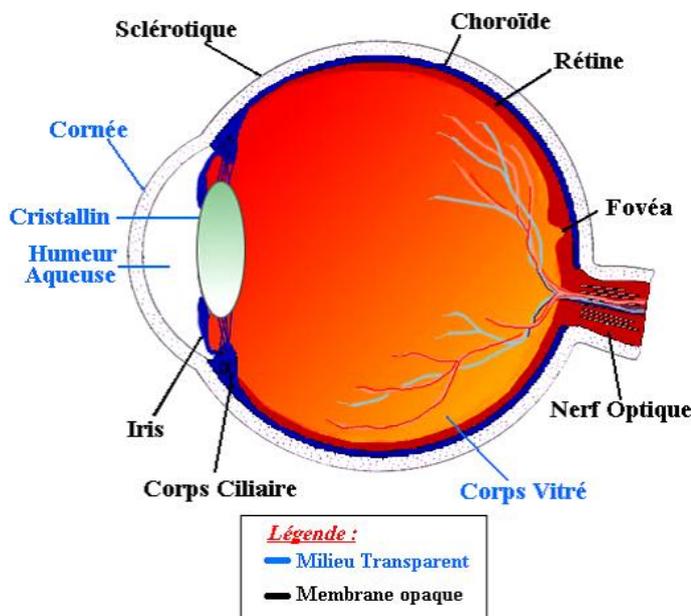


Figure II. 7 : Anatomie de l'œil.  
(Source : Lekhal et Per Einar E, 2002).

#### 1.4.4.1.2. La rétine

La rétine tapisse le fond de l'œil. La lumière, constituée d'ondes électromagnétiques, est convertie en impulsions électriques par les constituants de la rétine : les photorécepteurs. Donc, la rétine est le lieu de traduction du message lumineux, venant de l'extérieur en signaux nerveux, envoyés au cerveau. La rétine est constituée de plusieurs couches de cellules que l'on décrit en allant de l'extérieur (le côté de la choroïde) vers l'intérieur du globe oculaire (Valat, 2007) (Figure II. 8) (Tableau II. 1).

L'épithélium pigmentaire est constitué d'une couche de cellules, qui contiennent de la mélanine et absorbent la lumière. La partie neurale est composée de trois couches distinctes de neurones : i) la couche des photorécepteurs, ii) la couche des cellules horizontales et bipolaires, et iii) la couche des cellules ganglionnaires. Ces trois couches de neurones sont séparées par deux zones de contacts synaptiques, la couche plexi forme externe et la couche plexi forme interne.

La rétine contient aussi trois autres types de neurones (Buser & Imbert, 1987): i) les cellules horizontales et les cellules amacrines qui forment deux circuits horizontaux, et ii) les cellules interplexiformes.

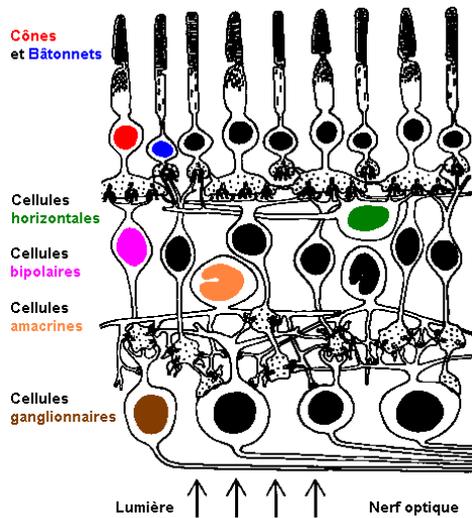


Figure II. 8 : Coupe transversale de la rétine (Source : FRC, 2010).

	Système photo pique	Système scotopique
<b>Récepteurs</b>	Cônes	Bâtonnets
<b>Nombre de photorécepteurs</b>	5 millions	120 millions
<b>Photo pigments</b>	3 opsines différentes	Rhodopsine
<b>Sensibilité</b>	Faible, vision diurne	Élevée, vision nocturne
<b>Localisation dans la rétine</b>	Fovéa et Para-fovéa	Hors de la fovéa
<b>Taille du champ récepteur</b>	Petit en fovéa et s'agrandit en périphérie	Plus grand

Tableau II. 1 : Photorécepteurs de la rétine Propriétés des deux systèmes issus des cônes (vision photo pique ou diurne) et des bâtonnets (vision scotopique ou nocturne). (Source : Chauvin, 2003).

### 1.4.4.1.3. Les photorécepteurs

La couche des photorécepteurs est la couche la plus profonde de la rétine. On distingue deux types de photorécepteurs différents : les cônes et les bâtonnets. Leur répartition sur la rétine n'est pas homogène, et divise celle-ci en trois zones : i) la fovéa, ii) la para fovéa également appelée « tache jaune », et iii) la périphérie. A ces trois régions vient s'ajouter la papille optique également appelée « tache aveugle », qui correspond à l'endroit où se rejoignent tous les axones des cellules ganglionnaires qui quittent la rétine à destination des centres supérieurs (aires du cortex). Ils forment ainsi le nerf optique. Cette zone est dépourvue de cellules nerveuses à l'exception de ces axones. Elle constitue donc un point aveugle de la rétine, qui correspond à un trou dans le champ visuel (Figure II. 9) (Guyard N, 2005).

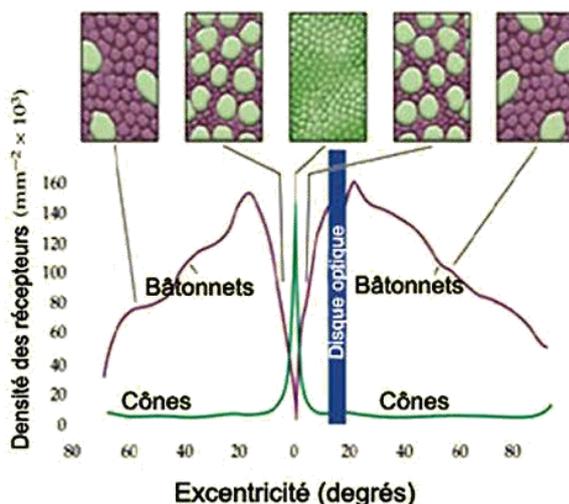


Figure II. 9 : Distribution des cônes et des bâtonnets dans la rétine. (Source : FRC, 2010)

#### 1.4.4.1.4. Cônes et bâtonnets

La rétine comporte environ 130 millions de cellules photosensibles différentes, portant des noms reflétant leur forme : cônes et bâtonnets (Figure II. 10) Les cônes sont environ au nombre de 5 millions par rétine chez l'homme (Bullier, 1997). Ils répondent à une luminosité intense. Ils permettent la vision des couleurs et nous assurent une capacité à distinguer les détails. Les cônes sont de trois types selon leur courbe de sensibilité spectrale (Schnapf, 1988). La proportion de chacun des types de cônes varie suivant les espèces et chez l'homme suivant les personnes.

Il y a environ 120 millions de bâtonnets par rétine chez l'homme (Bullier, 1997). Ils sont visiblement plus nombreux que les cônes et sont plus sensibles en lumière faible. Ils servent principalement à la vision nocturne. Il n'existe qu'une seule sorte de bâtonnets.

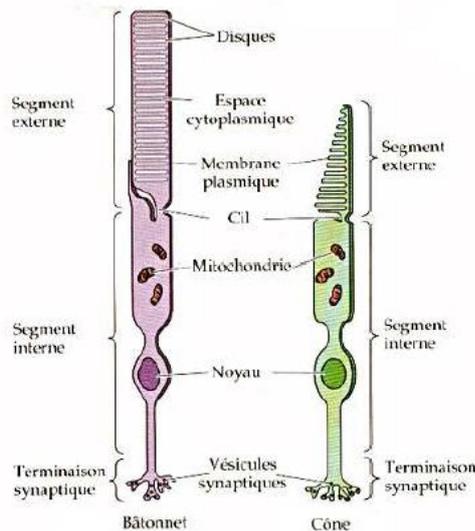


Figure II. 10 : Cône et bâtonnet  
(Source : CATLN, 2011).

#### 1.4.4.1.5. Les neurones de la rétine :

Dans la rétine, il y a quatre types de neurones (Figure II. 11) : i) les cellules horizontales, ii) bipolaires, iii) amacrines et iv) ganglionnaires. Il faut noter que la lumière doit traverser toutes ces couches de neurones pour atteindre les récepteurs.

La cellule ganglionnaire est un type de cellules de la rétine qui donne naissance au nerf optique. Il en existe deux types : les cellules magnocellulaires (type M) et les cellules parvocellulaires (type P). La cellule horizontale est en réalité un neurone de la rétine qui assure des interactions latérales entre les photorécepteurs et les cellules bipolaires (Valat.2007).

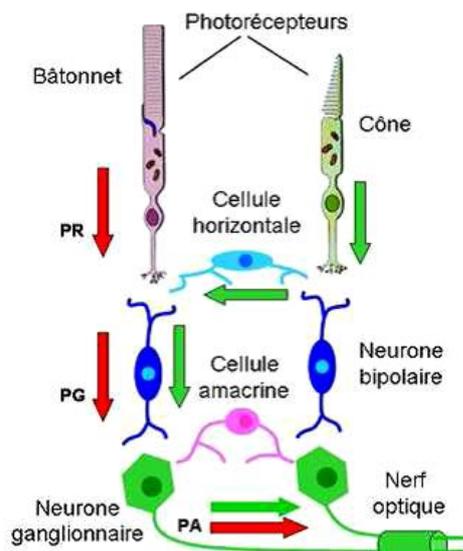


Figure II. 11 : Neurones de la rétine  
(Source : Valat.2007)

#### 1.4.4.1.6. Les pigments visuels

Les pigments visuels, également appelés les pigments rétiens, sont les substances photosensibles présentes dans les photorécepteurs. Ce sont ces pigments visuels qui sont responsables de la transformation de l'énergie lumineuse en message nerveux. Cette transformation est assez simple ; l'énergie lumineuse apportée sert à décomposer des molécules des pigments visuels. Elle est en grande partie absorbée. La décomposition perturbe l'équilibre ionique du photorécepteur, ce qui entraîne l'apparition du potentiel récepteur. Les molécules de pigment décomposées sont recombinaées et se trouvent disponibles pour un nouveau cycle de réaction (Bagot, 1999).

Il y a trois types de pigments pour les cônes, respectivement sensibles aux « rouges » (grande longueur d'ondes), « verts » (moyenne longueur d'onde), et « bleus » (courte longueur d'onde).

#### 1.4.4.1.7. Les voies visuelles

Les fibres des nerfs optiques sont les axones des cellules ganglionnaires. Les deux nerfs optiques (droit et gauche) s'entrecroisent au niveau du chiasma optique et projettent vers le thalamus au niveau des corps genouillés latéraux. À partir de ceux-ci, les informations visuelles sont relayées vers les aires visuelles du cortex où elles sont analysées et traitées. Dans ce cas, il s'agit de la voie rétino-géniculo-striée. C'est cette voie qui intéresse notre travail de recherche. Lorsqu'il s'agit de la voie rétino-colliculaire (ou rétino-tectale), les axones des autres cellules ganglionnaires se terminent dans le colliculus supérieur. Cette voie est impliquée dans le repérage des stimuli en mouvement et dans les réflexions d'orientation des yeux et de la tête vers une cible (Bagot, 1999) (Figure II. 12).

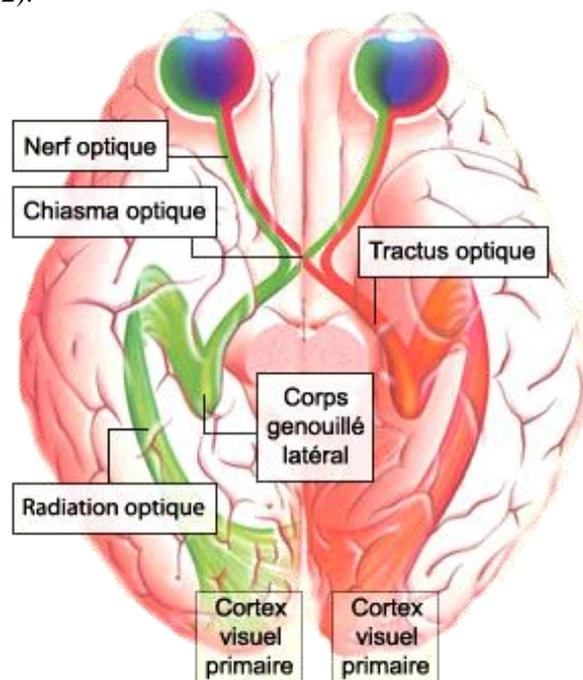


Figure II. 12 : Voies visuelles, (Source : CATLN, 2011).

#### 1.4.4.1.8. Corps genouillé latéral

Le corps genouillé latéral (CGL) est composé de six couches de cellules visibles sur une coupe transversale. Il a la taille d'une cacahouète, et c'est vers une région précise du CGL que se dirigent les fibres du nerf optique issues d'une région donnée de la rétine. De même, les fibres d'une région donnée du CGL se projettent toutes vers une région déterminée du cortex visuel primaire. Un des premiers rôles attribués au CGL est celui de simple relais, puis de modulateur de gain. Ensuite, à la vue des observations sur la proportion des fibres provenant de la rétine et celle

provenant du cortex, d'autres fonctions ont été proposées (Bullier, 1997). Sherman et Guillery (2002) proposent une implication du CGL comme relais du cortex de l'information portant sur les commandes motrices et pourrait être la source des signaux efférents permettant l'anticipation des actions sur la perception (Figure II. 12).

#### **1.4.4.1.9. Cortex visuel**

Ce sont les travaux qui ont valu à David Hubel et T. Wiesel le prix Nobel de médecine en 1981 sur le cortex visuel, qui ont fait progresser considérablement nos connaissances concernant la structure, le fonctionnement et les cellules du cortex visuel primaire.

Anatomiquement, le cortex est formé de plusieurs couches de cellules constituées de neurones.

A ce niveau cortical, on constate la présence de nombreuses cellules dont les champs récepteurs ont des contours rectilignes, plus ou moins allongés. Ces cellules répondent préférentiellement à des stimuli dont l'orientation coïncide avec celle de leur champ récepteur. On distingue deux grands types, les cellules simples et les cellules complexes.

Fonctionnellement, le cortex est organisé en unités de traitement spécialisées pour différents attributs du stimulus visuel (Bagot, 1999) (Figure II. 12).

#### **1.4.4.2. Le processus sensoriel:**

Le processus visuel, commence lorsque la lumière traverse la cornée, l'humeur aqueuse, l'iris et le cristallin. A ce stade, la lumière constituée d'ondes électromagnétiques atteint la rétine, où elle est convertie en impulsions électriques par les constituants de la rétine : les photorécepteurs (cônes et bâtonnets) et les neurones.

A ce niveau, de l'électricité est produite dans le neurone, par la lumière qui modifie le pigment chimique contenu dans le cône ou le bâtonnet. (Stimulation par libération de neurotransmetteur). La cellule annule alors chimiquement la modification du pigment afin de lui redonner sa formule première (arrêt de la stimulation du neurone).

Un neurone peut être relié à un seul bâtonnet, ou à plusieurs bâtonnets. Dans le deuxième cas, le neurone est très sensible à la quantité de lumière, ou plus précisément à sa puissance. Mais il suffit qu'un seul bâtonnet soit illuminé pour que le neurone soit stimulé.

Un neurone est souvent connecté à des cônes qui contiennent un pigment sensible uniquement à une « couleur » (espace restreint et contiguë de longueurs d'ondes).

Chaque cône ou bâtonnet est activé par la lumière. Pendant un certain temps, il passe à un état insensible, et redevient activable. Ce sont les réactions photochimiques entre l'énergie lumineuse et les différents pigments qui nécessitent ce temps. Une durée pendant laquelle le cône (ou bâtonnet) n'est plus sensible à un changement de la lumière, une durée qu'il lui faut pour reconstituer son pigment.

Les photorécepteurs rétiniens, cônes ou bâtonnets sont reliés par l'intermédiaire de neurones bipolaires aux cellules ganglionnaires, dont les axones constituent le nerf optique. Les deux nerfs optiques (droit et gauche) s'entrecroisent au niveau du chiasma optique et projettent vers le thalamus au niveau des corps genouillés latéraux. À partir de ceux-ci, les informations sont relayées vers les aires visuelles du cortex, là où l'information est traitée (Bagot, 1999).

## 2. PRISE DE CONSCIENCE (CONNAISSANCES):

La première étape du processus d'apprentissage est la prise de conscience, ou l'acquisition de connaissances. Pour ne pas trop s'éloigner de notre discipline, qui est l'architecture, nous allons traiter cette partie en suivant un modèle conceptuel de conception. Il s'agit du modèle de Fuller MOORE présenté dans son ouvrage *Concepts and Practice of Architectural Daylighting* (1985).

### 2.1. Modèle conceptuel de F.MOORE:

Il existe plusieurs modèles conceptuels pour la conception architecturale, mais c'est celui de Fuller Moore que nous allons suivre dans notre recherche. Ce modèle nous intéresse particulièrement, car il facilite la compréhension de l'éclairage naturel pour le concepteur en architecture. Il offre à ce dernier un cadre conceptuel de référence.

Cette approche consiste à considérer la lumière dans le terme séquentiel de : source, trajectoire, cible. C'est une approche simple et évidente. Elle est aussi pratique et très commode grâce à la possibilité de visualisation qu'elle offre au concepteur. En effet, la direction de la lumière peut être représentée en utilisant des flèches (Figure II. 13).

La localisation de la source de lumière et de la cible est déterminée ; une trajectoire directe ou réfléchie est planifiée entre les deux.

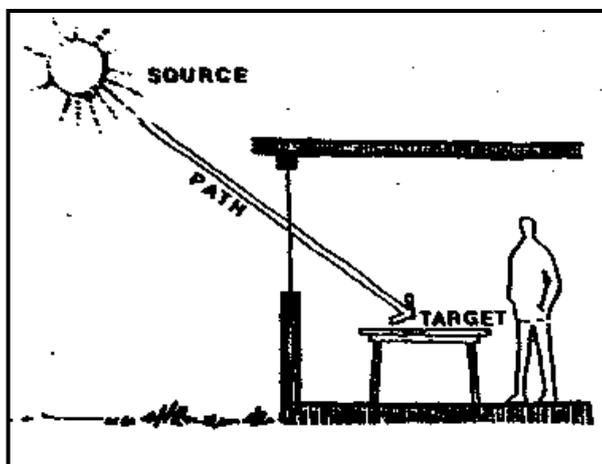


Figure II. 13 : Modèle conceptuel Source-trajectoire-cible, trajectoire directe. (Source : Moore, 1985)

Le concept de source, trajectoire, cible, fournit une base solide pour la compréhension intuitive uniquement lorsque la lumière provient d'une source ponctuelle (soleil, lampe incandescente) ou lorsque la trajectoire est spéculaire (miroir réflecteur, vitre). Une source étendue (ciel couvert, surface lumineuse), ou la présence d'élément qui peuvent diffuser la trajectoire (vitre réflecteur, réflecteur de couleur blanche), peuvent rendre le modèle complexe comme modèle conceptuel pour la conception. (Moore, 1985, p34) (Figure I. 14).

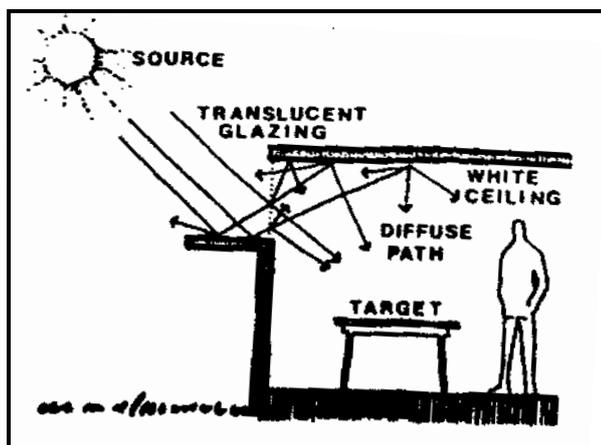


Figure II. 14 : Modèle conceptuel Source-trajectoire-cible trajectoire diffuse (Source : Moore, 1985).

### 2.1.1. La source de la lumière:

La réussite d'un éclairage ne se fera qu'en connaissance de sa source. Le soleil est la source de la lumière naturelle, émettrice d'ondes électromagnétiques. Ces ondes correspondant aux domaines proches du visible: l'ultraviolet, les visibles et l'infrarouge. Le rayonnement infrarouge représente 49% de l'énergie totale émise par le soleil, l'ultraviolet 5%, et le domaine visible en recouvre 46% (Ezrati, 2002).

#### 2.1.1.1. L'atmosphère et le rayonnement solaire:

L'atmosphère a plusieurs actions sur le rayonnement solaire, à cause de son épaisseur et sa composition : L'épaisseur de l'atmosphère que le rayonnement solaire doit traverser, est un facteur très important pour l'évaluation de la quantité du rayonnement solaire qui atteint la surface de la terre. En effet, l'atmosphère a la capacité d'absorber et de diffuser les particules de lumière. On voit cela, par l'affaiblissement des rayons solaires au coucher du soleil, en traversant une épaisseur d'atmosphère importante par rapport à celle traversée à midi (Figure II. 15).

Outre l'épaisseur d'atmosphère, sa composition agit sur le rayonnement solaire. Le contact de molécules d'air, d'aérosols et particules de poussière lui fait subir une diffusion au cours de sa traversée de l'atmosphère. La vapeur d'eau, le gaz carbonique et l'ozone de l'atmosphère absorbent 10 à 15%., tandis que, pas moins de 35% de ce rayonnement est capté par l'atmosphère qui le réfléchit vers l'espace (De Herde, 2002).

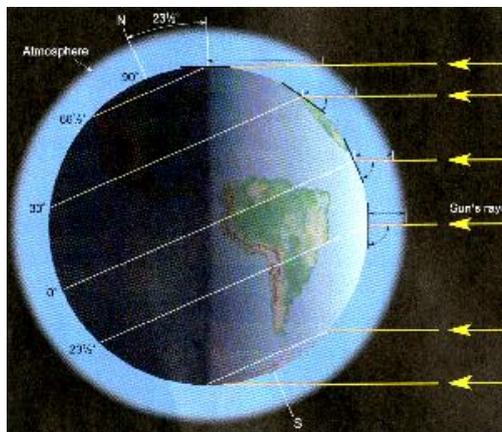


Figure II. 15 : L'épaisseur d'atmosphère (Source : ENS Lyon, 2010).

#### 2.1.1.2. Types de rayonnement solaire:

Comme on vient d'illustrer, l'atmosphère agit sur le rayonnement solaire incident. Il est décomposé en une composante directe, et une composante diffuse. Le rayonnement solaire direct, est dû exclusivement au soleil, alors que le rayonnement solaire diffus est dû au ciel. (De Herde, 2002) (Figure II. 16).

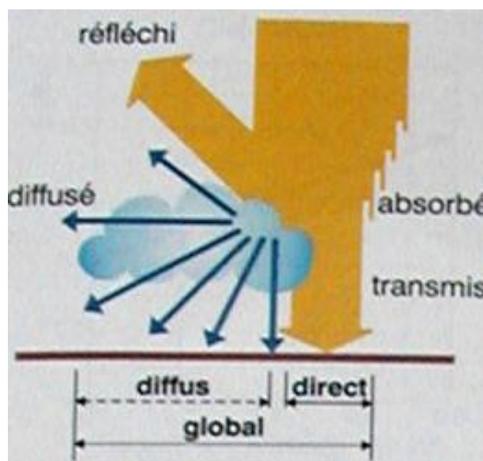


Figure II. 16 : Rayonnement solaire (Source : De Herde, 2002).

### 2.1.1.2.1. Le soleil :

La lumière directe provient du soleil. Sa trajectoire n'est pas modifiée lorsqu'elle traverse l'atmosphère pour atteindre la surface terrestre. L'arrivée et le contact d'un rayonnement solaire avec un point donné sur la surface terrestre est défini par l'angle d'incidence, l'azimut et la hauteur du soleil.

- Angle d'incidence : L'angle d'incidence est l'angle que forme le rayon du soleil avec la surface, il détermine ainsi la densité énergétique qu'elle reçoit, et le pourcentage de lumière directe qu'elle intercepte. Cette surface doit être perpendiculaire aux rayons du soleil pour capter la densité maximale d'énergie solaire. (Figure II. 17)

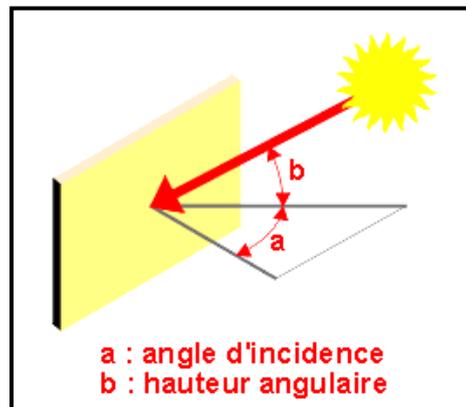


Figure II. 17 : L'angle d'incidence  
(Source : Energie+, 2011).

- Azimut et hauteur du soleil : L'azimut est l'angle que fait la projection de la direction du soleil avec la direction du sud, mesuré positivement vers l'ouest. C'est un angle caractérisant la position du soleil par rapport au sud. Par convention, son origine est au sud. Il est positif vers l'ouest et négatif vers l'est. Il varie quotidiennement en fonction de l'heure (Figure II. 18). La hauteur du soleil quant à elle, représente l'angle que fait la direction du soleil avec sa projection sur le sol, variant de  $0^\circ$  à  $90^\circ$ . Elle varie quotidiennement en fonction de l'heure. Sa valeur est maximale chaque jour à midi (heure solaire). La hauteur atteinte à midi varie aussi en fonction de la saison (Figure II. 19). L'azimut et la hauteur solaire sont les deux coordonnées qui caractérisent la position précise du soleil dans le ciel.

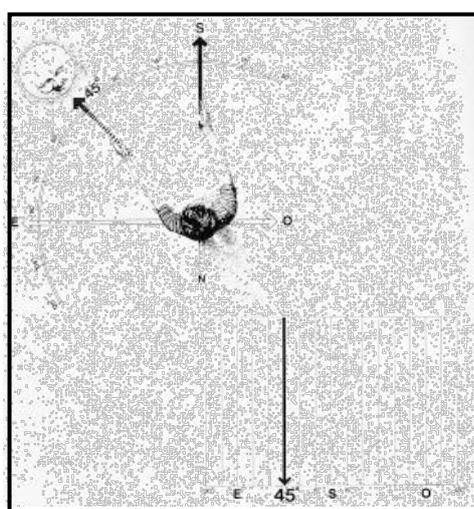


Figure II. 18: Azimut solaire  
(Source : Energie+, 2011).

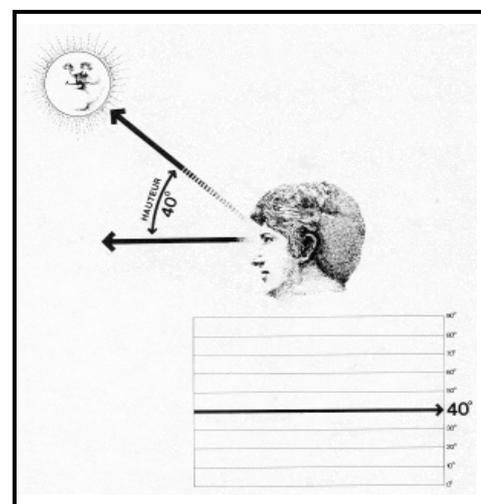


Figure II. 19 : Hauteur du soleil  
(Source : Energie+, 2011).

- Course solaire : La position du soleil dans le ciel varie selon l'heure considérée (rythme horaire), et selon le jour de l'année (rythme saisonnier) (Figure I. 20).

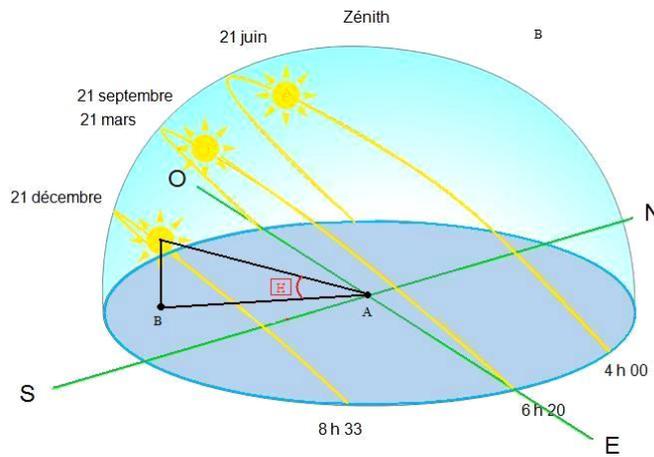


Figure II. 20 : Course solaire (Source : GUIDEnr, 2011).

- Diagramme solaire : C'est un outil graphique facile et pratique, duquel on se sert pour connaître la position du soleil dans le ciel. C'est une représentation plane en coordonnées locales de la trajectoire du soleil, perçue depuis un point de la surface. Les angles verticaux et horizontaux des points de la voûte céleste, sont représentés par le quadrillage du diagramme solaire (Figure II. 21). C'est comme si, l'observateur repérait l'azimut et la hauteur du soleil sur un hémisphère transparent au-dessus de lui et qu'il étirait cette portion de sphère en cylindre vertical. Outre l'heure et le jour de l'année, la latitude du lieu fait varier les diagrammes solaires.

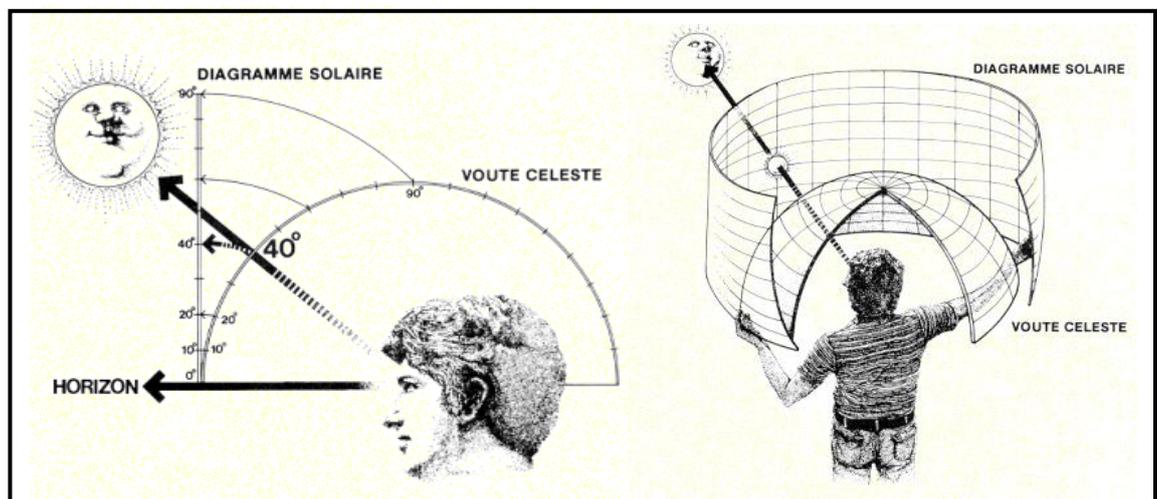


Figure II. 21 : Diagramme solaire (Source : Energie+, 2011).

### 2.1.1.1.2. Le ciel

Par ciel couvert, la seule source de lumière naturelle disponible provient du ciel. C'est une lumière diffuse qui est en réalité, des rayons lumineux provenant de la voûte céleste (à l'exclusion du soleil). Dans ce cas, les rayons proviennent de toutes les directions, car il s'agit d'une source hémisphérique (Energie, 2011).

- Type de ciel : Il existe quatre types de ciels standards (Annexe C). Ces types de ciel ont été établis pour les études d'éclairage. C'est la répartition de la luminance sur la voûte céleste qui caractérise chacun d'eux. On peut classer ces modèles selon deux catégories : les modèles qui font intervenir que la composante diffuse du rayonnement solaire, et ceux qui prennent en compte son rayonnement global (Liébard et De herde, 2005). Pour la première catégorie, on peut distinguer trois types de ciel : le ciel uniforme, le ciel couvert, et le ciel clair (serein). Pour la deuxième catégorie, celle qui prend en considération le rayonnement global, on relève un seul type de ciel, c'est le ciel clair avec soleil.

### 2.1.1.3. Sources et disponibilité de lumière:

La source de lumière, nous offre une quantité de lumière. Cette quantité est recueillie pour éclairer naturellement un bâtiment. Afin de pouvoir cerner les éléments qui influencent cette quantité de lumière, on a opté pour une approche bio régionale de l'éclairage naturel (Guzowski, 2000). Cette approche concerne la façon avec laquelle la conception architecturale peut se développer, répondre, s'engager, et bénéficier des forces de la vie de chaque région.

La course apparente du soleil, les conditions du ciel, le climat, et la nature du site, représentent ces forces bios régionales qui influencent l'éclairage naturel

#### 2.1.1.3.1. La course apparente du soleil :

La migration saisonnière de la terre autour du soleil, ou comme il apparaît, de notre point de vue, la migration du soleil dans le ciel, représente le facteur qui influence les systèmes biologiques de la terre. Ces rythmes cycliques nous orientent, en marquant les cycles journaliers de la nuit et du jour, mais aussi en marquant les cycles saisonniers et le décalage léger, de mois en mois.

Les rythmes nous orientent géographiquement avec des altitudes changeantes, et les azimuts nous orientent géographiquement avec des altitudes et des azimuts changeants, pendant que le soleil croise des longitudes et des latitudes. Ils nous orientent dans l'espace en distinguant les directions cardinales, le mouvement du soleil, et les couleurs changeantes de la lumière (Guzowski, 2000, p 5). La conception de l'éclairage naturel qui indique le mouvement apparent du soleil peut augmenter la conscience humaine, concernant trois phénomènes bio régionaux : heure, saison, et localisation géographique et spatiale.

- L'heure de la journée : La répartition lumineuse varie d'une heure à une autre. Elle augmente durant la matinée jusqu'à la mi-journée où elle atteint son maximum, puis diminue par la suite. Ce cas de figure est valable pour le ciel clair avec soleil (De Herde, 2002).
- Moment de l'année : Par ciel clair avec soleil, le niveau d'éclairement varie suivant les mois de l'année, il est élevé durant les mois d'été, et il baisse durant les mois d'hiver. (De Herde, 2002)
- Localisation géographique et spatial : Malgré le fait, que les gens soit de plus en plus mobiles, se déplaçant d'une ville à une autre, ou même d'un pays à un autre, bon nombre d'entre eux, sont peu conscient des variations solaires dramatiques qui se produisent en se déplaçant sur un axe nord-sud en allant de l'hémisphère nord à l'hémisphère sud en passant par l'équateur. Ceci, explique que la conception d'éclairage naturel dépend de notre connaissance de la façon dont la latitude et la longitude affectent le mouvement du soleil. Mais explique aussi l'importance de la prise en considération, de l'emplacement géographique et spatial (Guzowski, 2000).

#### 2.1.1.3.2. Conditions du ciel :

Cristian Noberg-Schulz (1980) dans *Genius Loci*, décrit les conditions du ciel, comme la façon de distinguer un endroit d'un autre. Bien que le ciel soit éloigné et intangible, il a des propriétés concrètes, et une fonction de caractérisation très importante. Dans la vie quotidienne; nous notons que le ciel change avec le temps, mais identifions à peine son importance pour l'atmosphère générale. « C'est seulement, quand nous visitons d'autres endroits que nous éprouvons la différence » (Noberg-Schulz, 1980, p39)

Pour comprendre l'impact des conditions du ciel sur les expériences de l'éclairage naturel, le concepteur doit étudier le changement de la quantité, la qualité, et la couleur du ciel, et voir leurs impacts sur la lumière naturelle (Guzowski, 2000).

- La quantité : L'état du ciel a une influence sur la quantité de lumière qui peut être captée par un local. Ces variations de l'état du ciel peuvent être traduites par la composition de la lumière.

En effet, la lumière diffuse du ciel cause peu d'éblouissement, crée peu d'ombre, ne provoque pas de surchauffe, et provoque de très faibles contrastes, car elle est disponible dans toutes les directions. Mais elle peut être considérée comme insuffisante dans de nombreux cas.

Or, la lumière directe présente une dynamique intéressante par son flux considérable qui s'avère facile à capter et à diriger. Mais, cette lumière est souvent une source d'éblouissement et parfois de surchauffe du bâtiment. De plus, sa disponibilité est épisodique et dépend de l'orientation des ouvertures (De Herde, 2002)

- La qualité et la couleur: Les conditions du ciel influencent la couleur et la quantité de l'éclairage naturel, qui à leurs tours, affectent le rendu de l'architecture et les expressions des lieux.

Chaque région, possède une palette de couleur de ciel. Sous un ciel clair, les couleurs sont vives et saturées, la lumière et l'ombre soulignent la profondeur et les qualités tridimensionnelles. Les façades sont animées, c'est comme si la lumière du soleil indique des matériaux, donne et détaille une consistance rugueuse.

Sous un ciel couvert, l'éclairage naturel est modéré et doux, avec seulement des distinctions subtiles dans la lumière et l'ombre. En conséquence, la texture et le détail sont moins accentués, les formes semblent bidimensionnelles, et les couleurs semblent monochromatiques et mates.

L'humeur et la qualité de l'architecture changent avec les conditions du ciel. Un bâtiment peut être transformé d'une structure sombre, monolithique, et monochromatique dans des conditions obscurcies à une structure exubérante, articulée, et polychromatique sous les cieux clairs.

Notre perception de la couleur change selon les conditions de ciel, les niveaux d'illumination, et les heures du jour. Une surface rouge pourrait décaler de l'écarlate au vermillon au marron, pendant que les cieux varient de clair à obscur, et que les niveaux d'illumination augmentent ou diminuent (Guzowski, 2000).

#### **2.1.1.3.3. Climat, Site et environnement:**

L'approche bio-régionale de l'éclairage naturel prend en considération la force du site et du climat. Les conditions météorologiques récurrentes qui constituent le climat de la région sont altérées par les fonctionnalités d'un site pour créer un microclimat.

Le microclimat présente une préoccupation pour les concepteurs, comme Kevin Lynch pour qui le concepteur est particulièrement intéressé par les micro-climats qui représentent les modifications détaillées du climat général, provoquées par la topographie, la couverture, la surface du sol, et la forme structurelle. C'est le climat avec lequel les gens sont en contact, et c'est le seul que le concepteur peut réellement modifier (Lynch, 1984, p49).

Le climat et le site sont indissolublement liés et plus faciles à étudier en tandem. Une bonne connaissance du microclimat est nécessaire avant la conception de l'éclairage naturel. Elle exige une analyse climatique et une analyse du site.

Les facteurs climatiques à considérer peuvent inclure les températures annuelles, les précipitations, l'humidité relative, l'état du ciel, et les vents dominants. Les facteurs de site pourraient inclure la topographie, les structures, la végétation, les caractéristiques de l'eau, ...etc. (Guzowski, 2000). Dans cette recherche, on se limitera aux facteurs du site.

Travailler l'architecture d'un bâtiment en ignorant son environnement, et son microclimat paraît impensable. L'environnement existant possède un grand impact sur une nouvelle construction. Cet

environnement direct est responsable de la lumière disponible, donc on doit impérativement prendre en considération le terrain lors de la conception d'un bâtiment afin de profiter au maximum des possibilités qu'il offre pour capter la lumière (Guzowski, 2000).

Plusieurs paramètres de l'environnement doivent être pris en compte.

- La topographie : Lors de la conception d'un bâtiment, on doit tirer profit du profil du terrain, et ne pas négliger les caractéristiques naturelles du site. L'inclinaison du terrain et son orientation influencent l'éclairage d'un site en pente. L'ensoleillement ou l'ombrage d'un bâtiment dépend du relief du terrain (De Herde, 2002) (Figure II. 22).



**Figure II. 22 : Le machu\_picchu. Exemple d'intégration dans un site en pente**  
(Source : Sacredsites, 2011)

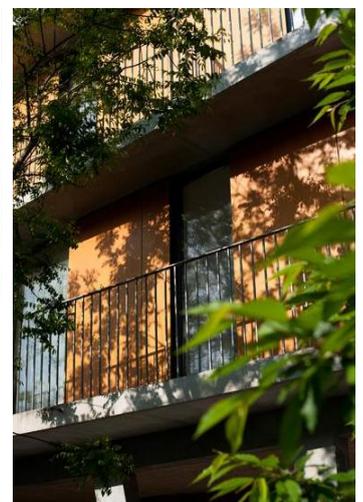
- Masque de l'environnement : L'intégration d'un nouveau bâtiment ne peut pas être la même dans deux milieux différents. En effet, une zone urbaine peut contenir des masques solaires qui peuvent rendre difficile l'arrivée des rayons solaires dans le bâtiment, ou même empêcher son passage dans certains cas. Les constructions voisines peuvent jouer le rôle d'un masque duquel dépend la quantité d'énergie solaire reçue en un endroit (Figure II. 23). La végétation, comme les grands arbres, peut aussi constituer un masque de l'environnement. Mais contrairement aux bâtiments avoisinants, ce masque naturel n'arrête pas la radiation lumineuse, mais il la filtre, car son opacité est partielle, la végétation peut être saisonnière (Figure II. 24) (De Herde, 2002).



**Figure II. 23 : Constructions voisines qui jouent le rôle d'un masque.** (Source : ULB, 2010)



**Figure II. 24 : La végétation qui joue le rôle d'un masque.**  
(Source : Archiref, 2010)



- Le coefficient de réflexion des surfaces extérieures : La quantité de lumière naturelle qui entre dans le bâtiment peut augmenter en fonction de la réflexion des surfaces. Une surface réfléchissante, comme un plan d'eau (Figure II. 25) ou un dallage brillant (Figure II. 26), placée au sol, peut capter davantage de lumière. Donc, lorsque le coefficient de réflexion du sol extérieur est élevé, le local est mieux éclairé (De Herde, 2002).



**Figure II. 25 : Surface réfléchissante : plan d'eau (Source : Archiref, 2010)**



**Figure II. 26 : Surface réfléchissante : dallage brillant (Source : Archiref, 2010)**

- L'exposition effective d'un bâtiment : L'emploi de matériaux réfléchissants peut également influencer l'exposition effective d'un bâtiment. Un bâtiment orienté au nord, peut se trouver dans une situation sud, s'il a une façade vitrée pour capter la lumière naturelle, et qu'un bâtiment équipé d'un vitrage réfléchissant pour se protéger de l'ensoleillement est construit en face de lui (Figure II. 27) (De Herde, 2002).



**Figure II. 27 : Bâtiment avec vitrage réfléchissant (Source : Energie +, 2011)**

- Les éléments architecturaux du bâtiment : Parfois, des éléments architecturaux liés au bâtiment lui-même, peuvent influencer la quantité de lumière captée par le bâtiment (Figure II. 28). Des éléments comme des surplombs, des étagères de lumières, des murs de refends, des éléments décoratifs dans la façade, ou même des protections solaires destinées à remédier aux problèmes de surchauffe ou d'éblouissement (De Herde, 2002).



**Figure II. 28 : éléments architecturaux liés au bâtiment lui-même qui influencer la quantité de lumière captée par le bâtiment (Source : Le courrier de l'architecte, 2011)**

### **2.1.2. La trajectoire:**

La trajectoire est le deuxième segment selon le modèle conceptuel de F Moore ; en réalité c'est le passage de la lumière naturelle de la source à l'intérieur du bâtiment. Autrement dit, il s'agit de la transmission de la lumière naturelle en favorisant sa pénétration à l'intérieur du bâtiment.

Dans cette partie, nous allons voir les éléments qui peuvent influencer cette trajectoire.

### 2.1.2.1. L'orientation de l'ouverture:

L'emplacement des fenêtres influence énormément la quantité de lumière, car, c'est la fenêtre qui est responsable du passage de la lumière à l'intérieur du local.

Leurs emplacements doivent être pensés en fonction de : i) la course du soleil, ii) moment d'occupation des locaux et de l'activité qui s'y déroule, et iii) les données climatiques de la région. Ceci, en vue de déterminer la surface des percements des différentes façades et leurs orientations, dans le but de réduire la consommation de chauffage, de climatisation et d'éclairage dans ce bâtiment.

Mais, il faut noter aussi, l'influence du type de ciel. Un ciel clair agit directement sur la quantité de lumière captée, ce qui fait, qu'une baie vitrée perpendiculaire aux rayons solaires captera plus de lumière que les autres baies orientées différemment. Par contre, lorsque le ciel est couvert, le rayonnement lumineux est diffusé dans toutes les directions. Donc indépendamment de leurs orientations, les baies vitrées verticales captent la lumière de manière similaire (Baker, 2002)

### 2.1.2.2. La répartition des ouvertures:

La répartition de la lumière et la répartition des ouvertures vont de paire, étant donné que l'ouverture soit le seul moyen par lequel la lumière parvient dans un espace.

Lorsqu'on parle de l'inclinaison de l'ouverture, on peut distinguer deux types d'ouverture : les ouvertures latérales et les ouvertures zénithales. Ces deux types d'ouverture réagissent différemment au rayonnement solaire qui les pénètre (De Herde, 2002).

#### 2.1.2.2.1. *L'éclairage latéral :*

Il peut engendrer de forts contrastes dans l'espace et créer de l'éblouissement. Les zones situées en profondeur peuvent ne pas avoir accès à la lumière. Mais ce type d'éclairage peut avoir des avantages. Outre la facilité de percevoir les reliefs, l'ouverture verticale (Figure II. 29) capte au maximum les apports solaires en hiver et limite les pénétrations solaires estivales. La lumière est limitée en profondeur, mais elle est directionnelle. Donc, en plaçant les ouvertures à des niveaux hauts, on peut avoir une pénétration plus profonde de la lumière dans l'espace.

La lumière qui entre par deux cotés opposés, ne fait qu'améliorer la pénétration de la lumière dans toute la pièce. *L'éclairage bilatéral* (Figure II. 30), offre cette possibilité. Il en résulte une meilleure répartition de la lumière, et un éclairage plus uniforme.

Afin d'améliorer encore plus l'uniformité de l'éclairage, on opte pour une multitude d'ouverture. Dans ce cas, il s'agit d'un *éclairage multilatéral* (Figure II. 31), nécessaire dans les bâtiments assez profonds, et les espaces qui nécessitent un éclairage très uniforme.



Figure II. 29 : Eclairage unilatéral (Source : Flickriver, 2010)



Figure II. 30 : Eclairage unilatéral. (Source : Designdc, 2010)



Figure II. 31 : Eclairage multilatéral (Source : arts-et-métiers, 2010)

#### 2.1.2.2.2. L'éclairage zénithal :

Il fournit une meilleure répartition de la lumière dans le local (Figure II. 32). Sa distribution de la lumière est très uniforme, et son niveau d'éclairement varie peu dans l'ensemble de l'espace. En contre partie, cet éclairage, ne permet pas d'avoir une bonne perception du relief, et ses ouvertures sont difficiles à entretenir. Signalons, que lorsqu'on associe l'éclairage zénithal et l'éclairage latéral, on obtient un très bon éclairage général, et une mise en relief tridimensionnelle des objets. Par ciel couvert, une ouverture zénithale a l'avantage de s'ouvrir sur la totalité de la voûte céleste, ce qui implique la pénétration de lumière diffuse. Par contre pour une ouverture latérale qui ne voit qu'une partie du ciel, la performance lumineuse est plus faible. Sans oublier de mentionner qu'une ouverture horizontale offre une distribution lumineuse plus homogène que celle produite par une fenêtre verticale, ce qui limite les phénomènes d'éblouissement.

Tandis que par ciel clair, la fenêtre latérale permet de transmettre un maximum de rayons solaires en hiver, tout en limitant les pénétrations estivales et les surchauffes qu'elles induisent. Contrairement à l'ouverture zénithale qui a un très mauvais comportement thermique, en laissant pénétrer largement le soleil d'été, et en captant mal les rayons solaires d'hiver. (De Herde, 2002)



**Figure II. 32 : Eclairage zénithal Villa Noailles, Hyères by Xavier de Jauréguiberry (Source : Flickrriver, 2010)**

#### 2.1.2.3. Les caractéristiques de la fenêtre:

L'ouverture en façade est le composant le plus employé pour transmettre la lumière naturelle dans les édifices. Les caractéristiques de la fenêtre représentent des éléments essentiels pour la quantification et la qualification de la pénétration de la lumière dans le bâtiment. Ces caractéristiques sont: sa dimension, sa forme et sa position.

##### 2.1.2.3.1. *Dimension de l'ouverture :*

La quantité de lumière extérieure qui parvient à pénétrer à l'intérieur du local est déterminée par la taille de l'ouverture. Cette dernière dicte la capacité de l'ouverture à transmettre la lumière naturelle. Le châssis employé peut également influencer la quantité de lumière admise dans un édifice, et cela de par sa taille, sa structure et les matériaux utilisés. Un châssis qui diminue la taille des surfaces vitrées va forcément diminuer la quantité de lumière qu'elle laisse passer. (Guzowski, 2000).

##### 2.1.2.3.2. *Forme de l'ouverture*

*La* forme de l'ouverture agit sur la répartition lumineuse. Il est préférable d'avoir une ouverture horizontale avec un linteau élevé, car la hauteur de la fenêtre fait augmenter l'éclairement du fond du local, et sa longueur rend la répartition lumineuse plus uniforme (Baker 2002).

##### 2.1.2.3.3. *Position de l'ouverture*

La pénétration de la lumière naturelle dans le local est influencée par la position de l'ouverture. On voit l'influence qu'exerce l'emplacement de l'ouverture dans la façade à travers la zone éclairée

naturellement, qui varie en fonction de la position de la fenêtre. Plus la fenêtre est élevée, mieux le fond du local est éclairé et plus la zone éclairée est profonde (Baker 2002).

#### 2.1.2.4. Profondeur de l'ouverture:

Outre les trois caractéristiques de la fenêtre, la profondeur de l'ouverture a un impact sur la relation entre l'intérieur et l'extérieur. Lorsque la fenêtre est profonde, elle offre une grande opportunité d'utiliser la section de la fenêtre elle-même, pour modifier la réflexion ou la redistribution de la lumière naturelle. (Baker 2002).

À l'inverse, lorsque l'épaisseur du mur diminue, la lumière est réfléchi plus facilement par les surfaces adjacentes de la pièce, que par la fenêtre.

La profondeur de la fenêtre joue un rôle important dans la détermination de la qualité de la lumière reçue dans la pièce où elle sera distribuée. La lumière sera concentrée, distribuée, filtrée, ou autrement modifiées grâce à la fenêtre qui peut même apporter la lumière à un endroit particulier et à un moment donné (Guzowski, 2000).

#### 2.1.2.5. Les zones de distribution lumineuse:

Lors de la conception architecturale, parfois il est inévitable de se retrouver dans des situations ou organisations des espaces ou la forme de l'enveloppe, donnent des espaces qui n'ont pas d'accès direct à la lumière du jour. Pour ce cas de figure, les zones de distribution lumineuses comme les serres, les atria ou les puits de lumière semblent offrir une solution adéquate à ce problème (Baker 2002).

- La serre, est un capteur privilégié de la lumière naturelle par l'intermédiaire de l'espace vitré qui la constitue. La distribution lumineuse des locaux, qui lui sont adjacents, peut être améliorée. Mais elle est dans l'incapacité d'améliorer le manque de lumière au fond des pièces avoisinantes. (De Herde, 2002).
- L'atrium, est un espace intermédiaire, semi-extérieur sous forme de cour intérieure couverte d'une verrière. De ce fait, il permet à la lumière du jour de mieux pénétrer dans le bâtiment. Il représente une configuration intéressante pour des bâtiments très larges, car il offre une grande prise de lumière latérale aux locaux qui le bordent. Le type de l'atrium, son orientation, ses dimensions, sa réflectivité des parois, son inclinaison, sa transmission lumineuse de la couverture transparente et la taille des fenêtres donnant sur l'atrium, sont tous des facteurs dont la qualité de lumière peut dépendre (Baker 2002).
- Le puits de lumière, a pour but de transporter de la lumière naturelle vers les espaces placés plus profondément dans le bâtiment. Pour ce faire, il transporte la lumière diffuse céleste, par réflexion sur ses parois réfléchissantes, depuis le toit ou la façade vers l'espace désiré. Pour améliorer les performances de ces puits de lumière, on peut les construire avec des collecteurs lumineux extérieurs. On peut aussi, apporter une attention particulière à leurs parois réfléchissantes qui doivent être d'autant plus réfléchissantes que la lumière naturelle doit être amenée plus profondément dans le bâtiment (De Herde, 2002).

#### 2.1.2.6. Le matériau de transmission:

Le vitrage est l'élément que la lumière rencontre lors de son passage dans le bâtiment. Ce qui explique l'influence que peut exercer le vitrage sur la quantité et la qualité de la lumière. La lumière qui rencontre un vitrage est transmise, absorbée et réfléchi. La composante transmise, est

la composante qui nous intéresse, car c'est elle, qui détermine la quantité de lumière qui pénètre le local (Baker 2002).

Trois paramètres peuvent caractériser un vitrage. Les deux premiers représentent les facteurs caractérisant les échanges thermiques au travers d'un vitrage. Il s'agit du coefficient de conduction thermique et du facteur solaire d'un vitrage (Carmody, 1996). On n'accorde pas beaucoup d'importance à ces deux facteurs, car ils relèvent de l'aspect thermique du vitrage.

Le troisième paramètre est le facteur de transmission lumineuse. Plus élevé est ce facteur de transmission lumineuse, plus grande est la quantité de lumière admise dans le bâtiment. Ce facteur représente en réalité le pourcentage du rayonnement solaire visible transmis à travers une paroi. La transmission lumineuse est affectée par le facteur de maintenance, mais aussi par le type de vitrage. Un vitrage simple, double, absorbant, réfléchissant ou clair, n'ont forcément pas la même capacité à laisser passer la lumière.

Il faut souligner, que la quantité de rayonnement solaire directe qui entre dans un espace est influencée par l'inclinaison du matériau de transmission. Le facteur de transmission lumineuse d'un vitrage varie en fonction de l'angle d'incidence des rayons (CSTC, 1999).

### 2.1.3. La cible:

La lumière naturelle en provenance d'une source, suit sa trajectoire et arrive enfin à sa cible.

Par "cible" on entend la répartition de la lumière naturelle dans le bâtiment, après l'avoir dirigé et transporté. Une répartition harmonieuse de la lumière naturelle dans un bâtiment est une condition sine qua non pour avoir un éclairage de qualité. Cette répartition peut être influencée par différents facteurs. Des facteurs qu'on peut manipuler dans le but de favoriser cette répartition.

#### 2.1.3.1. Dimensions du local:

Les dimensions du local agissent sur le niveau d'éclairage. Par dimension du local on entend trois distances: la largeur, la longueur et la hauteur. La hauteur du local n'a pas une grande influence sur sa répartition lumineuse, mais on constate que le niveau d'éclairage est un peu plus élevé dans les pièces avec un plafond plus bas.

Une pièce avec une profondeur qui dépasse le double de la hauteur du linteau de la fenêtre, va voir son niveau d'éclairage chuter au fond (Figure II. 33). Donc il faut opter pour une profondeur faible.

Concernant la largeur du local, le niveau d'éclairage est d'autant plus élevé dans un local que celui-ci est large. (De Herde, 2002)



**Figure II. 33 : Variation du niveau d'éclairage en fonction de la profondeur de la pièce (Source : LOAR, 2010)**

#### 2.1.3.2. L'agencement des parois intérieures:

L'agencement des cloisons et des ouvertures entre les pièces fait partie des paramètres de la distribution lumineuse. La lumière peut se répandre dans deux pièces si elles sont séparées par des cloisons transparentes ou translucides (Figure II. 34). Ceci, est aussi valable pour une pièce qui n'a

pas de contact avec l'extérieur. Elle peut recevoir la lumière d'une autre pièce adjacente, par l'entremise des ouvertures horizontales ou verticales entre les deux pièces.

Mentionnons aussi, que l'organisation des espaces intérieurs, la géométrie et la taille du local ont un fort impact sur la distribution de l'éclairage



**Figure II. 34 : Parois translucide et transparente (Source : Archi expo, 2010)**

### 2.1.3.3. Le matériau des surfaces du local:

La nature et la couleur des parois influencent la distribution lumineuse dans un local. Une couleur claire des parois peut homogénéiser la répartition de la lumière, et diminuer le contraste entre la luminance des parois intérieures et la clarté extérieure (Figure II. 35).

L'éclairage dû aux réflexions intérieures est généralement la composante principale de l'éclairage du fond d'un local. On cherche à rediriger la lumière pour la transporter où l'on a besoin, et c'est la réflexion spéculaire qui peut offrir cette possibilité. Sa lumière réfléchi offre un éclairage plus intense que celui de la lumière diffuse. Cependant, la lumière diffuse reste tout de même la meilleure façon d'avoir un éclairage plus uniforme et homogène.



**Figure II. 35 : Parois de couleur clair (Source : Archi expo, 2010)**

### 2.1.3.4. Les systèmes de distribution lumineuse:

Des systèmes améliorant le confort visuel à l'intérieur d'un local sont des systèmes qui distribuent la lumière, favorisent sa pénétration plus profondément dans la pièce et qui sont considérés comme moyens pour transporter la lumière naturelle depuis la façade ou la toiture vers les zones les plus éloignées des ouvertures.

Ces systèmes qui améliorent la distribution lumineuse, agissent sur le rayonnement solaire diffus, ou sur le rayonnement solaire direct.

En ce qui concerne le rayonnement solaire direct, on relève un certain nombre de systèmes comme :

- *Les conduites solaires* : Elles transmettent la lumière solaire directe au cœur du bâtiment. Les vitrages directionnels : ils redirigent efficacement les rayons solaires directs vers le fond d'une pièce. Ils peuvent aussi être utilisés pour rediriger la lumière zénithale vers le bas d'un atrium.

- *Les light shelves* : ils permettent la pénétration, dans le local, du rayonnement solaire réfléchi sur leurs parties supérieures. Ils ont pour but de rediriger la lumière naturelle vers le plafond en protégeant l'occupant des pénétrations directes du soleil.
- *Les stores réfléchissantes* : utilisés dans le double but d'ombrager un espace du rayonnement direct et de rediriger la lumière naturelle vers le fond du local.
- *Les appuis de fenêtre réfléchissants* : qui réfléchissent et redirigent la lumière naturelle pour augmenter le niveau d'éclairage de l'espace intérieur
- *Le laser-cut panels* : c'est un système de redirection de la lumière produit par des coupures réalisées par un laser dans un matériau acrylique.
- *Les systèmes holographiques* : ce procédé, consiste en une couche de matériau diffractant qui est choisie pour rediriger la lumière selon un angle spécifique, en fonction de l'angle d'incidence de la lumière.

Il existe d'autres systèmes qui agissent sur le rayonnement diffus, comme *les systèmes anidoliques* qui utilisent des réflecteurs spéculaires courbes, conçus pour profiter de la lumière diffuse du ciel.

#### 2.1.3.5. Aménagement intérieur:

La nature et la couleur des surfaces intérieures exercent une influence importante sur l'éclairage naturel. L'éclairage naturel à l'intérieur d'un local est dû aux réflexions intérieures. Ce sont les coefficients de réflexion des murs, du plancher et du mobilier situés près de la fenêtre qui donnent plus de réflexion intérieures. Le plafond et les murs éloignés des ouvertures peuvent améliorer la transmission lumineuse.

- Pour un mur, lorsque le facteur de réflexion moyen est inférieur à cinquante pour cent, la lumière pénètre difficilement en profondeur dans un espace. Seule une surface extrêmement claire, comme une peinture blanche très propre, possède un facteur de réflexion supérieur à soixante-dix pour cent.
- Le plafond, sans un dispositif de distribution lumineuse qui dévie la lumière en haut comme le light shelves, a une faible influence sur la répartition de la lumière. Le facteur de réflexion du plafond peut être élevé en utilisant un matériau comme le plâtre blanc propre.
- Le sol et le mobilier représentent les plans les mieux éclairés, car, de par leurs positions horizontales, ils arrivent à recevoir la plus grande quantité de lumière, en provenance de la voûte céleste par ciel couvert. Pour que la lumière arrive au fond d'un local, il faut opter pour un revêtement clair pour le sol et le mobilier, avec lequel on obtient un facteur de réflexion élevé. Lorsque les matériaux de revêtement d'un local sont brillants, on constate que la lumière arrive plus facilement au fond de la pièce. Donc on peut confirmer que les surfaces brillantes sont un bon moyen de transmission de la lumière naturelle.

On ne peut pas parler de l'aménagement intérieur d'un édifice sans parler des meubles. Leur type, leur emplacement, leur couleur et leur dimension doivent être pensé en amont de l'aménagement, car ils peuvent constitués de véritables obstacles qui empêchent la transmission de la lumière dans le bâtiment.

### 3. DISCUSSION:

Durant la première phase du parallèle étape d'apprentissage et méthode d'enseignement, l'étudiant se situe dans une position de réception. Il reçoit en réalité deux types de flux : i) le premier est d'ordre physique, il s'agit du signal lumineux reçu par l'œil, ii) le second est d'ordre pédagogique,

il s'agit de l'ensemble des connaissances et des informations concernant la lumière naturelle et ayant un rapport avec les éléments architecturaux qui constituent le bâtiment.

On est là, face à une situation où l'étudiant subit deux actions de réception. La première se fait de façon naturelle, dès que le flux lumineux entre en contact avec l'œil. La deuxième action de recevoir doit être pensée et réfléchi dans le but que la réception de la connaissance se fait de la façon la mieux adaptée. Pour cela, une méthode pédagogique active se révèle comme un bon moyen pour transmettre les connaissances. Ainsi, le savoir sera construit à partir de situation proposée.

L'étudiant sera dans une situation où la réception des connaissances est accompagnée par une action. Il s'agit d'un apprentissage actif suivant une méthode active, plus attractive et qui se fait en parallèle avec la réception du signal lumineux (Figure II. 36).

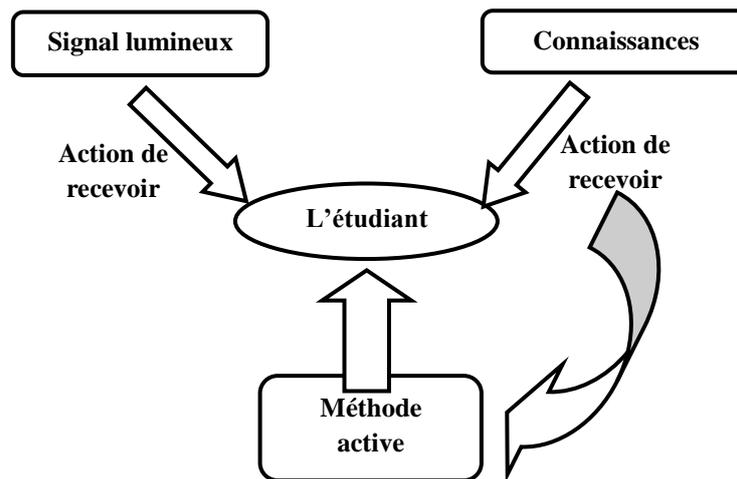


Figure II. 36 : Schéma de la deuxième étape du modèle conceptuel. (Source : l'auteur)

## CONCLUSION :

Ce chapitre nous a permis d'avoir une vision plus claire sur la première phase du parallèle : étapes d'apprentissage/méthodes d'enseignement, à savoir la sensation et la prise de conscience, et ce, en recourant à d'autres disciplines. Ces dernières, souvent ignorées par les architectes, nous ont permis de faire le lien entre le domaine de la sensation et le domaine de l'architecture.

En effet, à l'aide de la physique, de la physiologie, et d'un modèle conceptuel de conception architecturale de l'éclairage naturel, nous avons pu faire un amalgame entre le monde de la sensation et le monde des connaissances qui peuvent être transmises dans la première étape d'apprentissage de la formation d'un architecte. Une meilleure compréhension de la lumière naturelle, qui représente le stimulus de la sensation visuelle ainsi que le seul et l'unique responsable de l'éclairage naturel, nous a permis de mieux cerner les connaissances concernant l'éclairage naturel qui peuvent être transmises en fonction du processus sensoriel de la vision.

Sans oublier la démarche qui a consisté à faire une liaison entre le phénomène de l'éclairage naturel et les éléments architecturaux qui constituent le bâtiment. Ceci a été réalisé de façon à ce que les éléments architecturaux qui constituent le bâtiment soient, eux mêmes, un outil d'apprentissage. Cette démarche, tentait à montrer la façon dont la conception architecturale influence la distribution de la lumière naturelle dans le bâtiment; mais aussi à acquérir un vocabulaire architectural nécessaire pour des étudiants débutant leur formation en architecture.