FACULTÉ
D'ARCHITECTURE

Université de Liège

EQUIPEMENT DU BÂTIMENT

lumière et espace

Notes de cours rédigées pour les étudiants du 1er Master

Chargé de cours : Henriette Michaux

Année académique 2018-2019

Introduction

Apprendre la lumière

Von ME1SS, architecte et pédagogue, dans son ouvrage « De la forme au lieu », écrit
« La composition architecturale peut être considérée comme l'art de disposer et de doser des sources de lumière dans l'espace. Nos instruments habituels, le plan, la coupe et l'élévation, ne rendent compte de cette réalité que de manière lacunaire ; même la maquette à échelle réduite est trompeuse. Lors de l'élaboration d'un projet c'est donc souvent un des phénomènes les moins contrôlés et, en conséquence, les moins enseignés. Ce n'est que grâce à une longue expérience d'observations attentives de situations réelles que nous parvenons à constituer notre «catalogue» de références nous permettant de procéder par analogies. »

Louis ARAGON n'était pas architecte, et il nous dit
«Quand les plus savants des hommes m'auront appris que la lumière est une vibration, qu'ils m'en auront calculé la longueur d'onde, quel que soit le fruit de leurs travaux raisonnables, ils ne m'auront pas rendu compte de ce qui m'importe dans la lumière, de ce que m'apprennent un peu d'elle mes yeux, de ce qui me fait différent de l'aveugle, et qui est matière à miracle, et non point objet de raison. »

Roger NARBONI, concepteur lumière, note dans l'ouvrage « La lumière urbaine »
« La nature immatérielle de la lumière ne se satisfait pas de maquettes, d'échantillons ou de dessins. Le concepteur lumière a en tête des images qu'il compare avec d'autres images qu'il a mémorisées tout au long des projets qu'il a mené ou vu ; mais cette somme de connaissance est difficile à traduire. Les techniques d'illustration traduisent mal la puissance ou la douceur, l'ambiance et l'impact du projet final. Le dessin et la parole restent néanmoins les meilleurs moyens pour permettre à chacun de visualiser un projet et, par là même, de se l'apprivoiser »

Apprendre la lumière c'est regarder beaucoup toujours.

A qui se référer ? Qui sont les spécialistes en lumière ?

La lumière constitue le matériau essentiel du travail des photographes, des éclairagistes de spectacle. Les œuvres des grands peintres sont, pour eux, une source d'inspiration.
Ils expriment une atmosphère inscrite, saisie en quelques secondes (photographie, cinéma) ou même en plusieurs minutes (théâtre).
On pourrait parler d'effet.

Henri ALEKAN, chef opérateur, considéré par les réalisateurs comme un Maître de la lumière nous communique son point de vue :
« Il m'arrive de devoir enseigner. Les étudiants abordent la lumière d'une façon beaucoup trop simpliste, trop technique. Car il n'existe aucune recette pour l'émotion. Je ne peux que leur suggérer comment ils doivent diriger leur pensée, se mettre eux-mêmes à réfléchir. Cette pensée et cette réflexion sur la lumière qu'il faut acquérir se forgent en regardant, en s'obligeant à l'analyse, en se posant des questions. J'ai récemment donné des cours aux futurs chef-opérateurs de la télévision, certains avaient déjà beaucoup de métier, et la technique ne présentait plus aucun mystère pour eux. Le plus précieux conseil que j'ai tenu à leur dire c'est : « Allez dans les musées ». Naturellement, il faut fréquenter la cinémathèque. Mais les images sont fugitives, le temps manque pour les analyser, et pour exprimer les sentiments nés de ces images. Au contraire, dans un musée, on peut s'arrêter d'abord se laisser aller aux émotions que suggère l'œuvre, regarder et ensuite analyser, se dire : « Ah ! C'est par tel moyen que Rembrandt parvient à me faire vibrer ». Alors, vous découvrirez sur la toile les profondeurs, les effacements, les lueurs, les finesses des indications à peine tracées par la lumière et tout à coup l'éclat qui dirige, puis fixe l'œil sur le tableau. Plus tard, le jour où il faudra recréer un climat mystérieux, vous ne recopierez pas Rembrandt, niais il en restera quelque influence qui vous aidera à déterminer la directivité des lumières, à étager les lueurs et les ombres dans ce que "appelle la modulation. »

L'architecture, quant à elle, offre un espace éclairé pendant des heures, des jours, des siècles

<u>Lumière naturelle et lumière artificielle</u>

Citons André LURCAT - « La lumière naturelle est, dans l'architecture, ce qui reste. »

Si les lois de la photométrie sont valables pour la lumière de toutes origines, des différences fondamentales existent entre elles.
La lumière naturelle, dite injustement «solaire» vient du haut, elle est changeante en direction, intensité et couleur.

Louis KAHN s'exprime ainsi
« 1 have no color applied on the walls in my home. I wouldn't want to disturb the wonder of natural light. The light really does make the room. The changing light, according to the time of day and the seasons of the year gives colon »

Dans son magnifique ouvrage « des lumières et des ombres », Henri Alekan écrivait :
« Tout d'abord quelles sont les remarques essentielles que l'on peut tirer de la comparaison entre éclairage solaire et éclairage émis par une source artificielle, telle celle qui résulte de la combustion d'un feu de bois, d'une torche, d'une chandelle ou d'une lampe ?
En premier lieu, c'est la faible puissance de « l'artificiel » par rapport au « solaire ». Hormis la lumière que produit la fission atomique volontairement provoquée par l'homme, aucun éclairage artificiel ne peut égaler en puissance la lumière solaire.
Ensuite, et c'est sans doute, pour le cinéaste, l'élément créatif le plus important : l'éclairage artificiel permet d'avoir la maîtrise des emplacements des sources d'éclairage, de leur intensité et de leur directivité. »

Bref historique

« De toutes les sciences, celle de la lumière a fait le plus de progrès » (Paul Valéry, 1930)

Evolution des connaissances sur la nature de la lumière

La lumière est facilement associée à une notion d'évidence et de simplicité dont elle reste le symbole.
La genèse affirme que la lumière fut créée le premier jour, précédant ainsi largement une complexité du monde sans cesse accrue.

Dans l'histoire de la lumière, les recherches sur la nature même de celle-ci naissent au début du 17ème siècle.

Mais depuis l'Antiquité, ce phénomène passionnent les savants.
Pendant longtemps on a cherché à savoir comment il se fait que l'homme « voit ». La première trace de ce questionnement de l'homme sur la vision date de l'Antiquité, époque où le but des recherches les plus élevées était de connaître l'homme dans ses fonctions et ses facultés.
Au 5ème siècle avant Jésus Christ des «écoles», des «courants» s'affrontent à propos du mécanisme de la vision. Les uns tentent d'expliquer la vision par l'existence de rayons sortant de l'œil et allant explorer le monde extérieur. D'autres attribuent la vision à la présence «d'images» (eidola) allant des objets à l'œil.
Leucipe de Milet écrit : « …Or, nous ne voyons pas s'approcher les objets de nous quand nous les percevons ; il faut au moins qu'ils envoient à notre âme quelque chose qui les représente, des images, des « eidola », espèces d'ombres ou de simulacres matériels qui enveloppent les corps, voltigent à leur surface et peuvent s'en détacher pour apporter à notre âme les formes, les couleurs et toutes les autres qualités des corps d'où ils émanent. » (1 p.6)
Pour Euclide et les pythagoriciens (3ème siècle avant J.C.) «Tout objet visible émet un flot continu de particules…la vision provient exclusivement d'un «feu» invisible qui, sortant de l'œil, allait toucher les objets et en faisait connaître les formes et les couleurs. » (1 p.7)

« Empédocle (495-435 avant Jésus-Christ) identifiait, dit-on, la lumière à une émission matérielle de particules voyageant à une vitesse grande mais finie… Aristote (384-322 avant Jésus-Christ) considère la lumière comme modification du milieu intermédiaire transparent situé entre l'objet et l'œil. » (3-p.13)

Durant ces trois siècles avant Jésus-Christ de nombreuses recherches sont menées sur le comportement des rayons (œil vers objet ou objet vers œil). Tous semblent s'accorder pour les dire rectilignes.

Il aura fallu encore 10 siècles pour approcher ce qui constitue les bases de l'optique contemporaine. A la fin du 10ème siècle ALHAZEN rejette la possibilité que l'œil émet des rayons «puisqu'il peut souffrir de certaines lumières» et propose ceci : « … de tout corps illuminé par n'importe quelle lumière, part de la lumière dans toute direction. » Et ajoute : « Quand l'œil sera placé face à un objet ainsi illuminé, il arrivera de la lumière à la surface extérieure. Or nous avons établi que la lumière a la propriété d'agir sur l'œil, et qu'il est dans la nature de l'œil de pâtir de la lumière, nous devons en conclure que l'œil ne peut sentir l'objet vu que par l'intermédiaire de la lumière que celui-ci lui envoie. » (1 p.37)

En 1610 «La victoire de GALILEE va changer la disposition d'esprit des savants par rapport à l'œil et aux instruments d'optique. On comprend enfin que la défiance excessive venait de l'ignorance et que depuis des siècles, on avait considéré comme inopérant un moyen de recherche puissant et précieux. »
« L'optique laissée jusque là à quelques amateurs va se placer au centre des recherches des philosophes et des chercheurs et devenir une science d'actualité … Au sujet de la nature du «lumen», les uns le considéraient comme un mouvement pur d'autres y voyaient des corpuscules très petits lancés à grande vitesse le long des rayons. Le problème présentait ainsi des aspects géométriques, physiologiques et physiques. Comme nous l'avons vu, l'optique géométrique était déjà formée depuis l'antiquité, l'optique physiologique avait pris un grand développement depuis le milieu du Moyen-Age, à ces deux sciences on doit maintenant ajouter l'optique physique, qui étudie la nature et les propriétés du «lumen». (1-p.106)

Descartes (1596-1650) ne prend pas position sur la nature véritable de la lumière, il propose néanmoins différentes comparaisons : « …et passe à la troisième comparaison : celle d'un projectile matériel en mouvement et de sa trajectoire avec un rayon lumineux… et il prend tout naturellement comme exemple des jets de sable, formés d'innombrables particules, pour représenter un faisceau lumineux. » (1-p.113)

Dès que les notions de corpuscules et de milieu prirent un sens précis, au 17ème siècle, on a pu se demander si la lumière était un corps ou bien au contraire un mouvement.

Newton (1642-1727), représente un des plus grands chercheurs dans le domaine de la lumière et se positionne en faveur de la théorie corpusculaire. « Bien qu'il ait déclaré ne vouloir exposer que les résultats expérimentaux, indépendamment de toute hypothèse sur la nature de la lumière, à chaque phrase, pourrait-on dire apparaît l'idée qu'il se faisait de la lumière : constituée par une nuée de particules lancées à une très grande vitesse dans l'espace et douées d'une masse dépendant de sa couleur. » (1-p.167)
« … NEWTON n'a jamais rien affirmé d'une manière très précise sur la nature de la lumière… Mais il a fait tout ceci avec beaucoup d'habileté et n'a jamais voulu se prononcer précisément sur telle ou telle théorie… Qui lit l'Opticks de NEWTON sans parti pris, doit conclure qu'on ne pouvait mieux travailler qu'il ne l'a fait, non pour construire mais pour détruire la théorie corpusculaire. » (1-p.191)
Le modèle corpusculaire défendu par NEWTON et accepté parfois naïvement par ses disciples s'est heurté à la longue à certaines contradictions au niveau des réalités physiques expérimentales (1- p. 162, 169, 180, 181, 182, 183, 213, 236 2- p.162)

Parallèlement à Newton, Huygens (1629-1695) poursuit des recherches sur la nature de la lumière. La polémique est si grande alors sur la question lumière matière ou mouvement que Huygens dit : « Je préfère le mouvement à la matière » (1- p. 200)

Dans le courant du 18ème siècle de nombreuses recherches sur la mesure de la lumière sont menées parallèlement à celle de sa nature.
C'est seulement au début du 19ème siècle, avec YOUNG qu'est introduit le principe fondamental de l'interférence des ondes lumineuses et qui constitue une preuve du caractère ondulatoire de la lumière.

En 1810, E. MALUS, dans un mémoire primé par l'Académie des sciences clarifie quelque peu les dilemmes sur les deux théories : « …Ces lois (de l'optique) sont indépendantes des hypothèses qu'on peut faire sur la nature de la lumière… L'hypothèse de Huygens est sujette à de grandes difficultés, elle semble incompatible avec les phénomènes chimiques produits par la lumière. » (1- p.233).

« Un progrès véritable fut provoqué par les idées géniales de deux hommes très jeunes et étrangers aux milieux académiques, un médecin anglais, T. YOUNG, et un ingénieur français des Ponts et Chaussées, A. FRESNEL. Grâce à la grande valeur des extravagances de ces deux intrus, en quelques lustres, la théorie de l'émission ne fut plus qu'un souvenir historique, alors que la théorie ondulatoire devenait la conception de base de la physique du XIXéme siècle. » (1- p. 236)

Dans la première moitié du 19ème siècle, malgré l'élaboration d'une synthèse cohérente de la théorie mécanique de la lumière «… des révisions continuelles des conceptions courantes sur la constitution de la matière et sur la nature de l'espace physique, alimentaient les espoirs secrets des partisans de la théorie de l'émission »
(1- p. 261, 262, 263).

Une expérience réalisée par FOUCAULT en 1850 fait triompher la théorie ondulatoire.

En 1889 M. FARADAY et H. HERTZ précisent la nature des ondes en les déclarant électriques ou plutôt électromagnétiques. (3- p.15)

« Pourtant au début du 20ème siècle cette physique sera bousculée de nouveau : …quand on tente d'expliquer les phénomènes photoélectriques. » (3-p.16)

En 1900, le concept quantique de l'énergie fut établi par les travaux de PLANCK.
En 1905, A. EINSTEIN étend ce principe de discontinuité à l'énergie lumineuse et démontre comment, au moyen de la théorie des «quanta de lumière» (que LEWIS en 1936 appelé «photons») on pouvait expliquer un important groupe de phénomènes qui paraissaient inconciliables avec la théorie ondulatoire classique. L'énergie de ces nouveaux «photons» s'exprime nécessairement en fonction de la fréquence de l'onde associée.
« Les théories classiques apparaissent comme des approximations de la théorie quantique, valables dans le cas où des grandeurs physiques de type «action» (produit d'une énergie par un intervalle de temps) seraient très grandes par rapport au «quatum d'action,h» (constante de Planck) ; si tel n'est pas le cas, le recours à la théorie quantique est inévitable, ainsi pour l'effet photoélectrique. (4 p.x)

Avec la découverte du photon par EINSTEIN en 1905 et son interprétation de l'effet photoélectrique, et avec la mécanique ondulatoire de DE BROGLIE, en 1924, qui associe ondes et corpuscules, les deux théories se trouvent réconciliées, mais sous un mode qui les modifie l'une et l'autre.

« On finit par introduire la «dualité onde-corpuscule» : dans certaines de ses manifestations, comme les phénomènes d'interférence ou de diffraction, la lumière impose des aspects ondulatoires, dans d'autres, en particulier quand elle interagit avec la matière, c'est la conception corpusculaire qui l'emporte. » (3- p.16)

Evolution de la lumière dans le quotidien de l'homme

Si la lumière naturelle est celle du ciel (ciel ou couvert), la découverte du feu par l'homme constitue le premier pas de la maîtrise de la lumière artificielle par l'homme.
La bougie, le flambeau et ensuite la lumière des lampes à pétrole et au gaz ont, pendant des siècles, constitué les seules sources d'éclairage artificiel.
« Gaz, pétrole et chandelles règnent sans partage dans la lutte contre la nuit » (4 p.30)
C'est en 1879 que EDISON parvient à mettre au point la première lampe électrique à incandescence commercialisée.
Cette découverte, pour certains étaient inattendue : « Le Grand Larousse du 19ème siècle … en 1870, à l'article éclairage : la question de l'éclairage électrique, sur lequel on fait tous les jours de nouvelles expériences est encore loin d'être résolu. »
« La lumière électrique – et plus particulièrement celle présentée dans les «salons EDISON » au palais de l'industrie lors de l'exposition de 1881 – remporte, aux yeux du public un immense succès. » (4 p.31)
La diffusion de l'éclairage électrique provoque des interrogations sur l'acuité visuelle mais aussi sur les dangers que représente cette "nouvelle lumière. " Ce que nos yeux doivent voir ce n'est pas le point lumineux mais l'objet éclairé ; le soleil n'a pas été crée pour qu'on regarde son disque brillant mais bien les objets qui nous entourent … » (4 p.36)
« C'est à partir de 1925 qu'on assiste aux premières tentatives d'incorporer l'éclairage à l'architecture et à la décoration : « … Les formes de l'architecture, déjà très nouvelles grâce aux matériaux nouveaux mis en œuvre, se transforment encore en se pliant aux exigences de l'éclairage.»(Mallet Stevens) » (4 p.36)

Le phénomène d'incandescence d'un filament traversé par un courant électrique ne constitue pas l'unique source de lumière électrique. La décharge électrique dans un gaz provoque, sous certaines conditions, un rayonnement visible et ultra violet.
En 1910, déjà, des tubes remplis de néon (gaz rare) sont exposés au Grand Palais à Paris.
C'est en 1936 qu'André CLAUDE met au point le tube fluorescent. (5 p.12)

Depuis cette époque les sources n'ont cessé d'évoluer : les ampoules à incandescence existent toujours mais leur rendement et leur durée de vie ont augmenté, grâce à l'utilisation des gaz aux halogènes, le phénomène d'incandescence est exploité au maximum, les nombreuses combinaisons de gaz et poudres fluorescentes permettent d'obtenir des tubes lumineux assurant une lumière de grande qualité et d'efficacité lumineuse importante.
En 2007 c'est sans doute la diode électroluminescente (LED) qui retient l'attention en tant que nouvelle source. Utilisée depuis de nombreuses années comme «voyant lumineux» dans les appareils électroniques, elle a trouvé sa place comme «signal» dans plusieurs projets de mise en lumière urbaine ces dernières années et s'envisage de plus en plus souvent comme source alternative en éclairage intérieur. Son principe de fonctionnement se base sur la décharge électronique dans un cristal reconstitué. La mise en résonance de cette matière engendre l'émission d'un rayonnement en grande partie ultra violet et visible.

Depuis plus d'un siècle de nombreux créateurs ont habillé les sources en luminaires. Présents d'abord dans les arts décoratifs, ils se comptent actuellement parmi les nombreux objets du mobilier contemporain et du design.

Si les innovations technologiques et les propositions formelles font évoluer ce vaste domaine qu'est celui de l'éclairage, on est en droit d'attendre pour les années futures une sérieuse évolution au point de vue des nuisances pour l'homme et son environnement …

La notion de mise en lumière

(reportage photos)

Avant de s'interroger sur la qualité de la lumière dans un espace, il m'est apparu indispensable de se rapprocher de sa source : le soleil et le ciel.
Essayer de comprendre le phénomène de perception de la lumière d'un lieu revient toujours, à mon sens, à observer la « mise en lumière » du lieu.
La lumière ne se perçoit que parce qu'elle touche un réceptacle par lequel elle se révèle.
Ces réceptacles, dans un paysage ouvert, sont les nuages, les arbres, le bâti…
Ces réceptacles dans un espace fermé, sont les murs, le plafond, les objets du lieu …
On cheminera donc dans l'exposé, de l'espace ouvert vers le contexte extérieur du bâti, puis, enfin en traversant la prise de jour (la fenêtre), on entrera enfin dans l'espace fermé.
Ce cheminement sera ponctué de 5 observations.
C'est à travers des photos, que j'ai faites, donc de non spécialistes, que je pourrai partager mon expérience du regard. J'attire votre attention sur la médiatisation de la réalité que représente une photographie.
Pour bien percevoir, il faut être avec ses yeux et tout son corps entier dans le lieu. Cette série d'images représente des lieux accessibles à tous, du quotidien baigné de lumière « ordinaire », jamais vraiment exceptionnelle.

Quelques photos de paysages aux ciels particulièrement présents en tant que réceptacles. Un ciel nuageux est toujours plus proche, à nos yeux, qu'un ciel serein. La brume devient aussi réceptacle, elle révèle la lumière et se transforme en élément enveloppant.

Une première observation qui découle directement de l'idée même de mise en lumière d'un lieu est représentée par ce croquis (1)
Deux personnes dans un site baigné d'une lumière (représentée par la flèche) observent le lieu dans deux directions opposées (N et S ou E et O, …) Ils sont baignés dans la même lumière et n'observent pas la même mise en lumière.
Sur la route, en voiture, je fus interpellée, questionnée par le rose des nuages, l'intensité du blanc des murs des maisons, des piquets de clôture. Je me suis arrêtée, me suis retournée et j'ai vu un ciel de feu.
On pourrait presque dire que l'explication d'une lumière inédite, qui questionne, qui émeut, se trouve toujours derrière soi.
En observant ce ciel de feu, l'émotion vient de l'image du ciel lui-même, de la source. Mais la mise en lumière qui émeut, c'est le réceptacle.
Sur la plage, du même endroit, au même moment, deux mises en lumière différentes.
Dans la forêt, du même endroit, au même moment, deux mises en lumière différentes.

Une autre expérience banale, quotidienne : une lumière qui interroge. Un ciel gris, nuageux, et pourtant, sur cette autoroute, l'arrière du camion baigné de lumière. Et encore une fois, dans le rétroviseur, un ciel radieux et le soleil.
Dans une voiture sur une autoroute, le champ de vision est particulier, circonscrit par la forme du pare-brise et divisé en 2 parties presque égales de ciel et de route. La mise en lumière de ce paysage cadré est influencée par le rôle de réceptacle que joue le matériau de la route. Une route mouillée par la pluie semble plus claire parce quelle réfléchit la lumière. Il y a alors, sous un ciel gris, presque une équivalence de clarté entre le ciel et la route. On pourrait dire que la lumière vient autant du sol que du ciel .Comme un plan d'eau.
Ce qui nous amène à la 2ème observation : l'influence de la matière du sol réceptacle de lumière et siège de réflexion (2). Un plan d'eau constitue ce qu'on pourrait appeler une source

secondaire de lumière. On connaît, tous, la magie des reflets au plafond d'un espace ouvert sur un plan d'eau, une piscine, …
Mais d'autres surfaces presque horizontales, dans le paysage, peuvent participer du même phénomène (toiture en hydrocarboné sur l'image).
Lorsque la surface devient du gazon, on observe la coloration verte du blanc du plafond.

On en arrive à la 3ème observation qui schématise par le croquis suivant la réflexion sur les surfaces verticales.
Ici, un jardin, paysage d'un espace largement ouvert par une grande baie vitrée.
Je me suis arrêtée à ce jardin surprise par un érable en fleurs, énorme bouquet qui fait écho à la peinture verte d'un muret peint à la chaux.
La fenêtre est située à l'est et le tableau de verdure est donc baigné de la lumière de l'ouest.
Remarquons qu'une fenêtre Ouest capte la lumière chaude de la fin du jour mais donne au regard un paysage baigné le matin par la lumière de Est.

Pénétrons maintenant dans le contexte urbain qui nous conduit à la 4ème observation.
Une rue étroite et sa mise en lumière le matin puis l'après midi.
Une autre rue le matin, un côté dans la lumière, l'autre dans l'ombre.
On constate des taches de lumière réfléchie provenant des fenêtres opposées agissant comme sources secondaires.
On peut observer ce même phénomène à l'intérieur des espaces.
Dans une maison mitoyenne de la fin du 19ème siècle, dans un contexte très minéral. Une des fenêtres des maisons à l'arrière est à l'origine, d'un cadeau annuel de lumière. Cette fenêtre, en effet, pendant le mois de novembre (quand l'inclinaison des rayons du soleil le permet) devient source secondaire et envoie de la lumière sur la face intérieure du mur de façade. Cette lumière de fin de journée, « orangée » est très intense, comparable à celle d'une applique murale. Lumière beaucoup plus magique qu'une tache de lumière pénétrant directement dans un espace. Le ricochet a magnifié la lumière.

Et dans un espace fermé, comment la lumière se comporte-t-elle ?
De la même manière, elle évolue par réflexion, par ricochets successifs.
La limite à franchir par la lumière entre dehors et dedans c'est la prise de jour. Je préfère utiliser ce terme plutôt que fenêtre qui évoque peut-être trop le vide rectangulaire standard dans une maçonnerie.
Quelques images de prises de jour et le chemin de la lumière sur les réceptacles réflecteurs : le sol, les murs, le plafond …mais aussi les objets présents.
Un exemple, qui fait l'objet de la 5ème observation, vécu dans mon quotidien est représenté sur l'image : une desserte métallique sur laquelle sont posés des objets en verre constitue « une bulle de lumière » par tant de réflexion. Si tous ces objets en verre étaient remplacés par des objets en céramique opaque mat, cette présence lumineuse disparaîtrait.

Observer beaucoup, toujours.

Avant de terminer cette réflexion sur la notion fondamentale de mise en lumière, notons une réalité fondamentale de la perception des « paysages » : la lumière naturelle vient d'en haut. La lecture se fait dans cette hypothèse. Sur des photographies d'architectures, comme par exemple celles, magnifique, de Lucien Hervé, l'abstraction de l'image ne peut se lire en tant que seuil, linteau, marche, … qu'à la condition que soit reconnue l'ombre portée vers le bas par cet accident architectural. . Sur l'image qui représente une sculpture, plutôt un bas-relief inconnu de tous ici, on peut reconnaître (lire) un visage. Dans une lumière en contre plongée, on ne peut reconnaître un visage inversé.
Deux autres images, l'une droite l'autre inversée : seule l'herbe suspendue au haut de la photo rappelle l'erreur, la lumière étant parfaitement symétrique par rapport au plan d'eau le paysage peut être lu dans les deux sens.

Chapitre I : les éléments de la physique de la lumière

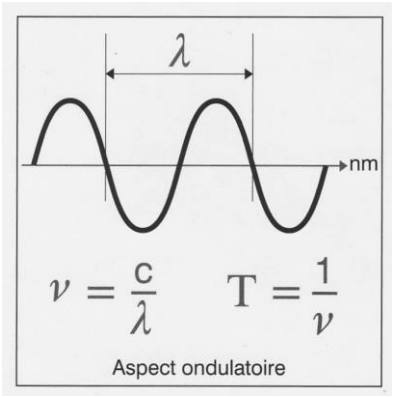
1.1 : Le rayonnement visible

La physique moderne reconnaît au rayonnement électromagnétique deux caractères: ondulatoire et corpusculaire.

L'aspect ondulatoire définit la lumière par une oscillation sinusoïdale caractérisée par sa longueur d'onde (λ), sa période (T) et sa fréquence (γ).
La longueur d'onde est la distance, en nanomètres (nm ou m^{-9}) qui sépare des points vibrant en même temps. La séquence, exprimée en hertz (l Hz), est le nombre de vibrations par seconde. La période est la durée, d'une vibration on secondes. La longueur d'onde est reliée à la fréquence par la vitesse de propagation de l'onde (c) qui varie en fonction du milieu de propagation:

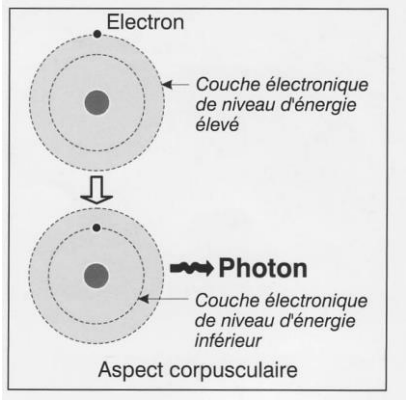
$c = \lambda . \gamma$.

Dans l'air, la vitesse de la lumière vaut environ 300.000 km/s.



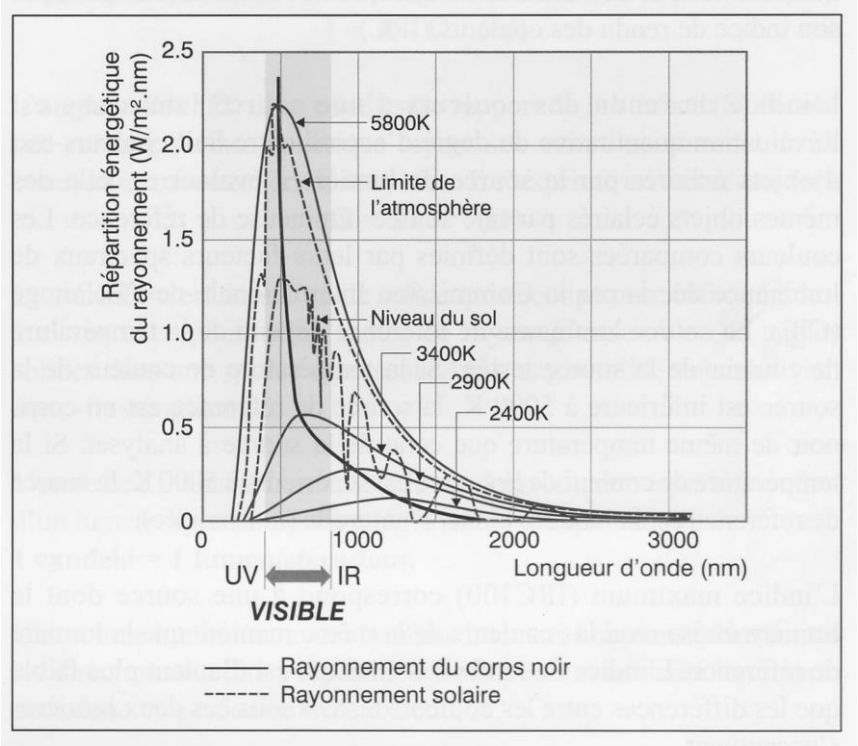
L'aspect corpusculaire définit la lumière par un rayonnement composé de corpuscules: les photons.
L'émission et l'absorption de la lumière se font de manière discontinue. En effet, il y a émission de lumière lorsqu'un électron passe d'une couche électronique dont le niveau d'énergie est élevé à une autre dont le niveau d'énergie est inférieur, lors du réarrangement des couches électroniques d'un atome ou d'une molécule suite à une excitation.
Les ondes électromagnétiques sont caractérisées par leur énergie, proportionnelle à leur fréquence:

$\Delta E = h . \gamma$ où h est la constante de Planck (6,634 . 10^{-34} J/s).

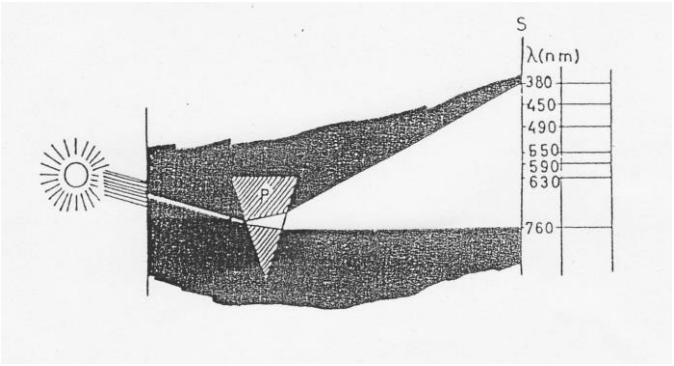


Le rayonnement d'une source de lumière (naturelle ou artificielle) se représente par un spectre : énergie émise ($W/m^2.nm$) en fonction de la longueur d'onde (nm).

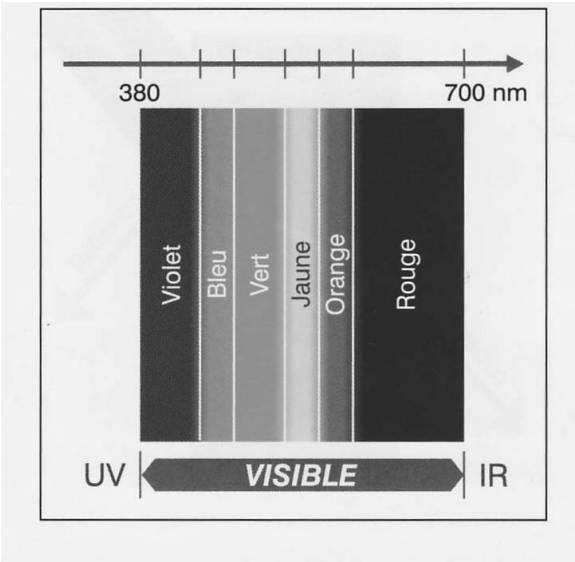
Le spectre des longueurs d'onde visibles de la lumière occupe une étroite bande du spectre électromagnétique, la fourchette du visible s'étend de 380 nm à 760 nm.
Le soleil ainsi que toutes les lampes (lumière artificielle) émettent également un rayonnement ultraviolet ($\lambda < 380nm$) et une rayonnement infrarouge ($\lambda > 760$ nm)
La figure ci-dessous illustre la distribution spectrale du soleil aux confins de l'atmosphère et au niveau du sol.
Les autres courbes se réfèrent au rayonnement du corps noir à différentes températures (voir température de couleur au paragraphe 1.2)



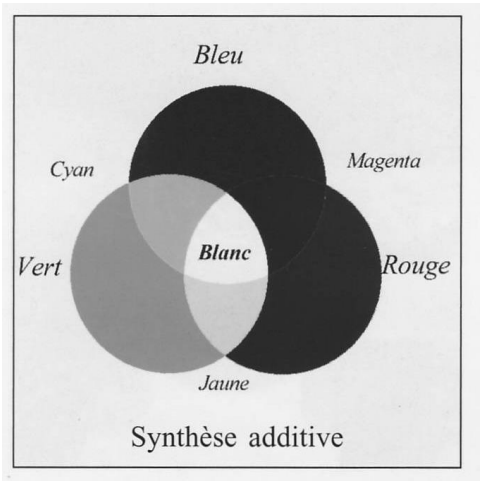
La lumière blanche peut par l'intervention d'une matière transparente révéler différentes lumières colorées.
La réfraction de la lumière à travers un prisme en verre révèle notamment différentes couleurs.

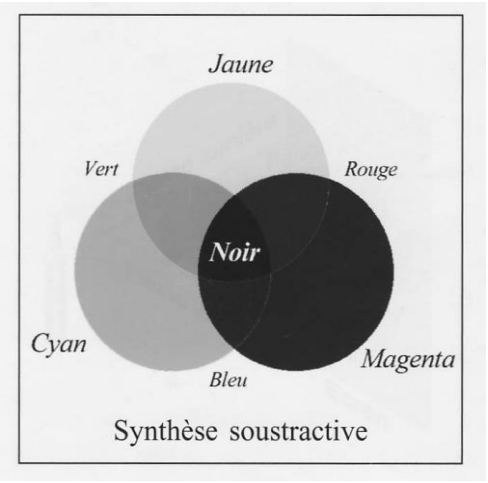


Sachant que l'angle de diffraction varie avec la longueur d'onde, chaque bande de longueur correspond à une couleur
Le bleus se situent dans les courtes longueurs d'onde les rouges dans les grandes longueurs d'onde.



Les domaines utilisant des lumières colorées (théâtre, cinéma, vidéo, informatique) exploitent les phénomènes de synthèses dites « additives » et « soustractives ».
A partir de trois lumières colorées : un rouge (grandes longueurs d'onde) un vert (longueurs d'onde moyennes) et un bleu (courtes longueurs d'onde) il est possible de « reconstruire » un lumière proche de la lumière blanche : c'est la synthèse additive.
A partir d'une lumière dite blanche (incandescent ou fluorescent) la superposition de trois filtres successifs de couleur d'un jaune, d'un magenta et d'un cyan soustrait tout objet à la lumière blanche initiale : c'est la synthèse soustractive.

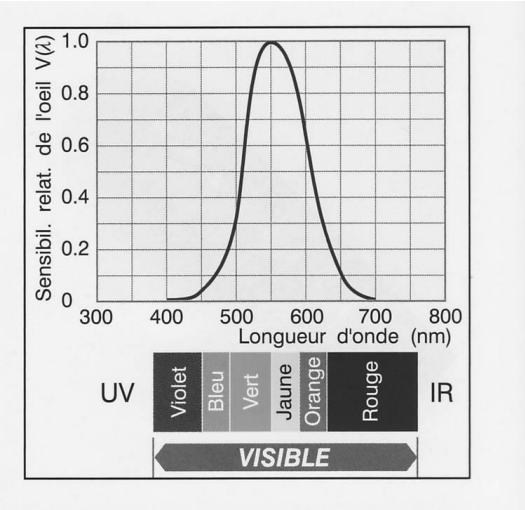




1. 2 : La photométrie : grandeurs et unités

Introduction

Le but de la photométrie est de quantifier les grandeurs relatives au rayonnement en fonction de l'impression visuelle produite.
L'expérience a montré que l'œil n'est pas également sensible aux différentes longueurs d'onde. Cette variation de sensibilité peut se représenter par la courbe de sensibilité de l'œil.
La plus grande sensibilité se situe autour de 550nm.



Les différentes grandeurs photométriques dérivent ainsi des grandeurs énergétiques correspondantes mais évaluées selon la courbe de sensibilité de l'œil.

1.2.1 : Le flux lumineux

Le flux lumineux φ d'une source est l'évaluation, selon la sensibilité de l'œil, de la quantité de lumière rayonnée dans tout l'espace par cette source. Il s'exprime en lumen (lm)

Ainsi le flux lumineux d'une ampoule classique (à incandescence) de 60W vaut 700 lm.

L'efficacité lumineuse (η) d'une source de lumière est le quotient du flux lumineux (φ) par la puissance (P). Elle s'exprime en lm/W
La puissance d'une source naturelle correspond à son flux énergétique (rayonnée)
La puissance d'une source artificielle (ampoule ou tube fluorescent) est la puissance électrique consommée.

Ainsi l'efficacité lumineuse (η) de l'ampoule de 60W vaut 700/60 = 11,7 lm/W

Alors que l'efficacité lumineuse d'une ampoule dite économique peut dépasser 50lm/W .
Cette caractéristique fondamentale en matière d'économie d'énergie sera envisagée en détail dans le chapitre 3 consacré à l'éclairage artificiel.
Une source artificielle se choisi rarement en fonction de son flux lumineux. C'est l'expérience de la puissance qui guide l'utilisateur. On achète une 40W ou une 75W parce qu'on sait « ce que ça donne » comme lumière.
Les projets de mise en lumière tiennent évidemment compte du flux nécessaire et de l'efficacité de la source en amont du choix de la puissance !

1.2.2 : L'intensité lumineuse

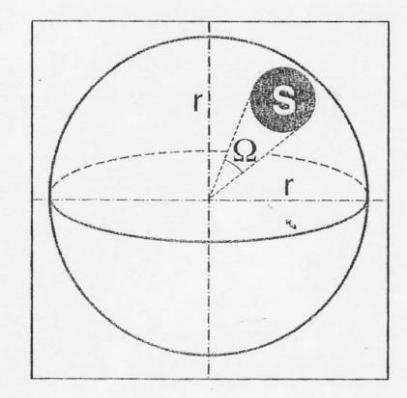
L'intensité lumineuse est le flux émis par unité d'angle solide dans une direction donnée.
Elle se mesure en candela (cd).

$I = \varphi/\Omega$ (cd)

L'angle solide (Ω) d'un cône est la surface (S) découpée sur une surface sphérique (ayant son centre au sommet de ce cône) au carré du rayon de la sphère.
Il s'exprime en stéradians (sr)

$\Omega = S/r^2$ (sr)

Le stéradian est donc un angle solide qui découpe une surface égale à 1 m2 sur une sphère d'un mètre de rayon.



L'unité de l'intensité lumineuse, le candela (cd), correspond à un flux d'un lumen rayonné dans un angle solide d'un stéradian :
1 candela = 1 lumen/stéradian
L'angle solide maximal vaut 4π stéradian (comme l'angle plan maximal vaut 360 degrés)

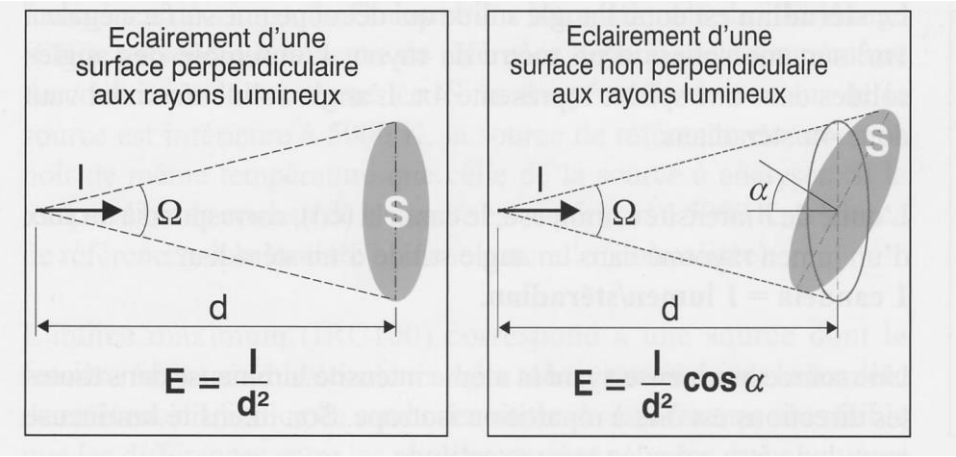
Une source lumineuse ayant la même intensité lumineuse dans toutes les directions est dite à répartition isotrope.
En pratique, les sources de lumière sont anisotropes.
La mesure utilisée est alors l'intensité lumineuse moyenne $I = \varphi / 4\pi$.
Ainsi l'ampoule à incandescence de 60W a une intensité moyenne de $700/4\pi = 55$cd

1.2.3 : L'éclairement

L'éclairement (E) d'une surface est le rapport du flux lumineux reçu à l'aire de cette surface.
Son unité est le lux (lx), équivalent à 1 lm/m^2

$E = \varphi/S$ (lx)

Si on considère une lumière projetée (lampe de poche à faisceau étroit par exemple) de manière à exclure l'influence de la réflexion de l'environnement (ce qui n'est jamais le cas en pratique), on peut admettre que l'éclairement dépend uniquement de l'intensité de la source lumineuse, de la distance entre la source et la surface éclairée et de son inclinaison par rapport aux rayons lumineux

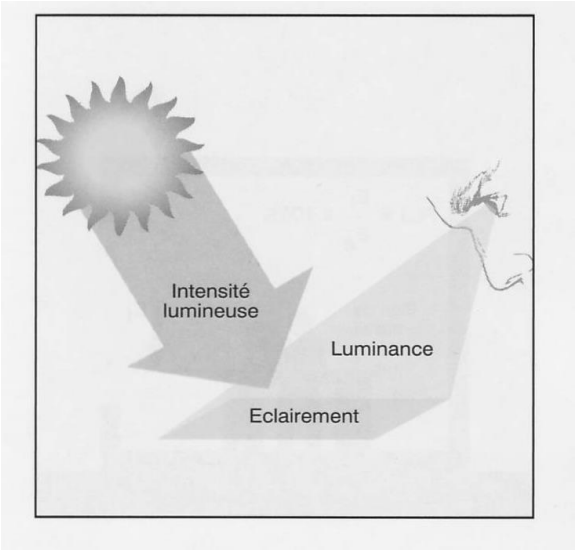


Si l'éclairement est la grandeur la plus utilisée en pratique pour apprécier la quantité de lumière baignant un espace, elle reste difficilement perceptible par l'œil. En effet, une même quantité de lumière reçue par une surface blanche ou une surface noire ne sera pas perçue comme une valeur égale.
L'échelle des niveaux d'éclairements est très étendue, elle varie de 0,2 lux à la pleine lune à 100.000 lux en plein soleil d'été.

1.2.4 : La luminance

La luminance (L) d'une source est le rapport entre l'intensité lumineuse émise dans une direction et la surface apparente de la source lumineuse dans la direction considérée.
La luminance s'exprime en candélas par mètre carré (cd/m^2)

$L = I / S_{apparente}$ (cd/m^2)



La luminance est la seule grandeur photométrique réellement perçue par l'œil humain.
Elle traduit la sensation visuelle de luminosité créée par une source lumineuse principale (le soleil, le ciel, une ampoule…) ou par une source de lumière secondaire (toute surface éclairée).
La luminance d'une surface dépend de l'éclairement de cette surface, de son coefficient de réflexion et de sa brillance.

La luminance d'un surface mate dépend de l'éclairement et du coefficient de réflexion (ρ) du matériau.(voir paragraphe 1.3.1)

L'œil humain perçoit des luminances allant d'environ 10^{-3}cd/m^2 en vision nocturne, à 10^5 cd/m^2. Au-delà de ces niveaux la vision de vient inconfortable.

Environnement	Luminance (cd/m^2)
Paysage nocturne (limite de la visibilité)	10^{-3}
Paysage par pleine lune	10^{-2} à 10^{-1}
Papier noir mat éclairé par 100 lux	1.5
Parois intérieures éclairées	25 à 250
Papier blanc mat éclairé par 100 lux	30
Paysage par ciel couvert	300 à 5 000
Paysage par ciel clair	500 à 25 000
Lune	2500
Papier blanc au soleil	≈ 25 000
Soleil	$1{,}5 \cdot 10^9$

1.2.5 : La température de couleur

Si les grandeurs photométriques précédentes (flux, intensité, éclairement et luminance) permettent d'apprécier quantitativement une lumière, la température de couleur ainsi que l'indice de rendu des couleurs permettent d'apprécier une qualité de lumière.

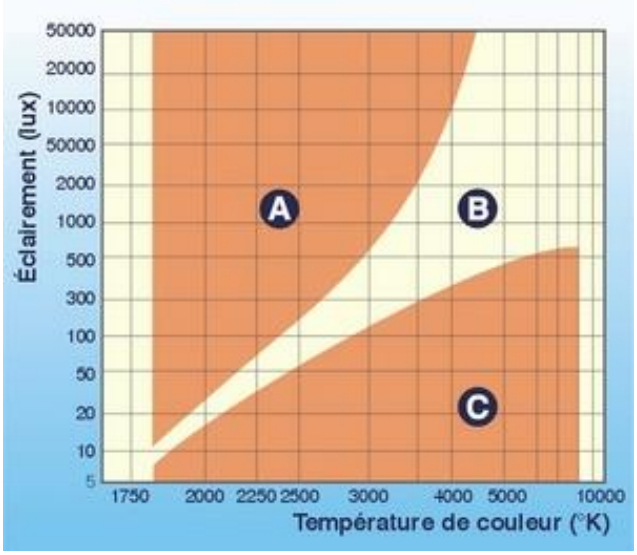
La température de couleur d'une source est la température à laquelle il faudrait chauffer un corps noir pour qu'il rayonne une lumière dont la couleur serait la plus proche possible de celle de la source considérée. Elle s'exprime en Kelvin (K).
Le corps noir est un corps qui absorbe toutes les radiations qui l'atteignent quelles que soient leurs longueurs d'onde et leurs directions. Il émet, à une température donnée, le maximum de rayonnement suivant une distribution spectrale bien définie. Cette loi montre que le maximum d'émission se déplace vers les longueurs d'onde du domaine visible à mesure que la température augmente. Le rayonnement solaire aux confins de l'atmosphère est très proche de celui du corps noir à 5800 K. Cependant, le rayonnement solaire est atténué lorsqu'il traverse l'atmosphère.

En se référant à la figure de la page 12 (spectre du rayonnement du corps noir et du rayonnement solaire) on constate qu'en dessous de 3400°K la courbe spectrale (continue) du corps noir affiche (dans le domaine visible) des valeurs énergétiques plus importantes dans les grandes longueurs d'onde. Ce qui correspond à des lumières dites « chaudes » contenant du rouge.
A 5800°K, par contre, ce sont les courtes longueurs d'onde qui dominent. Ce qui correspond à des lumières dites « froides » contenant du bleu.
Ainsi plus la température de couleur d'un source lumineuse est élevée plus elle paraît froide.
La température de couleur d'une lumière est donc une manière que quantifier l'ambiance dégagée par cette lumière.

Contrairement à la croyance habituelle, la lumière du jour est, en dehors des moments particuliers que sont l'aube et le crépuscule, une lumière froide dont la température de couleur dépasse 5000°K.

Par contre, rares sont les sources artificielles dont la température de couleur dépasse 3500°K.
La lampe à incandescence possède une température de couleur de l'ordre de 2500°K.
La lampe aux halogènes possède, elle, une température de couleur de l'ordre 3000°K.
Les ampoules économiques et les tubes fluorescents généralement utilisés atteignent des températures de couleur qui dépassent rarement 4000°K, bien que des valeurs de 5400°K et 6500°K soient disponibles.
Nos environnements sont ainsi baignés, la nuit, dans une lumière bien plus chaude que celle qui les éclaire le jour.

L'expérience montre que le confort visuel (sensibilité à l'ambiance) est directement en lien avec la température de couleur et l'éclairement.
Ainsi pour des lumières froides l'éclairement doit être important (comme c'est d'ailleurs le cas pour la lumière du jour).
Pour des lumières chaudes, les éclairements peuvent être faibles sans entraîner de sentiments désagréables. C'est le cas de l'éclairage aux bougies.
Ces constats sont représentés quantitativement par le diagramme de Kruithof (ci-dessous).
Les zones A et C sont déconseillées, la zone B dite zone de confort est recommandé.
La norme belge NBN L13-001 fournit ce diagramme comme base de valeurs d'éclairements recommandées.



1.2.6 : L'indice de rendu des couleurs

la capacité d'une source lumineuse à restituer les différentes couleurs du spectre visible de l'objet qu'elle éclaire est désignée par son indice de rendu des couleurs (IRC).
L'indice de rendu des couleurs d'une source lumineuse est l'évaluation quantitative du degré d'accord entre huit couleurs-test d'objets éclairés par la source de lumière à évaluer et celle des mêmes objets éclairés par une source lumineuse de référence. Les couleurs comparées sont définies par leurs facteurs spectraux de luminance décris par la Commission Internationale de l'Eclairage (CIE).
La source lumineuse de référence dépend de la température de couleur de la source testée.
L'indice maximum (IRC100) correspond à une source dont la lumière émise rend les couleurs de la même manière que la lumière de référence.

Si la température de couleur de la source est inférieure à 5000 K, la source de référence est un corps noir de même température que celle de la source à analyser. Rappelons que le corps noir chauffé à des températures inférieures à 3500°K émet un rayonnement à dominance rouge ! Ainsi le rendu des couleurs des ampoules à incandescence et aux halogènes (couleurs chaudes) auront un IRC proche de 100, assimilé à 100 dans la pratique
Si la température de couleur de la source est supérieure à 5000 K, la source de référence est la lumière blanche naturelle (normalisée).
L'indice de rendu des couleurs est d'autant plus faible que les différences entre les couleurs testées sous ces deux lumières s'accentuent.
Il faut bien se rendre compte que l'indice de rendu des couleurs ne peut définir de manière complètement satisfaisante le rendu des couleurs d'une source. Il faut donc se garder de donner trop d'importance aux petites différences d'IRC entre sources.

La température de couleur et l'indice de rendu des couleurs d'un flux lumineux dépendent de la répartition spectrale lumineuse de sa source.

1.3 : Propriétés des corps vis-à-vis de la lumière

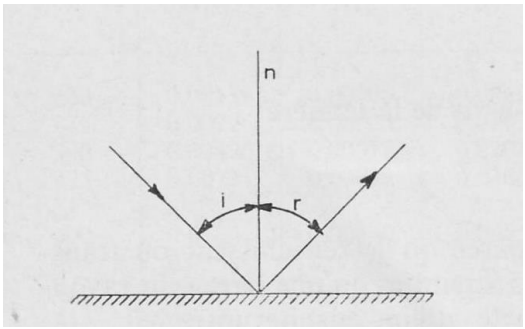
1.3.1 : La réflexion

On peut considérer le taux de lumière réfléchie par un corps en introduisant le facteur de réflexion.
On appelle facteur de réflexion ρ d'un corps, le rapport du flux lumineux total réfléchi par ce corps (Fr) au flux lumineux total incident (Fi)

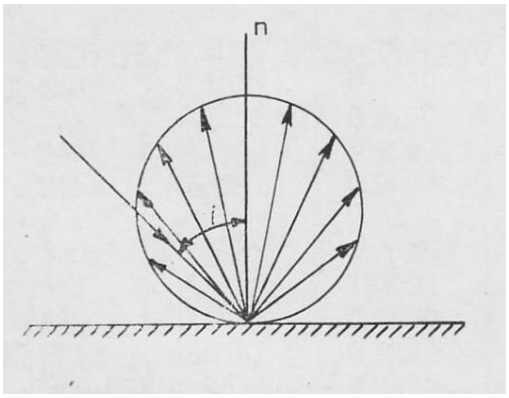
$\rho = Fr/Fi$

Ce facteur varie généralement avec la composition spectrale et la direction du flux incident.
On distingue essentiellement trois modes de réflexions : régulière (ou spéculaire), diffuse et mixte.

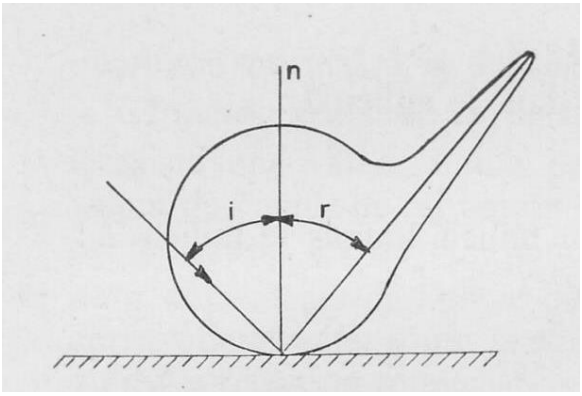
La réflexion régulière a lieu lorsque la lumière est réfléchie par une surface polie : miroir ou métal poli par exemple.
Dans ce cas l'image de la source lumineuse est nette.
Dans ce cas l'angle d'incidence i est égal à l'angle de réflexion r ; le rayon incident, le rayon réfléchi et la normale n à la surface réfléchissante au point d'incidence sont dans un même plan.



Il y a réflexion diffuse quand la surface réfléchissante renvoie les rayons réfléchis dans toues les directions possibles.
La réflexion diffuse est dite parfaite lorsque tout le flux lumineux incident est réfléchi dans aucune absorption ($\rho = 1$)
Un diffuseur parfait satisfait à la loi de Lambert (invariabilité de la luminance avec l'angle d'incidence), sa surface apparaît avec une luminance uniforme quelle que soit la direction selon laquelle on l'observe.
Une certaine approximation du diffuseur parfait est constituée par un plafond blanc mat, une couche de neige, du papier aquarelle blanc.



Pratiquement la plupart des surfaces réfléchissent la lumière de manière plus ou moins diffuse, une partie étant cependant réfléchie régulièrement. On parle alors de réflexion mixte. Une image peut encore être observée, mais elle est floue. Un matériau comme une plafonnage peint en satiné, ou un inox brossé ne donne pas d'image nette de la source mais une tache brillante.



Facteurs de réflexion diffuse

A. Peintures

Couleurs	claires	moyennes	foncées
blanc	0,80	0,70	—
jaune	0,70	0,50	0,30
beige	0,65	0,45	0,25
vert	0,60	0,30	0,12
gris	0,60	0,35	0,20
rose	0,50	0,35	0,20
brun	0,50	0,25	0,08
bleu	0,50	0,20	0,05
rouge	0,35	0.20	0,10
noir	—	0,04	—

B. Papier peints (surface mate et graîneuse)

Très clair : blanc, crème, paille	0,65 à 0,75
Clairs : gris clair, sable, rose, jaune, bleu pâle	0,45 à 0,60
Foncés : rouge	0,20 à 0,36
vert	0,10 à 0,20
gris	0,20 à 0,30
bleu	0,05 à 0,25
noir	0,05

C. Bois

Bouleau clair, érable	0,55 à 0,65
Chêne vernis clair	0,40 à 0,50
Chêne vernis foncé	0,15 à 0,40
Acajou, noyer	0,15 à 0,40
Fibres de bois en plaques couleur crème (état neuf)	0,50 à 0,60
Fibres de bois en plaques couleur crème (après usage)	0,30 à 0,40

D. Tissus d'ameublement

Rideau : jaune	0,30 à 0,45
rouge	0,10 à 0,20
bleu	0,10 à 0,20
gris-argent	0,15 à 0,25
brun foncé	0,10 à 0,20
Velours : noir	0,005 à 0,01

E. Revêtements divers

Plafonnage blanc (état neuf et sec)	0,70 à 0,80
Plafonnage blanc (après usage)	0,30 à 0,60
Plafonnage blanc légèrement teinté :	
jaune, rose, vert pâle	0,60 à 0,70
bleu clair	0,50 à 0,60
vert	0,50 à 0,60
rouge	0,40 à 0,50
Couleur à l'eau : blanche	0,60 à 0,75
Couleur à l'huile : blanche	0,75 à 0,85

F. Matériaux de construction

Marbre blanc propre	0,80 à 0,85
Plâtre de Paris propre	0,75 à 0,90
Carrelage faïence blanc	0.70
Brique blanche propre	0,62
Brique jaune propre	0,45
Brique rouge propre	0,10 à 0,20
Brique rouge après usage	0,05 à 0,15
Béton état neuf	0,40 à 0,50
Béton vieux	0,05 à 0,15
Ciment à l'amiante blanc — état neuf	0,30 à 0,40
Ciment à l'amiante rougeâtre — état neuf	0,20 à 0,30
Ardoises	0,10 à 0,15
Aluminium poli	0,65 à 0,75
Aluminium mat	0.55 à 0,60
Tôles de zinc après usage	0,08 à 0,20
Asphalte	0,08 à 0,12
Argent poli	0,88 à 0,93
Email blanc	0,65 à 0,75
Nickel poli	0,53 à 0,63
Nickel mat	0,48 à 0,52
Cuivre	0,48 à 0,50
Chrome poli	0,60 à 0,70
Chrome mat	0,52 à 0,55
Fer blanc	0,68 à 0,70
Vitrages	0,08 à 0,40

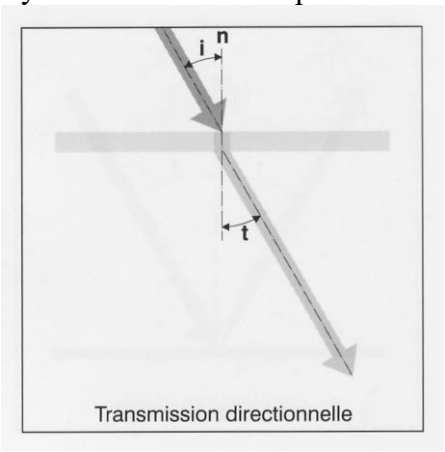
1.3.2 : La transmission

Le facteur de transmission τ d'un corps est le rapport du flux lumineux total transmis par ce corps, Ft, au flux total incident Fi

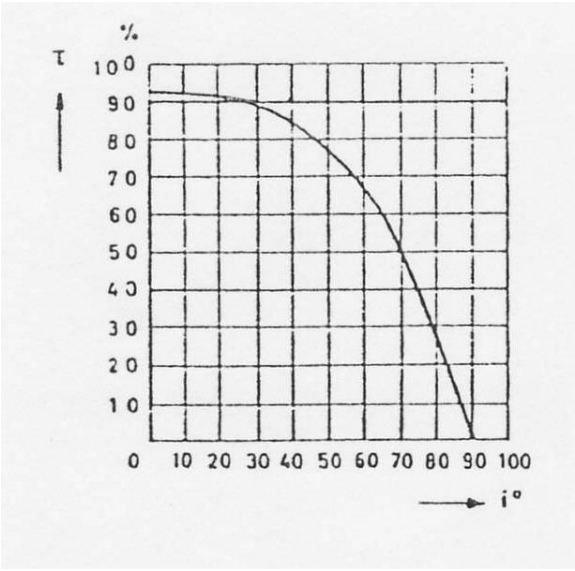
$\tau = Ft/Fi$

Ce facteur varie généralement avec la composition spectrale et la direction de la lumière. On distingue 3 modes de transmission

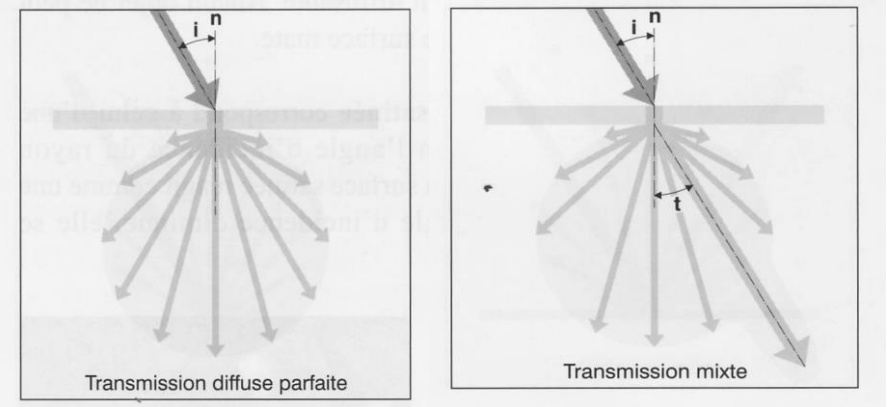
La transmission directionnelle ou régulière, quand la lumière est transmise selon un angle égal à l'angle d'incidence du rayon lumineux. Le corps est alors transparent (verre à vitre)



Le facteur de transmission τ du verre à vitre varie en fonction de l'angle d'incidence en suivant le diagramme ci-dessous



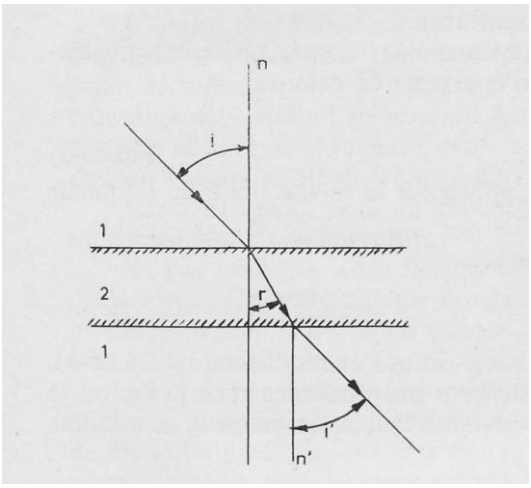
La transmission diffuse parfaite quand la lumière transmise est distribuée dans toutes les directions. Dans ce cas on ne distingue plus nettement les objets derrière la matière (verre opalin). Ces matériaux sont utilisés dans la fabrication d'appareils d'éclairage et sont appelés diffuseurs. Il répartissent sur toute leur surface les rayons issus de la source lumineuse et supprime ainsi l'éblouissement que provoquerait la vue directe de la source.



La transmission mixte quand la transmission est diffuse mais privilégiée quand même dans une direction précise. Dans ce cas on ne distingue pas l'objet nettement mais on peut encore le localiser (verre sablé).

Cas particulier de la réfraction.

Lorsque le matériau transparent traversé par la lumière est suffisamment épais on peut observer un phénomène de diffraction.
En effet les rayons lumineux qui passent d'un milieu à un autre changent de direction et leur vitesse de propagation varie.
Considérons le passage de la lumière du milieu 1 au milieu 2 et désigons par i l'angle d'incidence et par r l'angle de réfraction, tous deux évalués par rapoort à la normale à la surface de séparation.



L'expérience a montré que les angles i et r sont liés aux vitesses de propagation de la lumière c_1 et c_2 dans les milieux 1 et 2 par la relation

$$\sin i_1/c_1 = \sin i_2/c_2$$

L'indice de réfraction n_x d'un milieu x par rapport à l'air est défini comme suit :

$$n_x = c/c_x$$

Rappelons que la vitesse de la lumière dans l'air vaut 300.000 km/s, dans l'eau +/- 225.000 km/s et dans le verre elle atteint +/- 200.000 km/s.

De deux milieux transparents, on dit que le plus réfringent est celui dont l'indice est le plus grand.
Ainsi dans l'air $n_x = 1$, dans l'eau $n_x = 1,33$ et dans l'air $n_x = 1,5$

Lorsque la lumière passe d'un milieu donné dans un milieu plus réfringent :un rayon normal à la surface la travers sans déviation mais un rayon oblique se réfracte en se rapprochant de la normale.

L'angle de réfraction varie avec la longueur d'onde du rayon incident ainsi la lumière blanche en traversant un prisme se décompose en différentes lumières colorées.
Les rayons correspondant aux faibles longueurs d'onde (rouges) sont plus déviés que les rayons correspondant aux grandes longueurs d'onde (bleus).

1.3.3 : L'absorption

Tous les matériaux absorbent une partie de la lumière incidente. Le flux lumineux absorbé est transformé en chaleur, il est donc perdu pour l'éclairage.
Cette chaleur sous forme de grandes longueurs d'onde (infrarouges) est ensuite réémise par le matériau.
On appelle facteur d'absorption d'un corps, α, le rapport du flux total absorbé par ce corps (Fa) au flux lumineux total incident (Fi)

$$\alpha = Fa/Fi$$

Ce facteur varie généralement avec la composition spectrale et la direction du flux lumineux incident.

Relation entre les facteurs de réflexion, de transmission et d'absorption
Pour un corps déterminé, le flux lumineux incident se partage en une partie réfléchie, une partie transmise et une partie absorbée, ce qui conduit à l'égalité suivante :

$$\rho + \tau + \alpha = 1$$

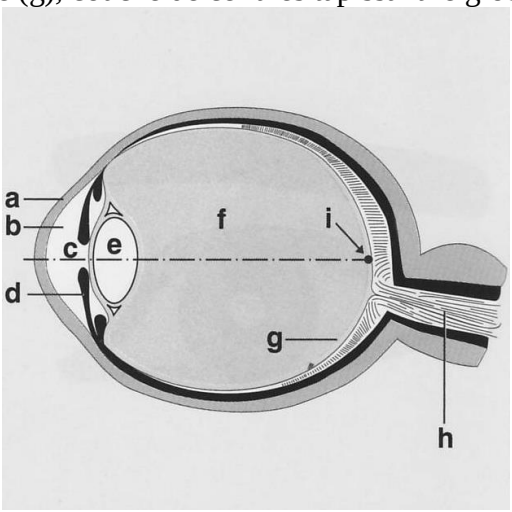
1.4 : La perception visuelle

1.4.1 : La vision

L'oeil nous permet de prendre connaissance de notre environnement en interprétant le flux lumineux qui le pénètre. Vu la grande vitesse de la propagation de la lumière, ce mode de perception à distance se fait pratiquement en temps réel, sauf pour les corps célestes éloignés ou lors de changements brutaux de niveaux d'éclairement.

Un rayon lumineux, qui atteint notre oeil, traverse successivement:
- la cornée (a), paroi transparente bombée,
- l'humeur aqueuse (b),
- la pupille (c), ouverture variable au centre de l'iris (d),
- le cristallin (e), lentille souple transparente,
- le corps vitré (f),

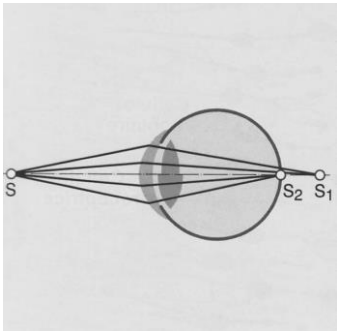
avant de rencontrer la rétine (g), couche de cellules tapissant le globe oculaire.



La sensation de perception visuelle, implique la pénétration d'un rayon lumineux, en provenance d'une source de lumière directe ou indirecte, dans le globe oculaire et son absorption par la rétine, partie photosensible de l'oeil. Les récepteurs photosensibles de la rétine transforment alors l'énergie lumineuse en un influx nerveux, qui est acheminé par le nerf optique (h) jusqu'au cerveau. Celui-ci procède à l'interprétation du signal reçu et reconstitue l'image d'origine.

Il faut distinguer trois zones sur la rétine: la fovéa, la macula et la périphérie.
Au centre de la rétine, à peu près dans l'axe optique, une région à structure plus fine présente un meilleur pouvoir de résolution: la fovéa (i). Elle permet à l'individu moyen de voir avec une très grande précision. C'est la zone de la rétine où se situent la majorité des cellules de perception des couleurs.
Autour de la fovéa se trouve la macula. La vision maculaire est colorée et très claire mais elle n'est pas aussi aigüe que la vision fovéale, parce que la densité de cellules y est moindre. L'homme utilise en particulier la macula pour la lecture.
La périphérie permet de percevoir les mouvements sur les côtés quand le sujet regarde droit devant lui. La vision liée à la zone périphérique est beaucoup plus grossière et privilégie la perception du mouvement. C'est la vision d'alerte.

Le contrôle de la quantité de lumière admise sur la rétine est possible grâce à la pupille, ce diaphragme d'ouverture variable. La réaction de l'oeil face au flux de lumière reçu se manifeste également par une lente adaptation de la sensibilité de la rétine.
Pour qu'une image se forme avec netteté sur la rétine, il faut que les rayons lumineux s'y focalisent. La cornée, dont la courbure est invariable, est en grande partie responsable de la déviation des rayons.
Lorsque l'oeil est au repos, une image située à l'infini converge exactement sur la rétine. Pour voir nettement un objet situé plus près, il faut augmenter la réfraction des rayons lumineux pour les concentrer sur la rétine. Ce rôle est réservé au cristallin dont le rayon de courbure peut varier sous l'action des muscles qui l'entourent.
La figure ci-dessous montre comment le cristallin assure la netteté des images qui atteignent la rétine: l'image de la source S, qui se forme en S1, par l'intermédiaire de la cornée, est ramenée sur la rétine en S2, grâce à la modification de la courbure du cristallin.



Ce phénomène, appelé accommodation, est commandé par une intention délibérée rapide pour émerger à la conscience - de faire le point quoi que trop rapidement - sur un des éléments de notre champ visuel.
Ce système optique peut être défectueux, il entraîne des troubles de la vision tels que la myopie (convergence des rayons lumineux en avant de la rétine), l'hypermétropie (convergence des rayons lumineux au-delà de la rétine), ...

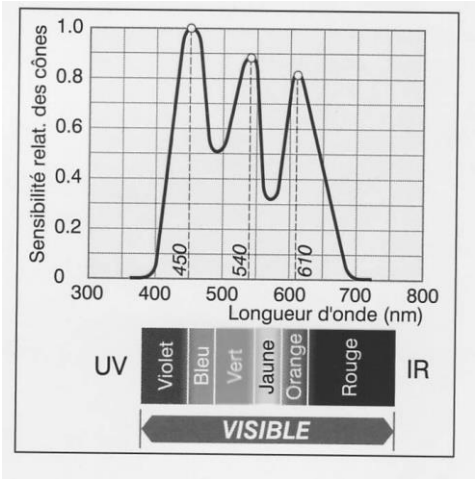
La vision des formes peut être obtenue par un seul oeil. Elle repose sur l'analyse cérébrale de l'image réelle inversée sur la rétine. Par contre, la vision en trois dimensions se fonde sur l'interprétation cérébrale de la comparaison entre les deux images, légèrement différentes, fournies simultanément par nos deux yeux.

La perception des mouvements est due à la courte persistance des images sur la rétine. Le cerveau compare les positions successives d'un objet et en déduit sa différence. Pour les grands mouvements, le regard se déplace et le cerveau en perçoit les sensations musculaires. Ce sont les modifications du cristallin qui nous permettent de mesurer les espaces et les objets. Le cerveau évalue leurs dimensions en fonction des mouvements des muscles oculaires. Sans ce moyen de mesure interne, nous ne pourrions pas percevoir la taille des objets puisque toutes les images ont la même grandeur sur la rétine.

Comportement de la rétine en fonction de la quantité de lumière reçue par l'œil.

L'oeil humain s'adapte aux activités nocturnes comme aux diurnes.
La rétine comporte deux types de cellules réceptrices: les cônes (7 millions), principalement situés au centre, dans la zone de la fovéa, et les bâtonnets (120 millions,), dominant en périphérie.

Les cônes
Ils sont sensibles à des intensités lumineuses moyennes ou fortes et sont donc responsables de la vision diurne ou photopique.
Ils ont une vitesse de réaction très rapide (25 millisecondes).
Ils possèdent trois types de pigments qui permettent la vision en couleur.
Ils assurent une vision très nette en raison de leur forte densité.
Ils ont une sensibilité spectrale maximale dans la région des jaune-vert à 555 nm.
Il y a trois types de cônes: chacun donne une réponse sélective au spectre des couleurs mais ils créent ensemble une, impression de couleur. Leur sensibilité spectrale est maximale à 450nm pour les cônes bleus, à 540nm pour les verts et à 610nm pour les rouges.



Les bâtonnets

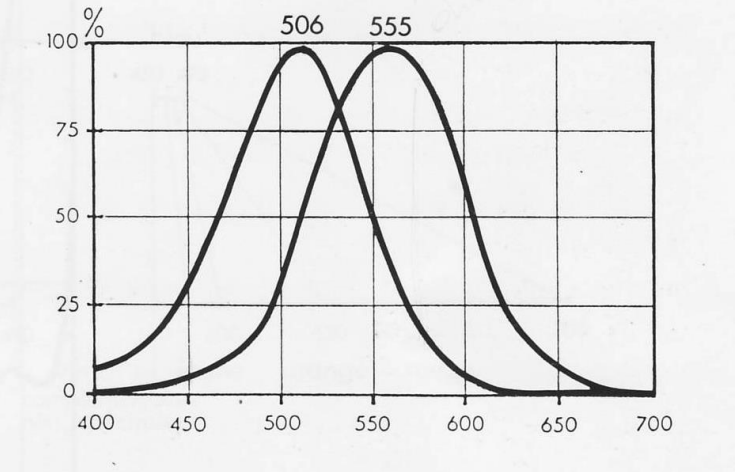
Ils sont sensibles à de faibles intensités lumineuses et entrent donc en jeu pour la vision nocturne ou scotopique.
Ils ont une vitesse de réaction plus lente (0,2 seconde).
Ils possèdent un seul type de pigment qui ne permet qu'une vision monochromatique.
Ils n'assurent qu'une faible netteté (vision floue).
Répartis sur toute la rétine, ils sont responsables de la perception du mouvement.
Ils ont une sensibilité spectrale maximale dans la région des bleu-vert à 507 nm.
Ainsi, de jour, nous avons une bonne vision centrale, en couleurs, avec une acuité visuelle performante et rapide. Par contre, notre vision nocturne est périphérique, avec une zone centrale aveugle correspondant à la fovéa, qui ne comporte pas de bâtonnets. Elle est unicolore et l'acuité visuelle, moins fine, nécessite une seconde pour être à son maximum.

Le seuil de perception de sensation lumineuse est de l'ordre de 10^{-6} cd/m$^{2.}$
Jusqu'à 10^{-3}cd/m^2, il s'agit de la vision nocturne, au-dessus de quelques cd/m^2 et jusque des luminances de l'ordre de 10^5 cd/m^2 on est en vision diurne.
Entre ces deux seuils on parle de vision mésopique, assez inconfortable.

Le phénomène d'adaptation de l'oeil dépend des luminances de départ et d'arrivée et de tout changement de brillance. Il est plus rapide lorsque la lumière est naturelle, ce qui met en évidence l'adéquation harmonieuse entre la lumière du jour et le système visuel.
L'adaptation à l'obscurité prend plus de temps qu'à la lumière. L'œil nécessite environ 30 minutes pour s'adapter aux conditions extérieures d'obscurité, au sortir d' une pièce de travail classique alors qu'il ne nécessite que quelques secondes pour s'adapter à la lumière en quittant un environnement obscur.
L'adaptation complète de l'oeil passant de la lumière du soleil à des luminances intérieures cent fois plus faibles, fournies par l'éclairage artificiel, demande environ 15 minutes, bien que 70% de l'adaptation soient réalisés après 90 secondes. Mais si l'espace intérieur est éclairé naturellement, l'adaptation est deux fois plus rapide.

L'effet Purkinje

La courbe de sensibilité spectrale de l'œil mobilisé au chapitre précédent (p. 14) valable en vision diurne se déplace vers les courtes longueurs en vision mésopique (« entre chiens et loups »). Le diagramme ci-dessous (présenté par le savant tchèque Purkinje qui lui a donné son nom) indique le sommet de la sensibilité diurne à 555 nm et le sommet de la vision mésopique à 506nm.
Sous un tel éclairage, des tulipes rouges au milieu d'une pelouse paraîtront noires, alors que la pelouse semblera étrangement claire. Notons que la radiation 506nm est une des radiations qui pénètre le plus profondément en mer.

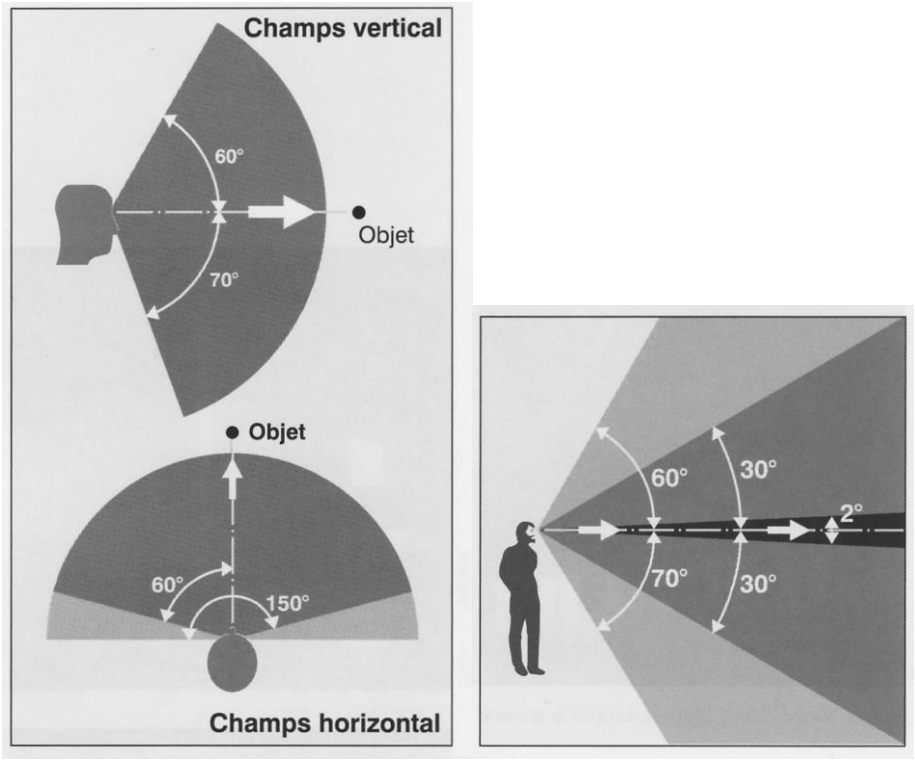


Le champ visuel

Le champ visuel est l'espace délimité par la perception spatiale de l'oeil, sans bouger la tête. Bien que le champ visuel soit légèrement différent pour chaque individu, la portée verticale des yeux couvre un angle d'environ 130°; elle est limitée vers le haut par les arcades sourcilières et vers le bas par les joues. Le champ horizontal total des yeux est d'environ 180° lorsqu'ils sont dirigés vers un objet fixe.
Chaque oeil a un angle de vision d'environ 150°. A l'endroit où les champs visuels se recouvrent, l'homme a une vision binoculaire; ils se superposent dans la zone médiane, où, un même objet est vu simultanément par les deux yeux mais sous un angle différent. C'est grâce au cerveau qui compare les images provenant de l'oeil droit et de l'oeil gauche que nous avons l'impression de relief.
La capacité de l'oeil à saisir une information visuelle dépend de sa position relative dans le champ visuel.
Le champ visuel binoculaire se divise en trois zones:

- le champ central de la fovéa, domaine d'l° à 2° d'ouverture centré sur l'axe de la vision,
- l'ergonoma, domaine de 2 x 30° d'ouverture,
- le panorama, champ dont l'angle horizontal d'ouverture est de 2 x 60° et l'angle vertical respectivement de 60° vers le haut et de 70° vers le bas.

Les très fins détails ne peuvent être perçus que dans le champ central de la fovéa. L'ergonoma permet de voir les formes. Seuls les mouvements sont perceptibles dans le panorama.



1.4.2 : Le confort visuel

La notion de confort qu'il soit visuel ou thermique par exemple est une notion très subjective. Des études basées sur l'expérience ont notamment montré qu'en matière de confort thermique il était impossible de créer des ambiances qui satisfont toutes les personnes interrogées. Toutes les études réalisées sur le confort thermique sont unanimes : le pourcentage prévisible d'insatisfaits PPD (predicted pourcentage of dissatisfied) n'est jamais nul. Il est impossible de proposer une température qui convient parfaitement à tous, il reste toujours au moins 5% d'insatisfaits.

En matière de confort visuel, la tâche, l'occupation, l'activité joue un rôle essentiel.
Si le confort visuel revient à dire « je suis satisfait de ce que je vois » ou « ce que je vois me ravi » renvoie le confort visuel à des champs sociaux, culturels et psychologiques qui dépassent de loin le seul champ physiologique dans lequel des recherches ont été menées. Les seuls éléments qui sont à notre disposition concernent les lieux de travail dans lesquels une tâche précise est effectuée par des personnes dont l'acuité visuelle n'est pas remise en question. C'est donc dans un projet de sécurité et d'efficacité que le confort visuel est toujours quantifié.

Dans ce cadre restreint du lieu de travail on dénombre plusieurs paramètres influençant le confort visuel.

- Le niveau d'éclairement de la tâche visuel (trop souvent envisagé comme seul critère quantifiable).
- La répartition harmonieuse de la lumière dans l'espace (rapport de luminances)
- L'absence d'ombres gênantes
- La mise en valeur du relief et du modelé des objets
- Un rendu des couleurs correct
- Une température de couleur adaptée
- L'absence d'éblouissement
- La relation au monde extérieur

Dans le cadre de vie, d'un logement l'absence d'éblouissement constitue le seul impératif auquel on ne peut, à mon sens rarement déroger. Les autres paramètres ne constituent, à priori, pas un critère de qualité de l'ambiance et de son confort visuel.
En effet chaque paramètre peut être remis en question. Par exemple la répartition harmonieuse de la lumière dans l'espace peut créer une monotonie. Une cage d'escalier, ou un couloir peut volontairement, comme lieu de passage, être sous éclairé et induire ainsi, lors du passage vers l'espace de vie, une perception de générosité de cet espace largement éclairé.
L'absence d'ombres ne constitue pas non plus un critère de qualité. L'ombre portée d'une colonne peut découper visuellement un espace et renforcer ainsi la lecture de la structure portante du bâtiment.
Le rendu des couleurs peut s'il est mauvais induire un sentiment d'abstraction privilégiant ainsi le « dessin » d'un meuble ou d'un autre objet dans son environnement.
Notons que la cohérence des températures de couleur dans un même espace représente par contre souvent un critère de qualité. En effet une lumière froide proche d'un lumière chaude paraîtra « crue » et une lumière chaude proche d'une lumière froide paraîtra « pauvre », « vieillie ».

1.4.2.1 : Le niveau d'éclairement

Un niveau d'éclairement bien adapté a la tâche visuelle augmente le bien-être des occupants et diminue leur fatigue.
D'autre part, la lumière joue un rôle important au niveau de la sécurité des personnes: un bon niveau d'éclairement diminue le nombre d'accidents de travail.
Les niveaux d'éclairement à garantir sur les lieux de travail sont fixés par

- la norme pour l'éclairage des lieux de travail (NBN-EN 12454-1) qui remplace en Belgique l'ancienne norme (NBN L 13-006)
- le « code bien-être » remplaçant progressivement le RGPT (règlement général sur la protection au travail

Eclairements minimum recommandés par le RGPT (art 62)

Article 62 - Eclairage minimum*

[Le tableau ci-après indique, pour les différents lieux, travaux et appareils, la valeur minimum, exprimée en lux, que doit atteindre l'éclairement, sauf le cas des opérations visées à l'article 59, alinéa 1er.

Cet éclairement est celui du plan de travail ou, si celui-ci ne peut être nettement défini, d'un plan horizontal situé à 0,85 m au-dessus du sol.

Toutefois, dans les lieux visés aux littera a), b) et c) du tableau ci-après, cet éclairement est celui, mesuré au niveau du sol, du plan perpendiculaire au flux lumineux.

a)2 lux:
Gares de triage des chemins de fer, aux endroits où le personnel est appelé à circuler, à l'exception des chantiers de triage proprement dits.

b)10 lux:
Chantiers de triage proprement dits des gares de chemins de fer, c'est-à-dire chantiers de la bosse de triage incluse jusque et y compris les derniers aiguillages de dispersion.
Cours et passages extérieurs.

c)20 lux:
Lieux suivants, situés à l'extérieur des bâtiments: postes de transformation électrique, quais de chargement ou de déchargement en inactivité, ainsi que tous autres endroits analogues.

d)50 lux:

Lieux suivants situés à l'intérieur des bâtiments: passages autres que ceux se trouvant dans les grands magasins de vente, couloirs, escaliers, entrepôts, dépôts et magasins de matériaux bruts ou volumineux, garages, ainsi que tous autres endroits analogues.
Chambres froides.
Travaux ne nécessitant aucune perception des détails: manutention de matières grossières (charbon, cendres, etc.), triage sommaire, broyage de produits argileux, travaux grossiers ou de gros oeuvre dans les chantiers navals et de génie civil, ainsi que tous autres travaux analogues.

e)100 lux:
Travaux ne nécessitant qu'une perception légère des détails:
fabrication de produits semi-finis de fer ou d'acier, travaux grossiers d'assemblage, mouture de grains, déballage, triage et cardage de la laine, ainsi que tous autres travaux analogues.
Salles de machines, chaufferies, ascenseurs et monte-charge, services d'emballage, locaux de réception ou d'expédition de marchandises, quais de chargement ou de déchargement en activité, dépôts et magasins de matériaux moyens ou fins ainsi que tous autres endroits analogues.
Vestiaires, lavatories, lavabos, réfectoires et autres endroits analogues.

f)200 lux:
Travaux nécessitant une perception modérée des détails: travaux ordinaires d'assemblage, façonnage mécanique, travail des textiles et des cuirs non teints, mise en conserve d'aliments, découpage des viandes, travail du bois sur établi, laminage et cisaillage de pièces de grandes dimensions, montage et débosselage de carrosseries ainsi que tous autres travaux analogues.
Passage dans les grands magasins de vente.

g)300 lux:
Travaux nécessitant une perception assez poussée des détails:
travaux ordinaires sur machines, tests de précision, classification des farines, finissage des cuirs, travail des cotonnades, des lainages, des soies et fibres artificielles non teints, travaux de bureau de toute nature, y compris la dactylographie lorsque celle-ci s'effectue de manière intermittente, travaux de confection à l'exception de la couture et du contrôle de finition, travaux de réparation dans les garages ainsi que tous autres travaux analogues.

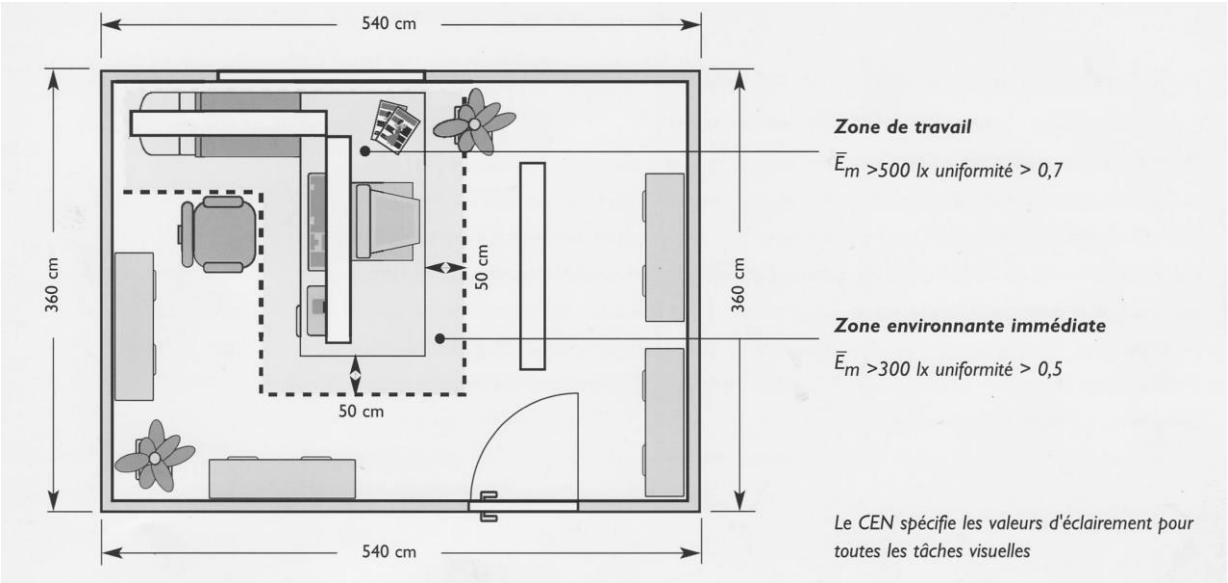
Tableaux de connexion, appareils de pesage, claviers et autres appareils ou installations analogues.

h)500 lux:
Travaux nécessitant une perception poussée des détails durant de longues périodes de temps: travaux d'assemblage de précision, travaux de précision sur machines, polissage et biseautage du verre, travaux de précision dans les verreries, travaux de dessin et de mécanographie, travail de dactylographie lorsque celui-ci s'effectue de manière permanente, travail des textiles et des cuirs teints, travaux fins de soudage, ainsi que tous autres travaux analogues.
Comptoirs de vente.
i)700 lux:
Travaux nécessitant une perception très poussée des détails: travail des cotonnades, des lainages, des soies et des fibres artificielles teints, travaux de dessin ou de mécanographie exigeant un éclairement particulièrement élevé, ainsi que tous autres travaux analogues.
j)1 000 lux:
Travaux nécessitant une perception extrêmement fine des détails:
travaux d'assemblage de grande précision, essais d'instruments très délicats, travaux de bijouterie et d'horlogerie, classification et triage des tabacs, composition et lecture des épreuves dans les imprimeries, couture et contrôle de la finition dans les ateliers de confection, montage de pièces extrêmement fines, préparation, dosage et mélange de couleurs ainsi que tous autres travaux analogues.]

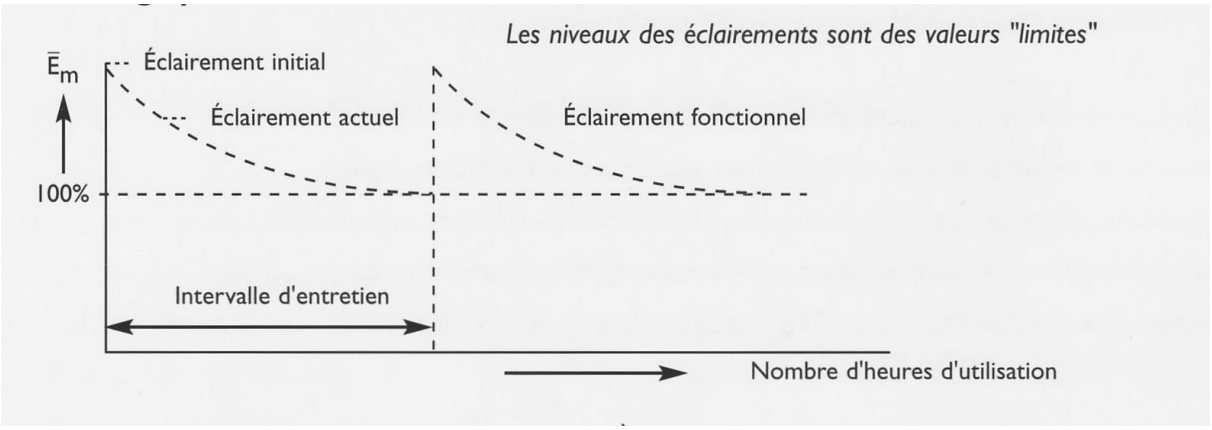
La norme NBN-EN 12454-1 fournit pour un grand nombre d'activités des valeurs d'éclairements à respecter

Tableau 5.3: Éclairage des bureaux

3	Bureaux				
Ref. no.	**Type d'intérieur, tâche ou activité**	**E_m**	**UGR_L**	**R_a**	**Remarques**
3.1	Classement, transcription	300	19	80	
3.2	Écriture, dactylographie, lecture, traitement de données	500	19	80	Pour le travail sur écran, voir 4.11
3.3	Dessin industriel	750	16	80	
3.4	Stations de travail de conception assistée par ordinateur	500	19	80	Pour le travail sur écran, voir 4.11
3.5	Salles de conférence et de réunion	500	19	80	Il est recommandé un contrôle de l'éclairage
3.6	Réception	300	22	80	
3.7	Archives	200	25	80	



L'éclairement recommandé doit tenir compte d'un facteur de maintenance.
En effet l'éclairement fourni par un système d'éclairage diminue progressivement dès le jour de sa mise en service parce que les lampes produisent moins de lumière à mesure qu'elles vieillissent et les surfaces (du luminaire et du local) s'encrassent et réfléchissent moins bien la lumière. Vient alors le moment de remplacer les lampes et d'entretenir les surfaces réfléchissantes.



L'éclairement requis correspond à la valeur d'éclairement la plus faible pendant la période entre deux entretiens.
La question consiste évidemment à savoir quel éclairement doit être adopté pour assurer que l'éclairement fonctionnel indiqué par la norme soit atteint en toutes circonstances. Il convient pour cela de calculer le « facteur de maintenance ».

1.4.2.2 : Répartition de la lumière et rapport des luminances

La répartition de la lumière dans un espace dépend de l'homogénéité de la distribution des appareils d'éclairage ou des prises de jour mais dépend aussi dans une large mesure de la réflexion de la lumière sur les parois du local.
Ainsi la répartition de la lumière sera d'autant meilleure que les réflexions de la lumière sur chaque paroi sont élevées et uniformément réparties.
La norme NBN L 13-001 (addendum 1979) fournit une liste de facteurs de réflexion de référence.

Parois intérieures	Facteurs de réflexion conseillés
Plafonds	0,7 à 0,85
Murs proches des sources lumineuses	0,5 à 0,7
Autres murs	0,4 à 0,5
Sols	0,1 à 0,3
Surfaces supérieures des tables de travail	0,4 à 0,5
Meubles	0,3 à 0,5

La répartition de lumière sur le plan de travail doit être la plus homogène possible. La norme NBN-EN 12464-1 propose de respecter un facteur d'uniformité (U) en fonction de la tâche. U est le rapport de l'éclairement minimum sur l'éclairement moyen. Pour les bureaux il vaut 0,7. Pour les zones hors plan de travail la norme est moins exigeante.

Lorsqu'il y a de grandes différences de luminance dans le champ visuel, l'œil doit s'adapter lorsque la direction du regard change. Pendant son adaptation, l'acuité visuelle est diminuée.

Pour éviter de telles fatigues inutiles, il convient de ne pas dépasser certaines valeurs de contraste entre les différentes zones du champ visuel.
Le contraste entre deux surfaces juxtaposées est définit comme le rapport entre la luminance la plus élevée sur la luminance la plus faible
Les valeurs maximales recommandées pour les rapports de luminance sont les suivantes

Zones du champ visuel	Rapports de luminance maximaux
arrière-fond de la tâche visuelle / entourage	3/1
arrière-fond de la tâche visuelle / champ périphérique	10/1
sources lumineuses / surfaces contiguës	20/1
ensemble de l'espace intérieur	40/1

1.4.2.3 : L'absence d'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 plongeant la tâche visuelle dans une certaine obscurité.

1.4.2.4 : La mise en valeur du relief et du modelé des objets

Notre perception du relief et du modelé des surfaces dépend de la direction de la lumière et des ombres qu'elle crée.
Pour faire ressortie le relief d'un objet, il faut accentuer l'éclairage directionnel. L'éclairage diffus tend, lui, à atténuer les reliefs.
La corniche d'un bâtiment se révèlera comme élément horizontal d'une composition sous le soleil alors qu'il sera moins présent sous un ciel couvert.
Pour mettre en valeur le modelé d'un objet, il convient par contre de l'éclairer sous différents angles

1.4.2.5 : Un rendu des couleurs correct

Le choix de l'indice de rendu des couleurs (IRC) optimal d'une source dépend de la fonction de l'exigence de précision de la tâche visuelle.
La norme NBN L 13-006 proposait des valeurs de l'IRC en fonction du type d'application (tableau ci-dessous)
La nouvelle norme européenne NBN-EN 12464-1 se limite à une exigence de 80 pour les locaux où un travail continu est effectué. Dans certains cas, par exemple pour l'industrie lourde, le minimum accepté est de 60.
Toutes les activités où la perception des couleurs est primordiale (création textile, imprimerie, boutiques de tissus, atelier de peinture, etc) la qualité du travail exige souvent de se dépasser des règlements en vigueur.
Ainsi des comparaisons d'échantillons colorés, un éclairement minimal de 1000lux est nécessaire ainsi qu'un IRC supérieur à 90. L'expérience montre qu'une température de couleur d'environ 6500°K donne satisfaction.
Rappelons que les ampoules à incandescence et les ampoules aux halogènes possèdent un IRC de 100

Classe de l'IRC	Indice de rendu des couleurs (IRC)	Type d'application
1A	IRC > 90	Examen clinique Comparaison de couleurs Galerie de peinture
1B	90 > IRC > 80	Bureau Ecole Restaurant Magasin Imprimerie Travail industriel exigeant
2	80 > IRC > 60	Travail industriel
3	60 > IRC > 40	Couloir et escalier Industrie lourde Archives

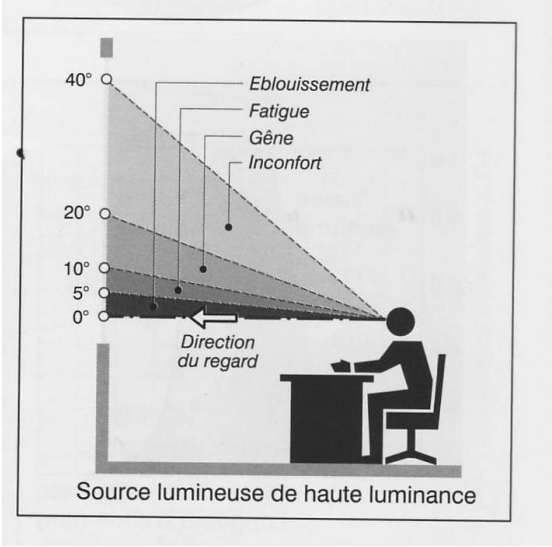
1.4.2.6 : Une température de couleur adaptée.

L'utilisation simultanée, dans un même espace, de lumières froides et de lumières chaudes est toujours perturbant (ce qui n'est pas nécessairement négatif si cela correspond à un objectif précis).
Ainsi, pour les locaux éclairés largement par la lumière naturelle (froide), un éclairage complémentaire de température de couleur élevée sera préféré.
Notre culture de l'éclairage artificiel (vieille seulement d'un siècle) est nourrie essentiellement de lumière chaude (bougie, incandescence), nous avons donc du mal à accepter des lumières de plus de 3000°K, elles nous paraissent souvent froides. Pourtant, l'expérience atteste que les lieux de travail éclairés par des sources de plus de 5000°K appelées « lumière du jour » procurent à l'utilisateur un bien-être actuellement reconnu.
L'aménagement intérieur joue évidemment un rôle non négligeable en matière de choix de type de sources : les couleurs chaudes « vivent » mieux sous des lumières dites chaudes, et les couleurs froides gardent leur éclat sous les lumières dites froides.

1.4.2.7 : Absence d'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.
Nous distinguons l'éblouissement direct et l'éblouissement indirect:
L'éblouissement direct est causé par la présence d'une source lumineuse intense au centre du champ de vision. Comme la partie fovéale de l'oeil est très sensible à de hauts niveaux de luminance, il existe une différence considérable entre les luminances maximales acceptées par l'oeil au centre du champ de vision et en périphérie. Les valeurs de luminance maximales admissibles dépendent donc de l'angle de vision. En effet, lorsque l'angle formé par

l'horizontale et la droite qui relie l'oeil à la source lumineuse augmente, la sensation d'éblouissement diminue.



L'éblouissement indirect provient d'une réflexion perturbatrice des sources lumineuses sur des surfaces spéculaires ou brillantes telles que le papier, une table ou un écran d'ordinateur. 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'oeil 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 soit environnement immédiat.

L'éblouissement est classé en deux types selon son degré d'intensité, à savoir l'éblouissement perturbateur et l'éblouissement aveuglant. L'éblouissement perturbateur (ou gênant) 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 oeil doit constamment s'ajuster entre la luminance de l'objet lumineux et celle de la tache visuelle à accomplir, au détriment de la perception des détails. Ce type d'éblouissement ne cause pas forcément un inconfort visuel mais peut à la longue entraîner une fatigue. L'éblouissement aveuglant est tellement intense que l'observateur ne peut plus discerner aucun objet pendant un certain temps.

L'éblouissement peut provenir de l'éclairage naturel ou d'un éclairage artificiel.
Les principales études menées sur l'éblouissement en éclairage naturel montrent que l'éblouissement obtenu par une fenêtre est moindre que l'éblouissement obtenu à partir d'une source artificielle vue sous le même angle solide en raison des différences psychologiques relatives aux sensations produites par ces deux types de sollicitations. Il existe aussi une grande différence entre l'inconfort visuel produit par une petite source ou par une multiplicité de petites sources, ce qui est le cas de l'éclairage artificiel, et une source de même niveau de luminance moyenne sous-tendant un grand angle solide, ce qui correspond en général à l'éclairage naturel.

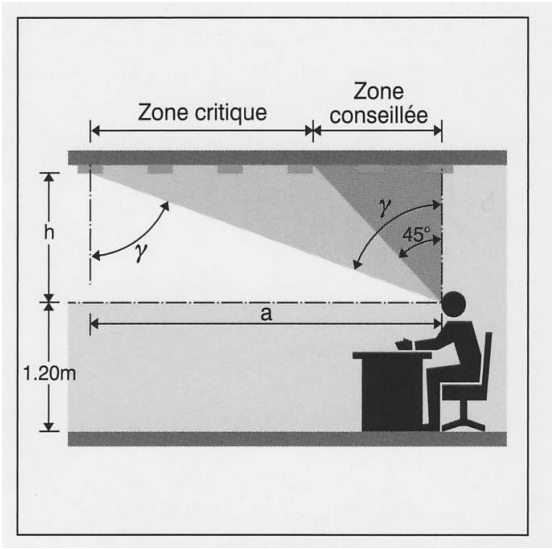
En éclairage naturel, les risques d'éblouissement sont :

- La vision directe du soleil ou du ciel à travers une fenêtre
- La réflexion du soleil ou du ciel sur les bâtiments voisins

- Un contraste de luminance excessif entre une fenêtre et le mur dans lequel elle s'inscrit
- Un contraste de luminance excessif entre une fenêtre et son châssis
- Une surface de luminance trop élevée par rapport aux surfaces voisines

Le risque d'éblouissement peut être calculé par l'indice d'éblouissement en « lumière du jour » DGI (Daylight Glare Index) varie en fonction du temps et de l'axe de vue de l'occupant sur la fenêtre. Les DGI sont classés sur une échelle d'éblouissement : du seuil de perception (16) au seuil d'intolérance (28).Les calculs ne tiennent pas compte du rayonnement solaire direct. On peut cependant estimer que la vue directe du soleil est toujours une cause d'éblouissement. (>28).

En éclairage artificiel l'éblouissement dépend de la luminance des différentes parties du luminaire par rapport à la luminance de fond (plafond et murs) et de l'angle sous lequel le luminaire est observé.



Le degré d'éblouissement UGR (Unified Glare Rating) proposé dans la norme NBN-EN 12464 n'envisage l'éblouissement que pour l'éclairage direct. Un éclairage indirect suppose ne pas éblouir (!)
Le degré UGR résultat d'un calcul complexe (tenant compte de caractéristiques précises du luminaire) n'exprime pas la qualité d'un appareil séparé mais bien d'une installation complète dans un espace occupé. Néanmoins certains luminaires appelés « basse luminance » favorise le confort et participe à un faible UGR (voir par. 3.2)
L'UGR est classé sur une échelle de 16 à 28 qui correspondent aux domaines d'application suivants.

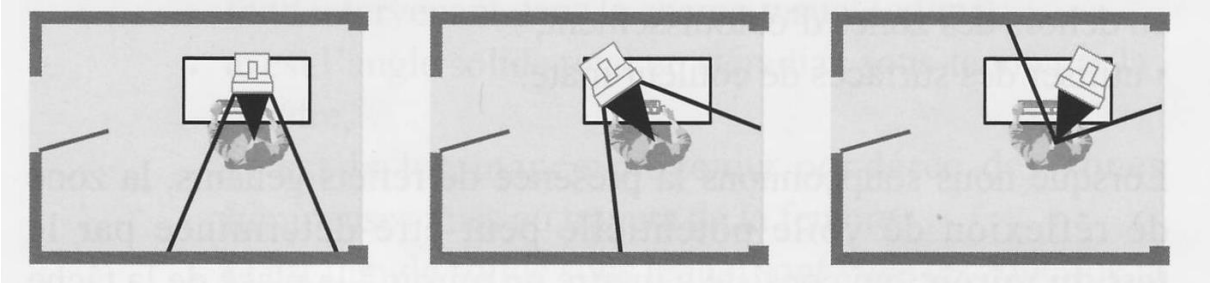
28 - zones de circulation, couloirs
25 - salles d'archives, escaliers, ascenseurs
22 - espaces d'accueil
19 - activités normales de bureau
16 - dessins techniques, postes de travail CAD

Cas particulier du travail sur les écrans.

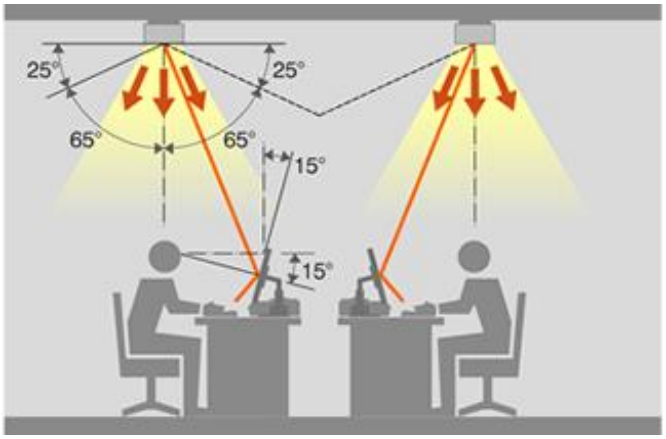
Les écrans d'ordinateurs peuvent être le siège de reflets provenant d'une fenêtre ou d'une lampe.

Afin de se protéger des reflets dus à la lumière du jour, aucun prescription n'existe actuellement mais il convient néanmoins de tenir compte des points suivants:

- aucune fenêtre ne doit se trouver devant ou derrière l'écran.
- l'axe principal du regard doit être parallèle aux fenêtres.
- les fenêtres doivent être équipées de protections solaires efficaces sur le plan visuel sur toutes les façades.
- les surfaces voisines de l'écran devraient être mates et avoir un facteur de réflexion de 0,2 à 0,5.
- la luminance de chaque partie de l'environnement que l'observateur peut voir par réflexion dans son écran doit être aussi uniforme et faible que possible.
- pour réduire la différence de luminance entre l'écran et le ciel, il peut être utile de placer une rangée de luminaires le long de la fenêtre.
- les réflexions sont plus perturbatrices sur écran à fond sombre que sur écran à fond clair. Si toutes les autres mesures ont échoué, il faut installer des écrans anti-reflets, bien qu'ils ne soient pas généralement recommandés parce qu'ils réduisent la visibilité des images.



Afin de se protéger des réflexions de luminaires, la norme NBN-EN 12464-1 fournit les limites de luminance moyenne des luminaires pour des angles d'élévation > 65°, par rapport à la verticale descendante et suivant toutes les directions radiales autour des luminaires et pour toutes les positions de travail pour lesquelles sont utilisés des écrans de visualisation verticaux ou inclinés à 15°.



	Niveau limite de luminance moyenne des luminaires (cd/m²)	
État de luminance élevé de l'écran	**Écran à haute luminance** **L > 200 cd/m²**	**Écran à luminance moyenne** **L ≤ 200 cd/m²**
Tâche de bureau classique	≤ 3 000	≤ 1 500
Besoin de détail	≤ 1 500	≤ 1 000
L'état de luminance élevé de l'écran (selon EN ISO 9241-302) décrit la luminance maximale de la partie blanche de l'écran, valeur fournie par le fabricant.		

1.4.2.8 : Une vue vers l'extérieur

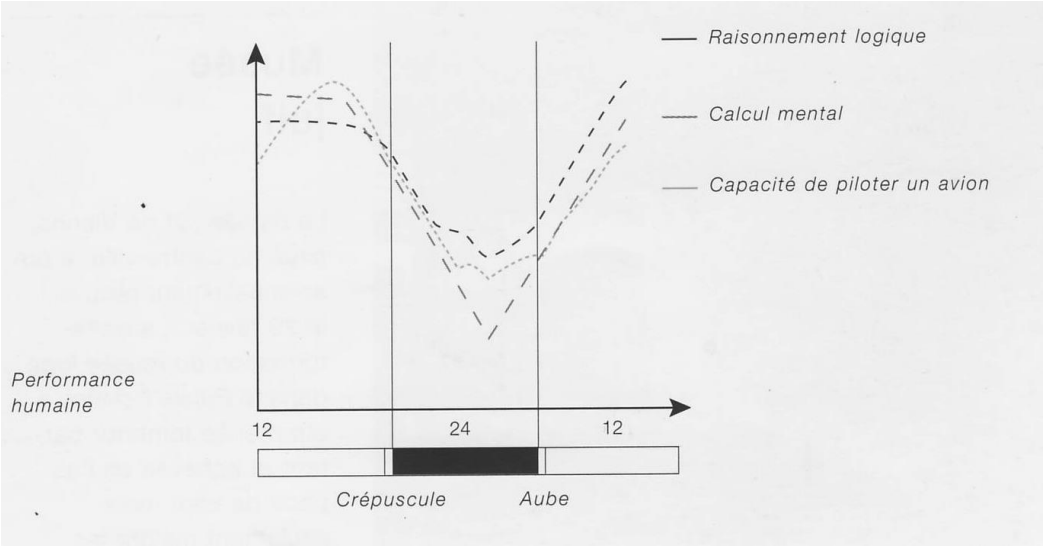
L'expérience montre que la possibilité de poser son regard loin (à travers une fenêtre) représente un critère de confort.
Au niveau physiologique, cela permet de reposer les muscles oculaires (encore faut-il regarder dehors !)
Au niveau psychologique, la relation au monde extérieur (qui bouge) évite un sentiment d'enfermement.
Cet aspect est envisagé dans la norme belge NBN L 13-002

Le tableau ci-dessous résume les prescriptions de la norme NBN-EN 12464-1 relative au confort visuel dans un espace de bureau

En fonction de la NBN EN 12464-1						
Tâche	**Éclairement moyen Em (lux)**	**Facteur de maintenn.**	Uniformité Emin/Emoyen	**UGR**	**Ra**	**Facteur de réflexion des parois**
Zone de travail Écriture, dactylographie, lecture, traitement de données.	500	0.81	0.7	19	80	Plafond : 0.7 Murs : 0.7 Plan utile : 0.2 à 0.6 Sol : 0.2
Zone environnante Le local moins la zone périphérique.	300	0.81	0.5	19	80	

1.5 : La lumière et la santé

« La vie est rythmée depuis des millénaires par l'alternance du jour et de la nuit, et notre organisme est réglé sur cette séquence de 24 heures, avec des phases actives pendant la journée et des phases de repos pendant la nuit. Les chronobiologistes parlent dans ce contexte de « rythme circadien ». C'est la lumière qui règle cette horloge biologique.



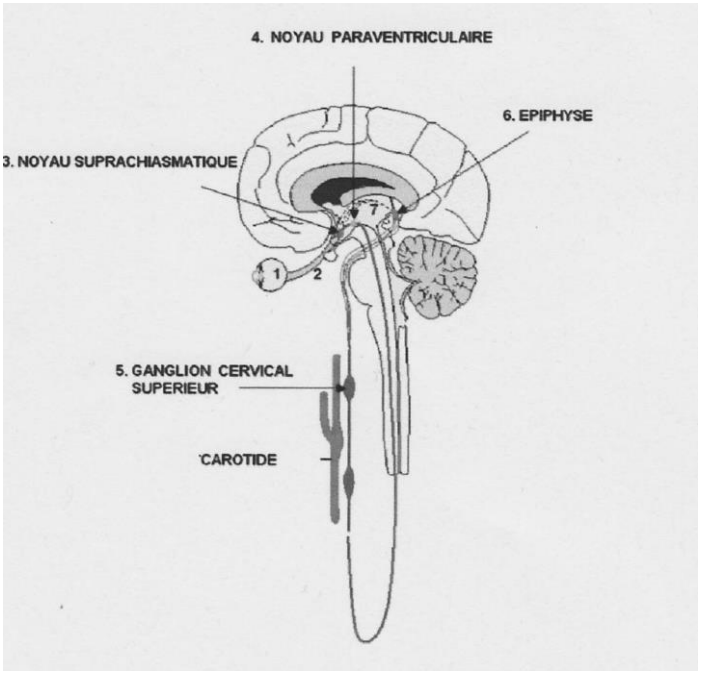
Dès que les yeux reçoivent de la lumière, les nerfs optiques envoient des signaux au cerveau. Au croisement des nerfs optiques se trouve ce qu'on appelle le nucléus suprachiasmatique, qui est en relation avec l'épiphyse. Celle-ci produit, quand il fait sombre, de la mélatonine, hormone favorisant le sommeil. Lorsqu'elle reçoit du nerf optique l'information qu'il fait clair, l'épiphyse inhibe la production de mélatonine, et en produit à plein régime lorsqu'il fait sombre pour nous plonger dans un sommeil réparateur.
Mais nous déréglons ce rythme naturel en transformant la nuit en jour par l'éclairage électrique.
L'organisme a besoin de la phase nocturne pour se reposer, mais il a aussi un besoin impérieux de lumière pour retrouver de l'élan et de l'entrain. » (42)

«De cette manière, les schémas de lumière jour/nuit commandent de nombreux processus périodiques du corps tels que le cycle sommeil/veille, la vivacité d'esprit, l'humeur, la fatigue, etc. Et pourtant, dans les recommandations et les normes actuelles en matière d'éclairage relatif au travail du bureau, seules les exigences concernant les aspects visuels de la tâche sont pris en considération.
Nos besoins en éclairage vont manifestement plus loin si nous ne voulons pas que notre bien-être et que notre santé en pâtissent. La question est de savoir quelle est la gravité des conséquences d'un travail et d'une vie de plus en plus enfermée et à des moments antinaturels avec bien moins de lumière qu'au dehors et comment une lumière saine peut contrebalancer cela. Pour un employé de bureau travaillant de jour, toute insuffisance de lumière peut aboutir à une désynchronisation de l'horloge biologique. Il en résulte que le corps et l'esprit préfèrent se reposer alors qu'en réalité ils doivent rester actifs et cela se traduit par une diminution des performances, de la qualité du sommeil et, à plus long terme, du bien-être et de la santé.
Des travaux de recherche montrent qu'une lumière vive pendant la journée a un effet positif entre autres sur la vivacité d'esprit, les performances, la vitalité, l'énergie et l'humeur.
Ceci est plus évident dans les cas étudiés à la saison « sombre » alors que les journées sont courtes et qu'il y a moins de lumière.

Quelques trois pour cent de la population souffre de dépression due au changement des saisons (SAD pour Seasonal Affective Discorder) et ce qu'on appelle le blues de l'hiver est assez courant. (…)
Mais qu'est exactement une lumière saine ? (…) En conjuguant des études médicales, le cycle journalier et les préférences de gens, on en arrive à l'hypothèse qu'un éclairage sain pour des activités à l'intérieur, de jour, peut être atteint avec des niveaux d'éclairage de l'ordre de 2000 lux à certains moments de la journée de travail. Il faudrait préférer une combinaison de lumière naturelle et de lumière artificielle ayant une température de couleur relativement élevée (aspect froid) et un degré limité de mouvement, la lumière électrique seule servant à prendre la relais lorsque la lumière naturelle fait défaut en hiver. » (45)

« Dans la années quatre-vingt, on a commencé à mesurer l'influence de la lumière sur les rythmes circadiens de l'éveil et du sommeil. Ces faits ont été relevés chez les rongeurs et les primates.
A la même époque, une publication dans une revue psychiatrique rapportait le rôle bénéfique de la lumière dans un cas particulier de dépression. Cette dernière était légère, mais invalidante, et se caractérisait par un effet saisonnier bien marqué. Il s'agissait d'un étudiant en médecine qui échouait systématiquement à ses partiels de janvier, pour tout rattraper aux examens d'été. Peu ou mal reconnue au début dans la communauté médicale spécialisée, elle s'avérait cependant familière sinon fréquente en pratique chimique quotidienne. (…)
La dépression saisonnière affecte quatre fois plus les femmes que les hommes. On estime qu'elle affecte 5 à 6% de la population sous nos latitudes. Ces 5 à 6% consultent plutôt les médecins traitant que les psychiatres. D'autres relevés d'enquêtes montrent qu'il existe aussi une forme « sous-syndromique » affectant 8% supplémentaires de la population. Au total cela pourrait donc toucher 14% des personnes. Dans notre pays, les signes commencent à se manifester dès la dernière semaine du mois d'août et non traités, persévèreraient jusqu'à la fin de l'hiver. » (43)

« (…) Selon le professeur Poirier du Service de Neurologie du CHU de Liège, (ULg), « le marqueur de temps principal chez l'homme, comme chez nombre d'animaux, est une lumière blanche assurant un éclairement intense (plus de 2000lux). La lumière, à cette dose, agit ainsi sur le noyau suprachiasmatique (notre horloge biologique interne) et gouverne les grands rythmes circadiens principaux (température, rythme cardiaque, activité motrice, vigilance, humeur, activités cognitives, rythme de cortisol, …). Elle assure la mise régulière en phase des maxima et des minima de ces rythmes avec le rythme nycthéméral du jour et de la nuit et permet une optimisation de ces fonctions dans leurs rapports avec les comportements de jour et de nuit. (…)
On reconnaît actuellement qu'il existe de nombreuses situations anormales qui peuvent relever d'une description physiopathologique en termes de troubles du rythme circadien.
On estime qu'un syndrome connu comme la Dépression Hivernale, appelé aussi Trouble Affectif Saisonnier, serait lié à l'allongement et à une perte d'amplitude trop importante des rythmes endogènes induits par le noyau suprachiasmatique, en particulier au niveau du contrôle hypothalamique des fonctions endocriniennes. L'insuffisance d'éclairement résultant de l'allongement des périodes d'obscurité, aboutirait à cette modification de fonctionnement de ces structures. »
Nombre d'insomnies relèvent également de ce genre de perturbations. Certains sujets ne parviennent pas à s'endormir la nuit. Ils ne trouvent le sommeil qu'aux petites heures, parfois même à des instants où ils doivent normalement participer à des activités sociales.
Inversement, on rencontre, souvent chez les personnes âgées, une tendance à aller dormir trop tôt et à se lever très tôt pendant la nuit (…). » (44)



La luminothérapie ou photothérapie

« La lumière, on l'a vu, est essentielle. Faute de période lumineuse naturelle suffisante, la lumière artificielle, sous une quantité de lumière suffisante et de longueur d'ondes qui la rapproche de la couleur bleue, peut agir à titre thérapeutique (luminothérapie) (…).
Pour agir de manière efficace sur le noyau suprachiasmatique la quantité de lumière à appliquer varie selon le moment de la journée. Au minimum, le matin, il faut obtenir et maintenir au niveau des yeux un éclairement de 2500 lux pendant 2 heures au moins. En automne et au printemps, être exposé à ce niveau minimum reste encore possible lorsqu'on vit à l'extérieur ; cependant, nombre de gens dans nos sociétés modernes ne peuvent accéder à ces expositions de lumière en raison notamment de leur mode de vie. (44)

« La lumière vive bloque la sécrétion de mélatonine. Cette dernière a au moins trois effets sur l'organisme : elle entraîne une diminution de la température du cerveau d'un demi degré ; elle induit de la somnolence propice au sommeil et par effet de rétroaction négative, elle ralentit le rythme circadien impulsé par le NSC (noyau suprachiasmatique)
De puissantes sources lumineuses artificielles sont utilisées à des fins thérapeutiques, dans les troubles de l'humeur et du sommeil. L'effet recherché passe par les yeux. Une cataracte prononcée ou le port de lunettes fumées rend toute photothérapie inopérante. Si la voie optique est intacte, il faut atteindre des illuminations suffisantes à des moments particuliers de la journée. On a d'abord eu recours à des batteries de tubes fluorescents placés dans des boîtes de grands formats (0,8 x 0,5 x 0,15m). Avec de tels instruments pourvus de filtres anti-UV, on arrive à produire des éclairements de l'ordre de 3500 lux à une distance d'environ 80cm du visage. L'intensité dépend aussi de la surface de la source. A 30cmon peut atteindre une intensité de quelque 10 à 11000 lux. Ceci est intéressant parce qu'il existe une relation inverse entre l'intensité de l'éclairement et la durée de l'exposition. Ainsi, le matin, on a pu montrer qu'une exposition d'une demi heure à 10000 lux équivalait à une exposition à 2000 lux pendant deux heures.
Le moment de prescription pendant la journée dépend du type d'indication. Dans toutes les formes de dépression, l'heure idéale se situe le matin, entre 6 heures et 8 heures trente. (…)

Plutôt que d'utiliser de la lumière blanche, certains appareils privilégient la partie spectrale la plus active, le bleu ou le vert qui en est fort proche. Ceci peut être obtenu à l'aide de diodes. Le recours à la lumière bleue-verte, permet de diminuer l'intensité lumineuse d'éclairement. Dans ce cas, les doses à appliquer ne s'expriment plus en unités photométriques d'illuminance (lux) mais en unités radiométriques d'irradiance, soit en watt (W) par unité de surface, soit en photons (φ) par seconde et par unité de surface. (…)
De plus, idéalement, il importe pour assurer une stimulation efficace d'utiliser des appareils qui projettent leurs rayons du haut vers le bas, et si possible de l'extérieur vers l'intérieur pour atteindre les zones sensibles de la rétine, en reproduisant en quelque sorte les effets d'un dôme céleste sans nuage, ni ultra-violet. Différents systèmes sont aujourd'hui proposés.» (43)

Chapitre 2 : L'éclairage naturel

2-1- A propos de l'éclairage naturel

Louis KAHN écrit .- « No space, architecturally, is a space unless it has natural light »
Et André LURCAT déclare -. « L'éclairage naturel, en architecture est ce qui reste. »

Jusqu'au milieu du siècle dernier toute l'architecture a été pensée uniquement en fonction de la lumière du jour.
Actuellement, rares sont nos lieux de vie, même durant la journée, qui sont dépourvus d'un éclairage artificiel.
Si de nombreux phénomènes lumineux naturels nous impressionnent : aubes, aurores boréales, lumière des sous-bois, brouillards, rayons du soleil traversant les nuages, lumière émanant du « sol » dans la campagne écossaise, lumière « sombre » de l'après orage, ce qui différencie ces effets de ceux remarquables rencontrés quelques fois en architecture, c'est que les seconds résultent de volontés, de désirs de la part de leurs créateurs.
Ces moments particuliers où notre regard se pose sur « l'image » d'un site éclairé, que l'on fixe «éternellement » en photographiant, en filmant ou en peignant, figent la lumière et dans ce sens ne représentent qu'une image « réductrice » de la lumière.

La lumière naturelle varie avec le lieu, le temps et le climat.
Les peintres, très sensible à la lumière laissent quelque fois des traces écrites de leurs observations. Matisse questionné par les différentes lumières des lieux a entrepris des voyages où il a noté ce qu'il découvrait (voir annexe 1).
Chaque lieu possède sa propre lumière, en fonction de la latitude et de la longitude du point considéré mais aussi de son altitude et de son environnement. Cependant, des conditions particulières de ciel et de lumières se répètent à travers le monde mais à des moments différents du jour de l'année ou dans d'autres contextes : par exemple, un ciel bleu clair d'été au Canada peut donner la même impression qu'un ciel d'hiver à Washington.
La lumière de Paris n'est pas celle de Venise, d'Athènes ou de Prague. Sous nos lieux légèrement brumeux des régions tempérées, les ombres ne sont jamais aussi dures qu'à Vienne, où par le fait du climat plus continental, elles sont nettes, comme « coupées au couteau ».
A Bruxelles, la lumière est parfois très intense tout en étant diffuse et sans distinction, « venant de nulle part ». C'est la lumière des albums de Tintin : claire et ne donnant jamais d'ombre.
De plus, chaque lieu spécifique développe sa propre identité vis-à-vis de sa région et de son climat général. Le côté Est d'une montagne offre de beaux levers de soleil et sa disparition rapide dans la soirée alors que le versant Ouest montre de superbes fin de jour mais un soleil qui se lève tard .

Dès lors, travailler l'architecture d'un bâtiment en faisant abstraction de son environnement peut paraître impensable. Un arbre, une pièce d'eau, un champ peuvent radicalement transformer la lumière d'un lieu.
Ainsi, l'eau en réfléchissant le ciel et l'environnement, intensifie l'impression lumineuse d'un lieu ; les forêts fournissent une palette de couleurs et de textures perpétuellement changeantes sous la lumière aux différentes saisons.

La lumière naturelle change dans temps, elle est fonction de l'heure, du jour, de la saison et traduit également les fluctuations de l'état du ciel. Ces mouvements naturels de la lumière nous rappellent que nous vivons dans un environnement qui évolue.

La lumière naturelle est une chose vivante, changeant sans arrêt et qui est à vivre.
C'est la différence essentielle entre la lumière naturelle et la lumière artificielle. Si l'intérêt de cette dernière est que l'on peut la maîtriser, elle demeure immobile dans le temps.
Henri Alekan, dans ce magnifique ouvrage « des lumières et des ombres » compare avec beaucoup de nuances les qualités de la lumière naturelle et celles de la lumière artificielle (voir des extraits annexe 2)

Pour l'architecte c'est de lumière intérieure à l'espace qu'il faut parler.
Naturelle, la lumière quand elle entre dans un lieu est d'abord le « chemin de relation au monde ».

L'agrément de la lumière naturelle peut s'expliquer par l'étendue de sa composition spectrale que certaines sources artificielles imitent mais n'égalent jamais, sa variété d'intensité et de répartition d'un instant à l'autre et cette décroissance d'intensité lorsqu'on s'éloigne des baies et donc du monde extérieur à l'espace.
Les séjours prolongés dans des locaux sans fenêtre, éclairés artificiellement, sont nettement moins agréables et moins supportables que la vie dans des locaux munis de baies vitrées assurant la vue vers l'extérieur.
Ce point de vue est lié au champ de vision et à sa limitation dans une pièce sans paroi transparente. En effet, l'œil présente une certaine tendance à la fatigue lorsqu'il ne peut voir que des objets rapprochés. Ne plus distinguer les plans et les volumes provoque en effet un vertige physiologique et psychologique plus ou moins conscient contre lequel l'individu ne peut se défendre longtemps sans préjudice pour son équilibre mental. Une fenêtre permet d'étendre le champ de vision en donnant à l'œil la possibilité de regarder ver l'infini.

L'ancienne norme NBN L 13-002 intitulée *prédétermination de l'éclairement naturel pour les conditions de ciel couvert* présentait dans son avant propos une réflexion intéressante sur l'éclairage naturel dont voici quelques extraits.

…Si l'on accepte comme définition du confort, l'équilibre physique susceptible d'assurer le bien-être d'une personne qui exécute une tâche déterminée, il faut admettre dès l'abord, pour la recherche des meilleurs conditions de réalisation de cet équilibre, une distinction entre les locaux à usage professionnel et les habitations privées.
En effet, les critères de valeur de l'éclairage des locaux à usage professionnel sont régis impérieusement par la nécessité d'accomplir des tâches données dans des conditions optimales de vision ; par contre, les critères correspondants dans le cas des habitations privées sont d'un autre ordre car ces dernières doivent rester dans le cadre de la vie familiale, un lieu de détente et de repos procurant à chacun les conditions de séjour les mieux adaptées à son individualisme.

… Le Règlement général pour la protection du travail modifié par l'Arrêté royal du 1er juillet 1966 stipule en son article 59 :
« Les locaux de travail sont convenablement éclairés, sauf le cas où les opérations nécessitent l'obscurité ou un éclairement particulier.
Pendant le jour ils reçoivent la lumière naturelle en quantité suffisante pour le genre de travail effectué. Toutefois, si en raison de la disposition des lieux ou des nécessités techniques il est impossible de donne aux locaux de travail un éclairage naturel suffisant, ceux-ci peuvent être éclairés artificiellement. Dans ce cas, il s'agit de travaux qui exigent un effort particulier des organes de la vue, il est fait choix d'appareils d'éclairage donnant une lumière blanche

…La lumière naturelle offerte en abondance constitue une source essentielle, inépuisable et bon marché d'éclairage que l'on peut mesurer, évaluer, calculer et conditionner dans la mesure où

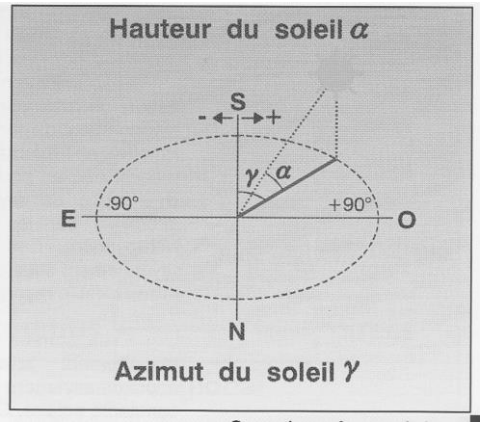
les matériaux transparents et translucides sont employés de plus en plus largement dans la construction.
Le problème de l'éclairage naturel reste néanmoins complexe dans son aspect. Les solutions consistent en fait en un compromis entre les exigences des éclairagistes soucieux d'assurer à l'intérieur des locaux des niveaux d'éclairement aussi bien en éclairage artificiel et le impératifs avec lesquels sont confrontés les thermiciens désireux d'apporter aux problèmes de chauffage et de réfrigération des solutions aussi économiques qu'efficaces.

Ces extraits mettaient déjà en évidence (en1972) le double rôle joué par une fenêtre : visuel et thermique.
En 2015, cette réalité auquel est confronté l'architecte est au centre de sa mission.
La fenêtre représente le lien privilégié entre dedans et dehors.
Si une prise de jour permet le contact visuel indispensable avec l'extérieur, elle constitue un point faible du bâtiment au point de vue transmission thermique (et aussi acoustique).
La fenêtre devient un sujet d'étude en soi en matière d'économie d'énergie.
Economie en matière d'éclairage artificiel puisqu'elle peut assurer un éclairage naturel *inépuisable* et gratuit.
Economie en matière de chauffage puisqu'elle peut, bien orientée, capter la chaleur du soleil en hiver et compenser sa faible performance en matière d'isolation.

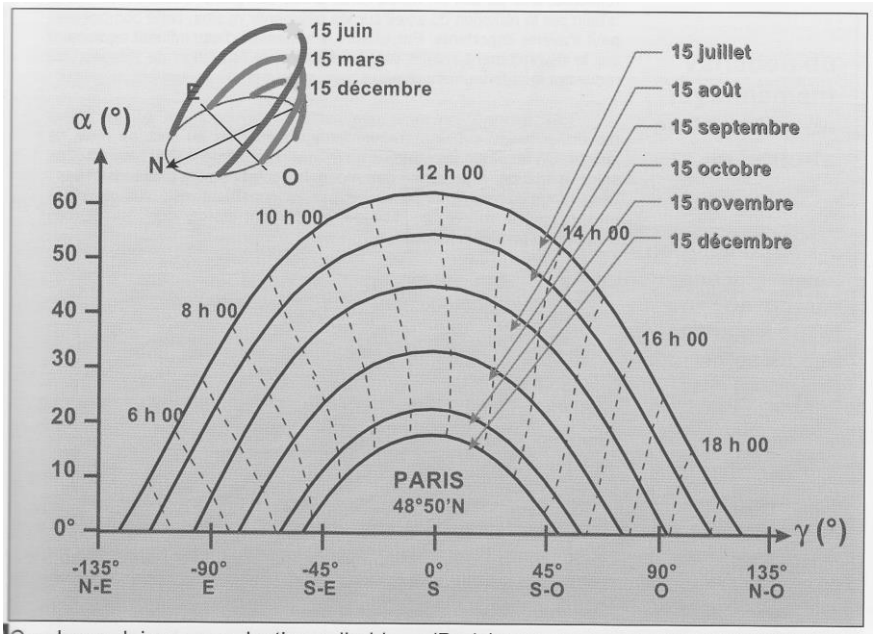
2.2 : La lumière du soleil et du ciel

2.2.1 : La course du soleil

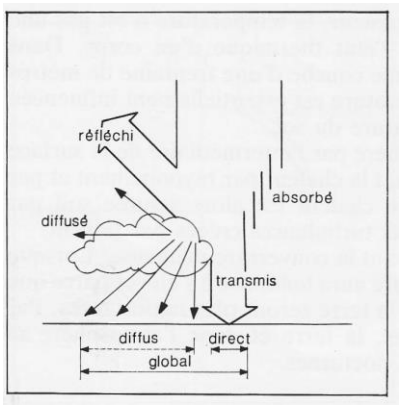
La hauteur et l'azimut déterminent la position du soleil dans le ciel et donc la direction du rayonnement solaire.
En un lieu, la hauteur «α» du soleil est l'angle formé par la direction du soleil et le plan horizontal. Elle se compte de 0° à 90° à partir de l'horizon vers la voûte céleste.
L'azimut «γ» est l'angle créé entre le plan vertical passant à la fois par le soleil et par le lieu considéré et le plan vertical N-S. Cet angle vaut 0 au sud, est positif vers l'ouest et négatif vers l'est.



Les valeurs données dans ce chapitre sont celles de la station météorologique d'Uccle (-4,35° de longitude et 50,80° de latitude N) au centre du pays, en fonction du temps universel .Le temps officiel (lu sur nos montres) en Belgique est égal au temps universel (considéré sur tous les diagrammes solaires) plus une heure en hiver et plus deux heures en été.
La hauteur et l'azimut du soleil varient d'heure en heure mais aussi suivant le rythme des saisons Au solstice d'été (21 juin), la terre est inclinée au maximum (23°27') et le rayonnement est perpendiculaire au tropique du cancer. La durée du rayonnement est maximale dans l'hémisphère nord. A Uccle, la course du soleil est alors de 250° et la hauteur atteint 62 °. Au solstice d'hiver (21 décembre) à l'inverse, le rayonnement est perpendiculaire au tropique du capricorne, les jours dans l'hémisphère nord sont les plus courts. A Uccle, le soleil ne parcourt que 93° au-dessus de l'horizon, et atteint une hauteur maximale de 16° à 12 h (temps universel). Aux équinoxes de printemps et d'automne (21 mars et 21 septembre), l'axe N-S de la terre est vertical de telle sorte qu'à midi le rayonnement est perpendiculaire à l'équateur. La durée du jour est alors égale à celle de la nuit et la hauteur du soleil atteint 40°.



Le rayonnement solaire atteignant le sol dépend de la composition de l'atmosphère. En effet, le rayonnement traversant l'atmosphère est partiellement absorbé (15%) et réfléchi (6%) par les poussières et les microgouttelettes d'eau en suspension. Une partie du rayonnement est également diffusée dans toutes les directions par les molécules d'air et les particules contenues dans l'atmosphère; ces rayons diffus frappant le sol en un endroit constituent le rayonnement solaire diffus (Gd). Le reste du rayonnement atteint directement la terre. C'est le rayonnement solaire direct «Gb).



2.2.2 : Les états du ciel

Les très nombreuses conditions météorologiques existantes sont regroupées en trois types de ciels :
Le ciel serein pour lequel S/S_0 est compris entre 80 et 100%
Le ciel moyen pour lequel S/S_0 est compris entre 20 et 80%
Le ciel couvert pour lequel S/S_0 est compris entre 0 et 20%

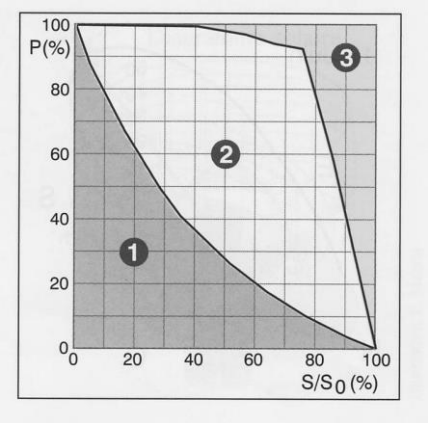
Avec S l'insolation effective
S_0 l'insolation maximale théorique possible
S/S_0 l'insolation directe relative

Le tableau ci-dessous donne, pour chaque mois de l'année à Uccle, la fréquence, exprimée en %, des différents types de ciels durant le temps d'ensoleillement théorique.

Fréquence des types de ciels

Mois de l'année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Ciel serein (%)	12	13	16	16	13	19	16	16	24	20	11	10
Ciel moyen (%)	23	33	39	44	57	53	52	55	47	37	28	20
Ciel couvert (%)	65	54	45	40	30	28	32	29	29	43	61	70

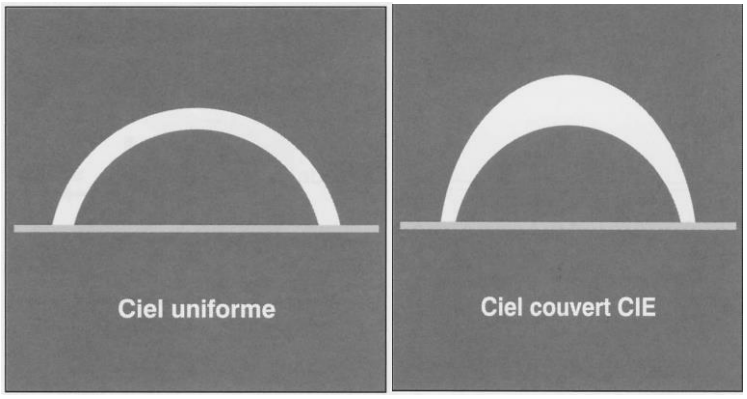
Le diagramme présente une moyenne annuelle de la probabilité journalière P (%) du type de ciel en fonction de l'insolation directe relative S/S_0 (%) à Uccle, pour les types de ciels suivants 1 (ciel couvert), 2 (ciel moyen) et 3 ciel clair



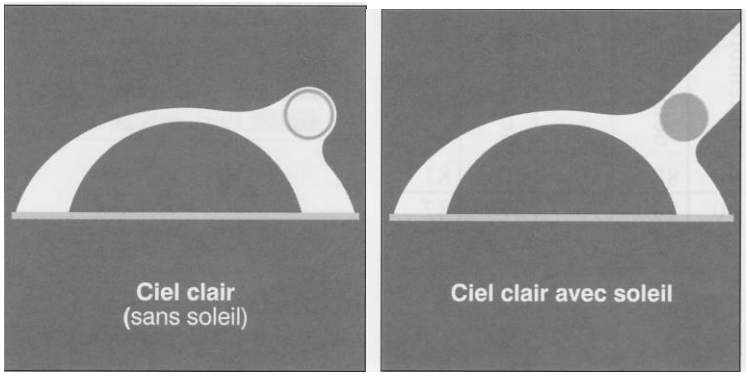
Par exemple, si la durée d'ensoleillement relative journalière est de 40%, on peur s'attendre à avoir :
Un ciel couvert durant 36% du temps
Un ciel moyen durant 63% du temps
Un ciel clair durant 1% du temps

Les modèles strandards de ciels

Vu la multitude des conditions météorologiques existantes, quatre types de ciels standards ont été établis pour les études d'éclairement. Chacun d'eux est caractérisé par la répartition de sa luminance sur la voûte céleste.
La distribution de la luminance est représentée, sur chaque modèle, pour chaque ciel par une surface claire d'épaisseur variable: cette bande est d'autant plus épaisse que la luminance est élevée.
Le modèle le plus simple est le ciel uniforme. Sa luminance est indépendante des paramètres géométriques: elle est constante en tout point du ciel à un moment donné. Cette situation correspond à un ciel couvert d'une couche épaisse de nuages laiteux ou à une atmosphère, pleine de poussières, où le soleil n'est pas visible.
Le second type de ciel standardisé est celui du ciel couvert établi par la Commission Internationale de l'Eclairage (CIE). Il s'agit d'un modèle théorique. Dans ce cas, la symétrie autour de la direction zénithale indique que l'orientation d'une baie verticale est sans effet sur le niveau d'éclairement intérieur.



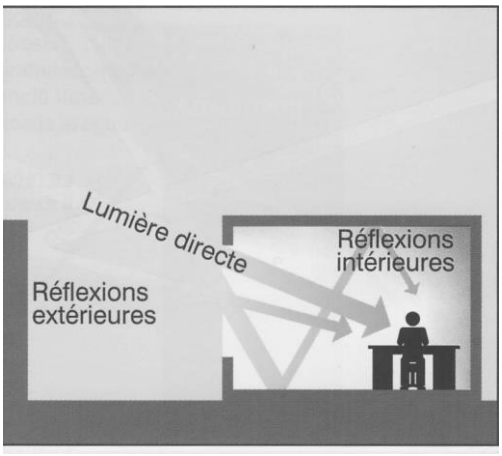
Un troisième type de ciel est le ciel clair, pour lequel les valeurs de luminance varient en fonction de paramètres géométriques et de la position du soleil. Le ciel clair émet un rayonnement diffus qui dépend de la variation de la position du soleil mais n'intègre pas le rayonnement solaire direct. Ce modèle simule la composante diffuse de l'éclairement d'un ciel serein.
Un quatrième type, de ciel est le ciel clair avec soleil. Alors que les trois modèles précédents ne font intervenir que la composante diffuse du rayonnement solaire, le ciel clair avec soleil prend en compte son rayonnement global, c'est à dire la somme des rayonnements direct et diffus. Ce quatrième type de ciel correspond à un ciel serein au sein duquel le soleil brille. Le ciel clair avec soleil offre la possibilité d'étudier les jeux d'ombres et de lumière ainsi que les risques d'éblouissement dus à la pénétration du soleil dans un bâtiment.



2.3 : La répartition de la lumière naturelle dans un espace fermé

La pénétration de la lumière du jour dans un espace fermé dépend avant tout de la façon dont la lumière est captée par les baies transparentes et translucides du bâtiment.
La quantité de lumière présente dans l'espace dépend de la lumière disponible en fonction du type de ciel, de la saison, du jour, de l'heure mais aussi de l'orientation, de l'environnement ainsi que des éléments liés à la baie vitrée.
La répartition de cette lumière dans l'espace (la manière dont elle est distribuée à partir de la prise de jour) dépend des réflexions des surfaces intérieurs (qui conduisent la lumière vers le fond de l'espace) et donc de l'aménagement intérieur de cet espace.

La figure ci-dessous montre les trois composantes de la lumière à l'intérieur d'un local. À chaque réflexion, la quantité de lumière est réduite en fonction du facteur de réflexion des surfaces rencontrées.



La quantité de lumière directe pénétrant dans le local dépend en plus des paramètres propres au climat et à l'ouverture elle-même, du nombre, de la taille et de la position des obstructions extérieures. Plus celles-ci seront hautes et larges et rapprochées et moins de lumière directe pénètrera dans le local.
La quantité de lumière réfléchie par les surfaces extérieures dépend des caractéristiques géométriques ainsi que de la position de ces surfaces, mais également du facteur de réflexion de celles-ci. Par exemple, certains bâtiments fortement vitrés peuvent devenir eux-mêmes des sources d'éclairage (qui peuvent induire des problèmes d'éblouissement importants).
Les réflexions intérieures permettent par « ricochets » successifs de conduirent la lumière vers le point opposé à la prise de jour. Ce cheminement de la lumière sera d'autant plus efficace que le coefficient de réflexion des surfaces (sol, murs, plafond, meubles) sera élevé.

Ces remarques basées sur un éclairage unilatéral s'appliquent aussi à un éclairage bilatéral. Dans ce cas le point le moins éclairé se trouve au centre du local au lieu de se trouver au fond du local. Dans le cas d'un éclairage zénithal central le point le mons éclairé se situe près des parois.

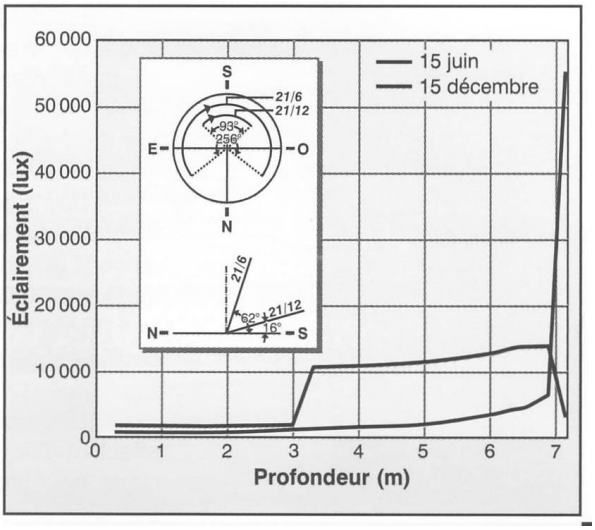
La suite de ce chapitre se structure en une analyse de trois quantités de lumière
La quantité de lumière disponible qui est fonction du type de ciel, de la saison, du jour, de l'heure mais aussi de l'orientation envisagée sans l'influence des obstructions ou réflexions extérieures (le bâtiment est fictivement placé au milieu de la rase campagne)
La quantité de lumière effectivement disponible au niveau de la prise de jour, elle dépend de l'environnement.
La lumière entrant dans le local et distribuée dans ce dernier, elle dépend du facteur de lumière du jour.

2.3.1 : La quantité de lumière disponible

Influence de la saison

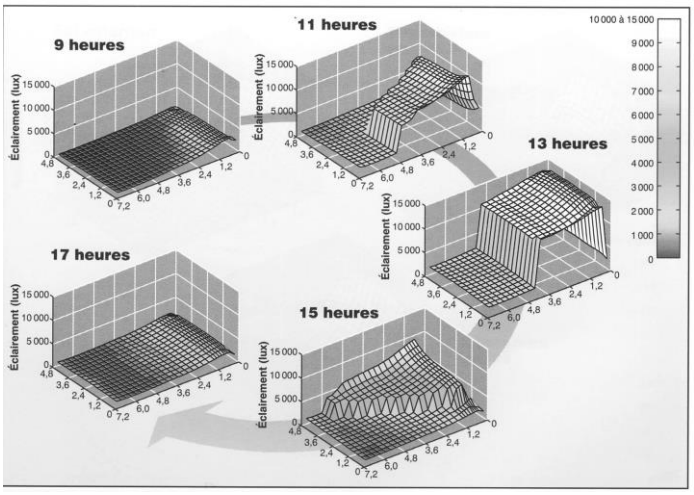
Vu l'évolution de la position de la terre par rapport au soleil au cours de l'année, nous savons que, pour une même heure, l'azimut et la hauteur du soleil varie en fonction du jour de cette année. Cette variation de position du soleil a une influence directe sur l'éclairement disponible dans un local. Étudions, par exemple, le même local que celui présenté ci-dessus, sous des conditions de ciel clair avec soleil. Si nous comparons les courbes d'éclairement intérieur obtenues par simulation, pour le 15 juin et le 15 décembre à 13 heures universelles, nous remarquons une différence de distribution de la lumière très marquée. En été, le soleil, qui a une position très haute dans le ciel, fournit un éclairement important mais sur une faible surface du local car il pénètre très peu profondément dans le local. En hiver, l'éclairement solaire est nettement moins intensif mais pénètre beaucoup plus profondément dans le local.

La variation de l'azimut du soleil au cours de l'année est aussi très importante. Certains locaux, qui ne profitent pas ou peu de soleil direct en hiver, peuvent recevoir des apports importants lors du solstice d'été. Il s'agit particulier des locaux orientés au nord.



Influence de l'heure

Par ciel clair avec soleil, la répartition lumineuse varie fortement d'une heure à l'autre et d'un point à l'autre du local. La lumière disponible augmente jusqu'à la mi-journée, puis diminue. La figure ci-dessous représente l'évolution de l'éclairement intérieur le 15 décembre, dans un local éclairé de manière unilatérale et dont l'ouverture est orientée au sud. Les valeurs d'éclairement obtenues à 9 heures universelles sont comprises entre 2 600 lx près de la fenêtre et 400 lx au fond du local ; tandis qu'à 13 heures universelles, l'éclairement vaut 11 000 lx sur plus de la moitié du local et 1 600 lx au fond. Le rayonnement solaire direct induit une tache de lumière qui évolue, au cours de la journée, depuis le mur ouest du local vers le mur est.

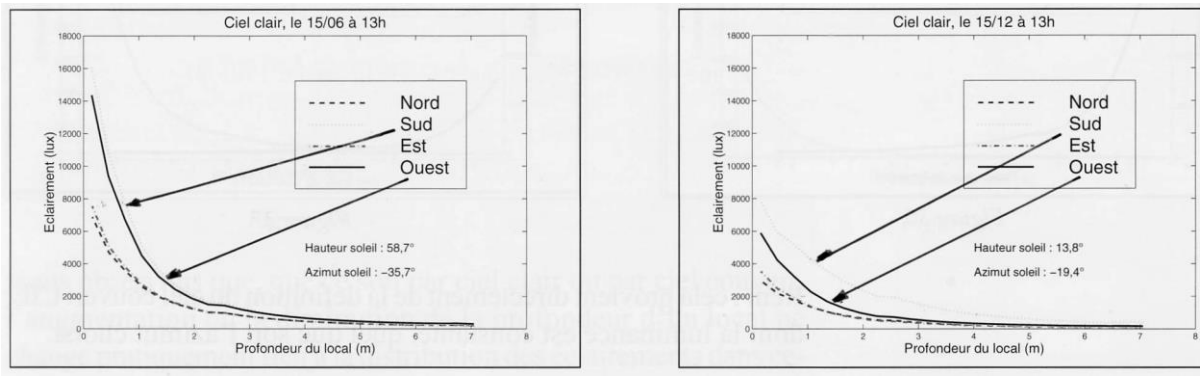


Influence de l'orientation

Les deux figures ci-dessous représentent les éclairements par ciel clair pour deux moments de l'année (été et hiver) en fonction de l'orientation.

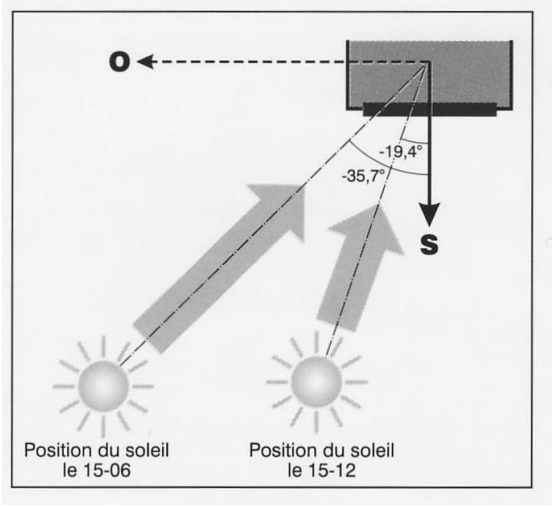
Les différences les plus grandes se situent près de la fenêtre, elles sont faibles au fond du local.

En été les orientations Sud et Ouest donnent presque les mêmes éclairements. Et les orientations Nord et Est se valent.



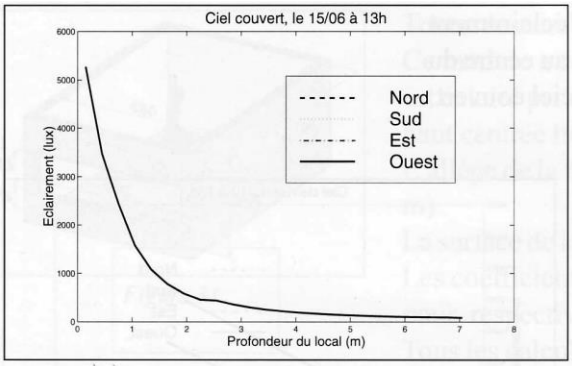
En hiver les valeurs Sud et Ouest sont plus éloignées les unes de autres

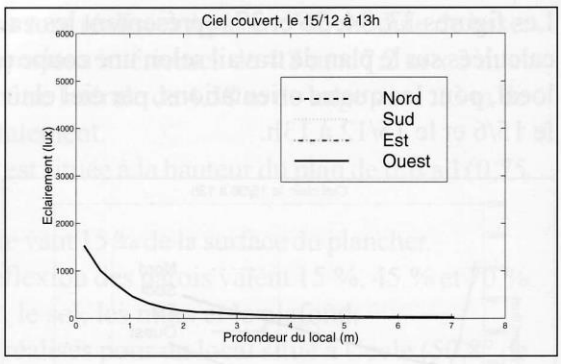
Cela s'explique par la position du soleil aux deux moments de l'année à 13 heures universelles



Influence du type de ciel

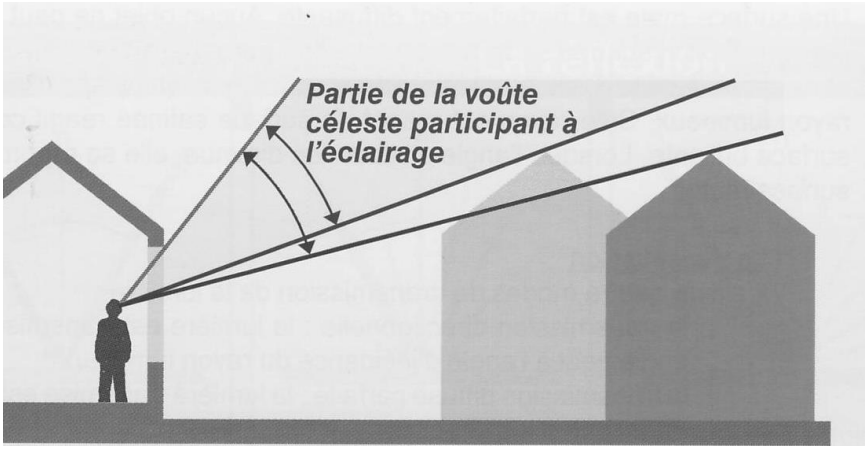
Lorsque le ciel est couvert, le rayonnement lumineux est diffusé dans toutes les directions de manière similaire.
Les baies vitrées captent alors la lumière de façon identique indépendamment de la direction.
Sur les deux figures ci-dessous, les courbes des différentes orientations se confondent, seule l'influence de la luminance d'un ciel couvert d'hiver et d'un ciel couvert d'été est mis en évidence.





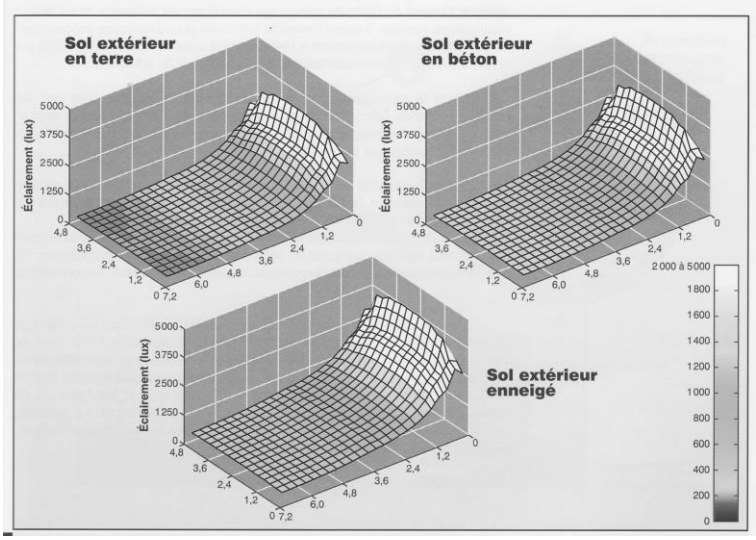
2.3.2 : La quantité de lumière effectivement disponible (influence de l'environnement)

Un même bâtiment situé dans un contexte urbain (une rue étroite par exemple) ne recevra pas la même quantité de lumière que s'il se trouvait au milieu d'un champ de betteraves.
Le contexte minéral (bâti) ou végétal (les arbres) peuvent intervenir comme obstacles à la lumière diminuant ainsi la surface de la voûte céleste « vue » par la fenêtre.



Par contre des surfaces horizontales (sols, toitures plates, …) ou verticales (suffisamment éloignées d'une fenêtre) peuvent agir comme réflecteur de la lumière du ciel.
On connaît tous ce sentiment étrange (rare) induit par la lumière d'un espace ouvert sur un paysage enneigé. Ou encore la lumière presque artificielle apportée par une pièce d'eau à proximité d'un espace largement vitré.

A titre d'exemple la figure ci-dessous illustre l'influence quantitative de la réflexion du sol extérieur près d'une fenêtre

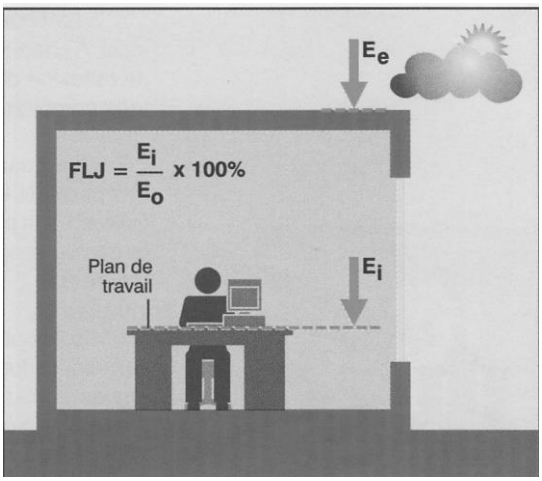


2.3.3 : Le facteur de lumière du jour

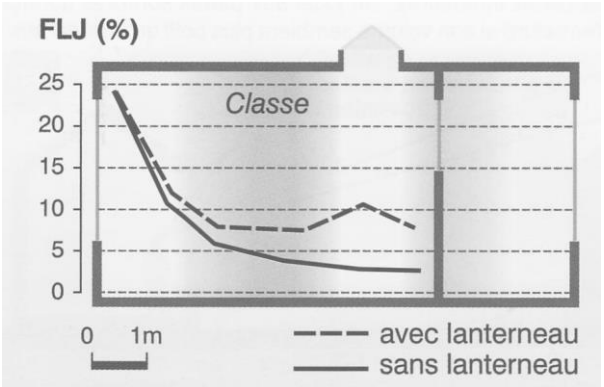
Le facteur de lumière du jour (FLJ) est le rapport de l'éclairement naturel intérieur reçu en un point d'un plan de référence à l'éclairement simultané sur une surface horizontale en site parfaitement dégagé par ciel couvert.
Ces deux valeurs d'éclairement sont dues à la lumière reçue d'un même ciel dont la répartition des luminances est supposée ou connue, la lumière directe en étant exclue. Le FLJ s'exprime en %.

$FLJ = E_{intérieur} / E_{extérieur}$ (%)

Sous les conditions de ciel couvert, les valeurs du facteur de lumière jour sont indépendantes de l'orientation des baies vitrées, de la saison et de l'heure. Elles donnent ainsi une mesure objective et facilement comparable de la quantité de l'éclairement à l'intérieur d'un bâtiment.
Les valeurs du FLJ d'un local peuvent alors être comparées aux valeurs de FLJ minimum de référence.
Notons que le FLJ concerne toujours un point précis dans l'espace, ce n'est pas une caractéristique de l'espace.



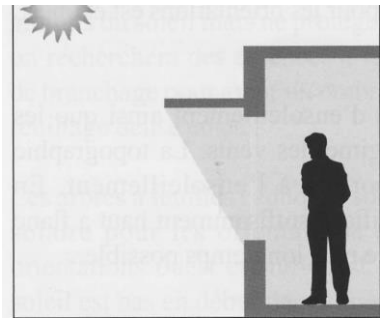
Une fois qu'on connaît le facteur de lumière du jour en un point d'un local, on peut calculer l'éclairement atteint en ce point, à n'importe moment de l'année, sous des conditions de ciel couvert, à partir de l'éclairement horizontal extérieur.
Prenons l'exemple d'une salle de classe de 6 m de profondeur et de 3m de haut, accolée à un couloir et reliée à celui-ci par une ouverture. Les bandeaux vitrés s'étendent sur toute la longueur de la salle, soit 8 m. La courbe continue illustre la variation du FLJ, par ciel couvert, en fonction de la profondeur des locaux. Il apparaît donc que l'éclairement en un point varie selon sa position par rapport aux fenêtres. La courbe discontinue présente l'amélioration du FLJ en fond de local par l'ajout d'un lanterneau



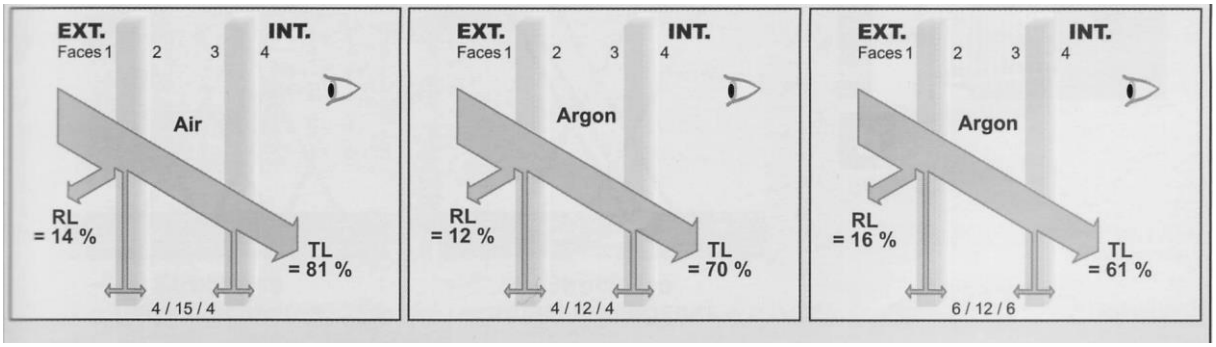
Le facteur de lumière du jour est influencé par :

- La présence de masques proches (protections solaires par exemple) qui empêche la lumière d'entrer
- La superficie de la vitre et son facteur de transmission lumineuse
- La position de la fenêtre (sa hauteur par rapport au sol)
- La répartition de la prise de jours (une grande fenêtre ou plusieurs petites)
- La forme du local
- Les coefficients de réflexion des surfaces intérieures.
-

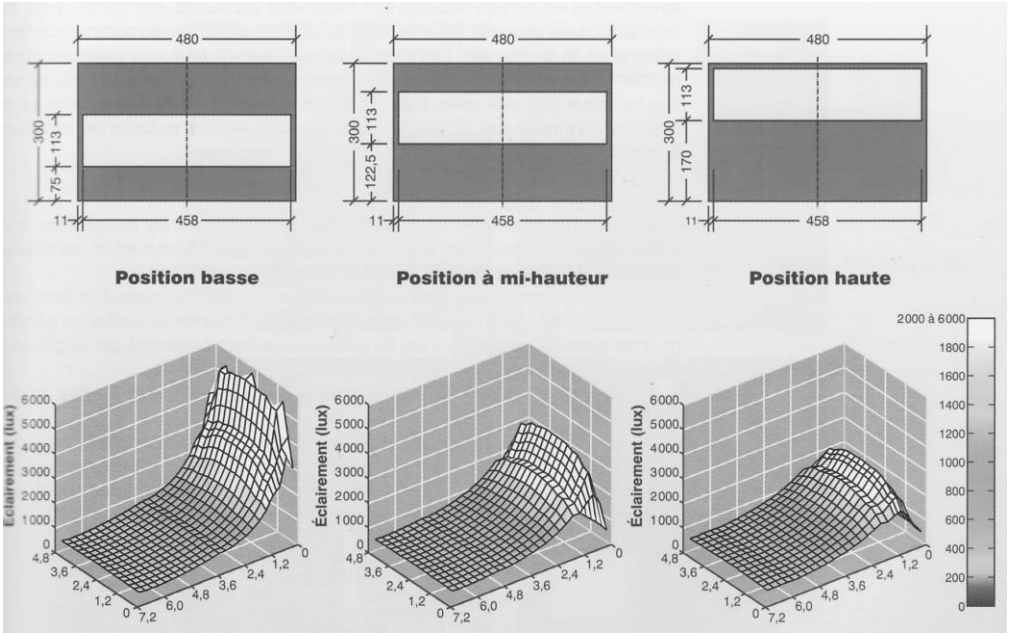
Ces masques qui font partie intégrante du bâtiment sont en général intégrés à celui-ci pour lutter contre les problèmes de surchauffe et d'éblouissement. Ils sont ainsi considérés comme des protections solaires.
Ces masques ou auvents peuvent être dimensionnés par un calcul d'ombres portées sur la vitre à protéger



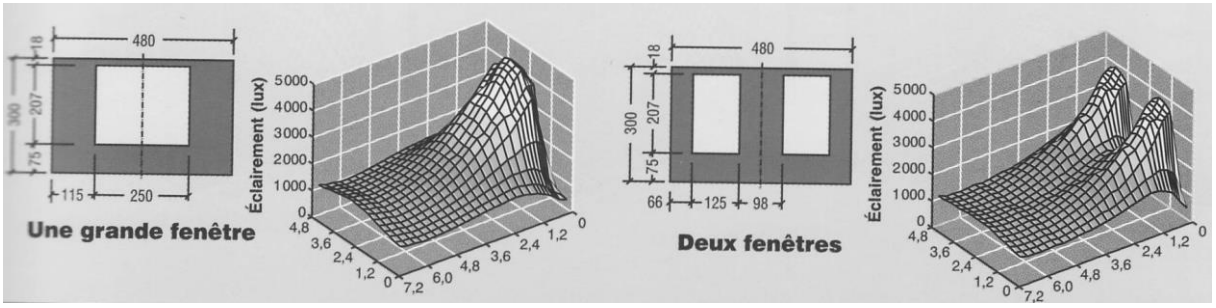
Que le FLJ augmente avec la superficie du vitrage n'est pas à démontrer.
Un vitrage (simple, double ou triple) est caractérisé par son facteur de transmission lumineuse TL (lumière transmise/lumière incidente). Le FLJ sera donc influencé par ce paramètre.
La figure ci-dessous indique les TL de différents types de doubles vitrages.
Notons également que le TL sera d'autant plus élevé que la vitre est propre !



Plus une fenêtre est élevée, mieux le fond du local est éclairé et plus la zone éclairée naturellement est profonde.
La courbe d'éclairement change de forme en fonction de la hauteur de l'allège : exponentielle lorsque l'appui de fenêtre est à la hauteur du plan de travail, la courbe d'éclairement prend une forme de cloche qui s'accentue au fur et à mesure que la fenêtre s'élève. Il y a donc création d'une zone d'ombre à proximité de la fenêtre d'autant plus importante que l'allège de l'ouverture est haute.

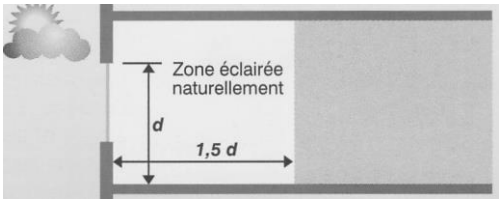


La distribution de lumière et donc la variation du FLJ dans l'espace dépend de la répartition des prises de jour dans le mur. Cette influence est surtout marquée près de ces prises de jours.



Remarquons que ces abaques, résultats de mesures, visent à exprimer un résultat quantitatif. L'architecte sait qu'une fenêtre d'angle, une fenêtre verticale à la mesure de l'homme, une fenêtre à la limite de la paroi, une fenêtre horizontale au raz du sol, ou même une fenêtre triangulaire ou circulaire sont autant de solutions dans un projet qui dépassent l'unique question de d'éclairement

La profondeur d’un local n’influence par la répartition de lumière. On constate que la lumière ne pénètre significativement qu’à une distance d’environ une fois et demie la hauteur du linteau par rapport au sol.



La hauteur du local influence très faiblement la distribution de la lumière. Il faut néanmoins constater que les grandes hauteurs sous plafond sont généralement éclairés par des fenêtre hautes ! Le niveau d’éclairement est d’autant plus élevé que le local est large à condition que le rapport de la surface vitrée à la surface au sol soit constant (pour une profondeur invariable).

L'utilisation de parois et de meubles de couleur claire influence fortement la luminosité d'un local.
Notons qu’une forte luminosité n’est pas nécessairement requise dans tous les espaces. Un espace de distribution, un hall par exemple, peut avantageusement être peint dans une couleur foncée. Luminosité n’est pas synonyme de qualité !
Lorsque les matériaux de revêtement d'un local quelconque présentent une certaine brillance, on constate que la lumière arrive plus facilement au fond de la pièce. En contrepartie, les surfaces en question acquièrent une luminance élevée et peuvent donc devenir des sources d'éblouissement pour l'utilisateur
Généralement, les coefficients de réflexion des murs, du plancher et du mobilier situés à proximité de la fenêtre jouent un rôle principal dans le jeu des réflexions intérieures
Par ciel couvert, la plus grande partie de la lumière provient du haut de la voûte céleste : en conséquence, les surfaces horizontales reçoivent une plus grande quantité de lumière que les surfaces verticales. En revanche, dès que des rayons solaires frappent directement un mur intérieur, la photométrie de celui-ci va jouer un rôle essentiel sur la répartition des éclairements.
Dès lors, si l'on désire favoriser la pénétration de la lumière en profondeur dans un local, il vaut mieux préconiser un revêtement du sol et du mobilier relativement clair, possédant donc un facteur de réflexion élevé. De plus, la clarté des tables de travail s'avère un élément favorable au confort visuel dans la mesure où la réduction du contraste entre le papier et le support de la table induit une diminution des efforts d'accommodation que l'oeil doit effectuer à chacun de ses mouvements.

2.4 : Les outils d'évaluation de la lumière naturelle d'un projet

Il existe différentes méthodes de prédétermination de l'éclairage naturel. On peut les classer selon trois catégories principales :

Les modèles simplifiés
Il existe une multitude d'outils simplifiés de prédétermination de la lumière naturelle. Ces outils sont des algorithmes simplifiés, des tables, des nomogrammes, des diagrammes... Ils se présentent sous format papier ou sous forme informatique. Une caractéristique commune de toutes les méthodes de calcul simplifiées est la restriction des paramètres d'entrée à quelques éléments de conception clés.
Ces outils peuvent être très utiles dans la première phase de conception d'un projet. Cependant, ils ne permettent pas d'analyser des situations complexes ni d'étudier une stratégie lumineuse complète. Il est donc très difficile de réaliser une bonne conception de l'éclairage d'un espace en utilisant uniquement ces méthodes.

Les modèles complexes
Les programmes de simulation de l'éclairage naturel ont pris un essor considérable ces 10 dernières années. Ce développement est lié aux progrès importants réalisés dans le domaine informatique.
Les techniques de "lancer de rayon" et de "radiosité" utilisées au départ pour la réalisation de modèles différents semblent assez bien se compléter et il s'avère actuellement que les développeurs s'orientent vers la combinaison de ces deux méthodes dans un même outil.
Les modèles complexes de simulation de l'éclairage naturel permettent de modéliser très précisément les espaces intérieurs et extérieurs. Ils permettent en général l'intégration de calcul d'éclairage artificiel ainsi que la prise en compte de systèmes complexes d'éclairage naturel, comme par exemple les systèmes directionnels. Ils offrent également des impressions visuelles très réalistes. Cependant, ces programmes demandent en général un temps d'apprentissage assez long et un niveau certain d'expertise. Ils sont donc réservés aux personnes spécialisées dans le domaine de l'éclairage naturel. Ils demandent également un temps de calcul relativement long. Ces logiciels requièrent aussi une description détaillée de tous les éléments de l'espace à modéliser et ne sont donc pas applicables au stade de l'esquisse ou de l'avant-projet.

Les modèles réduits
Lorsqu'on construit précisément la maquette d'un local, c'est-à-dire en respectant scrupuleusement sa géométrie ainsi que les caractéristiques de ses parois intérieures (couleur, brillance...) et de son mobilier, on retrouvera la même quantité et qualité de lumière que celle que l'on a dans le local réel (sous des conditions de ciel identique). L'impression visuelle ainsi que les mesures quantitatives que l'on obtiendra seront très proches, voire identiques, à celles que l'on aurait dans le local réel. Un modèle réduit peut être étudié sous des conditions de ciel réel mais si on désire éviter les problèmes liés à la variation de conditions climatiques, il est plus intéressant de l'étudier sous ciel artificiel L'utilisation d'un modèle réduit comme outil de conception présente de nombreux avantages qui lui confèrent une attraction particulière pour les architectes.

2.5 : Calcul de l'éclairage naturel

La norme NBN 1, 13-002 (1972*) Prédétermination de l'éclairement naturel pour des conditions de ciel couvert* proposait une méthode graphique approchée intéressante.

Par comparaison avec une installation d'éclairage artificiel, l'étude de l'éclairage naturel d'un bâtiment est rendue plus complexe par trois facteurs :

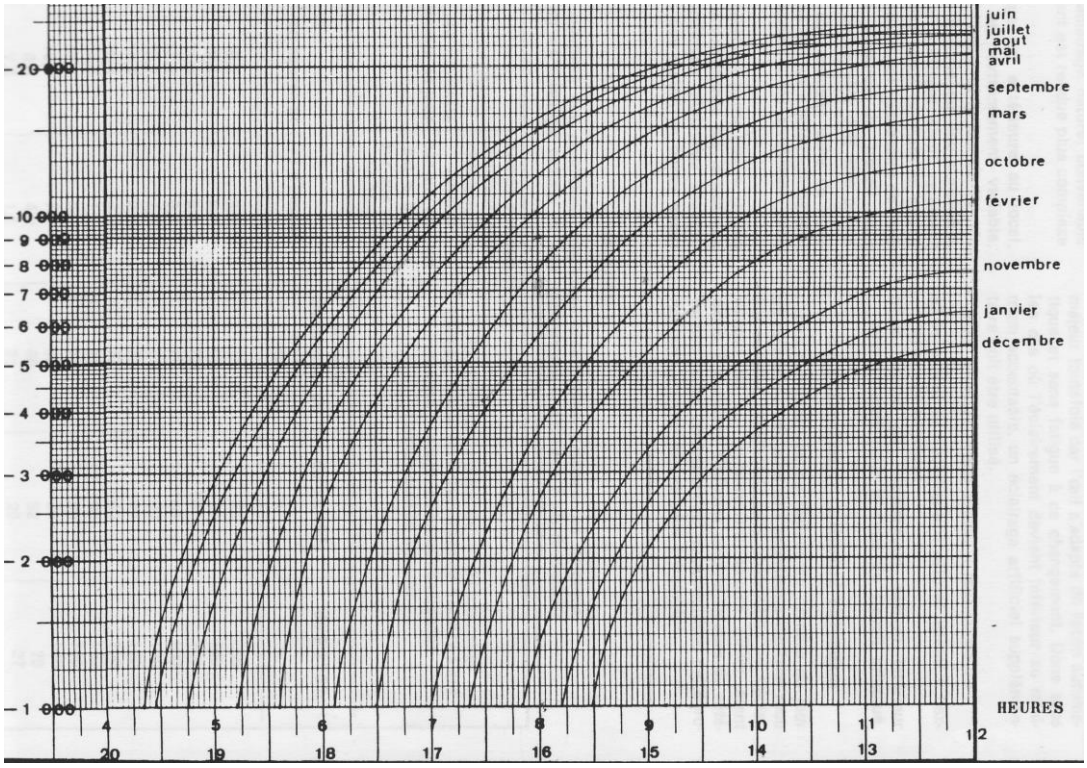
- la source d'éclairage est extérieure au local
- l'éclairage naturel est extrêmement variable, non seulement avec l'heure et le jour de l'année mais aussi avec la latitude du lieu considéré.
- un éclairage naturel suffisant étant rarement réalisé durant la durée totale normale du travail tout au long de l'année, il est nécessaire de choisir le pourcentage d'heures de travail pour lequel un éclairage convenable doit être prévu
-

La méthode proposée par la présente norme suppose

- une distribution de luminances du « ciel couvert normalisé » en Belgique
- des espaces clos parallélipipédiques équipés de fenêtres verticales unilatérales ou bilatérales sur deux façades opposées ou de prises de jour en toiture.

Cela veut donc dire que tout espace plus complexe au point de vue de sa forme, de la répartition de ses surfaces vitrées, de ses pare-soleil éventuels ou de ses caractéristiques de réflexion des parois, ne peut être étudié à partir de cette méthode de calcul
Néanmoins, la méthode étant simple une extrapolation peut, dans certains cas, donner des valeurs indicatives intéressantes.

La méthode se base sur une variation d'éclairement suivant les courbes suivantes



Divers types de problèmes peuvent se poser au stade de l'élaboration d'un projet de construction ou de transformation.

- On connaît la destination du local à éclairer et ses dimensions et l'on se propose de déterminer la surface du vitrage en fonction de l'éclairement souhaité.
- On impose la surface des baies et l'on recherche la profondeur maximale utilisable du local et la nature du vitrage en fonction de l'éclairement souhaité.
- On connaît toutes les caractéristiques du local ainsi que la nature de l'activité exercée et l'on se propose de rechercher l'importance de l'éclairage naturel à différentes époques de l'année.
-

Quels que soient ces problèmes, leur solution reste fondée sur la détermination de la valeur minimale d'utilisation du facteur de lumière du jour : Ju
Ju correspondant au facteur de lumière du jour se référant à une baie garnie d'un vitrage clair non gênée par des obstructions extérieures .ou des dispositions pare-soleil.

$Ju = E_p / Eh$

En se basant sur les niveaux d'éclairement intérieur recommandés on peut connaître Ju si on se fixe une valeur minimale de l'éclairement extérieur Eh

Ayant déterminé la valeur minimale d'utilisation de ce facteur Ju correspondant à l'éclairement recherché, la norme propose des coefficients de corrections tenant compte

- de la nature du vitrage (k_1)
- de la structure de la baie et éventuellement des obstructions extérieures et des dispositions pare-soleil (k_2)
- du degré de salissure du vitrage (k_3)
- des facteurs de réflexion des surfaces intérieures (k_4)

Le facteur de lumière du jour peut alors se calculer :

$J = Ju / k_1k_2k_3k_4$

-

La valeur de E_h = 5000 lux correspondant en Belgique à des conditions moyennes d'éclairement par ciel couvert prévalant pendant un pourcentage de temps élevé au cours des heures normales d'occupation des locaux.
Dans ces conditions, on trouve pour différentes périodes de l'année les valeurs minimales d'utilisation de J,, classées en fonction de la qualité des tâches visuelles à accomplir.

La normes NBN L 13-002 fournit un tableau (page suivante) intéressant des valeurs minimales d’utilisation de Ju classées en fonction de la tâches.

Période	Durée minimale du jour au cours de la période	Pourcentage minimum de temps journalier pendant lequel l'éclairement extérieur de 5 000 lx est réalisé, en moyenne, en Belgique pendant les heures indiquées	
		de 8 à 16 h	de 9 à 15 h
avril à septembre	12 h	100 %	100 %
févr.-mars octobre	9 h	75 %	100 %
novembre	8 h	50 %	70 %
janvier-décembre	7 h 45	20 %	27 %

(*) Valeurs basées sur l'éclairement extérieur moyen par ciel couvert en Belgique (cf. Fig. 1).

Valeurs minimales d'utilisation du facteur de lumière du jour, J_u, assurant à 100 % les éclairements intérieurs requis pendant les heures indiquées (*)							
Travaux nécessitant une perception des détails							
légère 100 lx		modérée 200 lx		assez poussée 300 lx		poussée et soutenue 500 lx	
8-16 h	9-15 h	8-16 h	9-15 h	8-16 h	9-15 h	8-16 h	9-15 h
1,25	0,85	2,5	1,7	3,75	2,55	6,25	4,25
3,6	2,0	7,15	4,0	10,7	6,0	17,85	10,0
7,15	3,0	14,3	5,9	21,4	8,8	35,7	14,7
—	5,0	—	10,0	—	15,0	—	25,0

Chapitre 3 : L'éclairage artificiel

3.1 : Les lampes

Remarque préliminaire à propos de la terminologie.
L'éclairage artificiel sous entend l'existence d'appareils d'éclairage contenant une source de lumière électrique
Le terme « lampe » désigne dans le langage quotidien l'objet éclairant (« j'ai acheté une nouvelle lampe chez … »)
La « lampe » désigne par contre dans le domaine (souvent industriel) de l'éclairage artificiel, la source lumineuse. Ainsi les fabricants fournissent un catalogue de « lampes » dans lequel on peut choisir parmi la gamme étendue de sources (ampoules incandescente, tubes TL, lampes au sodium, ...)
Le « luminaire » appelé aussi appareil d'éclairage désigne l'objet dans lequel se fixe la source, il en est sont habillage. Ainsi un catalogue de luminaires propose un choix d'objets (projecteurs, lampes (sic), sur pied, lampes (sic) de bureau, …) pouvant être équipés de différentes sources.

Ce paragraphe étudie donc les différentes sources de lumière électriques présentes actuellement sur le marché.

La lumière produite à partir de l'électricité comme énergie primaire résulte de trois phénomènes différents :
Passage d'un courant électrique dans un filament (ampoules à incandescence, et ampoules « halogènes »)
Décharge d'un courant électrique dans un gaz (tubes fluorescents, ampoules économiques et lampes à décharge)
Vibration électronique d'un cristal (LED)

Notons qu'un autre phénomène, complètent le domaine de l'éclairage artificiel, c'est la combustion : de la mèche d'une bougie ou le gaz .

Les principaux paramètres qui influencent les performances d'une lampe et qui influent dès lors sur son choix sont :

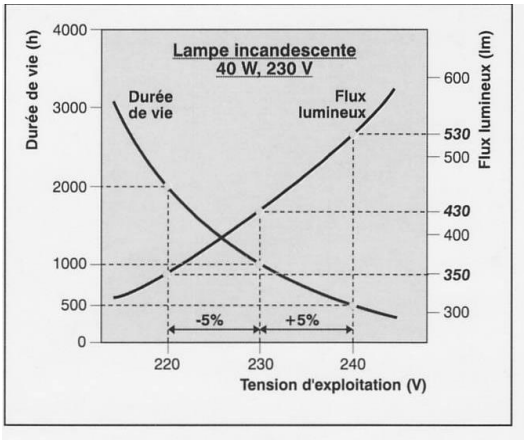
- Le flux lumineux
- L'efficacité lumineuse
- La répartition spectrale lumineuse
- La température de couleur
- L'indice de rendu de couleur
- La durée de vie
- Son prix

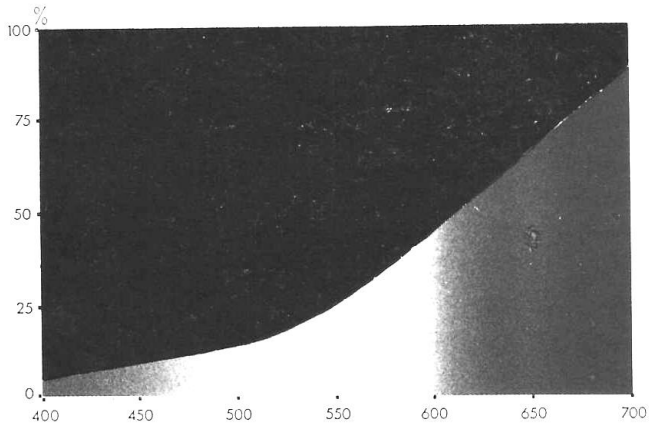
Les 5 premiers paramètres ont été décrits au paragraphe 1.2 « la photométrie, grandeurs et unités ».
L'efficacité lumineuse, la durée de vie et le prix d'achat de la source sont de paramètres économiques à intégrer dans les projets.

3.1.1 Les lampes à incandescence

C'est la fille de la première ampoule électrique découverte pat Edison en 1879.
Lors de son premier essai avec un filament de carbone l'ampoule a fourni de la lumière pendant une heure avant la rupture du filament.
La lumière est produite par l'échauffement d'un filament de tungstène porté à température élevée par le passage d'un courant électrique. Ce filament se trouve dans un bulbe en verre placé sous vide ou sous atmosphère spéciale. Toutes les lampes à incandescence se caractérisent par un allumage instantané et des possibilités de gradation illimitées.

Le flux lumineux d'une lampe à incandescence est assez faible, il est influencé par la tension d'exploitation et diminue au cours du temps par noircissement de l'ampoule.
F = 90 à 1900 lumen
Efficacité lumineuse
L'efficacité lumineuse d'une lampe à incandescence est faible.
Ef = 6 à 19 lm/W
Température de couleur = 2400 à 2700°K
La lumière fournie par une lampe à incandescence standard est de couleur blanc-chaud.
Indice de Rendu des Couleurs = 90 à 100
La principale caractéristique des lampes à incandescence est quelles ont un excellent indice de rendu des couleurs.
La durée de vie est influencée par la tension d'exploitation elle varie de 1000 à 2000h

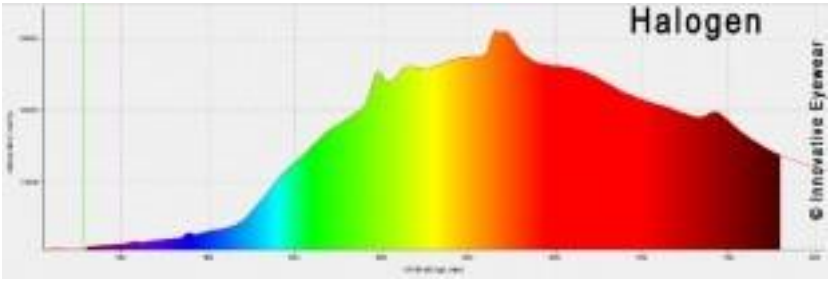




3.1.2 Les lampes halogènes

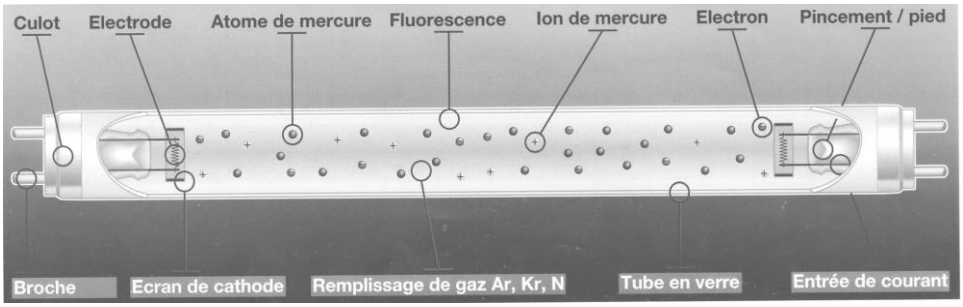
Comme dans les lampes à incandescence classiques la lumière est produite par le passage d'un courant électrique dans un filament de tungstène. Cependant, le bulbe en verre est rempli d'un gaz halogène qui permet aux particules de tungstène de se redéposer sur le filament après volatilisation et empêche donc tout noircissement de l'ampoule pour autant que la température soit suffisamment élevée (600°C).

Le flux lumineux d'une lampe halogène varie de 60 à 2550 lm ou de 1000 à 48800 lm selon que la lampe est de type basse ou haute tension. Il n'y a pas de noircissement de l'ampoule donc pas de diminution du flux lumineux au cours du temps à condition d'utiliser de temps en temps la lampe à pleine puissance.
L'efficacité lumineuse d'une lampe halogène est un peu supérieure à celle d'une lampe à incandescence classique.
Eff = 12 à 25 lm/W
La température de couleur = 3000° K, la lumière est mois chaude que celle d'une incandescente
La lumière émise reste très stable dans le temps.
Indice de Rendu des Couleurs = 100
Durée de vie = de 2000 à 3500 h
Grâce au redépôt du tungstène sur le filament la durée de vie d'une telle lampe est supérieure à celle d'une lampe à incandescence classique. Elle est cependant très sensible à la variation de sa tension d'alimentation. L'usage d'un transformateur électronique qui stabilise cette tension permet d'éviter cette diminution importante de la durée de vie que l'on observe pour les lampes équipées de transformateurs classiques.
Certaines lampes (lampes au titane. par exemple) ont une durée de vie pouvant atteindre 4000 heures.



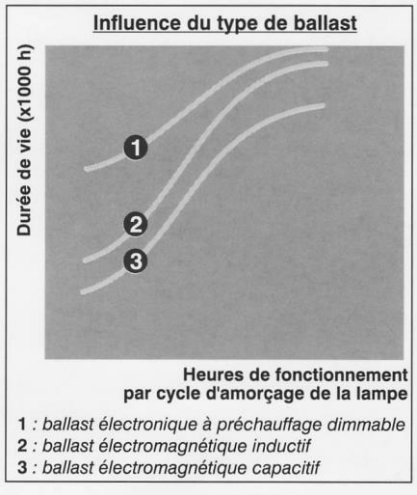
3.1.3 Les tubes fluorescents

Ces lampes fonctionnent par décharge d“un courant électrique dans une atmosphère gazeuse de vapeur d'un mélange de gaz qui produit un rayonnement ultraviolet invisible. Ce rayonnement est absorbé par le revêtement intérieur de la lampe (luminescence) et converti en rayonnement visible.



Les lampes fluorescentes (TL) utilisent de la vapeur de mercure sous basse pression. Lorsqu'on met le tube sous tension des électrons sont émis par les deux électrodes de tungstène. Lors de leur trajet au travers du tube ils entrent en collision avec les atomes de mercure et libèrent de l'énergie sous forme de rayonnement ultraviolet lui-même transformé en lumière visible par la couche fluorescente (poudre) présente sur la face interne du tube à décharge.
Contrairement aux lampes à incandescence et halogènes les lampes nécessitent toutes des auxiliaires (ballast et starter) pour fonctionner. Ces auxiliaires (uniquement intégrés dans certaines ampoules fluocompactes) ne peuvent pas être placés trop loin de la source (1 à 2m selon les cas) cette réalité technique représente une contrainte lors du placement.

Flux lumineux = 140 à 8000 lm
Le flux lumineux d'un tube fluorescent n'est que peu influencé par la tension d'exploitation.
Efficacité lumineuse = 40 à 70lm/W pour le tube seul (il est nécessaire de tenir compte du rendement des auxiliaires dont le ballast)
Cette très bonne efficacité lumineuse place les TL dans les sources économiques
La température des couleur = 2700 à 7500°K
Selon la composition chimique de la couche fluorescente placée à l'intérieur du tube à décharge, la température de couleur va du blanc chaud au blanc froid de type lumière du jour.
Il est nécessaire de remarquer qu'un TL de 2700°K dit « blanc chaud » n'égale pas la qualité de la lumière de l'ampoule à incandescence. La couleur du TL contient du « rose », absent dans la lumière émise par un filament.
L'indice de Rendu des Couleurs est influencé par la composition chimique de la couche fluorescente placée à l'intérieur du tube à décharge, IRC = 50 à 95
La durée de vie d'un tube fluorescent dépend du type de ballast qui lui est associé. Avec un ballast électronique avec préchauffage des électrodes, la durée de vie peut atteindre 12000 heures, tandis que dans tous les autres cas (ballast électromagnétique ou électronique sans préchauffage), elle sera voisine de 7000 heures. De plus dans ces derniers cas, le nombre d'allumages aura également une influence sur la durée de vie. La figure ci-dessous montre qu'une lampe allumée et éteinte toutes les 15 minutes a une durée de vie 3 fois plus courte qu'une lampe fonctionnant par plage de 10 heures. Dans le cas des lampes à ballast électronique à préchauffage, l'augmentation fréquente du nombre d'allumages diminue nettement moins la durée de vie (0.02 h par allumage).

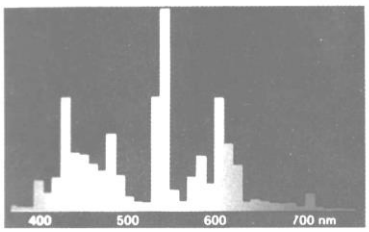


Il existe trois grands types de TL :

- T12 (lampe 12/8 de pouce de diamètre (38 mm)), d'efficacité lumineuse de 40 à 65 lm/W.
- T8 (lampe 8/8 de pouce de diamètre (26 mm)), d'efficacité lumineuse de 80 à 95 lm/W.
- T5 (lampe 5/8 de pouce de diamètre (16 mm)), d'efficacité lumineuse de 95 à 105 lm/W.

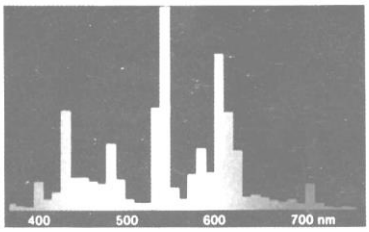
Les T5 sont les dernières nées. De par leur faible diamètre, elles peuvent être adaptées dans des luminaires moins hauts et plus petits que les luminaires traditionnels.
Leurs caractéristiques photométriques sont meilleures ou égales à celles des tubes de 26 mm. Cependant, le tube étant plus petit et la lampe ayant au moins un flux lumineux égal à celui des tubes de 26 mm, celle-ci présente une plus grande luminance et de plus grands risques d'éblouissement. Elle doit donc être montée dans un luminaire parfaitement adapté et étudié pour ces tubes. Elle ne peut cependant fonctionner que si on l'équipe de ballast électronique.
Gradation :
La gradation des tubes fluorescents est possible (de 100 % à +/- 2 %) si on les équipe de ballasts électroniques graduables

La page suivante reprend les courbes spectrales de différents types de TL



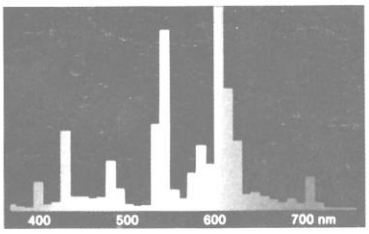
TEINTE 11 LUMILUX® LUMIERE DU JOUR

85%



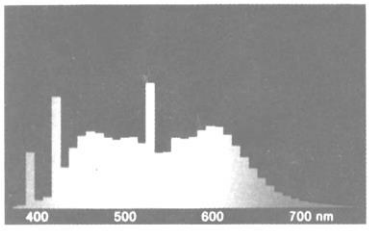
TEINTE 21 LUMILUX® BLANC CLAIR

85%



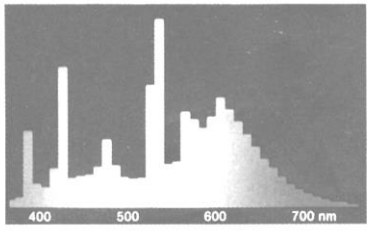
TEINTE 31 LUMILUX® BLANC CHAUD

85%



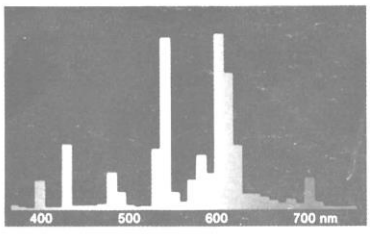
TEINTE 12 LUMILUX® DE LUXE LUMIERE DU JOUR

98%



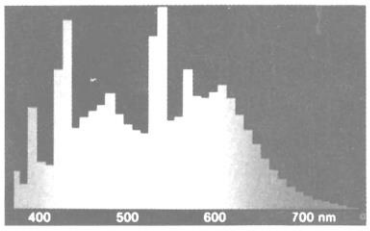
TEINTE 32 LUMILUX® DE LUXE BLANC CHAUD

96%



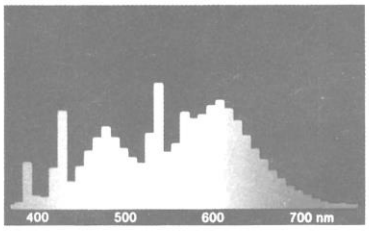
TEINTE 41 LUMILUX® INTERNA

85%



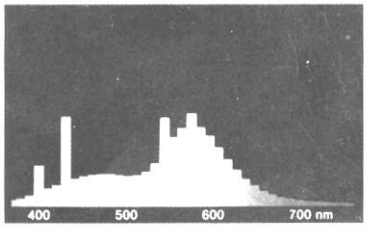
TEINTE 72 BIOLUX®

97%



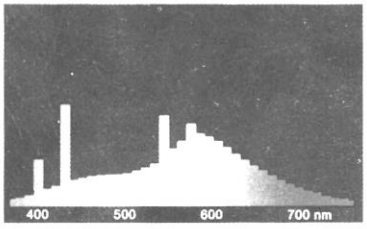
TEINTE 22 LUMILUX® DE LUXE BLANC CLAIR

96%



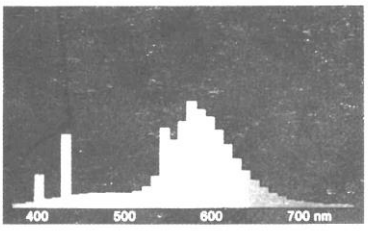
TEINTE 20 BLANC CLAIR

62%



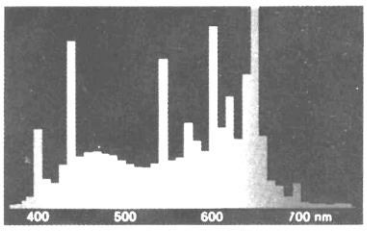
TEINTE 25 BLANC UNIVERSEL

75%

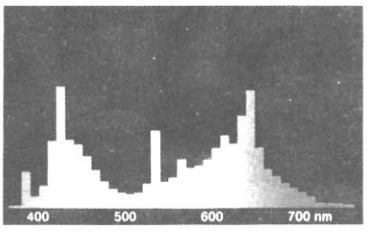


TEINTE 30 BLANC CHAUD

50%



TEINTE 76 NATURA DE LUXE



TEINTE 77 FLUORA

3.1.4 Les lampes fluocompactes

Les lampes fluoompactes sont des lampes fluorescentes compactes dont les dimensions sont réduites jusqu'à approcher ou égaler les dimensions des lampes incandescentes.
Il s'agit de tubes à décharge repliés une ou plusieurs fois sur eux-mêmes et dont chaque extrémité est reliée au culot.
Ces lampes innovatrices bénéficient des caractéristiques exceptionnelles des lampes fluorescentes :

- faible consommation d'énergie.
- forme compacte et entretien aisé,
- haute qualité de la lumière.

On peut distinguer deux familles :
Les lampes à économie d'énergie avec culot à vis. qui sont équipées d' un ballast et d'un starter incorporé sous forme conventionnelle ou sous forme d'un ballast électronique. Elles se vissent simplement dans une douille E27 ou E 14.
Les lampes à économie d'énergie avec culot à broches qui ne contiennent pas de ballast incorporé et nécessitent des luminaires équipés de douilles spéciales et d'un ballast approprié.

Le flux lumineux d'une lampe fluocompacte est compris entre 250 et 480 lm.
Cependant, il varie très fort en fonction de la température ambiante. Les lampes fluocompactes perdent une grande partie de leur flux lumineux (et donc de leur efficacité lumineuse) avec la diminution de la température ambiante à tel point que certaines lampes ne s'allument pas en dessous de 0°C. Par conséquent, elles sont à déconseiller pour une utilisation à l'extérieur.
Les lampes fluocompactes n'atteignent pas leur flux lumineux maximal dès leur allumage : plusieurs secondes ou même plusieurs minutes sont nécessaires.
Efficacité lumineuse = 25 à 82 lm/W.
L'efficacité lumineuse d'une lampe fluocompacte est assez élevée mais dépend très fort tout comme le flux lumineux, de la température ambiante. Elle dépend également de la tension d'alimentation. Il est impératif de ne pas l'utiliser en sous-tension.
Température de couleur = 2700 à 4000 °K
Indice de Rendu des Couleurs = 50 à 80
Durée de vie = 6000 à 10000 heures
Les allumages fréquents ont une influence négative sur la durée de vie des lampes fluocompactes.
De nouvelles lampes équipées d'un ballast électronique à préchauffage des électrodes font cependant leur apparition sur le marché.

Comme les tubes fluorescents, les lampes fluocompactes requièrent l'usage d'un ballast et d'un starter (si le ballast n'est pas un ballast électronique) qui peuvent être intégrés ou non à la lampe.
Les lampes à ballast et starter intégrés sont dites « de substitution » et permettent de remplacer les lampes à incandescence d'éclairage général dans de nombreux luminaires conçus pour ces dernières.
Le prix d'une lampe fluocompacte est très élevé et nettement supérieur à celui d'une lampe à incandescence mais, vu sa grande durée de vie (10 fois celle d'une lampe à incandescence) et sa faible consommation, l'utilisation d'une lampe fluocompacte permet de faire des économies évidentes.

3.1.5 : Les lampes à vapeur de mercure haute pression

A l'inverse des lampes à vapeur de mercure basse pression. (TL) la température atteinte dans les tubes à décharge haute pression est de plusieurs centaines de degrés et l'emploi du quartz devient nécessaire. Le tube à décharge contenant le mercure est enfermé dans une ampoule de quartz remplie de gaz inerte. La lumière émise a un aspect bleu-verdâtre peu agréable, sans radiations rouges. Pour que la lumière du mercure devienne acceptable, la face intérieure de l'ampoule est revêtue d'une couche de poudre fluorescente qui, excitée par le rayonnement ultraviolet, apporte une certaine proportion de rouge.

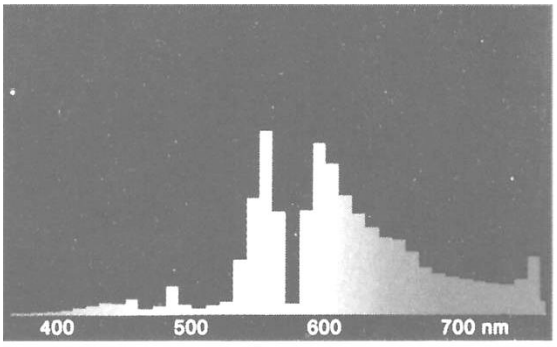
Flux lumineux = 1800 à 2400 lm
Le flux lumineux fourni par une lampe à vapeur de mercure haute pression est important. Cependant. le flux lumineux nominal n'est atteint qu'après plusieurs minutes (5' ou plus si la lampe est réamorcée à chaud).
L'efficacité lumineuse fournie par une lampe à vapeur de mercure haute pression est moyenne pour une lampe à décharge, elle varie de 40 à 60 lm/W
Température de couleur = 3400 à 4300 °K
La couleur émise par les lampes à vapeur de mercure haute pression est de type blanc chaud ou blanc neutre.
Indice de Rendu des Couleurs est médiocre il varie de 0 à 60
La durée de vie se situe autour de 8000 à 12000 heures

Ces lampes existent principalement sous forme ovoïde, sous forme de boule (application décorative) ou encore sous forme de champignon (spot).
Les lampes à vapeur de mercure haute pression sont aujourd'hui démodées pour plusieurs raisons : faible efficacité lumineuse, faible durée de vie, faible indice de rendu des couleurs et peu de choix de température de couleurs et pollution du mercure
Elles ne sont dès lors plus utilisées qu'en cas de remplacements et souvent on préfère les ampoules au sodium haute pression si les auxiliaires sont compatibles

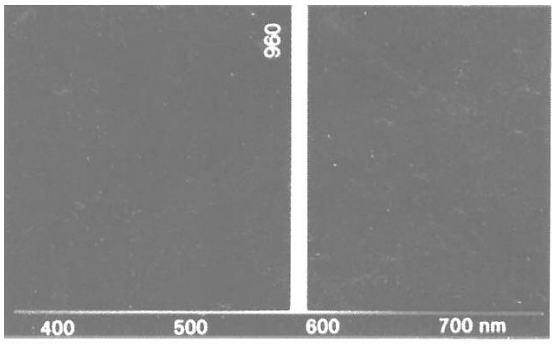
3.1.6 : Lampes à vapeur de sodium

Les lampes à vapeur de sodium fonctionnent de la même manière que les lampes à vapeur de mercure haute pression. Elles émettent cependant une lumière jaune-orangé.
La sodium basse pression (lampe d'autoroute) émet une lumière monochromatique jaune (correspondant au maximum de sensibilité de l'œil) qui leur confère la plus haute efficacité lumineuse de toutes les lampes à décharge.
La sodium haute pression possède, elle, un spectre polychromatique.

Flux lumineux = 1800 à 125000 lm
Le flux lumineux émis par une lampe à vapeur de sodium est très élevé.
Efficacité lumineuse 55 à 120 lm/W pour la sodium haute pression
Efficacité lumineuse 70 à 170 pour la sodium basse pression
Les lampes à vapeur de sodium détiennent le record absolu d'efficacité lumineuse.
Température de couleur = 2000 à 2500 K
Indice de Rendu des Couleurs
L'indice de rendu des couleurs de ce type de lampe est très mauvais. Les lampes à vapeur de sodium basse pression en restituent pas de tout les Les lampes à vapeur de sodium haute pression offrent un RIC pouvant aller jusque 65.
Durée de vie = 9000 à 12000 heures
:



Sodium haute pression

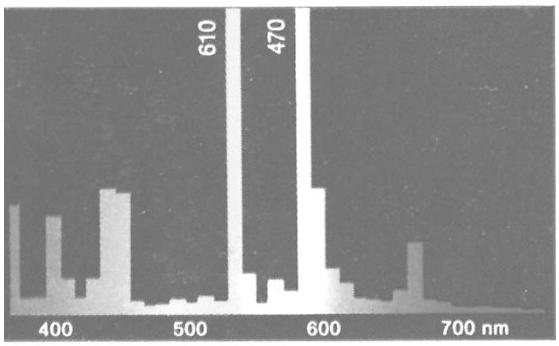


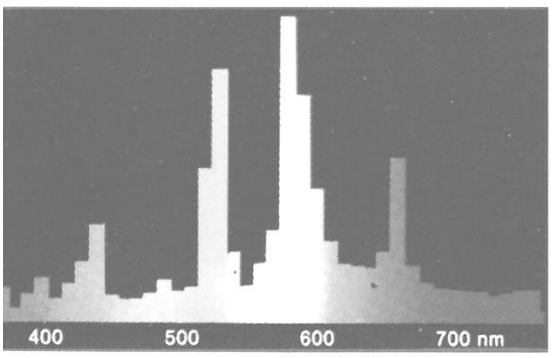
Sodium basse pression

3.1.7 : Lampes aux halogénures métalliques

Les lampes aux halogénures métalliques utilisent la technologie des lampes à décharge au mercure. avec des performances améliorées par l'addition de terre gaz rares (différents selon la température de couleur recherchée) et de gaz halogène. Le cycle de régénération de l'halogène évite le noircissement prématuré du quartz et préserve plus longtemps les qualités des gaz rares. Mais les électrodes de la lampe doivent être plus résistantes et recouvertes d'amalgame afin de ne pas faillir à l'attaque des vapeurs d'iode.

Flux lumineux = 2400 à 190000 lm
Le flux lumineux fourni par les lampes aux halogénures métalliques est très important. La durée de mise en régime est en moyenne de 3 à 5 minutes, suivant les modèles pour atteindre 80 % du flux nominal. Après extinction, le réamorçage ne peut se faire qu'après une dizaine de minutes, sauf si on dispose d'un appareillage spécifique. Pour l'éclairage de matériaux sensibles à la lumière l'usage d'un filtre UV est fortement conseillé.
Efficacité lumineuse = 50 à 85 1m/W
Température de couleur = 3000 à 6000° K
Les lampes sont disponibles dans des couleurs allant du blanc froid au blanc chaud. Cependant, on remarque souvent une fluctuation des couleurs au cours de la vie des lampes, surtout pour les lampes de faible puissance.
L'indice de Rendu des Couleurs = 65 à 90
Durée de vie = 3000 à 6000 heures





3.1.8 : Les diodes électroluminescentes

Une diode électroluminescente ou LED (Light Emitting Diode) est un dispositif semi-conducteur qui produit de la lumière au passage de charges électriques par l'intermédiaire d'une jonction de silicium dopée. La LED est donc une diode qui, à un seuil de tension d'environ 3.5V, émet de la lumière qui est très pure (monochromatique) et sa couleur dépend du type des impuretés volontairement introduites dans le silicium.
En éclairage architecture on utilise actuellement (2013) des LED de différentes puissances, à partir de 1W elles sont appelées LED de puissance ou Power LED.
Les LED de puissance sont alimentées en courant continu .Le rôle de l'alimentateur est de fournir et contrôler avec précision le courant qui circule dans le circuit. Un courant trop élevé détruit les LED en quelques secondes tandis qu'un courant trop faible ne donnera qu'un rendement lumineux dérisoire. Pour assurer un courant constant, toutes les LED doivent être branchées en série.Une éventuelle connexion en parallèle (comme on fait habituellement pour les lampes halogènes) détruirait les LED à très court terme.
La lumière, du fait de la conception est omnidirectionnelle - En cours de fabrication une lentille de PMMA est incluse et confère un angle de distribution de la lumière de 120' - Des lentilles supplémentaires peuvent être ajoutées à posteriori, et permettent de modifier les angles de distribution en faisceau étroit (8-12°), faisceau moyen (25-30°) et faisceau large (40-45°).

Le flux lumineux émis par une LED de 1W varie de 50 à 70 lm
L'efficacité lumineuse varie donc de 50 à 70 lm/W
Température de couleur des LED de puissance varie de (3000-4000°K), blanc chaux à (5000-8000°K), blanc froid. Cette lumière très blanche, caractéristique des LED, est le résultat de la transformation d'une lumière initiale bleutée par un composé de phosphore. Ces classifications, à leur tour, ont été sélectionnées en bandes de 1000°K - Néanmoins, de petites différences de température de quelque degrés Kelvin peuvent se produire, et sont parfois perceptibles.
D'autres couleurs sont couramment utilisées pour produire des effets de mélanges additifs à partir des trois couleurs de base (rouge, vert et bleu)
La durée de vie annoncée par les fabricant est proche de 80000 heures, elle dépend de 2 facteurs importants: la température de fonctionnement et le courant d'alimentation. La chaleur qui est produite par les LED est dissipée par un radiateur aluminium sur lequel sont soudées les diodes. Un manque de circulation de l'air, ne permettent pas une dissipation suffisante de chaleur et risque d'occasionner des montées en température qui pourraient être dangereuses. La LED de puissance a des limites de température relativement réduites comprises entre 85 et 100°C, mesurée sur le corps de la LED. Les convertisseurs, de par leur conception, alimentent les LED en courant constant et stabilisent les caractéristiques d'alimentation afin d'assurer une durée de vie.

La longueur et la section des câbles ne sont pas des paramètres critiques, car comme vu précédemment, le courant est constant et les valeurs sont très réduites: 350...700mA - La sortie des convertisseurs est en courant continu stabilisé et ne génère aucune émission électromagnétique - La longueur des câbles peut de ce fait être très importante: 20 à 30 m ! - Les éventuelles pertes en ligne sont automatiquement compensées par le convertisseur - Les convertisseurs doivent être également installés dans des endroits aérés et éloignés des sources de chaleur.

3.1.9 : Le système de fibres optiques

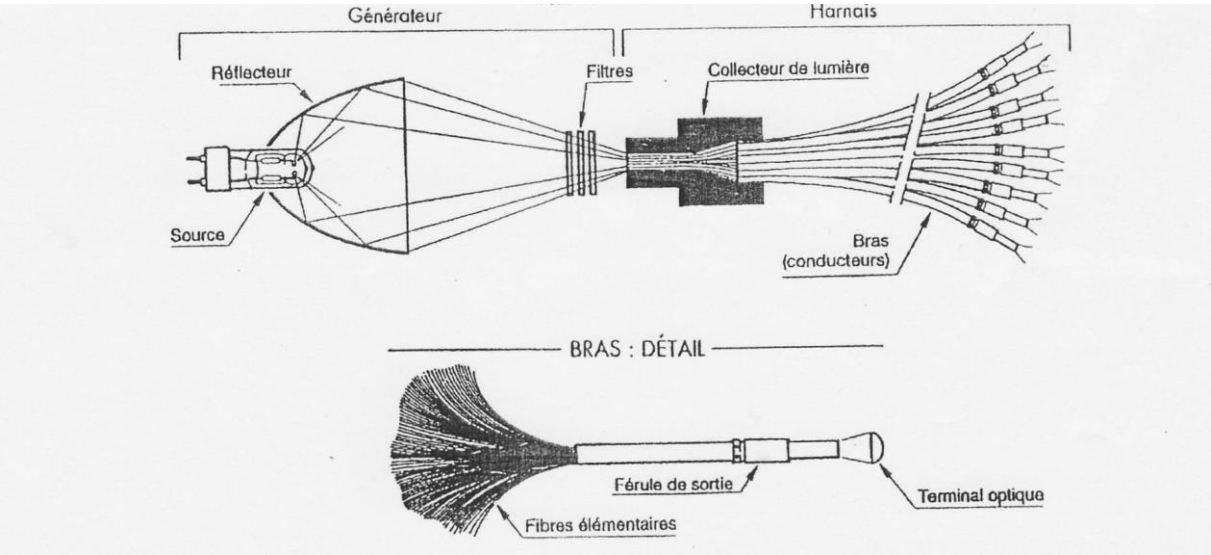
Bien que la fibre optique ne constitue pas une catégorie de sources lumineuses, elle est souvent envisagée comme alternative à un éclairage conventionnel utilisant plusieurs appareils.

Le rôle de la fibre optique est le transport de la lumière, à l'instar du fil de cuivre pour l'électricité et de la conduite pour l'eau. La fibre est utilisée depuis de nombreuses années dans le domaine du transport d'information (téléphone, réseaux informatiques...)
Tout dispositif d'éclairage par fibre optique est composé de trois éléments principaux : un générateur, un harnais et des terminaux optiques.
Le générateur contient la source qui peut être de différente nature (halogène, décharge ...). Des filtres sont parfois interposés entre la source et le harnais.
Le harnais comprend principalement un ensemble de bras optiques. Le harnais est raccordé au générateur au moyen d'un collecteur ou manchon. Chaque bras est constitué de fibres optiques rassemblées dans une gaine, et d'un terminal optique. Le diamètre d'un bras varie généralement de 1 à 6 mm.
Ce terminal optique finalise l'effet de lumière en têtes de fibre à partir d'accessoires tels que lentilles convergentes ou divergentes, miroirs, filtres colorés...

L'utilisation de la fibre optique présente de nombreux avantages

- Source lumineuse unique pour un grand nombre de points d'éclairage
- Absence de risque électrique
- Pérennité des fibres de verre
- Insensibilité à l'humidité
- Source toujours facilement accessible
- Absence d'entretien

L'insensibilité de la fibre à l'humidité rend ce type d'éclairage idéal dans la mise en lumière des jardins et des plans l'eau.
L'absence de rayonnement infrarouge fait de la fibre un outil intéressant dans l'éclairage d'objets sensibles à la chaleur (vitrines de magasins de denrées périssables...). L'éclairage d'œuvre d'art exige généralement l'absence de rayonnement infrarouge mais également de rayonnement ultraviolet, la fibre optique représente un matériel intéressant pour l'aménagement des salles de musées.



3.1.10 : Eléments auxiliaires des sources lumineuses

Certaines lampes, et plus particulièrement les lampes à décharge requièrent l'utilisation de dispositifs spéciaux permettant leur allumage et la stabilisation du courant les traversant durant leur période de fonctionnement.

Allumage d'un tube fluorescent standard

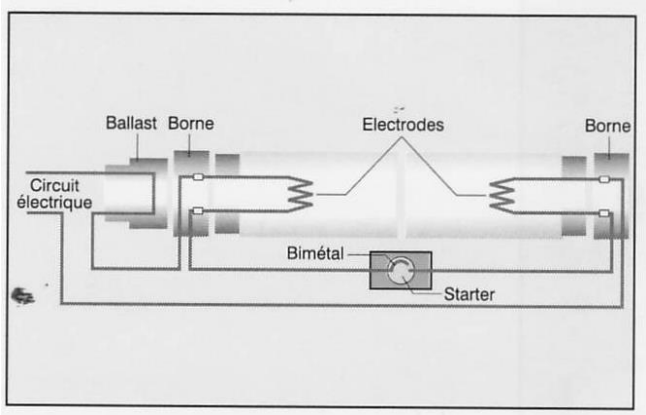
Le starter classique est composé d'un petit tube rempli de gaz et pourvu d'un bilame (ou bimétal). A l'allumage la mise sous tension provoque un arc électrique au sein de ce gaz. Celui-ci échauffe le bilame qui se ferme. La mise sous tension induit également un courant dans les électrodes. Ce passage de courant les échauffe et ionise le gaz qui les environne, ce qui facilitera l'allumage. Lorsque le bilame se ferme l'arc électrique présent dans le starter disparaît. Le bilame se refroidit alors et s'ouvre, provoquant ainsi une interruption brusque du courant dans le ballast raccordé en série.

Le ballast est, quand à lui, composé d'un bobinage de cuivre entourant un noyau de fer (ballast dit inductif). Il va, lors de l'interruption du courant le traversant, libérer toute son énergie et provoquer ainsi une impulsion de tension très élevée entre les électrodes de la lampe (jusqu'à 1500 V). Cette tension est capable d'allumer le tube.

Souvent, cet allumage ne réussit pas en une seule tentative. Si la lampe ne s'est pas allumée, le cycle recommence.

En fonctionnement la tension présente aux bornes de la lampe est trop faible pour générer un nouveau cycle d'allumage (40 à 110 V). Le starter se maintient donc en position ouverte et le courant traverse la lampe qui reste allumée.

A partir de cet instant, le ballast joue le rôle de limiteur de courant et empêche la destruction de la lampe.



Il existe maintenant de nouveaux starters électroniques qui permettent de remédier dans une large mesure à l'inconvénient présenté par le starter classique, à savoir la répétition des tentatives d'allumage. Ils apportent également une réduction de 10 à 15 % de la puissance électrique dissipée en chaleur. Cette diminution permet d'augmenter la quantité de lumière produite pour la même puissance installée. De ce fait, les apports de chaleur provenant de l'éclairage sont également réduits, ce qui diminue les risques de surchauffe des bureaux ou les charges thermiques à éliminer par le système de refroidissement.

Ces starters ont de plus un volume réduit ce qui permet leur incorporation éventuelle dans des lampes fluocompactes ou dans des ballasts. Ils sont malheureusement plus coûteux que les starters traditionnels.

Le ballast joue un double rôle d'allumage du tube et de stabilisateur au cours de son fonctionnement.
La consommation d'électricité du ballast doit être ajoutée à la consommation de la lampe pour calculer la consommation totale de la lampe. Dans les ballasts inductifs, on distingue les ballasts conventionnels des ballasts à faible perte. Ces derniers diffèrent des premiers non pas dans le principe utilisé mais dans le choix des métaux utilisés. Leur consommation est nettement plus faible que celle des ballasts conventionnels.
Il existe aussi des ballasts à très faible perte mais ceux-ci sont nettement plus volumineux.
L'utilisation de ballasts inductifs induit un déphasage entre la tension et le courant, impliquant un facteur de puissance relativement bas ($\cos\varphi = 0{,}5$).
L'inconvénient d'un tel facteur de puissance est une augmentation du courant dans les lignes d'alimentation. En principe l'utilisation d'appareils électriques impliquant des facteurs de puissance éloignés de l'unité ne se fait pas sentir pour l'utilisateur au niveau de sa consommation d'électricité, alors qu'il est très désavantageux pour les producteurs d'électricité. C'est pour cette raison que dès que l'installation devient importante le facteur de puissance intervient dans la facturation de l'électricité et il n'est pas rare de devoir ajouter des batteries de condensateurs supplémentaires en tête d'installation afin de compenser l'effet inductif produit par l'usage de tels ballasts.

L'ensemble starter et ballast inductif peut être remplacé par un ballast électronique avec ou sans préchauffage des cathodes ne nécessitant pas de starter et présentant nettement moins de pertes.
Les avantages du ballast électronique sont les suivants :

- il augmente le flux lumineux fourni par la lampe .
- il a une consommation propre plus faible qu'un ballast inductif
- il augmente l'efficacité lumineuse des lampes :
- il diminue le papillotement des lampes en les alimentant sous haute fréquence (25 kHz) et prolonge leur durée de vie. Cette diminution de papillotement réduit la fatigue visuelle provoquée par les tubes fluorescents et s'avère très bénéfique lors du travail sur écran car l'effet stroboscopique (effet provenant de la combinaison de la fréquence d'allumage et d'extinction de l'écran et du tube) est alors limité :
- il coupe automatiquement l'alimentation d'une lampe défectueuse et évite son clignotement en fin de vie ,
- son facteur de puissance est proche de 1 et il n'est donc pas nécessaire de le compenser par l'utilisation de condensateurs
- un ballast électronique diminue aussi le niveau de bruit .
- et a une consommation constante pour une large plage de tensions.

En conclusion, on peut dire que le ballast électronique constitue un progrès important et que, si on raisonne au niveau du coût global (au cours de l'entièreté de la vie de la lampe) et non uniquement au niveau du prix d'achat du ballast, on remarque très vite qu'il est très intéressant de se tourner vers la solution du ballast électronique à préchauffage si le nombre de cycles d'allumage et d'extinction est de plus de deux par jour, ce qui permet de ne pas influencer la durée de vie de la lampe. Cependant, si la lampe reste allumée durant de longues périodes (8 à 10 heures), on peut alors choisir un ballast électronique sans préchauffage car il consomme un peu moins que le précédent et est moins cher à l'achat.
Attention : seuls les ballasts électroniques à préchauffage permettent la variation de courant (dimmer).

3.2 : Les luminaires

3.2.1 : Brève histoire du luminaire

« *Au début du 20^{èllie} lorsque les installations électriques commencent à entrer dans les demeures, le public se voit dépendre d'un organisme central de distribution. Il s'agit maintenant de faire oublier l'origine industrielle des lampes en les dotant de formes agréables. On pose des petits rideaux autour des sources de lumière pour en adoucir l'intensité. « L'abat-jour devint une sorte de carrosserie sous laquelle se cachait la machine hideuse mais nécessaire» ... l'abat-jour doit, de son côté, empêcher l'industrie de pénétrer dans l'appartement ou du moins adoucir ses effets*. (…)
L'Américain Tiffany est l'un des premiers à faire s'épanouir cet «emballage de lumière». Il conçoit des abat-jour de verre dont les couleurs semblent redonner à l'éclairage artificiel un corps mouvant. »

L'histoire du luminaire a donc commencé.
Des dizaines de créateurs ont, depuis plus d'un siècle imaginé des «emballages de lumière» pour toutes les sources entrant successivement sur le marché.
Il faut citer l'attitude particulière de l'école du Bauhaus.
«*Si on étudie les lampes du Bauhaus on remarque l'utilisation fréquente de tubes fluorescents. W. Schivelbuch (31) explique que ce design tubulaire est au goût du jour, on préfère les éléments dynamiques linéaires en forme de barreau, c'est l'époque des tubes pneumatiques et des meubles en tubes. Au nom de la Nouvelle Objectivité on crée surtout des lampes éclairant les salons de manière aussi crue que les lampes de bureau ou d'usine.* »

«*L'historien d'art suisse S. Giedion ... veut mettre un terme à cela ...il élabore des lampes dont l'abat-jour devient réflecteur retourné qui renvoie la lumière sur le mur ou le plafond. L'objectif est de disposer l'espace de manière globalement perceptible, de «l'homogénéiser» en quelque sorte*.»
Ainsi avant les années 40 les notions d'éclairage diffus (par les abat-jour) et indirect (par les réflecteurs retournés) sont déjà exploitées.

C'est après 1960 que la lumière directe projetée sur l'objet à éclairer trouve un support commercial cohérent. En effet le projecteur, s'il équipe les théâtres et les plateaux de cinéma, n'entre pas encore dans les projets d'éclairage des lieux de vie ou de travail.
« *Il faut voir l'apparition de systèmes d'éclairage sur rail après 1960 dans le contexte d'une époque éprise de technique et de fabrication de série. Le classement en séries et la standardisation deviennent des principes industriels mais aussi artistiques. Les systèmes d'éclairage sur rails créés par la maison Erco et surtout utilisés dans l'industrie se caractérisent par une recherche de l'unité de l'ensemble et de la flexibilité dans le détail, un genre de structuralisme technique.*»

Depuis les années 70 les recherches des fabricants de sources se sont axées principalement sur leur miniaturisation et sur les économies d'énergie.
La lampe de bureau « Tizio » de Laper entre avec succès sur le marché en 1970, elle contient le transformateur dans son socle. Depuis cette époque cette petite source de lumière envahit nos univers. Son alimentation basse tension permet aux créateurs d'imaginer les systèmes à câbles tendus merveilleusement initiés par le Yayaho d'Ingo Maurer (1984).

La miniaturisation de sources n'a résolu en rien le problème de leur consommation d'énergie.
« *Le matériel, plus fin, donne l'impression de faire des économies d'énergie, mais le gaspillage énergétique reste presque aussi important. Le rendement tout comme la résistance, a considérablement augmenté avec la miniaturisation des ampoules, mais, en fin de compte, l'économie réelle de courant par rapport aux ampoules normales ne s'élève qu'à 8 %. Et le-public paye sans broncher vingt fois le prix d'une ampoule normale pour ces systèmes à basse tension qui éveille l'illusion d'être économique et que les consommateurs utilisent en toute bonne fois. On oublie aussi de mentionner les nombreux métaux bruts très chers qui se cachent dans les transformateurs et finiront dans les centres d'incinération, alors qu'il s'agit de déchets à traiter spécialement*.»

Actuellement la miniaturisation atteint un niveau inattendu par l'arrivée sur le marché de l'éclairage public et privé des diodes électroluminescentes (LED).
Elles donnent aux créateurs l'occasion d'enfermer (même de noyer) ces sources dont la durée de vie vient égaler celle du liminaire qui la contient.

3.2.2 : Les caractéristiques d'un luminaire

Ce paragraphe traite des luminaires équipant les espaces de travail.
Les luminaires dits «décoratifs», présents dans les espaces privés, assurant une lumière dite «d'ambiance» sont choisis de manière plus subjective.
La qualité de l'objet éteint par exemple reste un critère essentiel de choix.
Les caractéristiques développées ici peuvent néanmoins servir de guide.

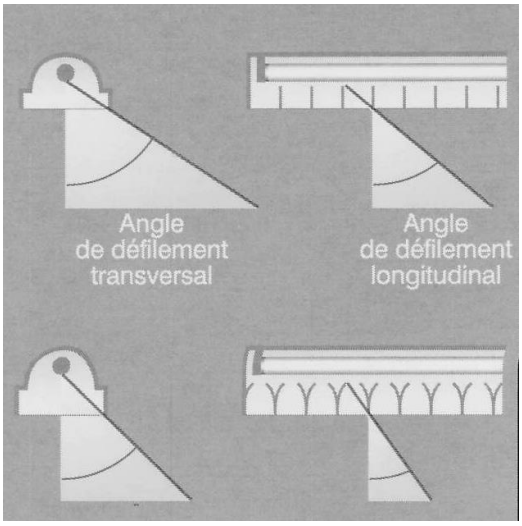
Les principales caractéristiques d'un luminaire peuvent être envisagées en trois catégories :
1- Photométriques
- Le rendement
- La protection contre l'éblouissement
- La distribution lumineuse (diagramme polaire)

2- Liées à la protection contre l'environnement
3- Liées à la sécurité électrique

3.2.2.1 : Le rendement
Aucun luminaire ne restitue à 100 % la lumière émise par les lampes qu'il supporte. Une part importante de cette lumière va être absorbée par ses éléments et transformée en chaleur. On parle alors de rendement d'un luminaire.
Le rendement inférieur (supérieur) d'un luminaire est le rapport du flux lumineux hémisphérique inférieur (supérieur) émis par le luminaire au flux lumineux des lampes fonctionnant hors du luminaire.
Le rendement d'un luminaire se situe entre 45 et 90 %. Il peut donc avoir un impact important sur la consommation d'énergie de l'installation d'éclairage. Il
Le rendement d'un luminaire sera d'autant plus bas que l'on s'attachera à mettre des éléments (ventelles, globe opalin ou prismatique) devant les lampes afin d'éviter l'éblouissement ou pour rendre le luminaire hermétique.
De plus, la qualité du matériau utilisé comme réflecteur ou diffuseur a une influence importante sur le rendement du luminaire.

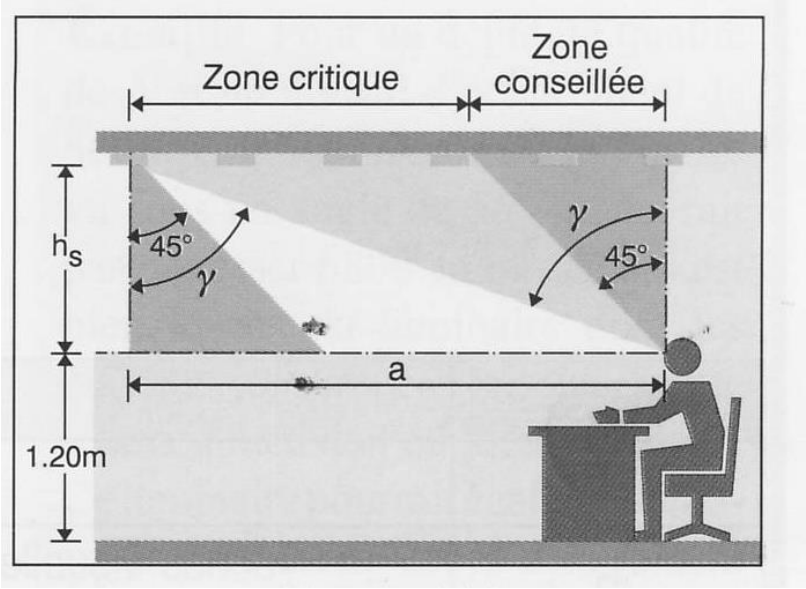
3.2.2.2 : La protection contre l'éblouissement
L'éblouissement direct d'un luminaire dépend de
- la luminance de la source et de l'appareil
- du contraste entre le luminaire et le fond sur lequel il se détache
- de la position de l'observateur

Les luminaires des espaces de travail sont conçus de manière à éviter autant que possible la vision directe vers la source (tube ou ampoule).
On définit l'angle de défilement d'un luminaire comme l'angle sous lequel la source nue ne peut être vue par l'observateur.



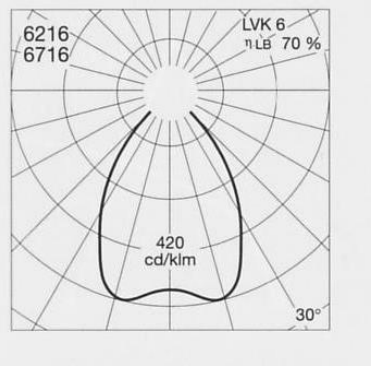
Le réflecteur d'un luminaire performant réfléchit la lumière de la source et possède dès lors une haut coefficient de réflexion. Ce qui conduit à des luminances élevées.
On définit, une luminance moyenne et une luminance de crête (taches lumineuses ponctuelles sur le réflecteur).
Les fabricants de luminaires proposent des appareils dits « à basse luminance » pour lesquels la luminance moyenne (en dehors de l'angle de défilement !) ne dépasse pas 200cd/m^2
Ces appareils sont notamment conseillés pour éviter les reflets sur les écrans d'ordinateurs.

En pratique l'expérience montre que par rapport aux yeux d'un observateur assis (h =1,2m) le luminaire sera d'autant moins gênant qu'il se trouve au dessus de sa tête, ou suffisamment éloigné pour se trouver hors angle de défilement.
La figure ci-dessous résume ce constat.

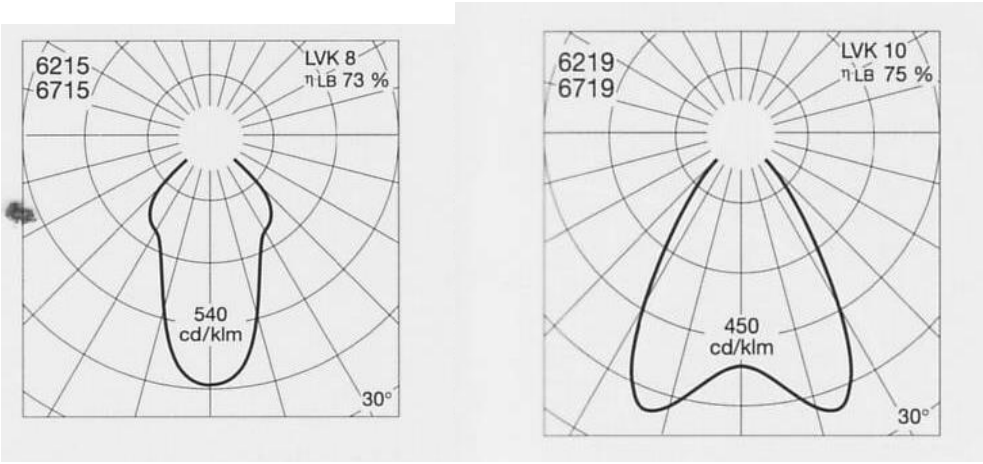


3.2.2.3 : La distribution lumineuse

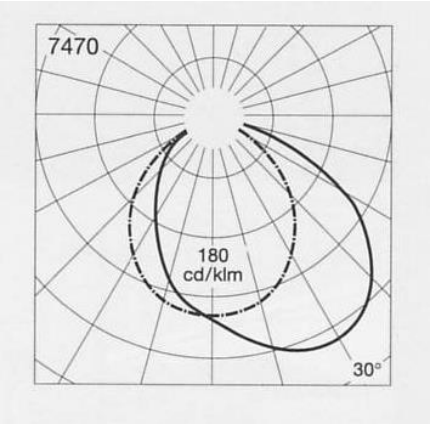
La distribution spatiale lumineuse d'un luminaire est décrite sous forme de diagramme polaire d'intensité lumineuse.
La distribution de l'intensité lumineuse est donnée en cd/1000 lumens du flux nominal de la lampe. Le diagramme donne les intensités dans deux plans passant par le luminaire, le plan C_{90}-C_{270} et le plan C0-C180.
Si la distribution lumineuse d'un luminaire est à symétrie de révolution, celle-ci n'est donnée que dans un seul plan C. Le diagramme d'intensité lumineuse donne alors une idée globale de la forme de la distribution lumineuse du luminaire.



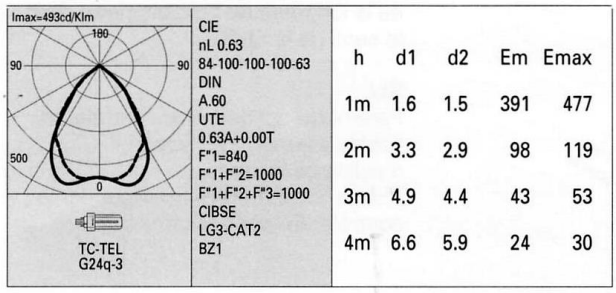
Parmi la grande diversité de formes dans les diagrammes polaires, on peut distinguer les distributions intensives et extensives



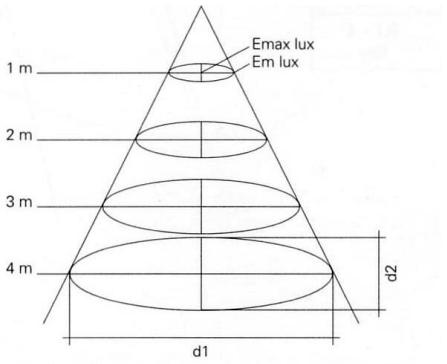
Et également asymétriques



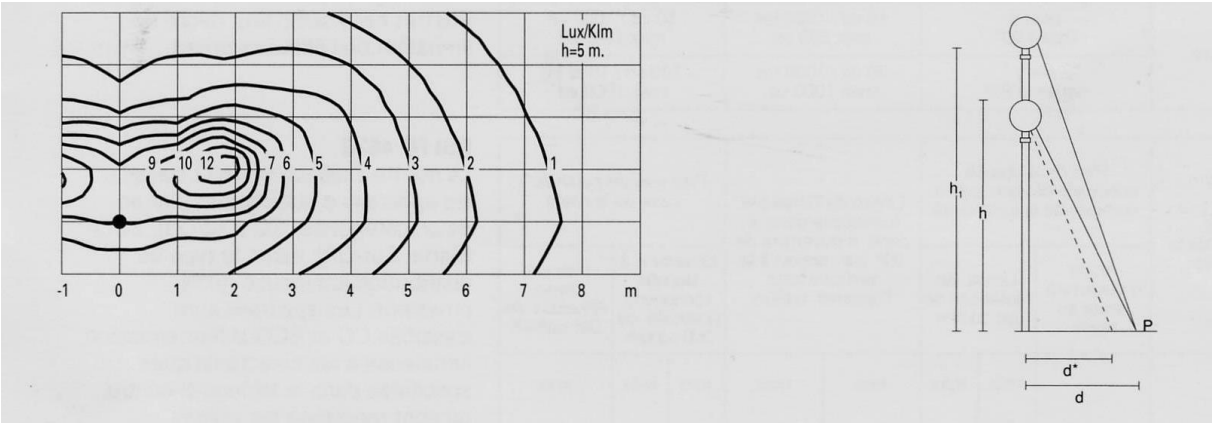
Certains fabricants présentent, dans leur catalogue, le cône de lumière de leurs appareils, il indique les valeurs d'éclairement moyen et maximum de l'émission lumineuse mesurées sur les sections horizontales placées à différentes distances de l'appareil.
En cas de section circulaire, d est son diamètre. En cas de section elliptique, d1 et d2 sont les axes respectifs.



h	d1	d2	Em	Emax
1m	1.6	1.5	391	477
2m	3.3	2.9	98	119
3m	4.9	4.4	43	53
4m	6.6	5.9	24	30



En éclairage extérieur de diagramme des courbes isolux sont généralement fournies également. Ce diagramme illustre les courbes joignant les points du plan du sol ayant les mêmes valeurs d'éclairement horizontal.
Les données indiquées dans le catalogue ont été calculées pour une hauteur de référence de l'appareil et pour un flux lumineux égal à 1000 lumens.



3.2.2.4 : La protection contre l'environnement

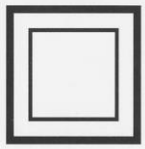
Les luminaires sont classés en fonction du degré de protection contre la pénétration des poussières, des corps solides et de l'humidité.

Degré de protection	Protection contre les corps solides	Degré de protection	Protection contre les liquides
IP1x	Protégé contre les corps solides supérieurs à 50 mm.	IPx1	Protégé contre les chutes verticales de gouttes d'eau.
IP2x	Protégé contre les corps solides supérieurs à 12 mm.	IPx2	Protégé contre les chutes d'eau pour une inclinaison maximale de 15°.
IP3x	Protégé contre les corps solides supérieurs à 2,5 mm.	IPx3	Protégé contre l'eau "en pluie".
IP4x	Protégé contre les corps solides supérieurs à 1 mm.	IPx4	Protégé contre les projections d'eau
IP5x	Protégé contre la poussière	IPx5	Protégé contre les jets d'eau.
IP6x	Totalement protégé contre la poussière	IPx6	Protégé contre les paquets de mer.
		IPx7	Protégé contre les effets d'immersion.

Le premier chiffre suivant l'inscription IP (indice de protection) représente le degré de protection vis-à-vis des corps solides et des poussières. Le second chiffre représente le degré se protection vis-à-vis des liquides.

3.2.2.5 : La protection électrique

La classification électrique des luminaires est réalisée en fonction de la protection contre les chocs électriques.

Classification	Exigences électriques	Conséquence d'un éventuel défaut d'isolement
Classe 0	Interdite en Belgique, comme dans la majorité des pays européens. Séparation des parties sous tension par une seul isolation, dite isolation principale. La sécurité repose sur l'environnement.	En cas de défaut d'isolement, la protection de la personne touchant l'appareil repose sur l'environnement (par exemple sol isolant).
Classe I  Exemple : luminaires traditionnels que l'on trouve dans les bureaux.	Séparation des parties sous tension par une seule isolation dite isolation principale. Les parties métalliques accessibles sont reliées à une borne de terre. La sécurité est assurée par la qualité du circuit de terre et un disjoncteur différentiel.	En cas de défaut d'isolement, la protection de la personne qui touche l'appareil repose essentiellement sur la qualité du circuit de mise à terre.
Classe II  Exemple : luminaires en PVC.	Une tension supplémentaire ou renforcée est ajoutée à l'isolation principale. Des matériaux à plus grande résistance d'isolement sont utilisés.	Du fait de la double isolation, un défaut d'isolement ne peut pas se produire et la personne qui touche l'appareil n'est pas en danger.
Classe III  Exemple : luminaires pour enfants ou luminaires halogènes basse tension.	L'alimentation est réalisée en très basse tension de sécurité ; le circuit est isolé du réseau et la tension est inférieure à 50 V.	En principe, cet appareil ne pose pas de risques électriques.

3.3 Dimensionnement de l'éclairage artificiel

Le dimensionnement de l'éclairage artificiel revient à déterminer le nombres de luminaires et la puissance des sources qu'ils contiennent.
Les logiciels de calcul se basent tous une la même méthode de calcul explicitée clairement dans la norme NBN L14-002 *Méthode de prédétermination des éclairements, des luminances et des indices d'éblouissement en éclairage artificiel d'espaces clos*.

La figure ci-dessous résume bien le principe de l'éclairage d'un espace à partir d'une source de lumière unique.

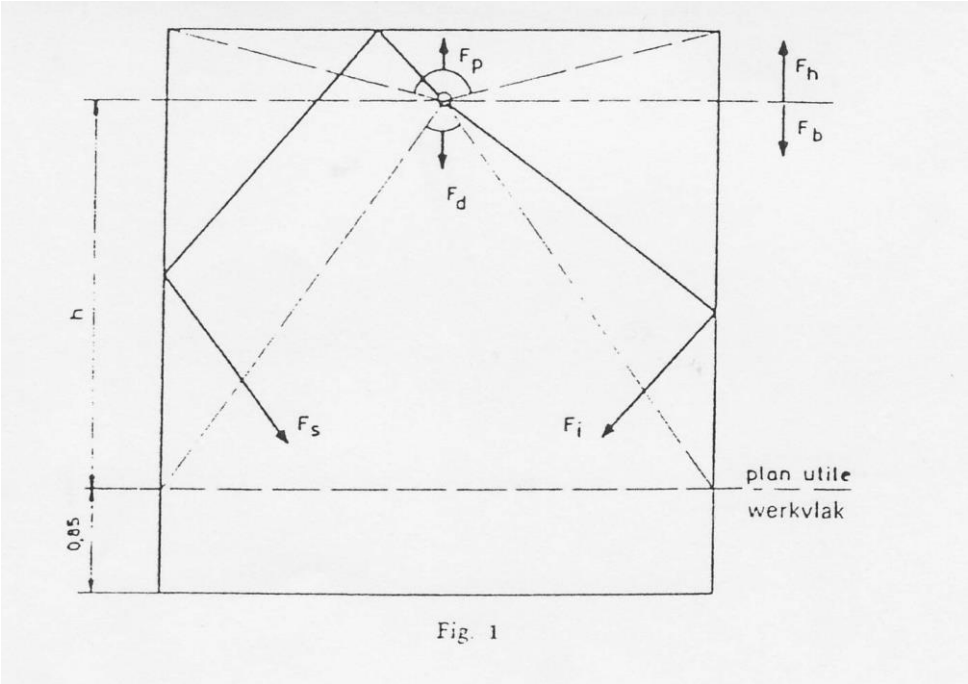


Fig. 1

La lumière utile est composée de trois flux : Fu = Fd, Fi, Fs
Le flux total des sources : Ft = Fh + Fb

Rappelons que la première loi de la photométrie s'énonce comme suit :

E = F/S

E = éclairement reçu sur la surface éclairée (lux)
F = flux émis par la source (lumen)
S = aire de la surface éclairée (m2)

L'éclairement est recommandé en fonction de la tâche à accomplir
La surface correspond à la zone de travail
Dans un cas pratique le flux correspond au flux utile à déterminer = Fd + Fi +Fs

Le rapport entre le flux utile (atteignant effectivement le plan de travail) et le flux total des lampes est appelé facteur d'utilisation (U)
Il est fourni par le fabricant du luminaire.

U = Fu/Ft

Le facteur d'utilisation dépend des caractéristiques du luminaires, de l'indice de forme du local k (caractéristique de sa géométrie) et des coefficients de réflexion des parois du local.

$$k = ab/h(a+b)$$

a = largeur du local
b = longueur du local
h = hauteur utile qui correspond à la distance verticale entre le centre lumineux du luminaire et le plan de travail

Dans un cas concret la formule de base

$E = F/S$ ou $F = E \times S$

devient $n \times U \times Ft = E \times a \times b$

n = nombre d'appareils

Il est toujours nécessaire de tenir compte d'un coefficient de maintenance d afin de tenir compte des pertes dues à l'encrassement du matériel. Plus le facteur d est faible plus la perte est importante.

Le dimensionnement de l'éclairage artificiel se résume dès lors au calcul suivant :

$$n : \frac{E \times a \times b}{Ft \times U \times d}$$

Afin d'assurer un confort visuel adapté, le dimensionnement doit être complété par un contrôle de l'uniformité d'éclairement et de non éblouissement

Chapitre 4 : Lumière et espace

Le chapitre I nous a permis d'approcher la nature de la lumière ainsi que les lois qui en régissent les phénomènes physiques.
A Lurçat a écrit : «la lumière naturelle est, dans l'architecture, ce qui reste». Cette lumière là, complexe par ses variations de direction, de couleur et d'intensité, inonde nos espaces selon divers principes énoncés au chapitre II.
Depuis près d'un siècle l'architecte peut concevoir la mise en lumière des espaces, la nuit, grâce aux sources électriques. La grande diversité des systèmes d'éclairages artificiels est étudiée au chapitre III.

Toutes ces « informations » quantitatives ne sont pas suffisantes pour permettre au concepteur lumière ou à l'architecte de créer des ambiances ou atmosphères de qualité. C'est l'expérience accumulée qui va fournir au praticien les outils nécessaires pour constituer un «catalogue de références» d'ambiances ou d'atmosphères. Les différents supports (photographies, images de synthèse, dessins, maquettes, …) ne sont d'ailleurs jamais qu'une réduction de la référence elle-même vécue avec tout le corps.

Ce quatrième chapitre vise à approcher au mieux cette notion de mise en lumière, d'amviance, d'atmosphère.
Henry Alekan écrit dans son ouvrage «des lumières et des ombres» : «La lumière crée le climat physique objectivement et subjectivement, car ce qu'il est convenu d'appeler «atmosphère» n'est autre que la correspondance entre le physiologique et le psychologique, l'un étant le support et l'autre l'émanation, tels le parfum et l'odeur. »

Des images sont présentées au cours et constituent un complément indispensable à ce chapitre.

Naturelle et artificielle

Réfléchir à la lumière c'est poser un choix entre deux à priori.
D'une part considérer que la lumière est une donnée universelle, un acquis, un du, un préalable à tout acte créatif, à toute activité, comme la présence de l'air que l'on respire. Et avec laquelle « inévitablement » on élabore un projet.
D'autre part, et c'est ce choix que je propose, envisager la lumière comme un cadeau (du ciel). Regarder que c'est de la nuit, de l'obscurité originelle que naît encore la lumière chaque jour au petit matin. La nuit, l'obscurité, cette absence de lumière c'est la grande ombre que notre terre elle-même projette sur notre lieu à vivre.
Sans lumière, rien de visible. Il faudra donc attendre le matin pour que les choses se révèlent à nos yeux. Sans lumière, pas de paysage, pas d'architecture.

Parmi les architectures remarquables – indissociables de la lumière toujours remarquable qui les baigne – les lieux sacrés (églises, cathédrales, mosquées, synagogues …) représentent des lieux privilégiés où la lumière s'exprime comme symbole du divin. L'évolution du roman au gothique naît du souhait de faire entrer la lumière dans les édifices.
Au 20ème siècle aussi les églises remarquables sont des lieux de lumière.
La chapelle de Ronchamps, la chapelle de La Tourette, la chapelle sur l'eau ou l'église de la lumière sont de merveilleux exemples de lieux de lumière.
Analyser ces architectures c'est toujours analyser leur lumière ; de nombreux écrits en témoignent
Les « belles lumières » ne sont pas (heureusement) réservées aux lieux sacrés. Les bons architectes s'en soucient toujours. Rares sont (malheureusement) les écrits qui relatent l'élaboration consciente d'un « projet de lumière ».
Louis Khan qui utilise le mot *offrande* pour désigner *l'expression vraie* du *bon* architecte[1], nous laisse, comme un présent des écrits qui nous éclaire sur la manière sensible avec laquelle il considère la lumière.

En choisissant la nuit comme origine (c'est peut-être une déformation de concepteur lumière), la lumière naturelle et la lumière artificielle, dans l'espace, sont sœurs, mais pas jumelles !
Martine Bouchierpropose le « *dispositif* » comme schéma d'analyse d'une mise en lumière : « *Les dispositifs de lumière articulent trois éléments principaux qu'ils font jouer ensemble. Ce sont d'abord deux pôles spatialement opposés, une source naturelle ou artificielle qui constitue le facteur le plus fondamental en ce qu'en elle s'origine le processus de spatialisation et de perception, un mur ou un écran de projection ensuite, qui referme le système sur lui-même en arrêtant le faisceau de lumière. Mais il n'y aurait pas de distinction entre les mises en œuvres scientifiques, artistiques et architecturale si un tiers ne venait s'immiscer dans ce face à face somme toute assez neutre qui reproduit à petite échelle le soleil éclairant la terre. Placé dans le rayon de lumière, intercalé entre source et écran, ce nouveau « personnage » dont la forme et la nature constamment, tient un rôle primordial car il est à l'origine de jeux d'ombres, de reflets, de couleurs ou du mélange simultané de tous ces phénomènes. Selon les domaines, l'organisation interne de ce type de dispositif change, mais quelle que soit la finalité, la position relative des trois éléments relèvent toujours d'une combinatoire mettant en scène, la source, l'écran et le corps placé dans l'intervalle. ».* [2]
En regard de ce dispositif le soleil et l'ampoule jouent le même rôle.
La différence première qui les distinguent est la position de la source : toujours extérieure à l'espace pour la première elle se retrouve intérieure pour la seconde.

[1] 16, p.82
[2] 26, p.76

Mais l'architecte sait que ces deux sources n'ont pas la même valeur.
Kahn, qui dans son ouvrage *Silence et Lumière* fait l'éloge de la lumière naturelle, écrit :
« *Comment peut-on imaginer construire des espaces qui ne voient pas la lumière naturelle ? (…) A l'intérieur d'un bâtiment, ce qu'il y a de plus merveilleux, ce sont les atmosphères que la lumière confère à l'espace. L'ampoule électrique combat le soleil. Pensez-y* ».[3]
Il peut être plus radical encore : « *Quand je vois un plan qui essaie de me vendre des espaces sans lumière, je le rejette tout bonnement, sans même réfléchir, parce que je sais que c'est mauvais. Ces faux prophètes, tout comme les écoles qui n'ont pas de lumière naturelle, sont définitivement non architecturaux. Comme j'aime à le dire, ils appartiennent au commerce de l'architecture mais pas à l'architecture elle-même.* »[4]
Dans le chapitre « *vouloir être* », il ajoute : « *Le plan d'un bâtiment doit se lire comme une harmonie d'espaces dans la lumière. Même un espace prévu pour être obscur doit avoir, grâce à quelque ouverture mystérieuse, juste assez de lumière pour nous montrer combien il est sombre. Chaque espace doit se définir par sa structure et le caractère de sa lumière naturelle* ». [5]

Est-ce que Le Corbusier voulait dire autre chose ? : *« L'architecture est le jeu savant, correct et magnifique des volumes sous la lumière, les ombres et les clairs révèlent les formes, …* »[6]

<u>Naturelle</u>

La lumière naturelle vient du dehors de l'espace, elle fait de la prise de jour (la fenêtre) une source qu'on peut appeler secondaire.
Quelle conscience de cette lumière a l'architecte quand il choisit de « percer » le mur à cet endroit précis?
Est-ce cette lumière qui le guide où d'abord la nécessité de « voir dehors », de mettre le dedans en relation avec le dehors ? La fenêtre c'est la relation au monde extérieur.
« Au début, les murs étaient épais. Ils protégeaient l'homme. Celui-ci éprouva le désir de la liberté et la promesse du monde extérieur. Il fit d'abord une ouverture grossière (…)[7] »

Dans le catalogue de l'exposition « Paris sous verre », Daniel Payot, professeur de philosophie de l'art, propose une analyse de la fenêtre comme acteur écologique : *« La baie vitrée est d'abord un organe respiratoire : l'une des machines devant assurer et favoriser les échanges vitaux entre le lieu habité et l'environnement ouvert dans lequel il prend place. Le verre dit ici qu'il existe un espace du commun, que les aires réservées ou privées sont circonscrites, découpées sans un tissu d'espace qui appartient à tous et à personne, qu'aucune délimitation ne peut se prévaloir d'un nécessité simplement naturelle. Le lieu propre vit de la lumière, des sons, de la rumeur qui lui viennent de ce dehors libre, il persévère dans son être en demeurant ouvert, réceptif à ces venues hétérogènes. Le verre sert à formuler la protestation contre les repliements, les surdités, les refus de voir et d'entendre, les incarcérations volontaires, les étouffements perversement désirés. Il manifeste la communauté, il la fait entendre, sentir, deviner comme on devine sous nos fenêtres, à de subtiles variations d'intensités lumineuses ou phoniques, que dans la rue, en bas, quelque chose se passe. »*[8]

[3] 16, p.216
[4] 16, 164
[5] 16, p.192
[6] 21, p.16
[7] 16, p.218
[8] 54, p. 195

Henri Alekan, dans son œuvre magnifique de chef opérateur, choisit la maîtrise de la lumière. Les films qu'il a mis en lumière l'attestent. Il l'exprime en ces termes : *« L'art du cinéaste en extérieurs est de savoir où, quand, comment son thème pourra s'insérer dans une lumière naturelle dont il n'a pas la maîtrise. (…) Pour les cinéastes, l'utilisation de la lumière artificielle — par son extrême fiabilité devrait leur permettre d'étendre le champ inexploré de la lumière et des ombres hors du solaire avec toutes les implications dramaturgiques et psychologiques qui y sont contenues.»*[9]

Dans quelle mesure la lumière naturelle, en architecture peut-elle être maîtrisée ?
Martine Bouchier, en se référant à son concept de *dispositif de lumière* donne un élément de réponse : « *On comprend donc comment l'architecture se différencie des autres arts en étant à la fois le corps qui construit la source de lumière et qui en interrompt le flux*. » [10]

Louis Kahn avait déjà répondu dans le même sens en déclarant que *la structure fait la lumière*.
Plusieurs extraits de son ouvrage sont éloquents :
« Lorsque vous voyez une série de colonnes, vous pouvez dire que le choix des colonnes est un choix de lumière. Les colonnes sont des solides qui encadrent les espaces de lumière. »[11]
« *Une colonne et une colonne créent la lumière entre elles. C'est ombre-lumière, ombre-lumière, ombre-lumière, ombre-lumière*. » [12]
« *C'est la structure qui fait la lumière. Un bâtiment carré est construit comme un carré et sa lumière doit mettre en évidence le carré.* »[13]
« Une pièce carrée demande sa propre lumière pour que le carré soit lisible. Elle demande que la lumière vienne, soit d'en haut, soit des quatre côtés, par des fenêtres ou des entrées. »[14]
« *(…), on peut dire que le plan est « la structure des espaces dans leur lumière ». Si vous considérez que la structure est le faiseur de lumière, c'est parce qu'elle libère les espaces interstitiels et cela donne de la lumière*. »[15]
« L'intérieur donne sur un mur dont la lumière est contrôlée ainsi que l'éblouissement de l'extérieur. Je suis sûr qu'à cause de cela, la pièce n'aura pas besoin de stores ni d'autres équipements de ce genre. C'est un principe architectural et non un élément rapporté comme un accessoire qui par la suite peut s'abîmer ou être mal utilisé. »[16]

Si Martine Bouchier, architecte, docteur en esthétique et pédagogue, fascinée comme nous par le travail de la lumière chez Kahn, l'identifie comme une vraie *maîtrise*, le grand maître, lui, écrit le *plaisir* de l'*imprévisible.*
« Kahn s'approprie la source de lumière, la manipule et la guide jusqu'au plus profond de l'espace. Travailler la lumière, c'est maîtriser le déplacement du soleil, l'alternances des lumières diurnes et nocturnes, la chaleur du rayonnement solaire, c'est en quelque sorte capter le passage du temps. »[17]

[9] 7, p. x
[10] 26, p.83
[11] 16, p.111
[12] 16, p.218
[13] 16, p.160
[14] 16, p.225
[15] 16, p.276
[16] 16, p.148
[17] 26, p.93

« Parmi les éléments de la pièce, la fenêtre est le plus merveilleux. Le grand poète américain, Wallace Stevensn stimulait l'architecte en demandant : « Quelle tranche de soleil votre bâtiment a-t-il ? » Pour paraphraser : quelle tranche de soleil entre dans votre pièce ?quelle gamme d'atmosphère la lumière lui offre-t-elle du matin au soir, de jour en jour, de saison en saison et tout au long des années ?
Les permissions que l'architecte a données à l'ouverture choisies sont imprévisibles et sources de plaisir, des éclats de soleil jouent sur le montant et l'appui, entrent, bougent et disparaissent.
Stevens semble nous dire que le soleil n'avait pas conscience de ses propres merveilles avant de frapper le côté d'un bâtiment. »[18]

La question de la quantité de lumière naturelle

La quantité de lumière se mesure par le niveau d'éclairement (Chapitre1)
Les espaces de travail (bureaux, écoles, ateliers, …) requiert des niveaux d'éclairements liés à la tâches à accomplir. Ces niveaux doivent être atteints quelle que soit l'heure, l'éclairage artificiel est calculé pour prendre le relais de l'éclairage naturel.
Dans les logements, la notion de fonctions n'est pas absente du projet. La cuisine, n'est pas une chambre qui n'est pas un hall qui ne peut devenir une salle de bain. Et dans tous ces espaces : des tâches à accomplir aussi.
Ainsi la cuisine est souvent très claire, le séjour sans doute aussi. On accepte, pour un hall, antichambre des espaces de vie, qu'il soit plus sombre.
Quelle loi peut guider l'architecte dans le dimensionnement des fenêtres de tous ces espaces de vie ? Elle n'existe pas parce qu'une fenêtre c'est bien plus qu'une prise de lumière. C'est bien sûr le lieu du regard vers le dehors, mais c'est aussi le lieu privilégié d'échange de chaleur et de sons avec l'extérieur.
Et l'architecte fait la synthèse de tous ces paramètres en sachant que c'est la fonction de l'espace qui commande sa lumière sans faire l'apologie ni de clarté ni de l'obscurité.

Henri Gaudin, (architecte, auteur de La cabane et le labyrinthe), aborde ici l'espace à partir de la dualité clarté – obscurité, ombre – lumière.
« Qu'il nous faille obscurcir est notre fatalité. (…) On sait combien l'aspiration moderniste à la clarté a pu décharner le monde. La raison devait chasser les monstres engendrés par la nuit de l'obscurantisme, le soleil se lèverait sur les tours étincelantes se dressant dans les parcs, les plans seraient libres. Comme la station debout était une étape décisive de l'ascension humaine, les tours dressées au ciel seraient l'accomplissement de l'architecture. La clarté est la lumière de ce qui s'élève. L'architecture moderne s'extrayait des brumes de l'ambiguïté, des bas-fonds terrestres, du marigot des villes, des fagots épineux de nos desseins, des labyrinthes de nos désirs et des replis bizarres des géographies. Or, faire la chasse aux ombres, n'est-ce pas tuer la présence ou se départir de tout contact, tendre les surfaces, disperser des constructions sur les aires de bitume des parkings, nous priver de lieux ? (…) Telle est aussi notre intime tâche – de même l'ombre à la clarté des édifications, car il faudra toujours quelque lieu pour nous accueillir, quelque pli pour nous abriter, quelque mur pour nous envelopper. Ouvrir des seuils est notre heureuse fatalité, creuser dans l'opacité d'un mur et écarter quelque espace pour nous recevoir. D'où la proximité immédiate de l'absence et de la présence - du vide et du plein, de la lumière et des demi-teintes, des parements de maçonnerie et des vitrages, des noirs intenses, des profondeurs et des clartés des dehors et des dedans. (…) Comment chasser les ombres sans chasser la présence ? » [19]

[18] 16, p226
[19] 2, p.64, 65

Artificielle

La lumière artificielle, elle, trouve sa source à l'intérieur de l'espace.
Elle nous donne à voir l'espace autrement qu'à la lumière naturelle.

Si la position de la fenêtre engendre d'emblée une hiérarchie de clarté entre l'espace « près de la fenêtre » et le « fond de la pièce », l'éclairage artificiel offre le choix d'une autre hiérarchie.
C'est ainsi que l'espace se donne à voir autrement.

« *La perception d'un espace reste relativement constante, même si le niveau d'éclairement passe objectivement du simple au décuple et plus. (…) La perception d'un même espace changera, en revanche lorsqu'on fera varier la luminance ou l'éclairement de certains des objets et éléments qui le définissent tout en conservant les autres. Dans le langage courant on parle de « changement d'ambiance », ce qui dénote bien une mutation qualitative dans laquelle la quantité de lumière n'entre que de manière secondaire. Ainsi la chambre éclairée de jour par ses fenêtres n'est pas le même espace que lorsqu'elle est éclairée artificiellement de nuit.* »[20]

Un projet de mise en lumière artificiel – on préfèrera le terme de mise en lumière à celui d'éclairage – revient à créer une hiérarchie d'exposition à la lumière et donc de perception des éléments de l'espace.

Pierre Von Meiss explicite bien la notion de mise en lumière (qui a fait l'objet de l'introduction générale de ce cours) : « *Puisque la lumière nous vient des choses, nous ne faisons pas la distinction habituelle et technique entre source effective de lumière (une lampe, une fenêtre) et la lumière réfléchie par l'objet ou la surface éclairés, qui deviennent à leur tour des sources plus faibles. Cette intégration des phénomènes de source et de réflecteur en un seul concept est capitale pour la composition spatiale au moyen de la lumière* »[21]

Existe-t-il différents *types* de mise en lumière artificielle ? Ou, comme les nomme Von Meiss *différentes conditions typiques d'éclairage* ?
La réponse est oui, mais comment les distinguer puisque c'est leur combinaison - harmonieuse ou pas - qui crée l'atmosphère (l'ambiance).

La première étape du processus d'un projet de mise en lumière revient à poser une question, première, évidente : « qu'est ce que je veux voir ? », ou « qu'est ce que je veux mettre en lumière ? », « qu'est ce que je veux éclairer ? »
La deuxième étape c'est : « qu'est ce que je veux d'abord voir ? » (la hiérarchie)
La troisième étape peut se formuler ainsi « comment je veux que se voit ce que j'éclaire ? »

Des réponses à ces questions découleront les *conditions typiques d'éclairage* ou les *types* de mise en lumière.
Pierre Von Meiss (architecte), propose, comme pédagogue une classification intéressante :
« *Nous abordons la question à partir de quatre conditions typiques d'éclairage - l'espace-lumière, la lumière à caractère d'objets, la lumière de séries d'objets et la lumière des surfaces -- tout en étant conscients que de nombreuses combinaisons sont possibles.* »[22]

[20] 8 p.133
[21] 8 p.134
[22] 8, p.134

Nous tentons ici de proposer une distinction des différents types de mise en lumière en fonction de leur impact sur la lecture de l'espace. Des recoupements avec la proposition de Von Meiss seront relevés.

La lumière unifie l'espace.

Ce rôle particulier joué par la lumière peut être opposé au suivant où la lumière « divise » l'espace.

La lumière peut remplir le volume, habiller ses limites ou certaines de ses limites (le plus souvent les murs). On peut concevoir que plus cette « enveloppe » ou « ceinture » fictive de lumière - de grande clarté ou de pénombre - est uniforme plus le regard embrassera l'espace dans sa globalité. Le terme « unifier » est utilisé dans le sens de « rassembler dans des limites ». L'unité spatiale, qualité majeure d'un volume construit, existe, bien sûr, au-delà de cette notion.

Afin d'obtenir une lumière égale, uniforme, à partir de sources ponctuelles, les surfaces réceptrices – comme les murs – doivent agir comme diffuseurs efficaces sur tout le périmètre de l'espace à unifier. L'expérience montre que la mise en lumière des parois limitant un espace joue un rôle sécurisant.

Si les parois sont fortement éclairées l'espace paraît moins vaste (ou plus réduit). En effet une surface éclairée apparaît plus grande qu'une surface sombre, elle a tendance à se rapprocher du regard.

En plaçant les murs dans la pénombre, par le seul éclairage du sol et (ou) du plafond, ils sont « gommés » et n'offrent plus de repères pour évaluer objectivement les dimensions de l'espace.

« *(…) un plafond noir le* (l'espace) *fera par exemple paraître légèrement plus haut qu'un plafond blanc* »[23]

La lumière divise l'espace

La lumière peut différencier des espaces à l'intérieur d'un volume simple. L'espace n'est plus lu dans sa globalité.

Cette notion rejoint celle *d'espace lumière* définie par Von Meiss comme une des quatre *conditions typiques d'éclairage*.

« *L'espace-lumière est un espace fictif qui se crée lorsqu'une portion d'espace est bien éclairée alors que le reste est laissé dans la pénombre ou dans l'obscurité. Les limites sont fictives, mais parfaitement perceptibles. S'il est situé à l'extérieur de la zone éclairée, l'observateur la voit comme « une boîte transparente dans la grande boîte ». La petite boîte éclairée concentre son attention. S'il est situé à l'intérieur de la petite boîte éclairée, l'espace dans la pénombre prend alors des dimensions imprécises jusqu'au point de cesser d'existe* . »

Dans le quotidien la lumière d'une lampe de bureau qui circonscrit la zone de travail en est un bon exemple.

Une grande hauteur sous plafond dans un espace du vie, vécue comme généreuse (ou comme presque trop haute) le jour peut demander à disparaître le soir. La création d'un espace lumière d'une hauteur plus « modeste » participe de l'intimité du lieu la nuit.

Dans les espaces de vie ce *type* d'éclairage participe de la singularité de l'atmosphère par la mise en lumière de « morceaux choisis » de l'espace.

La lumière souligne une direction

L'alignement de luminaires suspendus au dessus de l'allée de la nef centrale d'une église accentue le cheminement vers le chœur. La direction inscrite dans le plan de l'église pourrait pourtant être « gommée » par la présence de luminaires répartis dans l'espace. Le sens est différent.

[23] 8 p.133

« *(…) une série de luminaires suspendus sur la ligne médiane de la pièce contribuent à expliciter la géométrie spatiale. Une disposition plus libre des sources exige une maîtrise des principes d'équilibre*. »[24]

La lumière souligne la structure du bâtiment
La lumière peut plus largement souligner l'histoire d'un bâtiment, y compris son système constructif.
Un mur de façade devenu paroi intérieure peut, par sa mise en lumière, se distinguer d'une extension de l'espace.
Une charpente remarquable peut être *mise en valeur*.
La fonction de distribution verticale d'un escalier peut être exprimée par une ligne lumineuse traversant les différents niveaux.
Mettre une colonne dans l'obscurité ce n'est pas la nier, c'est peut être lui rendre tout son mystère.

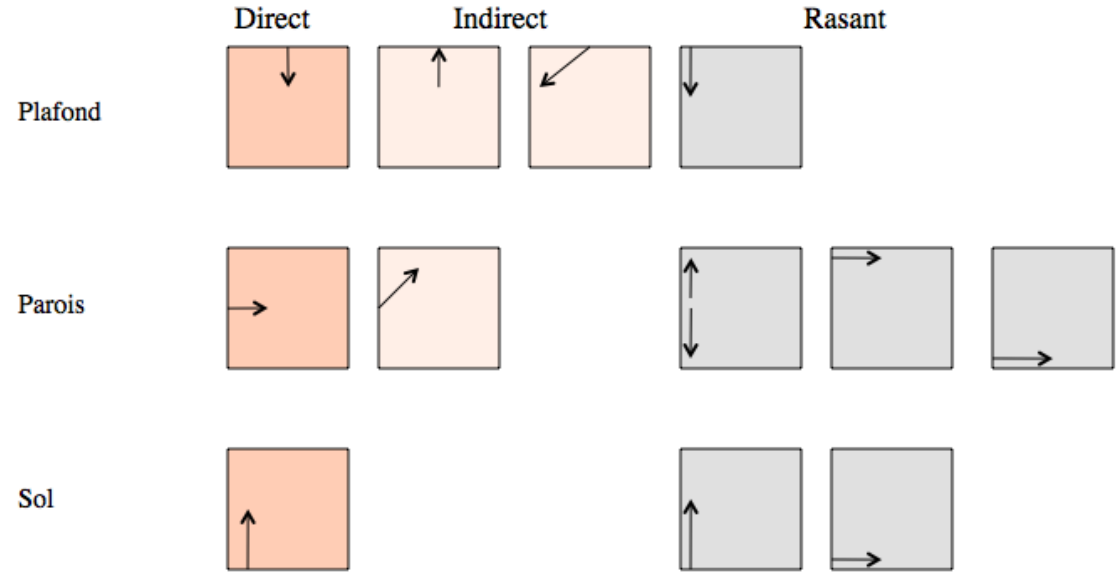
Ces différents *types* de mise en lumière tentent de répondre à la première question du processus : « qu'est ce que je veux voir ?»
A la seconde question « qu'est-ce que je veux voir d'abord ? » l'architecte ou le concepteur lumière répondra en dosant les quantités ou en jouant sur des températures de couleur différentes.
La tentation est grande, ici, de se référer, encore, aux écrits de Louis Kahn qui nous parle de quantité, de mesurable et de lire, alors, *mise en lumière* à la place de *construction* :
« *(…) une construction doit commencer dans l'aura du non-mesurable et passer par le mesurable pour s'accomplir. La seule façon dont on puisse faire exister une construction c'est à travers le mesurable. Il faut suivre les lois, mais à la fin, quand le bâtiment commence à vivre, il évoque des qualités non-mesurables.* »[25]

C'est à travers l'expérience d'Henri Halekan que la réponse à la troisième question -
« comment je veux que se voit ce que j'éclaire » - peut être abordée :
« *L'éclairage unidirectionnel est une lumière partisane qui, en modelant formes et contours, désigne « l'objet », insiste, sépare, tranche, cisèle, et souligne l'essentiel des formes, repoussant le secondaire en moindre valeur. C'est une lumière hiérarchisante, classificatrice : une lumière engagée.*
En revanche, l'éclairage diffus, par la multiplicité de ses flux, qui enrobent l'« objet » de toutes parts, a un rôle objectivement et subjectivement dispersif ; il « noie » le principal en le mêlant au secondaire. La lumière ne souligne plus, elle amalgame, elle estompe, elle dissocie. C'est une lumière troublante : une lumière annihilante.
Ces deux types d'éclairage opposés dans leur structure physique aboutissent artistiquement à deux significations différentes se répercutant puissamment sur les sentiments. »[26]

Pratiquement (il faut bien y arriver) l'architecte ou le concepteur lumière, avec les réponses à ces questions choisit des luminaires et leur emplacement : plafond, parois, ou sol.
Les croquis de la page suivante résument les différents choix qui s'offrent à lui.

[24] 8 p. 135
[25] 16 p.193
[26] 7 p.63

Systèmes d'éclairage
Diffus ou orienté



Faculté d'architecture étude de l'intérieur Bac 3
2012-2013

Tous ces systèmes peuvent être envisagés en lumière directionnelle ou en lumière diffuse

Chapitre 5 : L'éclairage urbain

5.1 : Introduction

Pendant plusieurs millénaires, dans les villes et les campagnes, les nuits étaient obscures.
En 1318, Philippe V amorce, à Paris, une politique volontariste d'éclairage publie sécuritaire en ordonnant « qu'une chandelle soit entretenue toute la nuit à la porte du palais ».
Au 15ème siècle, les lueurs des lanternes et celles encore présentes des falots (chandelles portées à bout de bras) colonisent les villes.
Sous le règne de Louis XIV le lieutenant général de la police distribue 6000 lanternes, à disposer sur les fenêtres.
Ce nombre ne cessera plus d'augmenter et le gaz, vers 1830, commence, progressivement, à se généraliser. En 1853, on compte, à Paris, 12400 becs à gaz et plus de 20000 en 1869.
L'apparition de l'électricité à la fin du 19ème siècle va véritablement révolutionner l'éclairage des villes. Progressivement l'éclairage urbain se banalise pour s'imposer comme l'une des composantes obligées de tout aménagement d'espace public.

Etre dehors dans la nuit quelque part sur la planète c'est être dans son ombre, caché du rayonnement du soleil.
L'image de notre environnement extérieur se transforme, la portée de notre regard diminue, l'univers visuel se rétrécit et pourtant on voit – parfois - les étoiles, on peut prendre conscience de l'immensité de l'univers.
Si la lumière du jour est mouvante (de l'aube au crépuscule), l'obscurité de la nuit, elle, est comme figée dans sa durée
Nos sentiments se transforment u passage de la « grande ombre » : la peur du noir, l'angoisse du non révélé, du mal éclairé. Pourtant la nuit peut éloigner les réalités du jour, créer un vide qui permet à l'homme de réinventer. N'est ce pas la nuit que l'on refait le monde ?
La tombée de la nuit annonce le ralentissement des activités économiques, les bureaux, les écoles, les commerces ferment leur porte.
Au moment où les musées se vident les théâtres, les cinémas, les restaurants se remplissent. Le moment où il fait noir dehors n'est pas nécessairement la nuit, celle du repos, du sommeil. L'intervalle entre le jour (la clarté) et la nuit du repos est propice à l'expression artistique et à la communication entre les êtres. On va au spectacle, on rencontre des amis, on partage un repas... on a toute la nuit devant soi.

Depuis les années 80, les pouvoirs publics reconnaissent dans l'éclairage urbain un outil attractif de valorisation de « leur » ville. Des centaines de « plans lumière » ont été, depuis, élaborés par des concepteurs lumière (un nouveau métier) pour des grandes et des toute petites villes.

Chaque concepteur pose un regard personnel sur la ville la nuit :
Yann Kersalé écrit dans le livre que P. Curval lui consacre
« Transformer l'être humain à travers la perception qu'il peut avoir de ce qu'on lui donne à regarder nie paraît une voie intéressante. Ce temps où l'homme est nécessairement différent, dans un état d'attente, de renaissance, préludant à un nouveau cycle di' vie. Durant cette phase nocturne qui est en principe réservée au sommeil, l'éveil procure un sentiment d'anormalité que j'entends accentuer. La réalité fond dans les ténèbres, le concret s'évanouit dans la fatigue, la nuit de tous les possibles, le lieu de toutes les

expériences inconnues dont l'homme est à la recherche.»[27]

Roger Narboni, écrit, dans son ouvrage « la lumière urbaine »
« La ville diurne moderne a été découpée en fonctions puis en secteur . La ville nocturne établit d'autres rapports, tisse d'autres entrelacs. En intégrant le regard nocturne dans notre lecture de la ville, nous découvrons en filigrane des axes ignorés, nous discernons de nouvelles hiérarchies d'espaces ? Nous prenons aussi conscience différemment de l'impact visuel d'un aménagement ou d'un bâtiment. »[28]

Louis Clair, lors d'une conférence (en 2001) donnée sur la mission de concepteur lumière déclare :
« La nuit n'est plus ce qu'elle était, ce n'est plus le moment où on va se cacher, se réfugier en ayant peut- des démons des attaques de l'inconnu. La nuit aujourd'hui, c'est un espace de liberté. La nuit est devenue un espace de respiration, un espace de fête, un moment où l'on oublie les soucis de la journée, un espace de contraste, non plus un espace de peur et d'angoisse. Donc la façon de vivre en ville a fondamentalement changé, les problèmes initiaux de sécurité, déplacement des biens et des personnes se sont considérablement agrandis et sont arrivés aujourd'hui à des problèmes d'ambiances nocturnes. C'est à dire que l'on vit dans une ville, comme l'on vivrait chez des amis et donc ils se posent des problèmes de mise en valeur, de mise en situation. »

Claude Dubois, dans son article « *réverbères et becs à gaz »* site cite Balzac : « *Rendons hommage aux progrès des lumières qui ont tout perfectionné. Le gaz hydrogène a encore augmenté la sécurité (…) et nous finirons par voler en toute sécurité. » .*
Manifestement inquiet par la lumière des villes il propose : « *La tâche d'une municipalité moderne, qui en a les moyens, est de « rééquilibrer » les zones prétendument défavorisées, de répartir uniformément la lumière, bref de la « démocratiser » ; Il est à craindre qu'avec le temps le singulier ne s'impose définitivement, au détriment du pluriel et aussi de la poésie. »*[29]

Se préoccuper de la nuit des villes et de la vision nocturne, c'est proposer un nouveau regard.
Vouloir transformer nos nuits en jours artificiels c'est effacer ce mystère, anéantir le potentiel de l'imaginaire.

Nous nous limiterons, dans ce chapitre sur la lumière urbaine, à poser le problème, enfin reconnu, de la pollution lumineuse.
L'éclairage extérieur (public et privé) est source de pollution à différents niveaux :

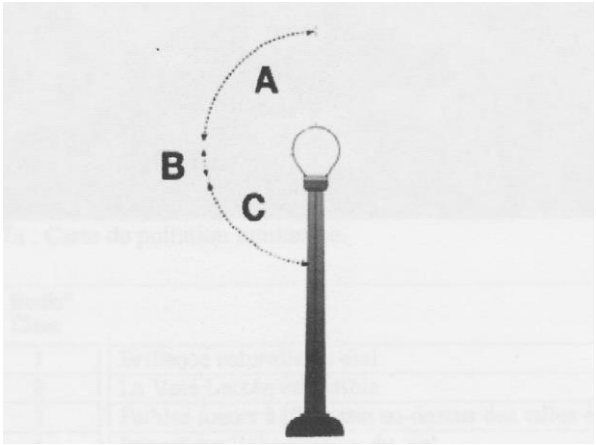
- Pollution visuelle
- Pollution des écosystèmes
- Pollution atmosphérique (liée à la consommation d'électricité)

[27] 14
[28] 13
[29] 2 p. 61

5.2 La pollution visuelle

La pollution vusuelle consiste en la diffusion de lumière de l'éclairage artificiel vers le ciel de manière directe ou indirecte par réflexion sur des surfaces. Ce phénomène altère l'obscurité naturelle et nécessaire de la nuit.
Dans les grands centres urbains où la pollution atmosphérique et le nombre de points lumineux sont très importants, cette diffusion amène à la formation d'un halo lumineux diffus orangé entourant les agglomérations et visible à des dizaines de kilomètres. Les émissions lumineuses de la ville de Paris, par exemple, sont toujours visibles à 150 kilomètres de distance.
La pollution vusuelle est le résultat d'un éclairage artificiel mal géré, généralement dû à l'absence de prescriptions bien définies et au manque de connaissance des règles de bonne conduite de la part des maîtres d'ouvrage. Elle s'est fortement aggravée ces trente dernières années suite à la diversification des usages de l'éclairage extérieur et à la forte multiplication du nombre de sources
Le phénomène de pollution visuelle est également accentué par l'augmentation des surfaces urbanisées, du nombre de luminaires et de leur durée de fonctionnement dans les espaces ruraux.

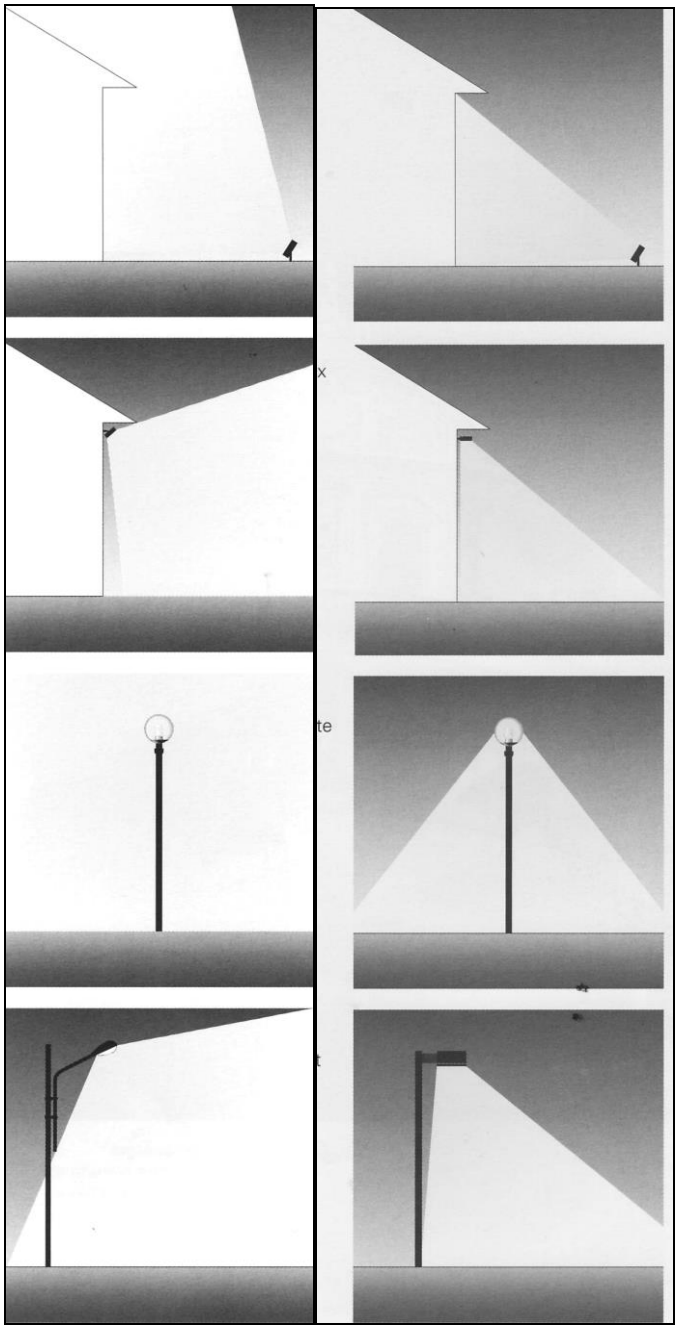
La pollution lumineuse peut résulter de l'utilisation de systèmes d'éclairage mal conçus ou désuets. Ainsi, toute émission lumineuse envoyée au-dessus de l'horizontale (A) ne contribue en rien à la sécurité, mais participe à la diminution de l'obscurité de la nuit. De plus, la lumière émise moins de 15% en dessous de l'horizon (B) est aussi à éviter, car c'est elle qui provoque des problèmes d'éblouissement et accentue les risques de lumière intrusive. Seule la partie directement dirigée vers le sol (C) doit être conservée si on désire minimiser au mieux cette pollution.



Les premiers à avoir été touchés et à avoir dénoncé le problème sont les astronomes dans les années 1970. À l'époque, leurs observations étaient déjà rendues difficiles par la lumière provenant des agglomérations voisines. Les objets célestes étudiés étant souvent très faiblement lumineux, l'augmentation de luminosité du ciel nocturne a fortement réduit les possibilités de découvertes scientifiques. Désormais, les astronomes professionnels doivent se rendre dans les observatoires situés dans des zones désertiques comme au Chili ou aux Canaries pour pouvoir poursuivre leurs recherches, tandis que les astronomes amateurs font des kilomètres en voiture pour pouvoir admirer du ciel nocturne.
E 1992, le ciel nocturne a été déclaré patrimoine mondial par l'UNESCO

La lumière intrusive est la diffusion d'un excès de lumière provenant d'installations d'éclairage inadéquats dans des zones où l'émission lumineuse n'est ni souhaitée, ni sollicitée. Dans les meilleurs cas, elle consiste en un simple gaspillage d'énergie, tandis que dans les pires, elle peut être une réelle source d'inconfort. Le cas le plus fréquent est celui de l'éclairage non désiré des habitations ou des jardins par un éclairage public trop puissant ou mal orienté. La lumière constamment présente dans les villes favorise également la prolifération de micro-organismes parasites sur les monuments.

Des fabricants d'appareils d'éclairage proposent – enfin - dans leur catalogue des pistes de réflexion dans le bon sens.
Les croquis ci-dessous, extraits d'un tel catalogue illustre (à gauche) des exemples de flux lumineux sources de pollution et (à droite) les installations correctement placées.



Des chartes et réglementations sont proposées par des communautés d'astronomes. Celles-ci sont soutenues par de grandes personnalités du monde des sciences et de l'astronomie. Leur intérêt est d'avoir énoncé des règles de bonne conduite avant même la création de premières règlementations.[30]
En Région Wallonne et à Bruxelles, excepté lorsqu'il existe des dispositions réglementaires locales, seules sont actuellement prévues des primes octroyées pour l'amélioration des dispositifs d'éclairage.

5.3 : Pollution des écosystèmes

Depuis toujours, la nature est conditionnée par le cycle jour/nuit. Depuis une cinquantaine d'années, ce repère disparaît dans de nombreux endroits à la prolifération de l'éclairage artificiel. Ces changements très rapides ne laissent pas à la plupart des espèces le temps de s'adapter et ne sont donc pas sans conséquence sur la faune et la flore.

Les photorécepteurs des plantes déterminent avec une grande précision la durée de l'éclairement journalier. La longueur des périodes de clarté et d'obscurité permet aux plantes d'adapter leur développement aux saisons adéquates. La lumière artificielle émise pendant la nuit perturbe donc le cycle normal de croissance des plantes en influençant le début et la fin des périodes de repos hivernal. Ainsi, il n'est pas rare de voir bourgeonner les arbres entourant les luminaires publics bien avant le printemps et de constater que la chute des feuilles les plus exposées à la lumière artificielle est fortement retardée. La disparition d'insectes pollinisateurs suite à l'éclairage de son écosystème peut, sur le long terme, perturber indirectement les végétaux
Il semble malgré tout que l'impact de l'éclairage artificiel sur la végétation soit généralement considéré comme minime par rapport à d'autres facteurs. En effet, en milieu urbain, les nuisances dues à la pollution de l'air et de l'eau, à la déshydratation, au manque de terre pour le développement des racines, ... semblent affecter davantage la flore

L'éclairage artificiel a de nombreuses conséquences sur les comportements qui assurent la survie des espèces animales, telles la recherche de nourriture, la reproduction, les réactions face à la prédation, ... Favorisant certaines espèces au détriment d'autres, il pourrait même, sur le long terme, provoquer la disparition d'animaux déjà menacés d'extinction.
Différents phénomènes sont à l'origine de l'impact de la lumière sur le comportement des animaux.
L'effet d'attraction. Certaines espèces nocturnes sont littéralement attirées et piégées par la lumière artificielle. C'est le cas notamment des insectes nocturnes et, en particulier, des papillons de nuit, des coléoptères, des mouches et des moustiques. Le rayon d'attraction d'un lampadaire varie de 400 à 700 mètres Les lampadaires étant généralement distants de 30 à 50 mètres, les routes éclairées fonctionnent comme des obstacles pratiquement infranchissables pour les insectes nocturnes.
Effet de répulsion et fragmentation des habitats. Pour un certain nombre d'espèces animales nocturnes, c'est l'arrivée de l'obscurité qui déclanche le début des activités. Dans des environnements éclairés, elles tardent donc à sortir de leurs abris et doivent chercher leur nourriture sur des périodes plus réduites. Ce phénomène pousse de nombreuses espèces de chauve-souris à quitter leurs habitats originels lorsqu'ils viennent à être éclairés. D'autres espèces, dont de nombreux mammifères nocturnes,

[30] 54, p.50

sont facilement éblouies par l'éclairage artificiel. Pendant l'adaptation plus ou moins longue de leurs yeux à l'obscurité, ces animaux se retrouvent aveuglés et désorientés. comportement de fuite normal. Cette gêne va pousser la plupart des grands mammifères nocturnes à éviter les espaces éclairés. Une simple route éclairée peut donc empêcher toute continuité des corridors écologiques et ainsi restreindre les rayons d'action et, par conséquent, la disponibilité de nourriture de certaines espèces. Cette fragmentation de l'habitat se constate notamment chez les renards, les chevreuils et les blaireaux qui évitent de fréquenter les lisières de forêts éclairées en faveur de celles qui ne le sont pas.
Effets sur les capacités d'orientation. Les éclairages extérieurs peuvent perturber la capacité d'orientation de certaines espèces, leur imposant des détours qui les affaiblissent inutilement. Les oiseaux migrateurs qui s'orientent grâce aux étoiles depuis des milliers d'années sont les premiers à en pâtir.D'ailleurs, l'extinction en période de migration de la projection de la publicité pour le train de Jungfraujoch en Suisse, qui causait alors chaque automne la disparition de milliers d'oiseaux, a été si concluante qu'elle est renouvelée chaque année depuis les années 1970.Les projections lumineuses dirigées vers le ciel peuvent également avoir un impact négatif sur les déplacements migratoires des oiseaux, impact qui sera d'autant plus important que le flux lumineux est intense et soudain.
Effets sur les comportements alimentaires et l'équilibre des chaînes alimentaires
L'éclairage favorise certaines espèces au détriment d'autres. Les insectes attirés par les sources lumineuses s'affaiblissent et ont un comportement de fuite inhibé. Ils deviennent donc une proie facile pour les petits amphibiens et mammifères qui sont eux-mêmes plus facilement repérables par leurs prédateurs et sont dès lors mangés par des espèces plus grandes
Adaptation. Certaines espèces arrivent à tirer parti des conditions artificielles des villes. C'est le cas notamment des pigeons étourneaux, des rats et parfois des renards qui arrivent à y trouver des avantages en terme de nourriture et d'abris. Par exemple, les étourneaux ont appris à se servir de l'éclairage public comme source de chaleur.

Le paragraphe 1.6 relatif à l'impact de la lumière sur la santé de l'homme mis en évidence la nécessité d'une lumière suffisante le jour mais aussi la nécessité de l'obscurité la nuit afin de maintenir son cycle interne circadien. Les lumières intrusives dans les habitation, provenant de l'éclairage public peuvent nuire au repos et au sommeil profond.

5.4 : Pollution environnementale

Des images satellites ont permis d'estimer à 30% la lumière émise directement vers le ciel et donc inutile et gaspillée.

Afin de diminuer la consommation d'énergie dépensée pour l'éclairage public différents paramètres doivent être optimisés :

- Maîtrise du flux lumineux
- Utilisation d'ampoules à forte efficacité lumineuse
- Adaptation des niveaux d'éclairements
- Adaptation des heures de fonctionnement.

5.5 : L'argument sécuritaire

Dans nos pays, l'éclairage public est souvent considéré comme un remède à tous problèmes d'insécurité.
Le thème de la sécurité peut être étudié à trois niveaux : la sécurité routière, des personnes et des biens (criminalité et délinquance), le sentiment de sécurité.
Le lien entre la sécurité routière et l'éclairage sert souvent de prétexte à l'éclairage des voiries, des autoroutes jusqu'aux petits chemins de campagne. Pourtant aucune des nombreuses études réalisées n'a prouvé cette corrélation.
Si la lumière accroît la visibilité du conducteur, le sentiment de sécurité qui en résulte favorise l'augmentation de la vitesse de conduite
Un éclairage mal conçu peut également apporter plus de gêne que de sécurité en étant éblouissant par exemple.
Enfin, rappelons que depuis les années 1950, époque où les travaux d'éclairage autoroutier ont été lancés, les phares de voitures sont devenus efficaces.

Depuis les années 1960, une série d'études ont été menées pour déterminer le lien entre l'éclairage public et la sécurité civile. La plupart de ces études ont conclu qu'une amélioration de l'éclairage permet de réduire le taux de criminalité. À l'heure actuelle, les preuves de cette corrélation sont jugées inconsistantes par un grand nombre d'experts et par la C.I.E. (Commission Internationale de l'Éclairage) qui remettent en question les méthodes peu rigoureuses d'investigation et constatent la partialité de ces études qui ont généralement été financées par des industriels de l'éclairage.
Un rapport d'un congrès américain dont le sujet était « Comment réduire la criminalité aux États-Unis ? » a évoqué tous les aspects qui pouvaient influer sur la sécurité en rue (police, justice, école, urbanisme et éclairage public, ...). Il en ressort qu'i1 est beaucoup plus intéressant d'investir dans les politiques de la famille, de la justice OU de la police que dans l'éclairage public si on veut diminuer le taux criminalité.
Une autre étude de l'Institut National de Justice des Etats-Unis a démontré qu' un éclairage faible, mais uniforme peut s'avérer plus sécurisant qu'un éclairage intense créant des zones d'ombre qui semblent d'autant plus sombres à cause des contrastes de luminance.
En ce qui concerne les cambriolages et les vols avec effraction, les statistiques de la police et de la gendarmerie démontrent qu'ils ont lieu en grande majorité en plein jour. Pour ceux qui se déroulent la nuit, il semble que les maisons éclairées de manière discrète soient moins « visitées » que celles où l'éclairage joue le rôle de signe extérieur de richesse. Il en va de même pour les vols dans les voitures qui sont souvent plus fréquents dans les rues bien éclairées en raison d'une meilleure visibilité des cibles

La lumière représente un des nombreux facteurs influençant le sentiment de sécurité dans une rue.
Des travaux d'amélioration de l'éclairage favorisent indirectement l'impression de sécurité parce qu'ils représentent un signe de l'intérêt porté par les pouvoirs publics à leur quartier. De là naît le concept d'espace défendable où les citoyens, ayant désormais envie de protéger leur cadre de vie, vont favoriser l'établissement d'une sorte de contrôle social spontané.
[3]

Annexe 1

Henri Matisse
« Ecrits et propos sur l'art »
Collection savoir : sur l'art
Hermann éditeurs des sciences et des arts

« … La recherche et la possession de la lumière et de l'espace dans lesquels je vivais me donnait le désir de me rencontrer avec un espace et une lumière différents qui permettraient de saisir plus profondément cet espace et cette lumière dans lesquels justement je vivais, ne fût-ce que pour prendre conscience de ces derniers… »

« … J'irai vers les îles, pour regarder, sous les Tropiques, la nuit et la lumière de l'aube, qui ont sans doute une autre densité. Comme j'ai toujours été très pris par les caractères de la lumière dans laquelle baignaient mes sujets de contemplation, je me suis souvent demandé pendant mes méditations, quelle pouvait être sa qualité particulière aux Antipodes…
J'ai voulu voir son caractère sous l'équateur. Elle est toute en or, tandis que la nôtre est argent. »

« …Pour bien connaître notre lumière occidentale il fallait pouvoir l'estimer par comparaison. Déjà en allant à Tahiti j'ai reconnu sur ma route la lumière cristalline de New York.. »

« Les pays du Nord, Paris notamment, une fois qu'il ont développé l'esprit de l'artiste par sa vie collective et la richesse de ses musées n'offre plus qu'un climat variable pour y travailler comme je le comprends…La richesse et la clarté argentée de la lumière de Nice surtout dans la belle période de janvier …. »

«…Ah ! C'est un beau pays Nice ! Quelle lumière tendre et moelleuse malgré son éclat. Je ne sais pourquoi je la rapproche souvent de celle de la Touraine. Celle de la Touraine est un peu plus dorée, celle-ci est argentée… »

De Tanger Matisse écrit : « Nous jouissons du beau temps et de la végétation qui est tout à fait luxuriante. Je me suis mis au travail, et ne suis pas trop mécontent, quoique ce soit bien difficile ; la lumière est tellement douce, c'est tout autre chose que la Méditerranée…. »

Annexe 2

Des lumières et des Ombres
Henri ALEKAN
Centre nationale des lettres et cinémathèque française, 1979

« Observée sous nos latitudes, la lumière solaire, avant toute analyse psychologique, doit être étudiée sous ses diverses manifestations et modulations quotidiennes. De l'aube au crépuscule, les variations de la lumière sont considérables en intensité et en qualité. La position du soleil dans l'espace, c'est-à-dire son angularité avec la surface terrestre, crée des rapports lumière-objet par projection d'ombres de dimensions et d'intensités variables, qui ont une grande importance sur notre « perçu » intérieur.
La lumière solaire est toujours directionnelle, mais les phénomènes atmosphériques perturbent l'éclairage solaire, qui peut devenir, selon les circonstances, soit unidirectionnel, avec projection d'ombres plus ou moins marquées, soit totalement diffus, sans ombres projetées ni ombres propres.
La source de la lumière solaire peut être considérée comme une source ponctuelle, plus ou moins intense. Elle soumet les objets qu'elle rencontre et les surfaces qu'elle atteint à un double phénomène, l'un purement objectif, l'« éclairement », l'autre subjectif, puisqu'il atteint notre psychisme, que nous appellerons tout simplement : « lumière ».
A l'aube, le flux solaire est de très faible intensité — quelques lux — mais il s'amplifie rapidement de minute en minute, en s'accompagnant de phénomènes de colorations variables suivant l'épaisseur de la couche atmosphérique traversée.
L'éclairement en lumière solaire peut atteindre près de 100 000 lux au cours d'une même journée. Notre œil supporte cette intensité considérable, alors que les différents supports d'images (films, procédés magnétiques ou électroniques) exigent divers artifices techniques (obturateur, diaphragme, filtre) pour nous restituer un rendu plastique comparable à ce que notre vision tolère. Encore est-il nécessaire de ne pas mettre dans le champ visuel l'image du soleil lui-même, l'écart de luminosité entre la partie la plus obscure et la plus claire étant porté à plus de
2 000 000.»

« En hiver, le soleil, sous nos latitudes, a une angularité variant de 0 degré (l'aube) à 17 degrés à peine, le 21 décembre à midi. C'est dire quelle importance vont avoir les ombres projetées, puisque, dans le meilleur des cas, au zénith, elles engendreront une projection de l'objet à peine égale à quatre fois environ sa hauteur véritable.
Si le choix se porte sur un éclairage estival, toujours sous nos latitudes, l'angularité de la lumière solaire varie alors de 0 degré (à l'aube) jusqu'à 64 degrés environ, au zénith. Les ombres projetées seront, dans ce cas extrême, à moitié plus petites que l'objet qui les crée.
Mais entre l'aube et le zénith, et entre le zénith et le crépuscule, l'intensité de la lumière solaire varie considérablement. Ainsi, au lever du soleil, l'intensité croît rapidement et double toutes les cinq minutes, pour atteindre une constante dans les heures qui suivent (plus de 100 000 lux).
Le jeu des ombres projetées s'intensifie au fur et à mesure de la montée du soleil dans l'espace. Le même phénomène se reproduit à l'inverse lors de la descente du soleil décroissance d'intensité pour arriver jusqu'au crépuscule.
En résumé, le jeu des ombres varie en directivité, en surface et en densité, selon les mouvements de la lumière solaire, créant un complexe ombre-lumière inséparable du milieu environnant, lequel — selon les matériaux qui le composent — joue un rôle important de surface réfléchissante, qui déssature l'opacité des ombres et les rend transparentes.
Le premier choix : saison et heure, n'est que le prélude à un second choix peut-être plus important, car il détermine la forme du complexe pictural ou cinéplastique climat-lumière directionnelle ou climat-lumière diffuse, ce qui implique une prise de position esthétique ».

« La lumière solaire unidirectionnelle, ou la lumière solaire multidirectionnelle dans son déroulement quotidien, émet des flux variables en qualité (différence de température de couleur), en quantité (intensité) et en angularité (selon les heures). Cet éclairage solaire est scientifiquement défini. Psychologiquement, on peut le qualifier de lumière pleinement expressive, le contraire d'un éclairage vague, indécis, imprécis, qui est le propre de la lumière multidirectionnelle diffuse, c'est-à-dire d'un éclairage neutralisant.
L'éclairage solaire unidirectionnel est une « lumière partisane », qui, en modelant formes et contours, désigne l'« objet », insiste, sépare, tranche, cisèle, et souligne l'essentiel des formes, repoussant le secondaire en moindre valeur. C'est une lumière hiérarchisante, classificatrice : une lumière « engagée ».
En revanche, l'éclairage diffus, par la multiplicité de ses flux, qui enrobent l'«objet» de toutes parts, a un rôle objectivement et subjectivement dispersif ; il « noie » le principal en le mêlant au secondaire. La lumière ne souligne plus, elle amalgame, elle estompe, elle dissocie. C'est une lumière troublante : une lumière annihilante.
Ces deux types d'éclairage opposés dans leur structure physique aboutissent artistiquement à deux significations différentes se répercutant puissamment sur les sentiments.
Il est important du souligner que l'éclairage solaire unidirectionnel avec ses trois composantes (qualité, intensité, angularité) et son corollaire de jeux d'ombres variables, offre une gamme infinie de combinaisons et de rapports qui est une véritable palette plastique émotionnelle, tandis que l'éclairage multidirectionnel diffus n'a que deux composantes principales, température de couleur et intensité (le jeu des ombres étant inexistant).
Tout cela est considérable s'agissant de la signification de la lumière telle qu'elle a été précédemment énoncée. Car la suppression des ombres et la réduction des composantes lumino-spatiales de trois à deux constituent une amputation, contribuant à la création d'un état subjectif frustrant. La palette plastique étant réduite, la structure de l'image filmique, par son aspect plus froid, et par l'absence de directivité du flux solaire, crée une résultante plastique à effet dispersif, dans un climat uniproportionnel peu saisissable en sa structure, puisqu'il n'offre au regard qu'un éventail restreint de modulations lumineuses.
Il ne faudrait pas en conclure que seule l'image traitée en éclairage unidirectionnel a une signification qu'elle n'aurait pas en éclairage diffus. Ces deux options « lumière » portent chacune de claires significations diamétralement opposées, leur choix ayant une implication directe avec le thème traité.
L'art du cinéaste en extérieurs est de savoir où, quand, comment son thème pourra s'insérer dans une lumière naturelle dont il n'a pas la maîtrise ».

« L'éclairage solaire dispense un flux lumineux qui, de la position horizontale (à l'aurore) à la position verticale (au zénith), engendre des jeux d'ombres horizontaux, diagonaux et verticaux, marquant concrètement, au cours du cycle quotidien, l'écoulement du temps. Le temps, valeur abstraite, trouve au moyen des ombres projetées sa représentation spatiale visualisée.
Cependant, dans l'« espace-temps », la durée des phénomènes aube et crépuscule, qui marquent si profondément l'homme, est extrêmement courte, à peine un vingt-quatrième d'une journée normale de douze heures.
Il s'agit donc d'une relation entre d'une part l'action spécifique, sur l'homme, des phénomènes qui accompagnent l'aube et le crépuscule et leur courte durée, et, d'autre part, une action beaucoup plus continue dans le temps (environ onze heures et demie sur douze heures), puisqu'elle agit tout au long de la journée.
La nature offre aux artistes peintres ou aux cinéastes, dans ce que nous appelons le climat-lumière, des éclairements « privilégiés », fort brefs, et d'autres, « normaux », au cours de la journée.

La conséquence directe de ces distinctions apparaît aussitôt.

L'éclairement « normal » est notre environnement le plus vécu. Presque toutes nos actions on peut dire le principal de notre vie — se déroulent dans ce climat-lumière banal ; il n'engendre donc pas de réactions aussi particulières que l'éclairement singulier décrit précédemment. Il n'est pas reçu avec acuité. Et pourtant, durant ces (presque) douze heures, il se passe bien des choses. La hauteur du flux solaire varie en orientation, en intensité, en coloration, entraînant tout un cortège d'ombres et de pénombres qui est ce, que nous pourrions appeler le négatif' mouvant des objets et des choses...

Ici quelques remarques s'imposent. La première est la présence des ombres projetées sous la pression solaire, ombres variables en directivité, en densité, en surface. Ombres qui n'ont jamais une vie propre, mais la vie momentanée de l'objet qui les a fait naître. L'objet est une réalité concrète, son ombre en est la reproduction impalpable mais visible, distordue, comprimée ou amplifiée, mouvante, colorée ou obscure, dense ou transparente, humble ou majestueuse, selon le cycle et les variations de la lumière solaire.

De même que l'objet n'échappe pas à son ombre, l'ombre lui est attachée comme une racine qui le retient au sol. L'objet est immuable, invariable dans ses formes, tandis que son ombre est quotidienne métamorphose et représentation fantasque de lui-même. L'ombre est le rappel quotidien de la présence solaire, elle ancre l'objet comme un navire et tourne autour de lui dans un mouvement permanent, marquant l'inexorable écoulement du temps. La lumière solaire, pourtant si lointaine, paraît proche, presque palpable. Le « céleste » est mis à la portée de l'homme.

La deuxième remarque concerne l'ombre projetée comparée à l'objet auquel elle est liée sur un plan dimensionnel. Un rapport de forces s'établit entre eux, rapport constamment variable selon la position solaire dans l'espace.

Plus l'ombre est importante, plus l'objet s'en trouve minimisé, et inversement, plus l'ombre est réduite, plus l'objet apparaît important.

L'objet se trouve donc affecté dans ses dimensions réelles par la relation qu'il entretient avec son ombre; il acquiert une dimension fictive. D'où l'importance du pouvoir des ombres qui influent sur notre jugement en nous faisant fugitivement apprécier comme étant grand ce qui est petit, restreint ce qui est monumental, fabuleux ce qui est ordinaire et exceptionnel ce qui est banal. C'est par le jeu des ombres que le fantastique est suggéré, combinaison de réel et d'illusion.

L'ombre comme la lumière ne prennent forme que par leur rencontre avec la matière. L'affrontement de ces éléments, l'impalpable et le palpable, fait surgir des sentiments dont l'intensité et la durée sont liées au solaire. Le complexe ombre-lumière est architecture mobile éphémère. Il est un puissant pôle d'attraction visuelle et de vitalité. Sa disparition quotidienne avec le crépuscule et la nuit s'accompagne de phénomènes physiques qui se répercutent psychiquement sur l'homme, faisant naître les perturbations évoquées au chapitre consacré aux effets crépusculaires et nocturnes.

Ce grand jeu des ombres se retrouve dans de nombreuses représentations picturales. Pour les cinéastes, l'utilisation de la lumière artificielle — par son extrême fiabilité
devrait leur permettre d'étendre le champ inexploré de la lumière et des ombres hors du solaire avec toutes les implications dramaturgiques et psychologiques qui y sont contenues.»

Propos sur la lumière

« La lumière donne « à voir », mais, plus encore elle donne « à penser » ».
[7]

Henri ALEKAN

« Quand les plus savants des hommes m'auront appris que la lumière est une vibration, qu'ils m'en auront calculé la longueur d'onde, quel que soit le fruit de leurs travaux raisonnables, ils ne m'auront pas rendu compte de ce qui m'importe dans la lumière, de ce que m'apprennent un peu d'elle mes yeux, de ce qui me fait différent de l'aveugle, et qui est matière à miracle, et non point objet de raison. »

Louis ARAGON

« L'espace, celui d'une église en particulier, est un instrument joué par la lumière elle glisse sur les murs, les niches, les colonnes el au-delà se reflète dans l'espace. »
« ... Le blanc intensifie encore la perception de la couleur, je veux dire des variations colorées de la lumière naturelle. »

« Juha LEIVISKÂ
«

« Avec la lumière, apparaît la marche en ligne droite el a relation immédiate des coordinations de la marche avec le désir et et but ... »

Paul VALERY

« Nous sommes nés de la lumière, nous sentons les saisons par la lumière. Nouss ne connaissons du monde que ce qui est évoqué par la lumière et de /à vient celle pensée selon laquelle la matière est de la lumière dépensée. »

« On peut dire que lumière donatrice de toute présence, est créatrice d'un matériau et le matériau, ainsi crée, projette une ombre et l'ombre appartient à la lumière. »

« La lumière est Ici révélation de /'esprit de la matière. »

« La lumière d'une pièce carrée n'est pas celle d'une pièce ronde ; si vous donnez à une pièce carrée la lumière du rectangle, elle cessera d'être carrée. »

« La lumière n'est pas seulement ce qui nous rend visible les choses, mais elle est la substance même, résumant les lois naturelles, connues ou ignorées, par lesquels tout se tient. »

« Toute matière est lumière (...) elle ne cesse pas d'être lumière lorsqu'elle passe à l'état de matière. Dans le silence, il y a une tendance vers l'expression ; dans la lumière vers l'œuvre. Deux propensions de l'esprit, l'une non lumineuse, l'autre lumineuse. La lumière appelle la lumière, elle devient flamme, la flamme devient matière, la matière devient moyen, ressource, évidence. Les montagnes sont lumière répandue, les fleuves, l'air ; et vous-même aussi (...) et de même la faculté d'expression et la quête de transcendance dont on dit qu'elle est l'inspiration. »

« Je perçois la lumière comme la source de toute présence, et la matière comme de la lumière répandue. Ce qui est fait par la lumière projette une ombre, et l'ombre participe de la lumière. Je perçois un seuil : de la lumière au silence, du silence à la lumière ... un climat d'inspiration, où le désir d'être, d'exprimer croise le possible. »

« La structure, me semble-t-il est ce qui donne la lumière. »

Louis 1. KAHN

« Je crois en l'existence d'une zone émotionnelle qui enveloppe et symbolise les espaces de vie, en faisant rejaillir les variations de la lumière naturelle. Et de cette façon, elle émeut directement les esprits de tout personne qui vient à leur contact. »

« La lumière du soleil change de qualité avec l'écoulement du temps. Elle peut doucement imprégner l'espace à un moment et le transpercer telle une lame l'instant d'après. Certaines fois, on pourrait presque tendre la main el la toucher. Elle active l'espace, nous rend conscients des .saisons, et nous enseigne une plus grande sensibilité. »

Tadao ANDO

« La manifestation de la lumière révèle aussi les ténèbres. »

Baruch SPINOZA

« L'ombre est de la lumière »

Jean-François PIRSON

« *La couleur est l'expression et la souffrance de la lumière. »*

Johann Wolfgang GOETHE

« La couleur amplifie ou réduit un espace, ajoute une touche de magie que requiert tout site ».

Luis BARRAGAN

« It is with light that we can bring soul and spirit back into architecture and perhaps find out our own souls in process. »

Arthur ERICKSON

« La clef c'est la lumière et la lumière éclair eles formes et les formes ont une puissance émotive par le jeu des proportions par le jeu des rapports inattendus et stupéfiants. »

« L'architecture est le jeu correct et magnifique des volumes sous la lumières, les ombres et les clairs révèlent les formes, ... »

Le CORBUSIER

« Ce qu'on peut voir au soleil est toujours moins intéressant que ce qui se passe derrière une vitre. Dans ce trou noir et lumineux vit la vie, rêve la vie, souffre la vie. »

Charles BAUDELAIRE

« La nuit est le véritable milieu de tout ce qui est ombre »

« *Il leva les yeux, et à l'extrémité du souterrain, là-bas devant lui, loin, très loin, il aperçut une lumière. Cette fois ce n'était pas une lumière terrible - c'était la lumière bonne et blanche, c'était le jour. »*

Victo HUGO

« *Jusqu'à minuit, New York prend ici son bain de lumière. Lumière non seulement blanche mais jaune, rouge, verte, mauve, bleue ; lumières non seulement fixes, mais mobiles, tombantes, tournantes, courantes, zigzaguantes, roulantes, verticales, horizontales, dansantes, épileptiques... Dans la quarante-deuxième rue, c'est une belle matinée d'été toute la nuit.*

Paul MORAND

« Or, c'est précisément cette lumière indirecte et diffuse qui est l'essentiel de la beauté de nos demeures. Et pour que la lumière épuisée, atténuée, précaire, imprègne à fond les murs de la pièce, ces murs sablés, nous les peignons de couleurs neutres, à dessein. Si l'on use, en effet, de peintures brillantes pour les chambres fortes, les cuisines ou les couloirs, les murs des pièces d'habitation sont toujours sablés, et bien rarement luisants. Car s'ils étaient luisants, tout le charme, subtil et discret, de cette lumière indigente s'évanouirait.
Nous nous complaisons dans cette clarté ténue, faite de lumière extérieure d'apparence incertaine, cramponnée à la surface des murs de couleur crépusculaire, et qui conserve à grand'peine un dernier reste de vie. Pour nous, cette clarté-là sur un mur, ou plutôt cette pénombre, vaut tus les ornements du monde et sa vue ne nous lasse jamais (...)
Nous éprouvons le sentiment que l'air, à ces endroits-là, renferme une épaisseur de silence, qu'une sérénité éternellement inaltérable règne sur cette obscurité. Toute une épaisseur fait, quand les Occidentaux parlent de « mystères de l'Orient », il est bien possible qu'ils entendent par là ce calme un peu inquiétant que secrète l'ombre lorsqu'elle possède cette qualité-là (...)
N'avez-vous jamais, vous qui me lisez, au moment de pénétrer dans une de ces salles, éprouvé le sentiment que la clarté qui flotte, diffuse, dans la pièce, n'est pas une clarté ordinaire, qu'elle possède une qualité rare, une pesanteur particulière ? N'avez-vous jamais éprouvé cette sorte d'appréhension qui est celle que l'on ressent face à l'éternité, comme si de séjourner dans cet espace faisait perdre la notion du temps, comme si les ans coulaient sans qu'on s'en aperçoive, à croire qu'à l'instant de la quitter l'on sera devenu soudain un vieillard chenu. »

Tanizaki JUNICHIRO

C'est la nuit qu'il est beau de croire à la lumière. - Edmond Rostand

Bibliographie

(1) V.RONCHI, *Histoire de la lumière*, Jacques Gabay, 1996
(2) N. CZECHOWSKI, *Lumière depuis la nuit des temps*, Autrement, novembre 1991
(3) ZUPPIROLI et BUSSAC, *Traité des couleurs,* Presses molytechniques et universitaires romandes, 2001
(4) SCHRÖRINGER, *Physique quantique et représentation du monde*
(5) *Lumières je pense à vous*, Catalogue Centre G.Pompidou, Hermé, 1985
(6) *Néons, fluor et Cie*, catalogue d'exposition ISELP 1984
(7) H. ALEKAN, *Des lumières et des ombres,* centre national des lettres et Cinémathèque Française,1979
(8) VON MEISS, *De la forme au lieu*, Presses polytechniques et universitaires romandes
(9) J. TANIZAKI, *Eloge de l'ombre*, Publications orientalistes de France, 1988
10) P.VANDERPLANQUE, *L'éclairage - notions de base, projets d'installation*,
(11) CNBE, *Technique de l'éclairage*, Vaillant-Carmanne, 1974
(12) M.DERIBERE, P.CHAUVEL, *L'éclairage naturel et artificiel dans le bâtiment*, Eyrolles, 1968
(13) R. NARBONI, *La lumière urbaine*, Moniteur, 1995
(14) CURVAL P. J. Kersalé, *L'instant lumière*, éd. Hazan, Paris, 1994
(15) C. HAVELANGE, *L'oeil du monde*, Fayard
(16) L. KAHN, Silence et lumière, éd. du Linteau, 1996
(17) De la lumière, Revue d'esthétique, Jean –Michel Place, 2000
(18) Revues Architecture d'Aujourd'hui n° 274, 275, 276
(19) R.FEYNMAN, *Lumière et matière*, Interéditions, 1985
(20) J. MEURIS, *James Turrell, La perception est le mé*dium, La lettre volée, 1995
(21) Le CORBUSIER, Vers une architecture, Les éditions G.Crèset Cie, Paris, 1923
(22) C. DALFIN, *De la perception*, Revue Mouvement n°1 janvier 1999
(23) C. FRANCBLIN, *Turrell et la lumière fut*, Revue Beaux Arts n°176 janvier 1999
(24) A. DE HERDE, S. REITER, *L'éclairage naturel des bâtiments*, Architecture et Climat, Ministère de la région wallonne, 2001
(25) A. DE HERDE, S. REITER, *Guide d'aide à l'utilisation de l'éclairage artificiel en complément de l'éclairage naturel*, Architecture et Climat, Ministère de la région wallonne, 1999
(26) M. BOUCHIER, *Lumières*, Col. Arts des Lieux, Ousia, 2002
(27) S. DE PONTE, *Architectture di luce*, Gangemi editore
(28) De la lumière, Revue d'esthétique, Jean Michel Place
(29) M. Dietz et M. Mönninger, *Lights-Leuchten-Lampes,* Ed.Taschen, 1993
(30) G. Janneau, *Le luminaire*, Ch. Moreau, 1998
(31) W. Schievelbusch, *Licht, Schein und Wahn*, Ernst und Sohn, 1992
(32) NBN L13-001Eclairage naturel des bâtiments - Principes généraux
(33) NBN L14-002 Méthodes de prédétermination des éclairements, des luminances et des indices d'éblouissement en éclairage artificiel d'espaces clos.
(34) NBN L13-002 Prédétermination de l'éclairage naturel pour des conditions de ciel couvert
(35) LIEBARD A., De HERDE A., Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques, éd. Le Moniteur
(36) POIRIER R., CAMBRON L., Photométrie en lumière vive, Revue médicale, 2007/62
(37) Application de l'optique diffractive pour un appareil de luminothérapie : la Luminette, collectif, Le journal des ingénieurs, FABI, n°107, octobre 2007

(38) FILACIER J., La pratique de la couleur, éd. Dunod, 1986
(39) HUBBERMAN D., *L'homme qui marchait dans la couleur,* éd. De Minuit
(40) Licht Focus, Zumtobel-Staff, revue n°7, avril 96
(41) Van den Beld G., Lumière et Santé, revue Philips n°11, bureaux /tendance, 2002
(42) Henri Matisse, Ecrits et propos sur l'Art, Collection savoir sur l'Art, Herman éditeur des Sciences et des Arts
(43) S. DE PONTE, *Architecture di luce*, Gangemi editore, 1996
(44) J.TURRELL, *Spirit and light*, catalogue Contempory Arts Museum, Houston, 1998
(45) GAUDIN H. *La cabane et le labyrinthe*, éd. Mardaga, 1984
(46) MARREY B., FERRIER J., *Paris sous verre*, Catalogue d'exposition, éd. Picard-Pavillon de l'arsenal, 1997
(47) Osram, Catalogue 95/96
(48) Osram, Catalogue 2007
(49) Alittex, Catalogue, Powwer Les, TL and RGB lighting, 2007
(50), Erco, Nouveautés d'éclairage intérieur et extérieur, 2007
(51) Iguzzini, Catalogues, Appareils d'éclairage 2006
(52) Bega, Catalogue, Eclairage extérieur, Catalogue général 2004/2006
(53) Beaujean, A. *Eclairer juste*, mémoire d'architecture, Saint-Luc, Liège, 2007
(54) MERCKS B., DEMOULIN P, SWINGS, JP, Aménagement du territoire et protection du ciel nocturne, dans les Cahiers de l'Urbanisme 2004, n°50
(55) H. PLUMMER Architecture de la lumière, Hazan, 2009

Table des matières

Introduction p.1
Bref historique p.3
La notion de mise en lumière p.7

Chapitre I les éléments de la physique de la lumière

1-1 le rayonnement visible p.10
1-2 la photométrie : grandeurs et unités (11,12, 24,32)
1.2.1 le flux lumineux p.13
1.2.2 l'intensité lumineuse p.14
1.2.3 l'éclairement p.14
1.2.4 la luminance p.15
1.2.5 la température de couleur p.16
1.2.6 l'indice de rendu de couleur p.17

1-3 propriétés des corps vis-à-vis de la lumière (11, 24, 32)
1.3.1 la réflexion p.19
1.3.2 la transmission p.22
1.3.3 l'absorption p.24
1-4 la perception visuelle (12, 24, 25, 35, 38)
1.4.1 la vision p.25
1.4.2 le confort visuel p.30
1.4.2.1 le niveau d'éclairement p.31
1.4.2.2 répartition de la lumière et rapport de luminances p.33
1.4.2.3 absence d'ombres gênantes p.33
1.4.2.4 mise en valeur du relief et du modelé des objets p.34
1.4.2.5 un rendu des couleurs correct p.34
1.4.2.6 une température de couleur adaptée p.35
1.4.2.6 absence d'éblouissement p.35
1.4.2.8 une vue vers l'extérieur p.39
1-5 la lumière et la santé (36, 37, 40, 41) p.40

Chapitre II l'éclairage naturel (7, 24, 32, 34, 35, 42)

2-1 à propos de l'éclairage naturel p.44
2-2 la lumière du ciel et du soleil
2.2.1 la course du soleil p.47
2.2.2 les états du ciel p.49
2-3 la répartition de la lumière à l'intérieur de l'espace p.51
2.3.1 la quantité de lumière disponible p.52
2.3.2 la quantité de lumière effectivement disponible p.54
2.3.3 le facteur de lumière du jour p.56
2-4 les outils d'évaluation de la lumière naturelle d'un projet p.60
2-5 calcul de l'éclairage naturel p.61

Chapitre III l'éclairage artificiel

3-1 les lampes (24, 35, 49) p.64
3.1.1 les lampes à incandescence p.65
3.1.2 les lampes halogènes p.66
3.1.3 les tubes fluorescents p.67
3.1.4 les lampes fluocompactes p.70
3.1.5 les lampes à vapeur de mercure haute pression p.71
3.1.6 les lampes à vapeur de sodium p.72
3.1.7 les lampes aux halogénures métalliques p.73
3.1.9 les diodes électroluminescentes p.74
3.1.10 le système des fibres optique p.75
3.1.11 les éléments auxiliaires des sources lumineuses p.76
3-2 les luminaires (25, 35, 47, 48, 50, 51, 52)

3.2.1 brève histoire du luminaire p.78
3.2.2 les caractéristiques d'un luminaire p.80
3.2.2.1 le rendement p.80
3.2.2.2 la protection contre l'éblouissement p.80
3.2.2.3 la distribution lumineuse p.80
3.2.2.4 la protection contre l'environnement p.84
3.2.2.5 la protection électrique p.85
3-3 dimensionnement de l'éclairage artificiel (33) p.86

Chapitre IV lumière et espace p.88

Chapitre V l'éclairage urbain (2, 13, 14, 53, 54)
5-1 introduction p.97
5-2 la pollution visuelle p.99
5-3 la pollution des écosystèmes p.101
5-4 la pollution environnementale p.102
5-5 l'argument sécuritaire p.103

Annexe 1
Annexe 2
Propos sur la lumière
Bibliographie
Tables des matières

Remarque : les numéros indiqués en tête de paragraphe sont ceux, qui dans la biographie correspondent aux références qui nous ont servi pour l'élaboration de ce paragraphe