

# L'ÉCLAIRAGE NATUREL DANS LE BATIMENT. REFERENCE AUX MILIEUX ARIDES A CLIMAT CHAUD ET SEC.

## DAYLIGHTING IN BUILDINGS. REFERENCE TO HOT ARID LANDS.

A. BELAKEHAL<sup>(1)</sup>, K. Tabet AOUL<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>Département d'Architecture, Université de Biskra, 46, rue Okba Ibn Nafaa 07000 Biskra, Algérie  
Email : belakehal@caramail.com

<sup>(2)</sup>Département d'Architecture, USTO, 7, rue de Picardie, Gambetta 31000 Oran, Algérie.  
Email : katabet@yahoo.fr

### RESUME

Cette recherche expose les diverses techniques traditionnelles et contemporaines de l'éclairage naturel en architecture. Elle relate aussi les apports des nouveaux produits de l'éclairage artificiel et qui peuvent fortement contribuer à une stratégie d'éclairage mixte (naturel et artificiel). Elle présente également une revue critique non exhaustive des différents outils de prédiction et d'évaluation de l'éclairage naturel dans le bâtiment avec une référence aux milieux arides à climat chaud et sec. En conclusion, cette étude introduit les conditions de faisabilité de l'éclairage naturel (et mixte) en tant que stratégie de réduction de la consommation énergétique ainsi que les opportunités propres au cas de l'Algérie.

**Mots clés :** Bâtiment, architecture, éclairage naturel, éclairage artificiel, aride.

### ABSTRACT

This research reports the various traditional and contemporary techniques of daylighting in buildings and the involvement of the new products of electric lighting for a combined (natural and artificial) lighting. Also, it presents a non-exhaustive critical review of the prediction and evaluation tools of daylighting with reference to the hot arid regions. In conclusion, this investigation establishes the feasibility conditions and the opportunities for Algeria to take up daylighting (and the combined lighting) as an energy consumption reduction strategy.

**Key words :** Building, architecture, daylighting, electric lighting, arid.

## 1. INTRODUCTION

Le soleil est une source d'énergie inépuisable. Tout au long de l'histoire de l'humanité, cette source a été utilisée pour différentes tâches : chauffage, éclairage, séchage des produits agricoles...etc. De nos jours et à une échelle mondiale, un grand intérêt est porté à cette source naturelle d'énergie. Dans le domaine de l'urbanisme et de l'architecture, cette source a souvent été exploitée de manière passive. Le thème du solaire passif a présenté et ses développements présentent encore un sujet d'actualité. Malheureusement, pour le cas des milieux arides à climat chaud et sec, les investigations demeurent beaucoup moins nombreuses en comparaison au cas des pays à climat tempéré. Ceci est particulièrement le cas de l'éclairage naturel.

L'importance de l'éclairage naturel s'impose du fait qu'il permet une réduction significative de la consommation de l'énergie électrique dans le bâtiment et en particulier dans les secteurs secondaires et tertiaires [1, 2]. Effectivement il a été révélé qu'en Europe, par exemple, 50% de l'énergie consommée est destinée à l'éclairage artificiel des constructions à usage non-domestique [3]. Il y a été aussi démontré qu'une réduction de l'ordre de 30 à 70% de cette consommation est possible grâce à la combinaison de

l'éclairage naturel et artificiel [4]. On souligne que d'après la S.I.A. [5, p.39] : *A flux lumineux égal, l'éclairage naturel amène deux à trois fois moins de chaleur au local que l'éclairage artificiel. Ceci est particulièrement important lorsque l'éclairage artificiel représente (par ses pertes thermiques) une des principales charges de climatisation.*

A l'échelle internationale, des chiffres pareils ont suscité un intérêt croissant pour l'éclairage naturel comme moyen efficace pour l'économie et la rationalisation de l'utilisation de l'énergie dans le bâtiment. Il est d'ailleurs considéré comme une des stratégies fondamentales des conceptions bioclimatiques, solaires passives et/ou de haute qualité environnementale [2].

L'Algérie est en face de contraintes énormes qui exigent une rigoureuse attitude vis-à-vis du problème de l'éclairage naturel. Il s'agit d'abord du règne d'un climat chaud et sec sur les 4/5 du territoire national [6]. En second, ce sont les matériaux de construction thermiquement inefficaces et non appropriés qui sont prépondérants et presque uniques sur le marché. En effet, il est connu que les constructions bâties avec ces matériaux demandent une consommation énergétique supplémentaire afin d'aboutir à des conditions acceptables de confort [7].

Concernant le choix de l'éclairage naturel comme stratégie

d'économie d'énergie, l'Algérie possède des potentialités très valables et des occasions exceptionnelles, à savoir : 1) l'ensoleillement excessif et donc la disponibilité d'un éclairage favorable à longueur d'année sur la plupart des régions du pays (environ 3300 heures/an [8]), et 2) l'héritage d'un patrimoine urbanistique et architectural vernaculaire attestant l'existence d'un très riche répertoire référentiel de stratégies spatiales relatives à l'éclairage naturel.

Cette étude expose les diverses techniques traditionnelles et contemporaines de l'éclairage naturel en architecture. Elle relate aussi les bienfaits des nouveaux produits de l'éclairage artificiel et qui peuvent fortement contribuer à une stratégie d'éclairage mixte (naturel et artificiel). Elle présente également une revue critique non exhaustive des différents outils de prédiction et d'évaluation de l'éclairage naturel dans le bâtiment avec une référence aux milieux arides à climat chaud et sec. En conclusion, cette étude introduit les conditions de faisabilité de l'éclairage naturel (et mixte) en tant que stratégie de réduction de la consommation énergétique ainsi que les opportunités propres au cas de l'Algérie.

## 2. L'ECLAIRAGE NATUREL DANS LE BATIMENT

L'idée d'exploiter la lumière naturelle pour éclairer les espaces intérieurs n'est pas à proprement parler nouvelle. Les techniques léguées par les civilisations antérieures à notre ère et allant de l'échelle urbaine jusqu'au détail constructif en sont un témoignage. Cependant, chaque époque à ses propres besoins et solutions. Ceci dit, les techniques traditionnelles, en plus des acquis contemporains, demeurent toujours des références valables [9].

### 2.1 Dispositifs traditionnels

Dans les régions arides, l'ensoleillement est trop excessif et exige donc qu'il y soit déjà sujet à atténuation à l'échelle urbaine [10]. La compacité, l'orientation et l'étroitesse des rues ainsi que les passages couverts sont des techniques qui contribuent à la réduction des niveaux d'éclairage lumineux dans les espaces extérieurs (Fig.1).

A l'échelle de la construction, le patio couvert ou découvert entouré de galeries indique un autre moyen de réduire l'impact des intenses rayons solaires. Il assure aussi la diffusion de la lumière vers les espaces qui l'entourent (Fig. 2).

Le détail architectural et constructif illustre également la richesse des techniques de l'éclairage naturel latéral et/ou zénithal dans l'architecture traditionnelle. Les ouvertures verticales, par exemple, peuvent être : 1) en fente, 2) à section variable, étroite à l'extérieur et large vers l'intérieur, et 3) de petites dimensions aux surfaces extérieures blanchies [11] (Fig.3).



Figure 1 : Le passage couvert est une des configurations urbaines favorisant l'atténuation de l'intense rayonnement solaire à l'extérieur des bâtiments.

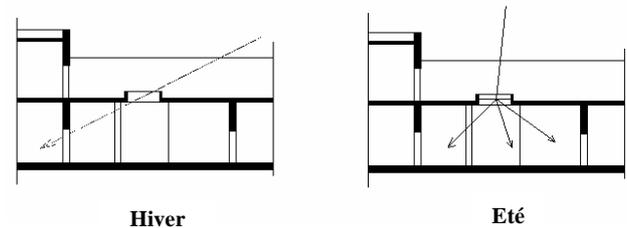


Figure 2 : Le patio couvert dans les maisons du sud algérien : En hiver, l'ouverture est sans protection et laisse pénétrer directement la lumière naturelle alors qu'en été elle est protégée et ne laisse passer que des rayons lumineux diffus.

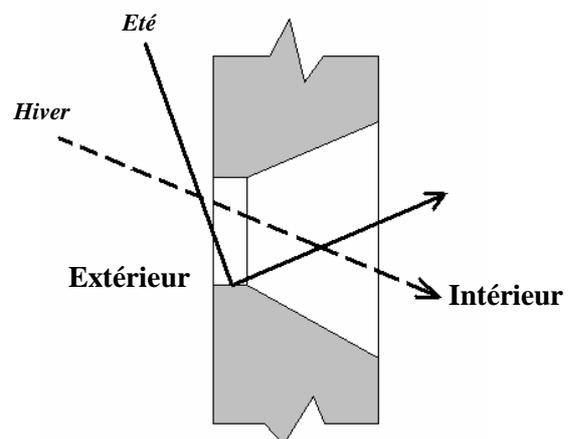


Figure 3 : La fenêtre à section variable, étroite vers l'extérieur et plus large vers l'intérieur, permet une meilleure diffusion de la lumière naturelle.

Lorsqu'elles ont des dimensions importantes, les ouvertures sont le plus souvent parées de protections (claustras en dur, moucharabieh en bois). Elles associent efficacement à la fois éclairage naturel, ombrage, ventilation et vue vers l'extérieur [12]. Le lanterneau en bois des salons

d'habitations du Caire Ottoman est un dispositif d'éclairage naturel zénithal et d'aération qui alloue à l'espace intérieur des qualités esthétiques remarquables [13].

Les divers agencements et composants conçus et utilisés pour l'éclairage naturel dans l'architecture traditionnelle des milieux arides semblent être en accord avec les autres contraintes d'ordre climatique (confort thermique, ventilation...). Cependant, les niveaux d'éclairage lumineux confortables et contrastant avec ceux éblouissants des espaces extérieurs ne peuvent satisfaire les nécessités de la vie actuelle (travail sur écran de micro-ordinateur par exemple). Néanmoins, ils doivent être étudiés et développés en vue d'une meilleure performance plus adaptée à la vie contemporaine.

## 2.2 Dispositifs contemporains

Les enjeux économiques (énergétiques) de l'éclairage naturel ont été pour beaucoup dans les développements acquis depuis les années soixante-dix. Dans différents pays, des réglementations urbanistiques ont pris en considération le besoin des bâtiments en lumière naturelle et qui a été exprimé en droit au soleil. La plupart de ces règlements définissent une durée minimale de pénétration du soleil à l'intérieur des locaux et traduisent cette exigence en termes de prospects urbains [14, 5, 15, 16]. Dans les régions à climat chaud et sec, les configurations urbaines traditionnelles sont rarement reprises dans les conceptions urbaines et architecturales. Ceci est dû au fait que ces configurations ne peuvent satisfaire les exigences de la ville contemporaine et plus particulièrement la circulation mécanique.

A l'échelle du bâtiment, le thème du patio est toujours exploité. De nouvelles configurations de ce dispositif se sont accrues en notre époque sous l'appellation d'*atrium*. La performance en matière d'éclairage naturel de cet espace, souvent central, dépend de son orientation, sa géométrie, des propriétés de ses surfaces verticales et horizontales et du vitrage utilisé. Néanmoins, dans les milieux arides il est recommandé que l'atrium soit couvert ou vitré et ombragé (Fig.4). Car, malgré que l'utilisation d'une couverture vitrée pour l'atrium puisse réduire sa performance de 20% jusqu'à plus de 50% [17], il demeure que, pour des raisons de confort thermique et visuel, l'atrium doit être couvert et/ou ombragé [4, 18].

L'éclairage zénithal par des ouvertures isolées dans le toit a connu aussi des développements considérables. Ceci revient au fait que ces dispositifs permettent d'obtenir une efficacité, en matière d'éclairage naturel, trois fois plus supérieure à celle d'une ouverture verticale [4]. Ces ouvertures nécessitent d'être ombragées au moyen de lames préférablement mobiles selon l'orientation et les saisons (Fig.5).

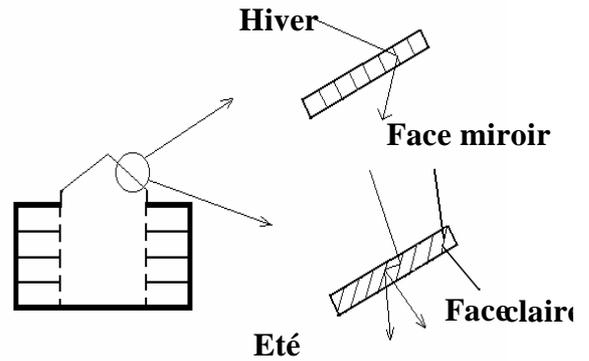


Figure 4 : Principe de fonctionnement d'une protection mobile pour l'atrium.

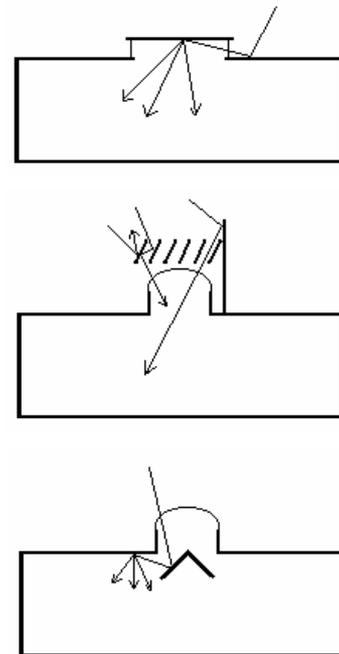
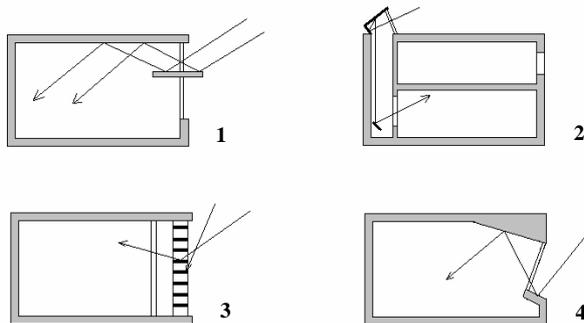


Figure 5 : Dispositifs d'éclairage zénithal appropriés particulièrement pour le cas des bâtiments des milieux arides à climat chaud et sec.

Concernant les ouvertures et leurs protections, les recherches menées ont certes abouti à plusieurs vérifications et précisions des connaissances antérieures [19] ; mais ce sont plutôt les développements de nouveaux dispositifs et composants qui caractérisent notre ère. Grâce à leurs propriétés, ces nouveaux composants permettent d'exploiter l'éclairage direct par le soleil [20, 21]. Effectivement, ils occasionnent une meilleure distribution de la lumière naturelle en réduisant les niveaux d'éclairage élevés près des ouvertures et l'élevant au fond des locaux. Parmi ces dispositifs contemporains, on distingue (Fig.6): 1) réflecteurs (lightshelves), 2) jalousies (reflective blinds), 3) verres solaires (mirrored louvres), 4) prisme de verre, 5) briques de verre, et 6) film prismatique [22, 23, 24, 1, 25].

D'autres inventions du XX<sup>ème</sup> siècle dignes d'intérêt dans le domaine de l'éclairage naturel et aussi de la thermique sont l'isolation thermique transparente et les nouveaux produits voués à un éclairage artificiel de moindre émission de chaleur. Les matériaux créés sont isolants et translucides. Ils filtrent et redirigent la lumière naturelle avec des performances lumineuse et thermique notables [26]. Du côté de l'éclairage artificiel, les résultats acquis ont vraisemblablement engendré une révolution technologique et l'apparition d'une nouvelle stratégie d'éclairage dans le bâtiment : l'éclairage mixte.



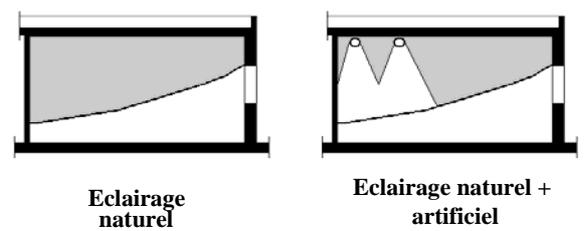
**Figure 6 : Exemples de dispositifs contemporains d'éclairage naturel qui peuvent être utilisés pour les bâtiments des milieux arides à climat chaud et sec : 1- réflecteur diffuseur guide de lumière, 2- lumiduc, 3- claustra, et 4- réflecteur externe [4].**

### 2.3 L'éclairage mixte :

Dans la pratique courante et à quelques exceptions près, l'éclairage naturel a souvent été ignoré par les éclairagistes. En effet, ils positionnent généralement leurs lampes sans prendre en considération la disposition des fenêtres et leurs caractéristiques d'où l'aboutissement à une simple grille de lampes [27]. Cette attitude a été essentiellement favorisée par le bas prix de l'énergie électrique de même que celui des produits d'éclairage artificiel. Le réveil énergétique et environnemental de la société mondiale a consolidé l'idée d'une plus intense utilisation de l'éclairage naturel dans le bâtiment et de le supplanter par l'éclairage artificiel.

L'éclairage naturel et l'éclairage artificiel doivent donc être perçus sous la complémentarité et non pas séparément (Fig.7).

L'éclairage artificiel est destiné pour une utilisation nocturne et aussi en source supplémentaire diurne en cas d'insuffisance d'éclairage naturel [28, 29]. Cet éclairage mixte permettra donc à la fois une significative économie d'énergie électrique et un bon niveau de confort visuel dans les espaces intérieurs [30]. Afin de parvenir à cet objectif, il est nécessaire, cependant, de connaître la durée d'utilisation de l'éclairage artificiel. Ceci renvoie automatiquement à la disponibilité de la lumière naturelle et ses variations journalières et saisonnières ainsi que sa pénétration dans les espaces intérieurs [31].



**Figure 7 : Principe de la stratégie de l'éclairage mixte : Elever le niveau de l'éclairage lumineux par l'emploi de l'éclairage artificiel là où il y a insuffisance due à l'éclairage naturel.**

L'éclairage artificiel a fait l'objet de plusieurs investigations desquelles certains obstacles quant à son application ont été révélés. Un des obstacles majeurs est le contrôle d'utilisation de la lumière artificielle et qui peut se faire de différentes manières [30] : 1) manuelle, 2) par une horloge programmée selon le temps d'utilisation de l'espace avec un contrôle manuel optionnel, 3) photoélectrique marche/arrêt, et 4) réglage photoélectrique du niveau d'éclairage.

Certains travaux de recherches ont montré que les dispositifs de contrôle les mieux appropriés du point de vue de l'acceptation de l'utilisateur et de l'économie d'énergie sont ceux qui éteignent automatiquement la lumière tout en laissant la liberté à l'utilisateur de la rallumer s'il veut [32]. Toutefois, ces modes de contrôle et leur efficacité dépendent du comportement des utilisateurs et nécessitent donc un approfondissement des connaissances selon les divers contextes (climat, culture, activité, espace...). D'autres investigations traitant du même objet ont montré aussi que l'orientation de la baie et ses protections sont des paramètres influents pour le contrôle de l'éclairage artificiel [33].

Un autre paramètre pouvant être exploité au profit de la conception de l'éclairage mixte est l'usage même de l'espace. L'éclairage artificiel ne devrait pas être considéré seulement comme supplément à utiliser aux points où l'éclairage naturel est non satisfaisant mais plutôt aller au-delà en éclairant les endroits où on a un réel besoin de ce supplément. Cette approche pourra efficacement promouvoir la qualité des ambiances lumineuses des espaces intérieurs et donner plus de structuration immatérielle au sein d'un même espace. Un travail de recherches énorme est à faire en ce sens afin de définir, selon les activités et les usagers, quels endroits du même espace architectural devraient être éclairés constamment et ceux occasionnellement.

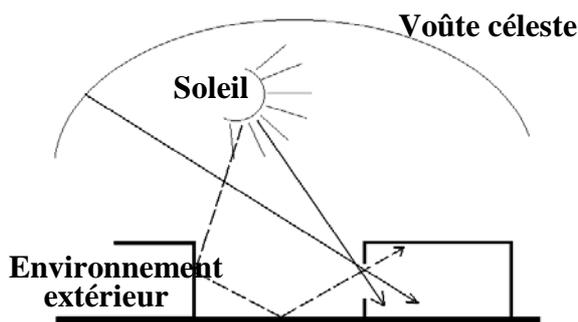
Du côté de la source lumineuse artificielle, des efforts considérables ont été investis en vue de produire des lampes ou luminaires de haute efficacité énergétique et de longue durée de vie. Pour cela divers procédés ont été mis en œuvre et dont on citera à titre d'exemple l'utilisation du sodium à haute pression à la place du mercure et le tungstène halogène au lieu du tungstène incandescent [28]. Il faudra souligner que le choix ne doit pas se limiter entre lampes à incandescence et celles fluorescentes mais bien au-delà en cherchant le type le plus efficace énergiquement

parmi la même catégorie de lampe [34]. Ces récents développements et découvertes ouvrent de nouveaux horizons pour l'éclairage des espaces extérieurs et intérieurs et font de l'éclairage mixte une stratégie énergétique d'avenir dans les régions arides à climat chaud et sec.

### **3. METHODES DE PREDICTION ET D'EVALUATION :**

A l'intérieur d'un local, la lumière naturelle provient de deux types de sources externes: directe et indirecte (Fig.8). Les sources directes sont le soleil lui-même et la voûte céleste [35].

Les rayons solaires directs pénètrent en apportant une lumière directive, ce qui conduit à des ombres très marquées et à des niveaux d'éclairage très importants. La voûte céleste, quant à elle, correspond au rayonnement diffus. Sa luminance est anisotrope (répartie de manière irrégulière) lorsque le ciel est clair et isotrope (répartie de manière régulière sur toute la voûte) lorsque le ciel est couvert uniforme (la C.I.E. -Commission Internationale de l'Eclairage- considère que la luminance du ciel couvert au zénith est trois fois plus supérieure qu'à l'horizon).



**Figure 8 : Les différentes sources externes d'éclairage naturel dans le bâtiment.**

Les sources indirectes sont les éléments ou objets de l'environnement immédiat, à l'origine directement éclairés, et qui réfléchissent à leur tour cette lumière et deviennent ainsi des sources indirectes. Ces éléments peuvent être sols, façades avoisinantes, surfaces d'eau et végétation.

Dans les milieux arides à climat chaud et sec, l'intense rayonnement lumineux direct est augmenté par celui réfléchi. L'état du ciel est qualifié de clair, bleu serein et/ou le moins couvert possible [36]. Pour cette raison, les sources directes de la lumière naturelle dans un tel milieu physique prennent beaucoup d'importance. De même, la quantification du gisement lumineux s'avère une étape indispensable pour l'élaboration d'un projet architectural où l'éclairage naturel et le souci énergétique sont consciemment pris en compte. Cependant, l'évaluation du gisement lumineux en un site particulier n'est pas une tâche

facile vu l'intervention de plusieurs paramètres pour la caractérisation et la codification des conditions du ciel (degré de pollution, l'heure, le jour et la saison).

Cette difficulté a poussé certains chercheurs à établir des modèles standardisés pour les différents cas dominants de ciel. Un modèle standard de ciel donne des valeurs approximatives de luminance de toute partie du ciel et qui puissent être utilisées pour les calculs d'éclairages. Depuis un temps récent, des programmes régionaux et même internationaux de campagnes de mesures ont donc été lancés dans l'objectif d'évaluer les gisements lumineux et leur caractérisation à travers le monde [37].

Dans le passé, le ciel couvert nuageux a été celui considéré comme représentant les conditions défavorables pour un éclairage naturel et a servi de base pour l'élaboration de méthodes d'évaluation des niveaux d'éclairages lumineux dans les locaux. Pour le cas des milieux arides à climat chaud, le ciel couvert ne peut être représentatif de ce contexte et ne reflète guère les conditions réelles de ce milieu et c'est pourquoi qu'on se limitera dans cette étude à traiter uniquement du cas du ciel clair avec ou sans soleil.

#### **3.1 Détermination du gisement lumineux sous ciel clair:**

La répartition de la luminance de la voûte céleste est un élément indispensable pour le calcul, la prédiction et/ou la simulation de la lumière naturelle à l'intérieur d'un espace architectural. Le modèle standard de la répartition de la luminance de la voûte céleste pour le cas du ciel clair n'a été adopté par la CIE qu'en 1973, bien 18 années après l'adoption de celui du cas du ciel couvert [38].

L'équation du ciel clair serein C.I.E tient compte des conditions réelles principales et des effets fondamentaux de la diffusion et la réfraction de la lumière solaire dans une atmosphère parfaitement claire et le moins couverte possible. Le modèle ciel clair CIE est sans soleil et donc ne présente pas pleinement les conditions réelles d'un ciel clair. Effectivement, des campagnes de mesures expérimentales ont montré les limites de ce modèle et son inaptitude à être représentatif de la réalité [39, 40, 41].

A partir de la moitié des années 80, d'autres modèles de distribution de luminance du ciel sont proposés par plusieurs chercheurs [42]. Ces modèles sont issus soit de développement des équations déjà existantes, soit basés sur des campagnes de mesures. C'est le cas, par exemple, du modèle CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment à Nantes, France) qui sur la base de l'indice de nébulosité classifie la répartition de la luminance en cinq types de ciel [40]: 1) ciel couvert, 2) ciel couvert intermédiaire, 3) ciel moyen intermédiaire, 4) ciel bleu intermédiaire et 5) ciel bleu. Actuellement les campagnes de mesure se font de plus en plus vu la fiabilité et la pertinence de leurs résultats en matière de détermination du gisement lumineux.

Toutefois, et dans le cas du manque de telles données pour ciel clair, on peut se tenir à une méthode très récente pour l'approximation de la luminance et sa répartition [43]. En effet, la meilleure stratégie pour le cas du ciel clair, est de

considérer seul l'éclairement direct par le soleil (comme source directe) avec une intensité de l'ordre de 100.000 cd / m<sup>2</sup>, et la position relative à l'heure, au jour et à la saison de l'année. Ensuite, on doit considérer comme sources indirectes la voûte céleste et les autres surfaces réfléchissantes (albédo). La luminance de la voûte céleste diminue autant qu'on s'éloigne du soleil avec les valeurs variant entre 2000 et 9000 cd/m<sup>2</sup>. En ce qui concerne l'albédo, la valeur typique de la luminance est le résultat de la formule suivante [43] :

$$L_a = E_h \cdot r / \pi. \quad (1)$$

Où :

$L_a$  : luminance de l'albédo.

$E_h$  : éclairement reçu par les surfaces (estimé à 100.000 lux pour ciel clair).

$r$  : coefficient de réflexion des surfaces (valeur typique de 0,2 ou au plus 0,7 pour les surfaces brillantes).

### 3.2 Evaluation des éclairagements lumineux intérieurs sous ciel clair :

L'objectif d'une méthode d'évaluation du niveau d'éclairement lumineux à l'intérieur d'un espace est de déterminer la quantité et la répartition de la lumière naturelle pénétrante. Sous un ciel clair, la quantité et la qualité de la lumière changent continuellement. En effet, dans moins de 12 heures un espace est souvent éclairé par diverses sources (soleil, voûte céleste, lumière réfléchi...) avec des rayons solaires de différentes directions [44]. La complexité du phénomène, entre autres, a poussé certains chercheurs à avoir recours à la simplification et la réduction en recommandant le non usage de l'éclairement direct par le soleil pour l'éclairage naturel [45]. Ceci est également dû aux gains solaires procurés par la lumière naturelle directe affectant le confort thermique intérieur. Cette misconception est révolue de nos jours. En effet, les protections solaires utilisées (brise-soleil) affectent de leur part considérablement l'éclairage à l'intérieur de l'espace ce qui exige le recours à l'éclairage artificiel.

Cependant, il a été démontré que l'éclairement direct par le soleil à l'intérieur d'un bâtiment introduit moins de chaleur que le font presque tous les appareils d'éclairage artificiel [5, 16]. Donc, dans les milieux arides et les régions où le ciel est à dominante claire, il serait inopportun d'utiliser cette source en vue d'un éclairage naturel, économique en matière d'énergie et attrayant en termes d'ambiance spatiale.

Il existe deux approches sur lesquelles se basent les différentes méthodes d'évaluation quantitative. La première est celle du Facteur de lumière du jour, d'origine britannique et adoptée par la C.I.E. Elle est issue de principes fondamentaux théoriques et considère le rapport de l'éclairement en un point de l'espace intérieur sur l'éclairement horizontal extérieur.[5] La seconde méthode est celle du Lumen adoptée par la North American Illuminating Society et beaucoup plus utilisée aux U.S.A. Elle est basée sur les résultats d'études expérimentales ce qui limite les cas de son application [16].

Par ailleurs, les méthodes d'évaluation quantitative peuvent être classées selon qu'elles soient de calcul, graphiques, informatiques et/ou par maquettes. Mis à part ces dernières, les unes constituent le développement des autres. Ces méthodes établies, à l'origine, pour le cas du ciel couvert ont été ultérieurement développées afin d'inclure le cas du ciel clair. Dans ce qui suit, on exposera celles qui sont les plus utilisées et connues.

#### 3.2.1. Méthodes de Calcul:

L'introduction de données relatives aux conditions de ciel clair dans les méthodes de calcul adoptées par la C.I.E a fait l'objet de plusieurs investigations. Les plus notoires sont certainement celles de Harvey J. Bryan qui a développé des méthodes de calcul manuelles qu'il a intégrées dans un programme pour calculatrice, ensuite rendues sous forme de diagrammes (*protractors*) et plus tard transformées en un programme informatique [46]. La carence des méthodes développées pour le ciel clair est qu'elles se limitent à la contribution de la voûte céleste et ignorent l'impact de l'éclairement direct par le soleil. De plus, les valeurs utilisées se basant sur les modèles de ciel serein CIE rendent les résultats différents de la réalité.

Une méthode de calcul développée récemment pour la prédiction des éclairagements intérieurs sous ciel clair est appelée méthode du facteur d'éclairement direct par le soleil (Sunlight factor method) [47]. Cette méthode se base sur le fait que la grande part des éclairagements horizontaux extérieurs sous ciel clair revient à l'éclairement direct par le soleil. Ce facteur est défini comme étant le rapport de l'éclairement en un point donné produit par les rayons solaires direct et réfléchis à celui de l'éclairement du rayon solaire sur un plan normal aux rayons solaires incidents. L'investigation de laquelle résulta cette méthode a démontré aussi que la contribution de la voûte céleste est constante et ne varie pas avec l'altitude solaire. Les rapports entre les deux contributions relativement à l'éclairement incident ont été présentés sous forme d'abaque.

#### 3.2.2. Méthodes graphiques:

Les outils graphiques (abaques, diagrammes...) sont issus des équations de calcul précédemment citées. Ces outils sont passés aussi par l'étape de destination pour conditions de ciel couvert puis pour ciel clair. Cependant et malgré leur aide considérable pour le concepteur aux premières étapes du projet, le fait qu'ils ne tiennent pas compte de l'éclairement direct par le soleil amène à ce qu'ils ne peuvent prétendre à une significative fiabilité pour la prédiction des éclairagements intérieurs. C'est le cas, par exemple, des contours d'éclairagements extérieurs (Exterior illuminance contour overlays), des diagrammes en points (Dot charts) [16], de la méthode graphique de conception d'éclairage naturel (Graphic Daylighting Design Method : GDDM) [48] et diagrammes ou rapporteurs d'éclairage naturel [49]. Ces outils ont introduit de nouvelles données propres au ciel clair (latitude, orientation de la fenêtre...) mais se sont basés sur la fonction du ciel serein CIE ce qui

leur cause toujours une carence vis-à-vis des conditions réelles du ciel clair.

A la fin des années 80, une autre méthode graphique a été proposée en vue de déterminer les niveaux d'éclairagements intérieurs, et vouée particulièrement pour les architectes [47]. Cette méthode se réfère aux cinq types de ciel du CSTB en considérant comme variables : orientation, latitude, heure du jour et jour de l'année. Elle consiste en l'utilisation de trois diagrammes. Le fait de ne pas avoir tenu en compte l'éclairage direct par le soleil rend la valeur des résultats de cette méthode équivalents à ceux des méthodes précédentes.

Récemment un outil commun au contrôle solaire et au contrôle lumineux a été proposé. Il s'agit de diagrammes à projection sphérique équidistante zénithale [35]. Pour le cas du ciel clair, sont considérés à la fois la contribution de la voûte céleste et celle de l'éclairage direct par le soleil. En se basant sur le fait que le rayonnement visible appartient au spectre du rayonnement solaire, l'équivalence entre le  $W/m^2$  et le Lux existe et il y a alors possibilité de transformer les diagrammes énergétiques en diagrammes lumineux pour divers plans de réception. Deux diagrammes sont utilisés en cette méthode, l'un pour le plan vertical et l'autre pour celui horizontal (Fig.9). Ces diagrammes sont à utiliser avec le diagramme solaire et doivent être adaptés aux valeurs de gisements énergétiques (irradiations solaires) locales.

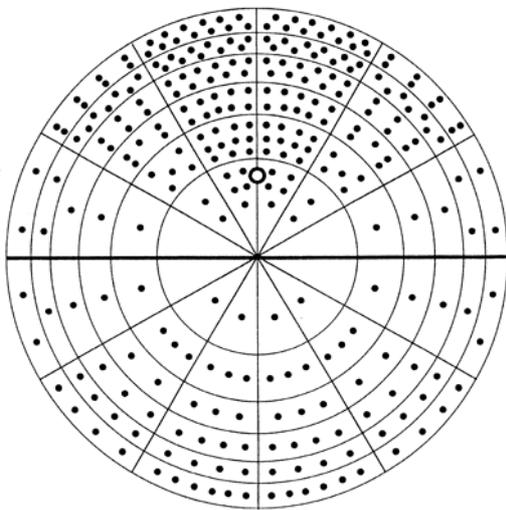


Figure 9: Un diagramme d'éclairage lumineux d'un plan vertical par ciel clair avec le soleil dans le plan normal (chaque point représente un certain nombre de lux variable selon la latitude du lieu, de l'altitude du soleil et de l'orientation de la baie) [32].

### 3.2.3. Méthodes de simulation informatique :

Les méthodes de simulation informatique ont été développées à partir des équations préexistantes et des cas du ciel couvert. Ces méthodes permettent de quantifier la lumière naturelle et de prédire sa répartition à l'intérieur

d'un espace. Elles procurent la facilité recherchée dans l'évaluation de l'impact d'une modification de géométrie, d'orientation ou de couleur [51].

De nos jours, le domaine des outils informatiques traitant de l'éclairage naturel connaît un très large développement et de plus en plus d'investigations dans plusieurs laboratoires du monde. Malheureusement, la plupart de ces outils se basent sur les modèles de ciel CIE, ce qui rend leurs résultats pas plus prometteurs que ceux des méthodes de calcul et graphiques. Tel est le cas des programmes Microlite I [52] et Superlite [53].

Des programmes informatiques plus récents ont pris en compte l'éclairage direct par le soleil en l'intégrant aux logiciels existants ou en utilisant des procédures différentes. Le premier cas est celui du programme informatique ADELIN (Advanced Daylighting and Electric Lighting New Environment) [54]. Ce logiciel est une compilation de plusieurs autres programmes informatiques existants combinés et où chacun est voué à une fonction particulière (Fig.10). Le second cas est celui du programme Genelux qui utilise la technique du lancer de rayons [55]. Cette technique est utilisée par les plus performants programmes informatiques d'éclairage.



Figure 10 : Rendu d'une simulation de l'éclairage naturel d'un espace architectural par le logiciel Adeline (module Radiance) [62].

### 3.2.4. Maquettes:

La simulation par maquette est une autre technique pour l'évaluation de l'éclairage naturel à l'intérieur des espaces. Cette procédure de simulation toujours reconnue de nos jours est quand même très ancienne vu qu'elle a été déjà utilisée en 1920 [56]. Le principal avantage de la simulation par maquettes pour l'éclairage naturel par rapport à d'autres domaines, tel que la thermique, est que l'effet de la réduction d'échelle de l'objet simulé n'affecte pas les conditions d'éclairagements intérieurs ou extérieurs (Fig.11). Une maquette qui reproduit fidèlement les dimensions,

proportions et propriétés des matériaux, est très convenable pour ce genre d'investigation [51,57].

La simulation par maquettes présente aussi d'autres avantages [16] :

- Résultats quantitatifs fiables même si les maquettes sont grossièrement construites.
- Facilité des comparaisons par le changement d'éléments de l'objet.
- Familiarité des architectes et des concepteurs avec la construction et l'usage des maquettes.
- Opportunité pour une évaluation qualitative, à travers l'observation visuelle ou la photographie.

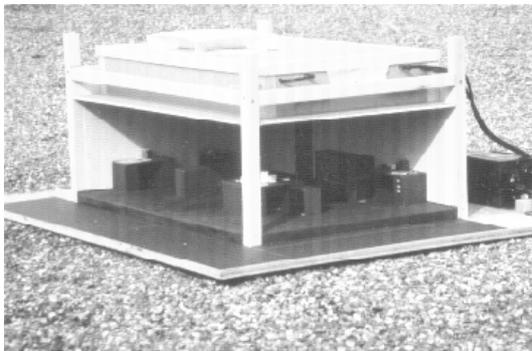


Figure 11 : Utilisation des maquettes pour la simulation de l'éclairage naturel dans le bâtiment [54].

Par comparaison au cas du ciel couvert qu'un ciel artificiel peut facilement constituer, la simulation par maquettes pour ciel clair se révèle très particulière. En effet, il est recommandé de les mener sous un ciel clair réel. Toutefois, on remarque ces dernières années l'intérêt porté à une reconstitution plus perfectionnée des conditions du ciel clair. Ceci est illustré de nos jours par la construction de simulateurs de lumière directe tels que l'héliodon de l'ENTPE de Lyon, France [37] et l'héliodon automatisé du Laboratoire d'Expérimentation Architecturale à l'EPFL à Lausanne en Suisse [38].

La simulation par maquettes peut être combinée avec l'outil informatique et avoir encore plus d'informations pour le cas du ciel clair. La méthode IDC (Integration of Directional Coefficients) en est un cas très illustratif [58]. L'utilisation des maquettes pour la simulation de l'éclairage naturel à l'intérieur des bâtiments pour le cas du ciel clair et menée sous ciel réel demeure la technique la plus crédible pour le contexte des milieux arides, chauds et secs.

#### 4. OPPORTUNITES ET FAISABILITE POUR LE CAS DE L'ALGERIE

Dans les régions arides et semi-arides à climat chaud et sec du territoire algérien, le ciel est le plus souvent clair (plus de 3000 heures d'ensoleillement possible par an). L'Algérie

possède donc une opportunité exceptionnelle en matière de gisement lumineux. Malheureusement, ce gisement n'est pas encore (officiellement) évalué. Plusieurs travaux sur les éclairagements énergétiques ont été et sont encore entrepris [59, 60, 61].

En se basant sur la correspondance entre éclairage énergétique (W/m<sup>2</sup>) et éclairage lumineux (Lux), il est possible de convertir des données énergétiques (diagrammes) en données sur le gisement lumineux [35, 62]. De plus, le nombre important de stations météorologiques en Algérie offre l'avantage d'avoir une série compilée de données énergétiques mesurées in-situ.

Par ailleurs, la faisabilité de l'intégration de l'éclairage naturel dans les conceptions architecturale et urbanistique en Algérie se trouve confrontée à certains obstacles. D'abord, c'est l'absence d'une réglementation relative à l'éclairage naturel adaptée aux spécificités climatiques du pays, et ce malgré que plusieurs pas aient été faits et se font toujours en ce sens auprès des décideurs [60, 63, 64].

En second et vu le fait que l'Algérie soit un pays du tiers monde, il est évident que le revenu d'un citoyen de la classe moyenne ne lui permet pas d'accéder aux solutions technologiques contemporaines. Ces conditions le rendent prisonnier des stratégies inspirées de celles traditionnelles et l'application des développements technologiques se limitera donc aux programmes grandioses. Il faudra aussi signaler le manque de sensibilisation des différents acteurs intervenant dans le cadre bâti envers ces aspects énergico-économiques de l'urbanisme et de l'architecture.

Finalement, certaines suggestions et recommandations peuvent être formulées en vue d'une meilleure intégration de l'éclairage naturel et artificiel dans le bâtiment :

- Détermination du gisement lumineux en Algérie en données chiffrées et cartographiques.
- Elaboration de données statistiques spécifiques à l'Algérie en matière de consommation d'énergie électrique pour l'éclairage artificiel (aussi pour la climatisation, chauffage...) selon les types d'activités.
- Création de laboratoires de recherches universitaires et extra-universitaires suivant la diversité des régions climatiques du pays.
- Encourager la production et la commercialisation des produits d'éclairage artificiel de haute efficacité et de longue durée de vie.
- Accroître le nombre d'études et de recherches traitant des différents aspects de l'éclairage naturel et artificiel (quantitatifs et qualitatifs).
- Encourager la réalisation de projets pilotes démontrant la faisabilité et les performances de l'éclairage mixte comme stratégie de réduction de la consommation énergétique dans le bâtiment.
- Sensibiliser les étudiants universitaires (en particulier en architecture) envers les problèmes

des facteurs de l'environnement physique dans le cadre bâti (dont la lumière naturelle).

- Etablissement de normes (réglementation) flexible et adaptée à la spécificité climatique et celle socioculturelle du contexte algérien.
- Création de mécanismes adéquats pour une sensibilisation socioculturelle de la société algérienne envers les problèmes d'énergie dans le cadre bâti.

## CONCLUSION

Le soleil est une source d'énergie renouvelable dont l'une des exploitations est l'éclairage naturel des locaux. Ce travail a essayé, entre autres, de mettre en relief l'importance de l'éclairage naturel au sein des enjeux de l'économie et de la rationalisation d'utilisation de l'énergie. Il y a été montré que, pour le cas des milieux arides à climat chaud et sec, la richesse du répertoire traditionnel et l'abondance des techniques contemporaines permet à l'éclairage naturel et à l'éclairage mixte, surtout, de devenir des plus efficaces stratégies de la réduction de la consommation énergétique dans le bâtiment.

Pour l'évaluation des niveaux d'éclairages lumineux dans les espaces intérieurs, il a été montré que les connaissances actuelles ne sont pas totalement satisfaisantes pour le cas des zones arides à climat chaud et sec où le ciel est le plus souvent clair et ensoleillé. L'évaluation du gisement lumineux est une étape indispensable pour l'obtention de résultats fiables et proches de la réalité. L'Algérie, et plus particulièrement son vaste Sahara, présente une aire des plus ensoleillées du monde. Tout point de notre pays bénéficie de 2500 à 4000 heures de soleil / an [65].

Politiciens, décideurs et scientifiques doivent s'intéresser à cette source et multiplier les recherches et les applications dans les domaines divers. En matière d'éclairage naturel, le gisement lumineux en Algérie n'est pas encore connu, et aucune publication officielle n'en parle. L'Algérie devra prendre conscience de l'importance de ce gisement et en faire l'évaluation. Le programme international de mesures de lumière naturelle, dirigé par la CIE peut constituer un bon cadre pour ce travail d'investigation vu les nombreuses stations météorologiques existantes en Algérie

Par ailleurs, il s'est avéré que le développement des outils d'évaluation de l'éclairage naturel a permis l'intégration de l'éclairage direct par le soleil. Cependant, ces outils demeurent non satisfaisants pour les architectes. Un outil dont le résultat est un chiffre, 500 Lux par exemple, ne peut prétendre à une aide au concepteur lors des premières étapes de sa conception. Il faudra donc penser à développer et à élaborer des outils dont les résultats sont formulés en termes de rapports entre éléments de l'espace considéré (parois, ouvertures, protections...). Un travail a été fait dans ce sens pour l'Inde et a donné des résultats très prometteurs [63].

Egalement, les outils de conception devront être établis sur

la base de l'occupation de l'espace, et des activités auxquelles il est affecté. Ces aspects d'ordre qualitatif sont aussi pour beaucoup dans la réduction de la consommation d'énergie vouée à l'éclairage des espaces car en réalité, le confort ne peut plus être appréhendé comme un luxe mais plutôt comme rationalisme et objectivité.

Finalement, et pour le cas de l'Algérie, il s'avère qu'un travail énorme reste à faire en ce domaine, tant pour les aspects quantitatifs que ceux qualitatifs. Décideurs, essentiellement, et tous les autres acteurs intervenant dans le cadre bâti (universitaires, chercheurs, praticiens...) doivent coordonner leurs efforts en vue d'acquiescer ce potentiel dont les enjeux ne se limitent pas à l'économique seulement mais bien au-delà, à l'écologique, biologique et socioculturel.

## REFERENCES

1. **Page, J et al, (1994).** Daylighting developments .A European Perspective. *Proceedings European Directory on Energy Efficient Buildings*, pp.40-44.
2. **Yannas, S., (1994).** Solar Energy and Housing Design. Vol.1.Principles, Objectives, Guidelines, Architectural Association, London.
3. **Scartezzini, J.L., (1991).** L'éclairage naturel dans le bâtiment. *Proceedings CISBAT'91*, 10-11/10/91, EPFL, Lausanne, 9 pages.
4. **Mc. Nicholl, A. and Owen L. J. (Eds), (1994).** *Daylighting in Buildings*. Maxi-Brochure préparée par Energy Research Group University College Dublin pour European Commission DG XVII for Energy,7.
5. **S.I.A (Eds), (1990).** Le Soleil. Chaleur, Lumière dans le Bâtiment. EPFL, Lausanne.
6. **Cote M., (1983).** L'espace Algérien. Les Prémisses d'un Aménagement. O.P.U., Alger.
7. **Ouahrani D., (1993).** Calcul de consommation énergétique. *Al-Oumrane Al-Magharibi*, N°02, Octobre, pp.53-60.
8. **Chegaar M. et Chibani A., (1999).** Methods for computing global solar radiation. *Recueils des résumés des Journées Nationales pour la Valorisation des Energies Renouvelables*, 23-24/11/99, Tlemcen, p.11.
9. **Belakehal A., (2000).** Microclimat et architecture bioclimatique contemporaine. Référence aux milieux arides à climat chaud et sec. *Proceedings C.H.E.M.S.S. 2000*, 13-16/05/2000, Alger, Institut de Mécanique de Blida, pp.19-23.
10. **Belakehal A., Tabet Aoul K. et Sriti L. (2001),** Shading: an aesthetic solar control strategy. *Open House International*, Vol. 26, N°01, pp.65-73.
11. **Belakehal A., (1995).** *La Façade entre l'Esthétique et le Contrôle du rayonnement Solaire*. Thèse de Magistère, Institut d'Architecture de Biskra.
12. **Bittencourt L.S., (1993).** Shading and daylight:

- an integrated evaluation of perforated blocks. *Proceedings ISES Solar World Congress*, 23-27/08/1993, Budapest, 6 pages.
13. **Belakehal A., Tabet Aoul K. et Bennadji A., (2000).** Sunlight and daylight in the traditional built environment. Case of the hot arid regions. *Proceedings W.R.E.C. VI*, 1-7/07/2000, Brighton, pp.624-627.
  14. **Ridley, L., (1990).** Site, communication and urban planning. *Solar Building Architecture*, Bruce Anderson (Ed), MIT Press, Cambridge, pp.79-83.
  15. **Bryan, H.J. et Stuebing S.E., (1986).** Daylight: The third dimension of the city. *Proceedings 1986 International Daylighting Conference*, 4-7/11/1986, Long Beach, California, pp.322-331.
  16. **Moore, F., (1985).** Concepts and Practice of Architectural Daylighting, Reinhold, New York.
  17. **Willbold-Lohr G., (1988).** Daylight in atria. *Proceedings Building 2000 Workshops*, Décembre, Barcelone, C.C.E., pp.121-133.
  18. **Etzion Y., (1997).** The thermal behaviour of non-shaded closed courtyards in hot arid zones. *Architectural Science Review*, Vol. 33, pp79-83.
  19. **Etzion Y., (1995).** Openings in hot climates – Wind, sun and shading. *Proceedings International Workshop on Climatically responsive Energy efficient Architecture*, Mars 1995, Delhi, pp.1-21.
  20. **Edmonds I. Et Reppel J., (1996).** Performance of new daylighting systems in northern Australian schools. *Proceedings Solar'96*, pp.641-650.
  21. **Kristensen P.E., (1994).** Daylighting technologies in non-domestic buildings. *Proceedings European Directory on Energy Efficient Buildings*, pp.33-39.
  22. **Ruck N.C., Christofferson J. et Julian W.G., (1999).** An analysis of the performance of innovative daylighting devices. *Proceedings C.I.E. 24th Cession*, Varovie, pp.293-297.
  23. **Christofferson J., Peterson E. et Johnsen K., (1997).** An experimental evaluation of daylighting systems and light control. *Right Light 4*, Vol. 2, pp.245-254.
  24. **Neufert E., (1996).** *Les Eléments des Projets de Construction*. Dunod (7ème édition), Paris.
  25. **Aizlewood M.E., (1993).** Innovative daylighting systems: An experimental evaluation. *Lighting Research and Technology*, 25 (4), pp.141-152.
  26. **Peupartier B. , (1994).** Transparent insulation. Architectural creativity and energy efficiency. *Proceedings European Directory on Energy Efficient Buildings*, pp.91-96.
  27. **Perraudeau M., (1998).** L'éclairage naturel : vers une approche réaliste. *CSTB Magazine*, N° 115 juin, pp.27-31.
  28. **Osborn D., (1989).** *Introduction to Building*. Mitchell's Building series, London.
  29. **Bell J. et Burt W., (1996).** *Designing with Daylight in Architecture*. Ed. John KAY, Newyork.
  30. **Chauvel P., (1998).** Eclairage et thermique, des exigences réconciliées. *CSTB Magazine* N°111 janvier-fevrier, pp.15-18.
  31. **Badgery J., (1990).** Lighting control systems. Practical experiences. *Lighting in Australia*, octobre, pp.167-172.
  32. **Schrum L. et Parker D.S., (1996).** Daylighting dimming and energy savings: the effect of window orientation and blinds. *Solar Engineering, ASME 1996*, pp.507-516.
  33. **Szentel P., (1996).** The case for lighting controls and energy lighting strategies. *Proceedings of the Asia-Pacific Conf. on Sustainable Energy and Environmental Technology*, juin, World Scientific Publishing, pp.385-393.
  34. **Izard J.L., (1994).** Maîtrise des ambiances : Contrôle de l'Ensoleillement et de la Lumière en Architecture. Développement d'un Outil Commun au Contrôle Solaire et au Contrôle Lumineux: La Projection Sphérique Equidistante Zénithale. Ecole d'Architecture de Marseille-Luminy, Marseille.
  35. **Waal, H.B. (1993).** Tropical Building Design. Recommendations for Climatic Design in 40 Tropical Climates. Internal report, Delft University of Technology.
  36. **Light and Radiation Group, (sans date)** *The Science of Visible and Invisible Optics in Architecture and Urban Planning*. Brochure, Lighting and Radiation Group, Dépt. Génie- Civil et Bâtiment, ENTPE Lyon, France.
  37. **Scatezzini, J.L et al, (1994).** *Laboratoire de Lumière Naturelle*. Eds. Centre universitaire d'étude des problèmes de l'énergie, Genève, Laboratoire d'énergie solaire et de physique du bâtiment, EPFL, Lausanne.
  38. **Karayel, M. et al, (1984).** Zenith Luminance and sky luminance distribution for daylighting calculations. *Energy and buildings*, 6, pp.283 – 291.
  39. **Baker, N., Fanchiotti, A. et Steemers, K. (Eds), (1993).** *Daylighting in Architecture. A European Reference Book*. James and James Ltd, London CEC.
  40. **Tregenza, P.R., (1989).** The transformations of daylight. *Proc. of Daylighting Buildings Conf.*, 20-12/04/89 Imperial College London, UK. ISES, pp.55- 60.
  41. **Ineichen, P., Molineaux, B. et Perez R., (1994).** Sky luminance data validation: Comparison of seven models with four data banks. *Solar Energy*, Vol. 12, N°54, pp.337-346.
  42. **Serra, M., (1998).** Daylighting, In *Architecture: Comfort and energy*. Elsevier Science Ltd, Pergamon Press, Oxford, pp.115-155.
  43. **Evans, M., (1980).** *Housing, Climate and Comfort*. Architectural Press, London.

44. **Konya, A., (1984).** *Design Primer for Hot Climates.* Architectural Press, London.
45. **Zdepski, M.S. et Mc Cluney, R., (1986).** *1986'International Daylighting Conference proceedings.* 4-7/11/1986, Long Beach, California, USA.
46. **Marland, B., (1993).** The sunlight factor: A model based method of estimating internal illuminance under cloudless sky conditions. *Proc. of Solar'93 conf.*, Dec/93, pp.635-638.
47. **Millet, M.S. et al, (1980).** GDDM: Including clear sky conditions. *Proc. Of 5<sup>th</sup> Nat. Pas. Sol. Conf.*, Boulder Co, ASES, pp.1183-1191.
48. **Bryan, H.J. et Carlberg, D.B., (1985).** Development of protactors for calculating the effects of daylighting from clear skies. *Journal of IES*, April 1985, pp.649-657.
49. **Fanchiotti, A. et Vio, M., (1985).** Simplified graphical-numerical for determining daylight illuminances. *Proc. of 2<sup>nd</sup> Europ. Conf. On Architecture*, 4-8/12/89, Paris, CEC, pp.165-167.
50. **Deletre, J.J., (1989).** *Lumière. Architecture: Ambiances et énergie. Prix 1989*, Ed. Techniques et Architecture, Paris.
51. **Bryan, H.J. et Krinkel, D.L., (1982).** Microlite I: a microcomputer for daylighting design. *Progress in Passive Solar Energy Systems*, ASES Inc., USA, p.405-410.
52. **L.B.L., (1994).** Superlite 2.0. User's manual. LBL, Univ. of California.
53. **Scatezzini, J.L. et al (Eds), (1994).** *Outils Informatiques en Lumière Naturelle.* Centre universitaire d'étude des problèmes de l'énergie, Genève, Laboratoire d'énergie solaire et de physique du bâtiment, EPFL, Lausanne.
54. **Fontoynt, M. et al, (1991).** Indoor daylighting frequencies computed as a function of outdoor solar radiation data. *CIE 22<sup>nd</sup> session*, Melbourne, pp.100-103.
55. **Collins, J.B., (1984).** The development of daylighting- A British view. *Lighting Research and Technology*, Vol. 16, N°4, pp.155-170.
56. **Willbold-Lohr, G., (1988).** Scale model as design tool. *Proc. Of Building 2000*, Barcelona, CEC, Dec/88, pp.19-35.
57. **Papamichael, K. et Beltran, L., (1993).** Simulating the daylight performance of fenestration systems and spaces of arbitrary complexity: The IDC method. *Proc. of 3<sup>rd</sup> Int. Conf. Building Simulation'93*, 16-18/08/93, Adelaide, Australia, (08 pages).
58. **Capderou M., (1985).** *Atlas Solaire de l'Algérie.* OPU, Alger.
59. **L.P.E.M., (1999).** *Journées Nationales sur la Valorisation des Energies Renouvelables (JNVER'99).* Recueil des résumés. 23-24/11/1999, Tlemcen, Ed.LPEM, Université de Tlemcen.
60. **Zemmouri, N., (1986).** *Daylight Optimisation for Energy Conservation with Reference to Algeria.* Mphil Thesis, School of Architecture and Building, Univ. of Bath.
61. **Cordier J.P., Depecker P., Izard J.L. et Traisnel P., (1989).** *Forme, Orientation, Energie 3.* Cahiers Pédagogiques Thermique et Architecture.
62. **C.N.E.R.I.B., (1998).** Séminaire sur la Réglementation Thermique et l'Economie d'Energie. 26-27/10/1998, Alger.
63. **C.C.E., (1992).** Séminaire sur la Préparation d'une Réglementation pour l'Amélioration du Confort et la Maîtrise de l'Energie dans les Bâtiments du Maghreb. 6/11/1992, Tunis, C.C.E. DG XVII.
64. **Sayigh, A.A.M., (1989).** Solar energy activities in the arab countries. *Proc. of Int. Sol. Energy Society*, Sep/89, pp.1851-1865.
65. **Muthu Kumar, R. et al, (1991).** Design curves for daylighting in tropics", *Proc. of Solar World Congress*, 12-13/08/91, Denver, Pergamon Press, pp.2733-2738.
66. **Kenny P. and Owen L. J. (Eds), (1995).** *Tools and Techniques for the Design and Evaluation of Energy Efficient Buildings.* Maxi-Brochure préparée par Energy Research Group University College Dublin pour European Commission DG XVII for Energy.