

# MODELISATION DE L'ECLAIRAGE NATUREL : APPROCHE NUMERIQUE TRIDIMENSIONNELLE

**KELTOUM TAYEB, NOURDINE ZEMMOURI**

Laboratoire LACOMOFA, Université de Biskra

## RESUME

Nous présentons dans cet article les résultats des simulations d'un code de calcul numérique, développé et implémenté sous l'environnement Matlab. Ce code de calcul est dédié à la modélisation tridimensionnelle de l'éclairage naturel au sein d'une salle de classe scolaire. Le but est d'étudier le profil de l'éclairage ainsi que l'influence de certains paramètres tels que : l'emplacement du projet architectural, l'orientation des façades, l'emplacement des fenêtres etc. Aussi de proposer un modèle mathématique et numérique qui permet de développer et d'aboutir à un code de calcul tridimensionnel, dynamique et qui peut prendre en considération tout type de ciel et de pouvoir intégrer dans des travaux futurs des algorithmes d'optimisation qui permettent d'avoir une forme architecturale meilleure, offrant ainsi, un éclairage naturel optimal au sein de n'importe quel projet architectural assurant ainsi, un confort visuel avec les différentes ambiances lumineuses développées. Comme cas d'étude, nous avons étudié une salle de classe située dans la ville de Biskra en Algérie.

**MOTS CLES:** Modélisation tridimensionnelle, Projet architectural, Eclairage naturel, Ambiances lumineuses.

## Abstract:

This present research aims to develop a dynamic numerical model and a computational code under Matlab to evaluate the three-dimensional daylighting environment inside typical classroom in Biskra (Algeria). The main objective is to study the effects of parameters such as location, orientation, geometry, photometry characteristics and sky conditions on the overall interior 3d daylight environment. In fact the model is capable to generate different sky conditions. In addition the model can be extended to cover optimization procedures which could result in better architectural classroom forms and sustain daylight use and luminous environment.

**KEY WORDS:** daylight, classroom, model, three dimension

## 1 INTRODUCTION

L'éclairage naturel est généré par la répartition de la lumière naturelle pénétrant l'espace construit [1]. Dans tout projet architectural, l'éclairage naturel joue un rôle primordial voir fondamental pour assurer aux occupants un confort intérieur tout en assurant un confort psychologique, thermique et surtout un confort visuel où tout changement de lumière induit des modifications de notre perception de l'espace architectural [2]. Considéré comme élément important du confort intérieur, le confort visuel est intimement lié aux conditions d'éclairage.

La lumière du jour peut assurer tout type de confort à l'intérieur du projet architectural, en minimisant la consommation énergétique si celle-ci, est correctement prise en compte avant et au cours de la réalisation du projet. Il est alors nécessaire de développer des outils de simulation qui permettent d'anticiper et de prévoir notre

confort visuel et générer des ambiances à l'intérieur de notre espace et de prédéterminer la répartition spatiale de l'éclairage intérieur qui provient essentiellement d'un éclairage naturel. Ceci peut mettre en évidence et avant la réalisation du projet, les différences entre les attentes des occupants vis-à-vis de l'ambiance lumineuse offrant au concepteur l'opportunité d'agir pour modifier le volume, la forme, les dimensions, l'orientation des éléments d'ouvertures, dont le nombre, l'emplacement et leurs répartitions agissent fortement sur la qualité de l'éclairage intérieur.

Plusieurs outils de prédétermination de l'éclairage naturel ont été proposés, principalement les méthodes analytiques simplifiées qui ne peuvent en aucun cas, déterminer l'éclairage intérieur de façon satisfaisante. La conception assistée par ordinateur (CAO) via le développement des outils de simulation, bidimensionnel voir tridimensionnel est considérée comme le moyen le plus performant et le

plus efficace pour la simulation de l'éclairage naturel. Ces outils peuvent être considérés comme un moyen d'aide aux concepteurs d'un projet architectural. Parmi ces outils, on peut citer comme exemple, Ecotect, Radiance, Daylight et Dial. Certains de ces outils prennent en compte seulement un ou deux types de ciel, par exemple, Ecotect, Daylight, Dial peuvent simuler l'éclairage naturel d'un projet architectural seulement pour un type de ciel couvert CIE ou uniforme CIE [3]. Autres outils de simulation peuvent prendre en compte les quatre types du ciel les plus couramment utilisés qui sont respectivement, le ciel uniforme, le ciel couvert, le ciel clair sans soleil et enfin le ciel clair avec soleil. Les outils de simulation proposés sont considéré comme une boîte fermée, non accessible aux utilisateurs pour pouvoir développer, ainsi d'implémenter des outils numériques supplémentaires qui permettent d'optimiser la structure architectural en agissant sur certain paramètre comme par exemple, les murs, les plafonds, les ouvertures, etc.

Il est intéressant alors, d'avoir un code de calcul propre au sein du laboratoire de recherche dans le but de pouvoir simuler l'éclairage naturel sous les différents types de ciel. Aussi d'implémenter des outils numériques supplémentaires comme les outils d'optimisations qui permettent de proposer une meilleure forme offrant un meilleur confort visuel. De plus pouvoir prendre en considération avant et au cours de la réalisation d'un projet, certains phénomènes physiques qui peuvent intervenir, tels que, les phénomènes thermiques, acoustiques, etc.

Dans ce contexte et dans le but de développer un code de calcul tridimensionnel dédié au calcul tridimensionnel de l'éclairage naturel, nous présentons dans cet article le modèle mathématique et numérique adopté et développé, aussi de présenter quelque résultats de simulation de l'éclairage naturel au sein d'une salle de classe située dans la ville de Biskra qui est choisie comme cas d'étude.

## 2 MODEL MATHÉMATIQUE

Le code de calcul développé est dédié principalement au calcul tridimensionnel de l'éclairage naturel réparti au sein d'une salle de classe d'un établissement scolaire, où le soleil est considéré comme la seule source de l'éclairage. Ce calcul dépend essentiellement de la distribution de la luminance du ciel et des conditions de la lumière du jour pendant toute l'année. Vu la diversité des conditions météorologiques, quinze ciels normalisés ont été définis par la commission internationale de l'éclairage (CIE) [4]. Cependant, dans les travaux de simulation, les quatre types du ciel les plus couramment utilisés sont respectivement, le ciel uniforme, le ciel couvert, le ciel clair sans soleil et enfin le ciel clair avec soleil [4]. Chacun de ces types de ciel est caractérisé par sa répartition particulière de la luminance sur la voûte céleste qui varie en fonction de l'heure, de la saison, de latitude et enfin de l'altitude [5]. Dans le type de ciel uniforme par exemple, le soleil n'est pas visible cela est dû à la présence d'une couche épaisse de nuages ou à une atmosphère pleine de poussières [5]. La répartition spatiale de la luminance dans ce type de ciel à un

moment donné est presque uniforme, indépendante des paramètres géométriques. Pour le type de ciel couvert, utilisé généralement pour déterminer le facteur de lumière du jour, le soleil est éclipsé par la présence de nuage clair. Dans ce type de ciel, contrairement au type de ciel précédent, la luminance dans un point dépend de sa position dans la voûte céleste et la luminance au zénith est trois fois plus élevée que la luminance à l'horizon [3]. Pour les types de ciel clair, sans et avec soleil, la luminance varie en fonction des paramètres géométriques et de la position du soleil et le ciel est considéré comme serein [3], le type du ciel clair sans soleil émet un rayonnement diffus [3], alors que le type de ciel clair avec soleil considéré aussi comme un ciel serein mais avec un soleil qui brille [3], il émet un rayonnement globale et n'exclut pas le rayonnement solaire direct. Pour ces différents climats et à différents emplacements, Plusieurs modèles ont été proposés pour définir les conditions de la lumière du jour ainsi que la distribution de luminance du ciel à des situations différentes. Parmi ces modèles, nous citons le modèle de Moon et Spencer proposé en 1942 et adopté par la Commission internationale de l'éclairage (CIE) en 1955. Ce modèle a permis d'établir une relation trigonométrique entre la luminance zénithale et celle de l'horizon [6] sous un ciel parfaitement couvert défini par une couverture nuageuse épaisse et uniformément répartie sur toute la voûte céleste. Ce modèle est largement utilisé pour le calcul du facteur de la lumière de jour. Autres modèles ont été proposés pour le calcul de la luminance pour les autres types de ciel comme celui proposé par Kittler en 1967 et qui décrit la luminance d'un ciel clair. D'autres modèles plus généraux ont été proposés dans le but de décrire tous les types de ciel. Parmi ces modèles, le modèle empirique de Richard Pérez appelé aussi le modèle de tout temps où il peut déterminer la répartition de la luminance, en allant d'un ciel clair vers un ciel couvert, à partir de deux coefficients liés respectivement à la clarté et à la luminosité du ciel.

Pour calculer la luminance provenant de n'importe quel type du ciel (les quinze types de ciel normalisés par la CIE), nous avons utilisé un modèle général et qui peut prendre en considération tout type de ciel à tout emplacement, il s'agit d'un modèle proposé en 2002 par Stanislav Darula et Richard Kittler [4]. Dans ce modèle, le rapport entre la luminance dans un élément de ciel arbitraire ( $L_{\gamma\alpha}$ ) et la luminance zénithale ( $L_z$ ) est donné par la relation suivante :

$$\frac{L_{\gamma\alpha}}{L_z} = \frac{f(\chi)\varphi(Z)}{f(Z_s)\varphi(0)} \quad (1)$$

Où  $Z$ ,  $Z_s$  et  $\chi$  sont respectivement, l'angle zénithale de l'élément du ciel, l'angle zénithal du soleil et enfin la distance angulaire entre l'élément du ciel et le soleil. Cette distance est exprimée en fonction des angles  $Z$ ,  $Z_s$  par la relation suivante [4] :

$$\chi = \arccos(\cos Z_s \cos Z + \sin Z_s \sin Z \cos A_z) \quad (2)$$

Az exprimé la variation entre l'angle azimutale du plan verticale de l'élément du ciel ( $\alpha$ ) est l'angle azimutale de la position du soleil ( $\alpha_s$ ), cette variation est exprimée par :

$$Az = |\alpha - \alpha_s| \quad (3)$$

Dans la formulation (1), la fonction indicatrice  $f$  est exprimée en fonction des angles  $Z_s$  et  $\chi$  par les relations ci-dessous :

$$f(\chi) = 1 + c \left( \exp(d\chi) - \exp\left(\frac{d\pi}{2}\right) \right) + e \cos^2 \chi \quad (4)$$

$$f(Z_s) = 1 + c \left( \exp(dZ_s) - \exp\left(\frac{d\pi}{2}\right) \right) + e \cos^2 Z_s \quad (5)$$

La luminance d'un élément de ciel  $L\gamma\alpha$  dans la relation (1) est reliée à son angle zénithal  $Z$  par [4] :

$$\varphi(Z) = 1 + a \exp(b/\cos Z) \quad \text{si } 0 \leq Z \leq \pi/2 \quad \text{et}$$

$$\varphi(\pi/2) = 1; \quad \varphi(0) = 1 + a \exp(b) \quad (6)$$

Dans le modèle mathématique présenté précédemment, le système d'équations 1-6 permet de calculer la luminance d'un élément de ciel arbitraire  $L\gamma\alpha$  en prenant en considération, la distance angulaire entre l'élément du ciel et le soleil (équation 2), ainsi que les conditions atmosphériques via les paramètres ( $a, b, c, d, e$ ). Ces

paramètres ont des valeurs précises et différentes selon le type de ciel et ils peuvent traduire le comportement de quinze types de ciel différents [4]. Ce modèle permet de calculer l'éclairage intérieur en considérant seulement la luminance du ciel comme la seule source d'éclairage. Des travaux de recherches ont adoptés ce modèle via des codes de calcul monodimensionnel, comme par exemple [5] où l'éclairage intérieur est calculé à des points spécifiques du domaine de calcul. Dans notre travail est dans le but de calculer l'éclairage intérieur dans tout le volume intérieur et pour prendre en compte l'ensemble des composantes constituant l'éclairage intérieur total  $E_{tot}$  (Fig.1.), tel-que : - la composante directe ( $E_d$ ) ; - la composante réfléchie interne ( $E_{ri}$ ) et enfin la composante réfléchie externe ( $E_{re}$ ), un calcul tridimensionnel est nécessaire.

La composante directe  $E_d$  provenant du ciel en fonction de la luminance  $L\gamma\alpha$  et en considérant qu'il n'y a pas de phénomène de réfraction et de défraction, nous avons adopté la formulation suivante [1] :

$$E_d = \iint_S \frac{L\gamma\alpha \cos^3 \alpha \cos \beta \tau ds}{d^2} \quad (7)$$

$S$  est la surface de l'élément d'ouverture.

Dans le cas où la surface éclairée et l'élément d'ouverture sont parallèles, la composante  $E_d$  est exprimée par [1] :

$$E_d = \iint_S \frac{L\gamma\alpha \cos^4 \alpha \tau ds}{d^2} \quad (8)$$

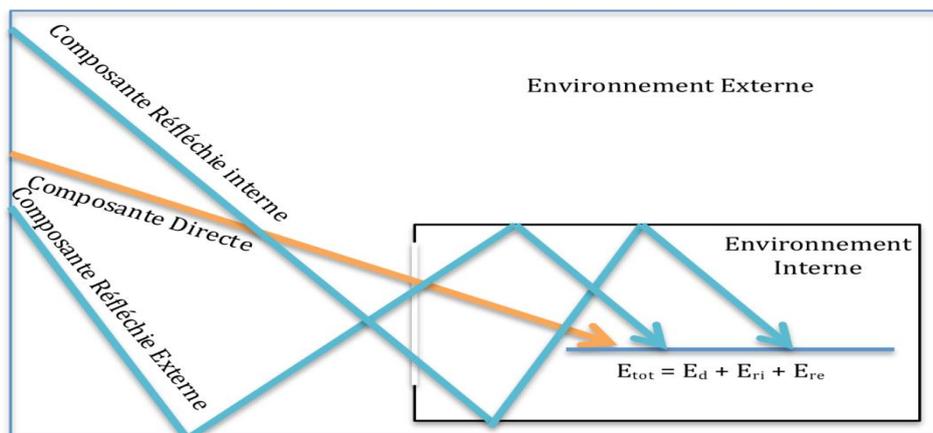


Figure 01 : les trois composantes d'éclairage prise en compte dans le code développé

Dans (7) et (8),  $\tau$  est le coefficient de transmission,  $d, \alpha$  et  $\beta$

(Fig.2.) sont respectivement, la distance entre l'élément d'ouverture et la facette portant le point à éclairer (point de

calcul), l'angle entre la normale de la facette portant le point à éclairer et la direction de la facette portant le point à éclairer vers l'élément d'ouverture et enfin l'angle entre la normale de l'élément d'ouverture et la direction de l'élément d'ouverture vers la facette source.

A partir de la luminance  $L_{\gamma\alpha}$ , chaque facette appartenant au domaine de calcul reçoit un flux élémentaire et donc un éclairage par rapport à la surface de chaque facette, qui sera à son tour émise vers une autre facette. La notion de l'éclairage est remplacée, pour un rayonnement émis par l'émittance de la surface émettrice. En effet, si on considère deux facettes  $ds_1$  et  $ds_2$  appartenant au domaine du calcul. Le flux élémentaire émis de  $ds_1$  vers  $ds_2$  est exprimé par :

$$d\phi_{12} = \frac{M ds_1 ds_2 \cos(i) \cos(j)}{\pi R^2} \quad (9)$$

$R$  est la distance séparant le centre des deux facettes  $S_1$  et  $S_2$ .  $i$  et  $j$  sont les angles entre la normale de chaque facette et la direction de chacun des facettes vers l'autre (Fig.3). L'éclairage élémentaire de la facette  $S_2$  provenant de la facette  $S_1$  est obtenu par la division du flux élémentaire

$d\phi_{12}$  par l'aire de la facette  $S_2$  soit  $ds_2$ .

$$E_{12} = \frac{d\phi_{12}}{ds_2} \quad (10)$$

En utilisant les relations (9) et (10) on peut exprimer la composante réfléchie interne ( $E_{ri}$ ) et la composante réfléchie externe ( $E_{re}$ ) par :

$$E_{ri} = \sum_{\substack{j=1 \dots n \\ i \neq j}} E_{ij} \quad (11)$$

$$E_{re} = \sum_{\substack{j=1 \dots m}} E_{ij} \quad (12)$$

Où  $n$  et  $m$  sont respectivement le nombre de facettes du milieu interne et le nombre de facettes du milieu externe. Pour calculer  $E_{re}$ , il faut prendre aussi en considération le facteur de transmission  $\tau$ .

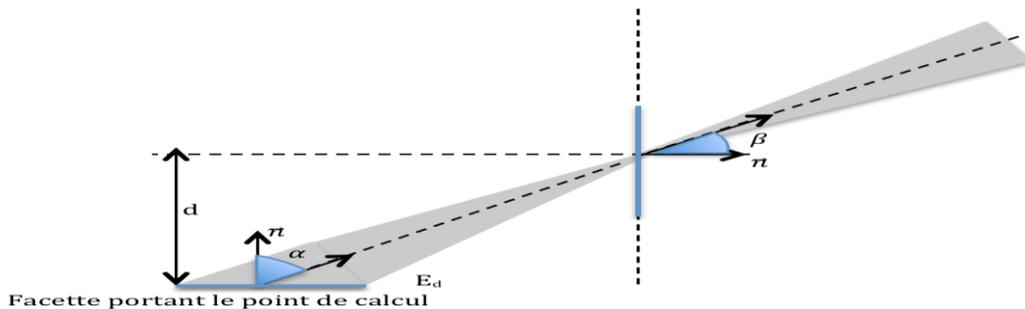


Fig.2. Illustration des paramètres géométriques ( $d, \alpha$  et  $\beta$ ) adoptés dans les formulations (7) et (8)

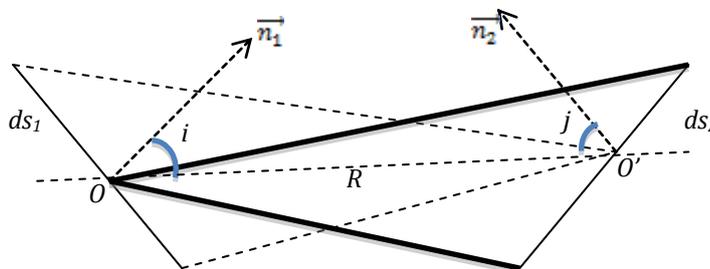


Figure 03 : Illustration des paramètres géométriques ( $i, j, R$ ) adoptés dans la formulation (9)

### 3 DISCRÉTISATION

Le domaine de calcul composé des milieux, extérieur et intérieur, est discrétisé en un nombre de volume

élémentaire (Fig.4), chaque volume de forme hexaédrique, est composé dans le cas tridimensionnel de six interfaces ou facettes. Cette configuration permet une modélisation tridimensionnelle de l'éclairage naturel. La figure 5 représente un exemple d'une salle de classe dotée de trois fenêtres ainsi que le maillage adopté. Dans cet exemple, la salle de dimensions ( $L_x \times L_y \times L_z = 6 \times 12,5 \times 4,2 \text{m}^3$ ) dotée de trois fenêtres de dimensions ( $L_{fy} \times L_{fz} = 1,5 \times 1,5 \text{m}^2$ ) est discrétisée en 3920 volumes élémentaires. Chaque fenêtre est discrétisée en 24 volumes élémentaires et le domaine de calcul incluant l'environnement voisin de la salle ainsi que l'intérieur de la salle est composé de 23760 volumes

élémentaire.

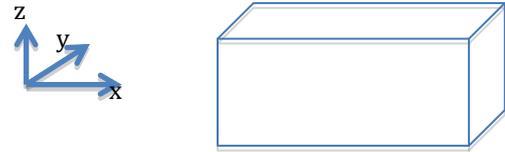


Figure 04 : volume élémentaire de discrétisation.

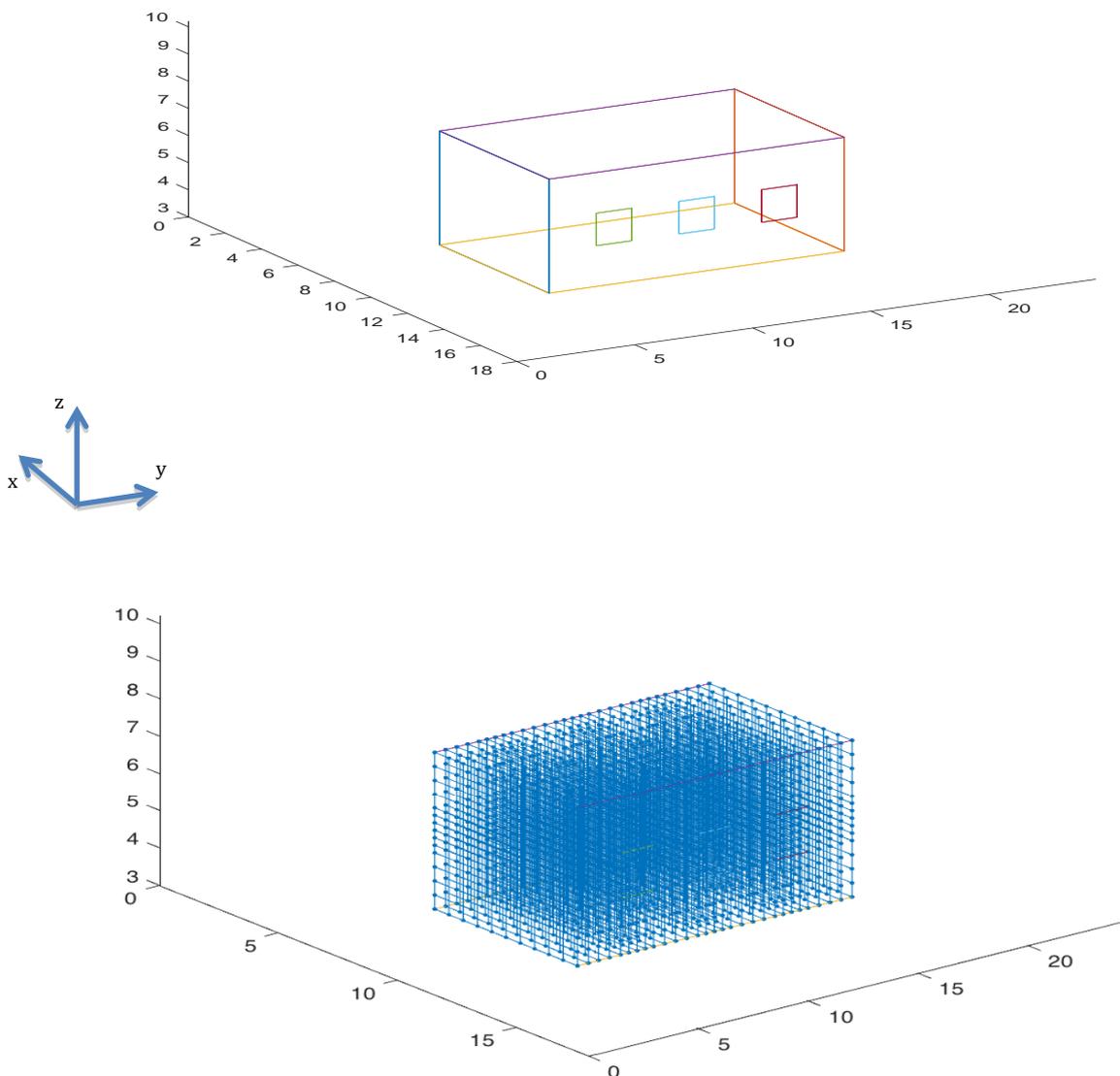


Figure 05: Exemple de la conception d'une salle de classe dotée de trois fenêtres ainsi que le maillage adopté.

#### 4 RÉSULTATS DES SIMULATIONS

Nous présentons dans cette partie les résultats des simulations obtenus à partir du code de calcul développé et implémenté sous environnement Matlab. Ces résultats présentent la répartition tridimensionnelle de l'éclairage au sein d'une salle de classe. La salle de classe ayant une forme géométrique rectangulaire et de dimensions ( $L_x \times l_y \times L_z = 5 \times 12.5 \times 4.2 \text{ m}^3$ ), dotée de trois fenêtres de mêmes dimensions ( $l_y \times L_z = 1.5 \times 1.2 \text{ m}^2$ ) placées au niveau des façades les plus longues (Nord ou Sud). Dans le but de prendre en considération le milieu environnant, nous avons considéré une salle de classe entourée par une boîte d'aire de dimensions ( $L_x \times l_y = 5 \times 5 \text{ m}^2$ ), cette boîte présente les limites du domaine de calcul.

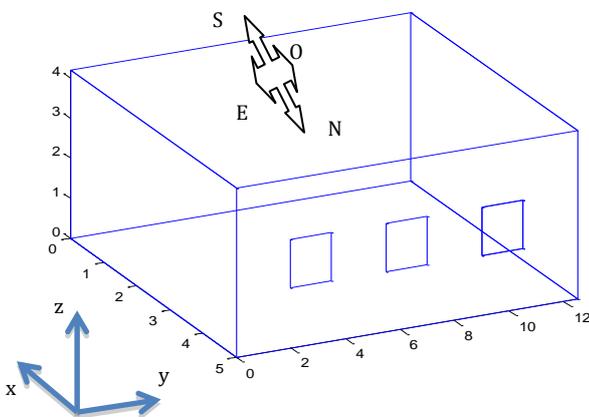


Figure 06 : Vue tridimensionnelle du problème modélisé.

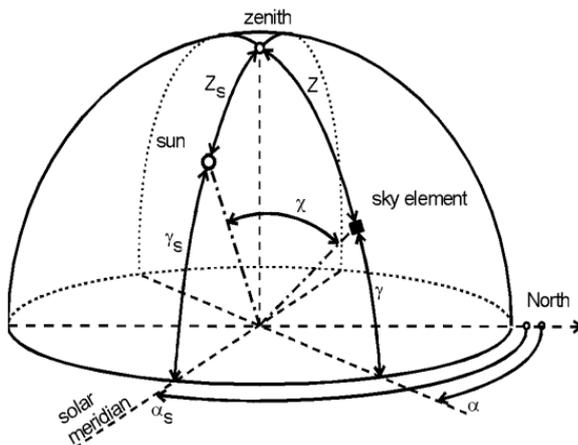


Figure 07 : Angles définissant la position du soleil et l'élément du ciel [4].

Les propriétés géométriques et physiques du problème à traiter sont résumées dans le tableau 1 (Tab.1). Il résume l'ensemble des angles adoptés dans le calcul présenté ainsi que les valeurs des coefficients adoptés pour décrire le type de ciel de la ville de Biskra ainsi que les valeurs de certains paramètres physiques tels que, le coefficient de transmission des vitres et le facteur de réflexion des

surfaces intérieures (murs, plafond, sol intérieur) et extérieurs (sol extérieur).

L'éclairage est calculé, en particulier à l'intérieur des salles à n'importe quel jour de l'année et à tout instant de la journée en prenant en considération l'orientation des salles ainsi que l'orientation et l'emplacement des fenêtres des salles. Comme références, nous avons présenté les résultats de simulation pour les journées, respectivement, du 21 Mars (L'équinoxe), 21 Juin (solstice d'été), 21 Septembre (L'équinoxe) et enfin le 21 Décembre (solstice d'Hiver). Les résultats des simulations sont aussi présentés (à titre d'exemples) à 10h et 14 h.

Les figures 8 et 9 présentent la répartition tridimensionnelle de l'éclairage au sein de la salle de classe pour la journée du 21 Mars à 10 h et à 14 h, où les fenêtres sont placées selon la façade orientée respectivement vers le Nord (Fig.8) et vers le sud (Fig.9). Selon les résultats présentés, on constate que l'éclairage est réparti d'une manière non-uniforme à l'intérieur de la salle où il est plus intense au voisinage des fenêtres et il diminue considérablement en allant du sol vers le plafond de la salle. Pour la journée du 21 Mars, le maximum de l'éclairage atteint la valeur de 738 lux à 10 h et de 751 Lux à 14 h pour l'orientation Nord. Pour l'orientation Sud, le maximum de l'éclairage atteint la valeur de 1255 Lux à 10 h et de 1391 Lux à 14 h. On constate alors que l'éclairage atteint son maximum dans le cas où les fenêtres sont orientées vers le Sud. Les Fig.10 et Fig.11 présentent respectivement la répartition bidimensionnelle de l'éclairage au sein de la salle de classe respectivement à 10h et à 14 h selon les orientations, Nord et Sud, et sur un plan de niveau  $z=0.9 \text{ m}$ . Ce niveau correspond au plan de travail adéquat à une salle de classe. Selon les résultats présentés on remarque que l'éclairage peut atteindre la valeur de 500 Lux dans le cas de l'orientation Sud (Fig.11). Cette valeur est considérée comme la valeur optimale pour une salle de classe au niveau du plan de travail. Néanmoins, cette valeur n'est pas répartie d'une manière uniforme sur ce plan. Pour l'orientation Nord (Fig.10), l'éclairage peut atteindre la valeur de 300 Lux au voisinage des façades dotées de fenêtres.

Les figures, Fig.12, Fig.13 et Fig.14 représentent la répartition tridimensionnelle de l'éclairage au sein de la salle de classe et sur le plan défini par  $z = 0.9 \text{ m}$  respectivement pour le 21 Juin, le 21 Septembre et enfin le 21 Décembre à 10 h et à 14 h où les fenêtres sont placées selon la façade orientée vers le Sud. Selon les résultats présentés, on constate que l'éclairage garde le même profil avec une répartition non-uniforme, intense au voisinage des fenêtres et qui décroît progressivement ont s'éloignent de la façade Sud. La valeur de l'éclairage au sein de la salle de classe variée d'un mois à un autre, ceci dépend de plusieurs paramètres, principalement la trajectoire du soleil définie principalement par l'angle azimutal ( $\alpha_s$ ) et la hauteur ( $\gamma_s$ ). Sur le plan de travail défini par le niveau  $z = 0.9 \text{ m}$ , l'éclairage peut atteindre la valeur optimale de 500 pour les mois de Mars, Juin et Septembre, cependant il peut atteindre une valeur comprise entre 400 et 450 lux pour le mois de décembre.

Table 01 : paramètres géométriques et physiques du problème à modélisé

Paramètres	Valeur ou expression
La trajectoire du soleil définie par : l'angle azimutal ( $\alpha_s$ ), hauteur ( $\gamma_s$ ).	A 10 h : $\alpha_s$ (en degré) = [122.94 97.46 126.16 141.98], A 14h : $\alpha_s$ (en degré) = [211.34 242.56 216.32 202.14]. A 10 h : $\gamma_s$ (en degré) = [38.52 53.76 41.04 21.09], A 14 h : $\gamma_s$ (en degré) = [51.31 69 49.75 28.35].
Dimension de la salle de classe $L_x$ , $L_y$ et $L_z$ .	$L_x \times L_y \times L_z = 5 \times 12.5 \times 4.2 m^3$
Air environnement	$L_x \times L_y = 5 \times 5 m^2$
Dimension des fenêtres	$L_y \times L_z = [de 0.5m \text{ à } 2.48m; de 0.5 \text{ à } 2.6m]$
Nombre de fenêtre	3
Les paramètres standard utilisés pour décrire le type de ciel caractérisant la ville de Biskra, considéré comme ciel de type 11.	$a = -1$ , $b = -0.55$ , $c = 10$ , $d = -3$ et $e = 0.45$ .
Coefficient de transmission du vitrage ( $\tau$ )	$\tau = de 0.22$ (sol extérieur en terre), $\tau = 0.35$ (sol en béton) et $\tau = 0.9$ (un sol considéré comme blanc).
Facteur de réflexion des surfaces extérieures ( $F_s$ )	$F_s = 0.6$ (vitrage double normalement sale), $F_s = 0.8$ (vitrage double), $F_s = 0.9$ (vitrage simple de 3mm).

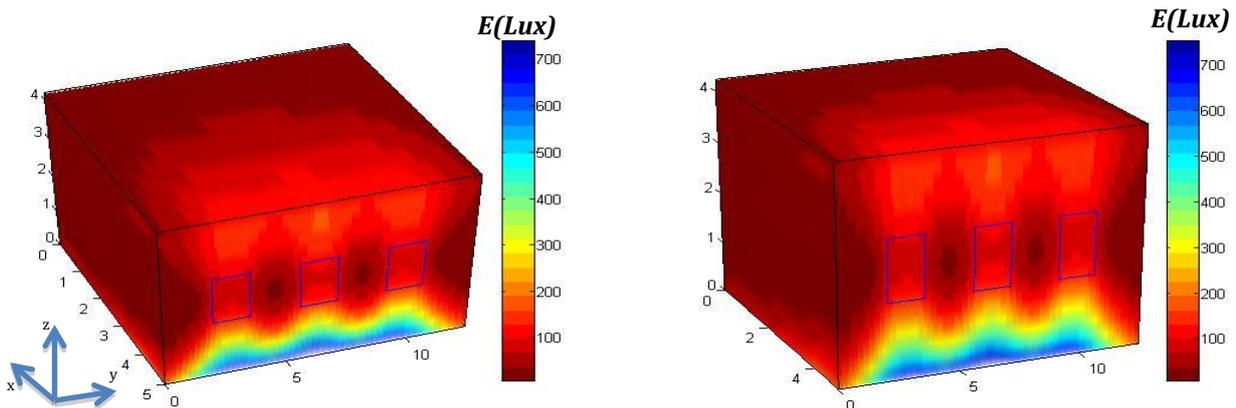


Figure 08 : Répartition tridimensionnelle de l'éclairage au sein d'une salle de classe pour le 21 Mars respectivement à 10 h et à 14 h (les fenêtres sont placées selon la façade orientée vers le Nord).

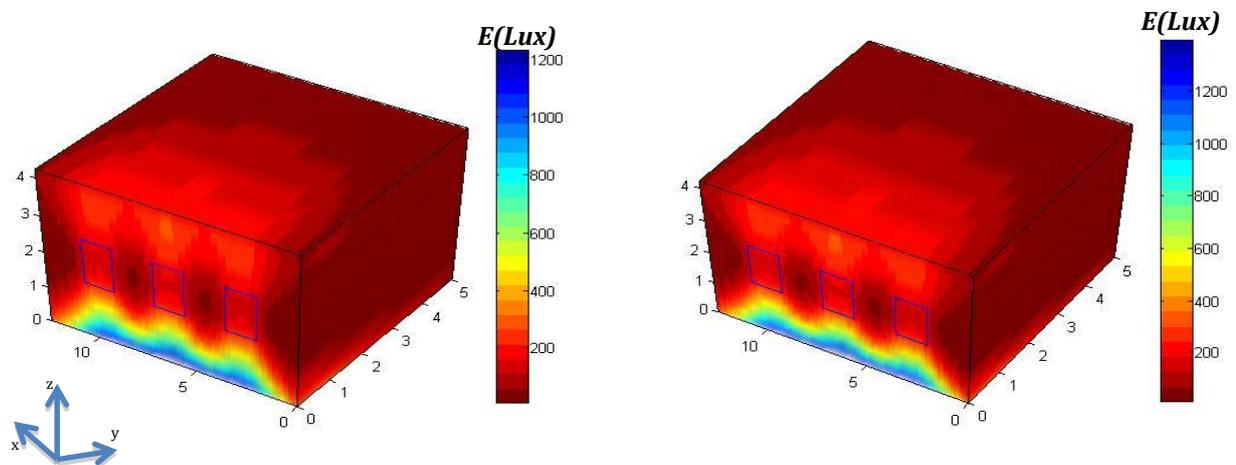


Figure 09 : Répartition tridimensionnelle de l'éclairage au sein d'une salle de classe pour le 21 Mars respectivement à 10 h et à 14 h (les fenêtres sont placées selon la façade orientée vers le Sud).

La Fig.15 présente le profil de l'éclairage au centre de la fenêtre intermédiaire aux points,  $y = 6.25\text{m}$ ,  $x$  varie entre 0 et 5m et à des différents niveaux de  $z$  on allant du sol de la salle ( $z = 0$ ) vers le plafond de la salle ( $z = 4.20\text{ m}$ ), respectivement pour le 21 Mars, 21 Juin, 21 Septembre et le 21 Décembre à 14h. Selon le profil présenté. On remarque que la variation de l'éclairage dépend de trois zones distinctes.

- La première zone définie par des niveaux en dessous de l'emplacement de la fenêtre où  $z$  varie entre 0 et 1.5m. Dans cette zone, l'éclairage décroît en allant du sol vers la fenêtre et sa

variation est très importante entre la façade Sud ( $x = 0$ ) et la façade Nord ( $x = 5\text{m}$ ).

- Le deuxième zone définie par des niveaux en dessus de la fenêtre où  $z$  varie entre 2.7m et 4.2m dans cette zone la variation de l'éclairage est beaucoup moins importante que la première zone, l'éclairage dans cette zone est plus uniforme que la première zone.
- La zone intermédiaire définie par le plan portant la fenêtre ( $z$  varie entre 1.5m et 2.7m) où l'éclairage atteint sa valeur minimal mais avec un profil plus stable et plus uniforme comparé aux autres zones.

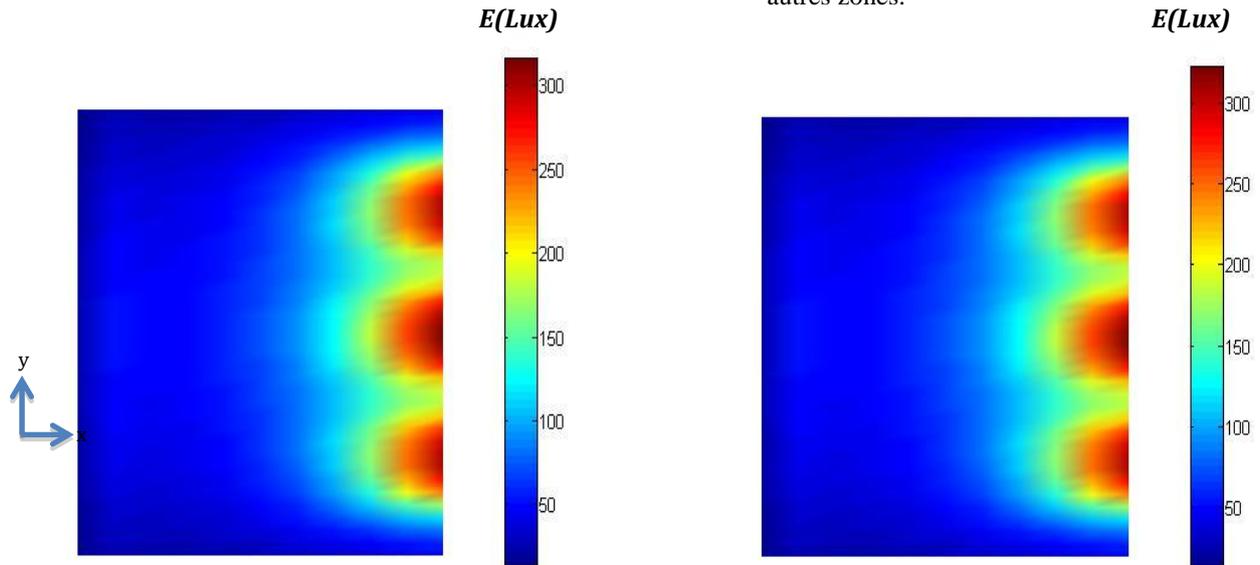


Figure 10 : Répartition bidimensionnelle de l'éclairage au sein d'une salle de classe pour le 21 Mars respectivement à 10 H et à 14 H (les fenêtres sont placées selon la façade orientée vers le Nord et l'éclairage est présenté dans un niveau  $z = 0.9\text{m}$ ).

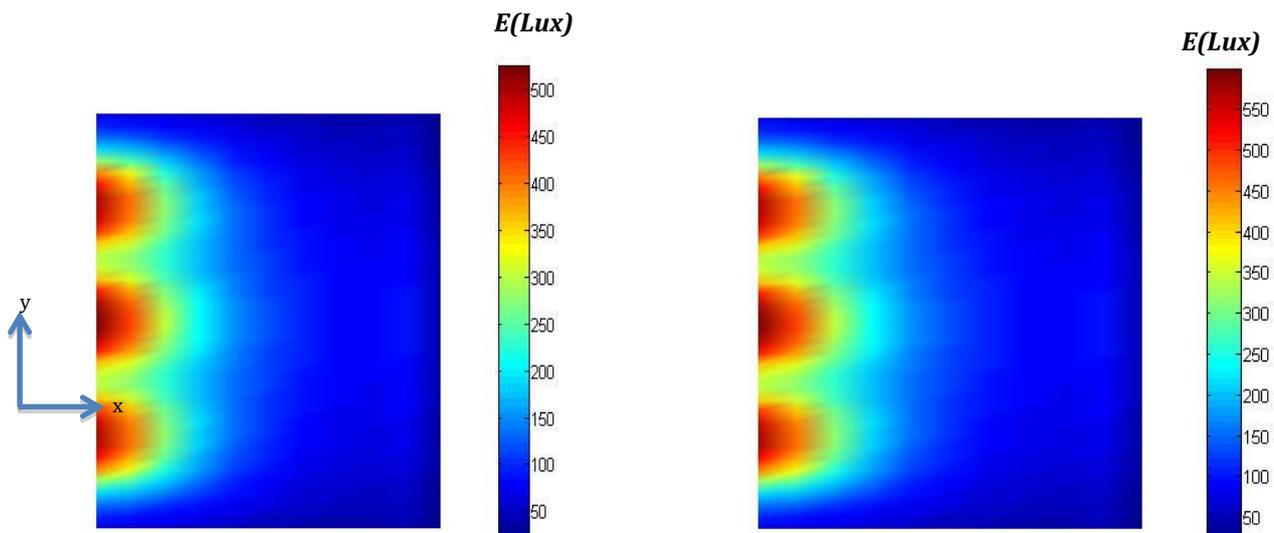


Figure 11 : Répartition bidimensionnelle de l'éclairage au sein d'une salle de classe pour le 21 Mars respectivement à 10 h et à 14 h (les fenêtres sont placées selon la façade orientée vers le Sud et l'éclairage est présenté dans un plan de niveau  $z = 0.9\text{m}$ ).

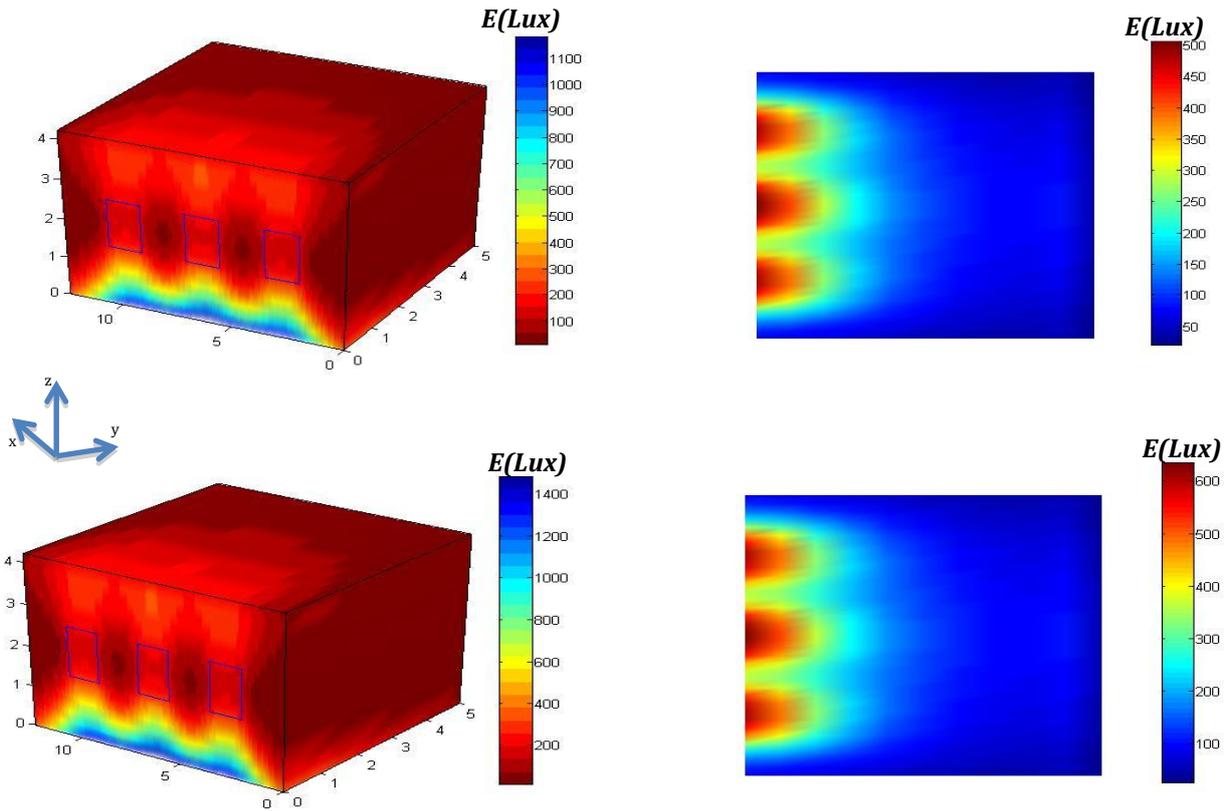


Figure 12: Répartition tridimensionnelle de l'éclairage au sein de la salle de classe et sur le plan défini par  $z = 0.9\text{ m}$  pour le 21 Juin, respectivement à 10 h et à 14 h (les fenêtres sont placées selon la façade orientée vers le Sud).

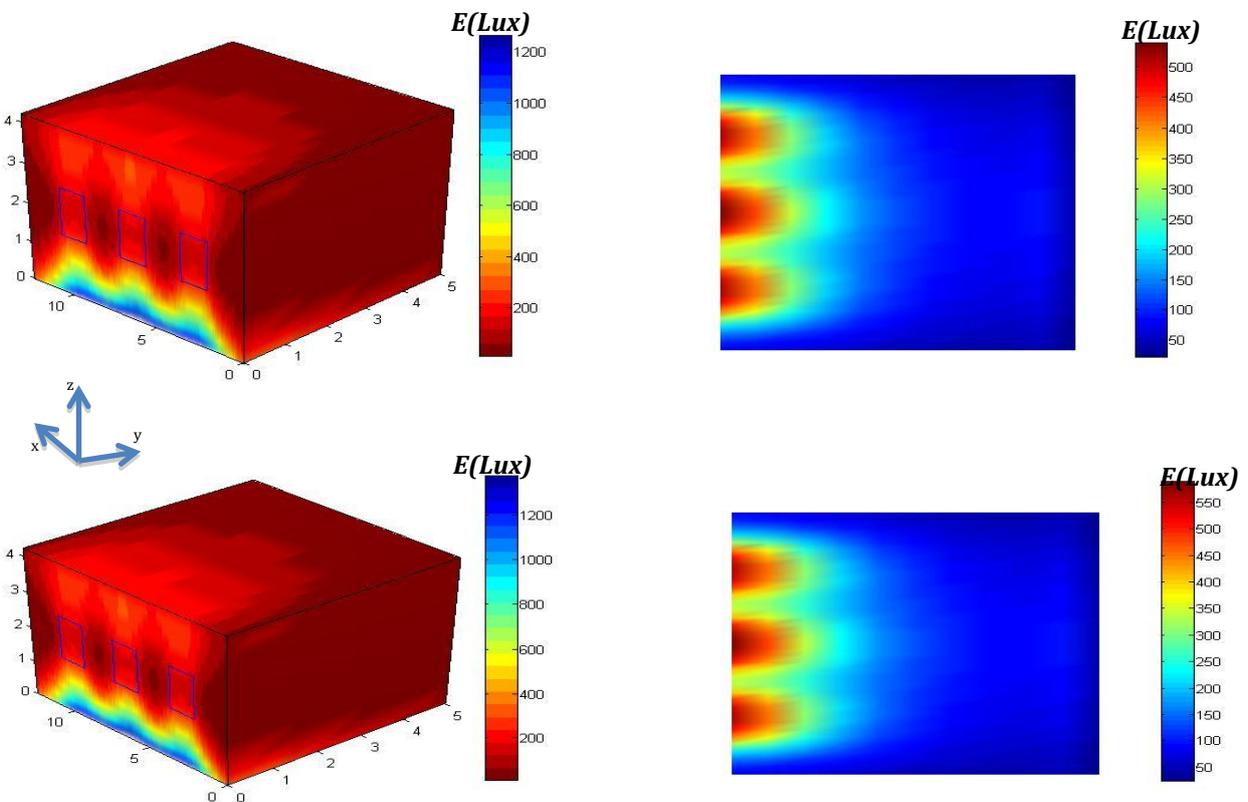


Figure 13 : Répartition tridimensionnelle de l'éclairage au sein de la salle de classe et sur le plan défini par  $z = 0.9\text{ m}$  pour le 21 Septembre, respectivement à 10 h et à 14 h (les fenêtres sont placées selon la façade orientée vers le Sud).

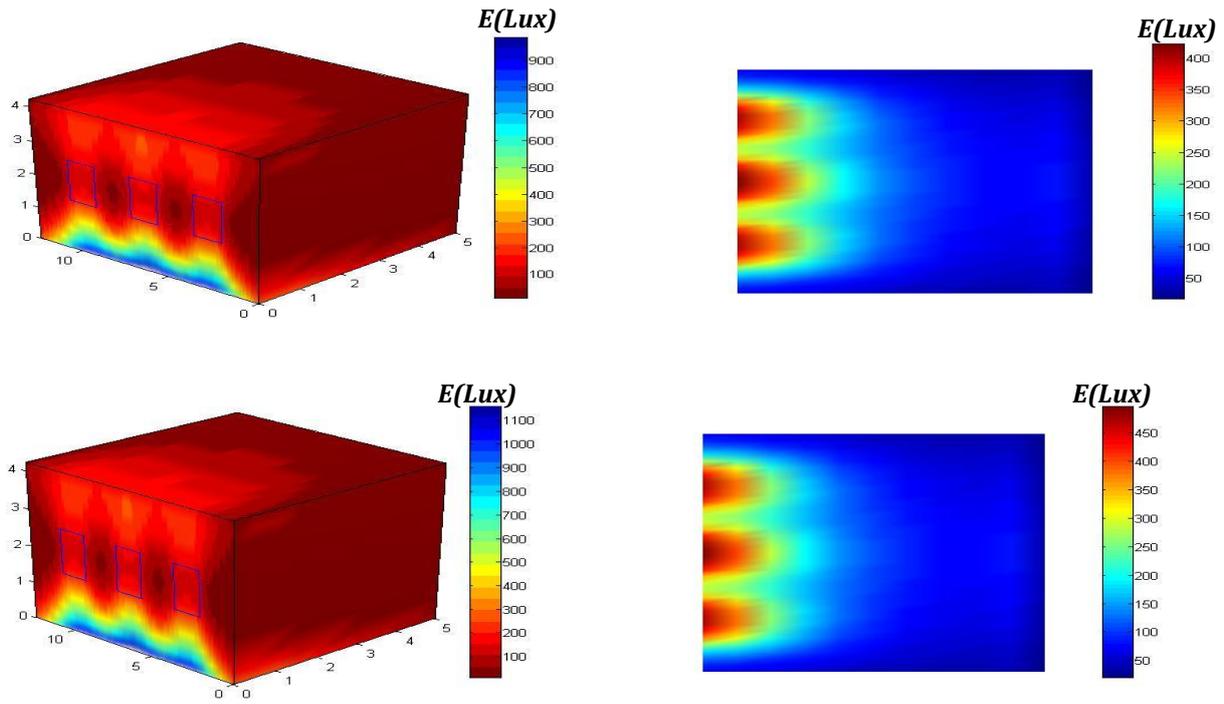


Figure 14 : Répartition tridimensionnelle de l'éclairage au sein de la salle de classe et sur le plan défini par  $z = 0.9 \text{ m}$  pour le 21 Décembre, respectivement à 10 h et à 14 h (les fenêtres sont placées selon la façade orientée vers le Sud).

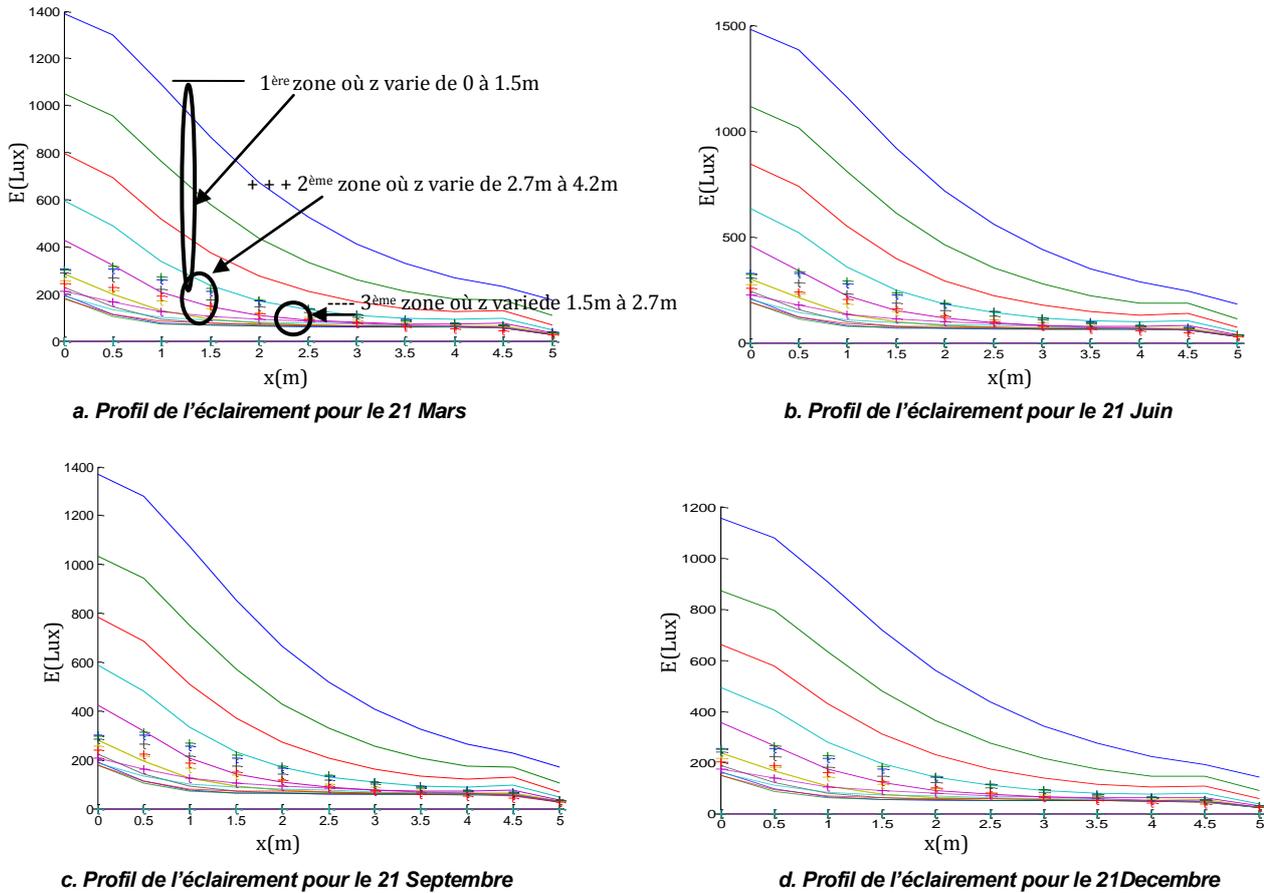


Figure 15 : Profil de l'éclairage au centre de la fenêtre intermédiaire aux points,  $y = 6.25\text{m}$ ,  $x$  varie entre 0 et 5m et à des différents niveaux de  $z$  on allant du sol de la salle ( $z = 0$ ) vers le plafond de la salle ( $z = 4.20 \text{ m}$ ).

## 5 CONCLUSION

Un modèle mathématico-numérique a été développé et implémenté sous environnement Matlab. Ce code de calcul est dédié principalement à la modélisation tridimensionnel de l'éclairage naturel dans un projet architectural dans le cas général, en particulier au sein d'une salle de classe, où la ville de Biskra été choisie comme cas d'étude. Les résultats de simulation ont montré que la répartition de l'éclairage dépend du mois, de l'heure et de l'orientation des ouvertures. A l'intérieur, cette répartition n'est pas uniforme, en particulier sur le plan de travail.

A travers les résultats présentés, on constate qu'il est possible d'améliorer l'éclairage intérieur provenant essentiellement de l'éclairage naturel en agissant sur la conception de salle.

Comme perspectives et dans le but d'améliorer l'éclairage naturel, où la valeur optimale de 500 Lux est désirée avec une répartition plus uniforme, nous percevons d'introduire des méthodes d'optimisation qui permettent d'agir, sur la forme, le nombre et l'emplacement des fenêtres voir autres paramètres qui permettent d'atteindre ces objectifs. Aussi, nous envisageons introduire les modèles, thermique et acoustique afin de les prendre en

considérations pour assurer un meilleur confort.

## REFERENCES

- [1] Vincent Tourre. Simulation inverse de l'éclairage naturel pour le projet architectural. Interface homme-machine [cs.HC]. Université de Nantes, 2007. Français. <tel-00383341>.
- [2] Sigrid Reiter, André De Herde, 'L' éclairage naturel des bâtiments', Editeur, Louvain-la-Neuve, 2003.
- [3] B. Deroisy, A. Deneyer, 'Evaluation de l'éclairage naturel par simulations informatiques'2001.
- [4] Stanislav Darula and Richard Kittler, 'Cie General Sky Standard Defining Luminance Distributions, 2002.
- [5] Ahmed Motie DAICHE, 'Vers un outil d'aide à l'optimisation de l'éclairage naturel dans le processus de conception architecturale -Approche inverse-', these de magister, Université de Batna. 2015.
- [6] Zemmouri Nouredinne, 'Daylight availability integrated modelling and evaluation: A fuzzy logic based approach ', these de doctorat, Université de Setif, Algérie, 2005.