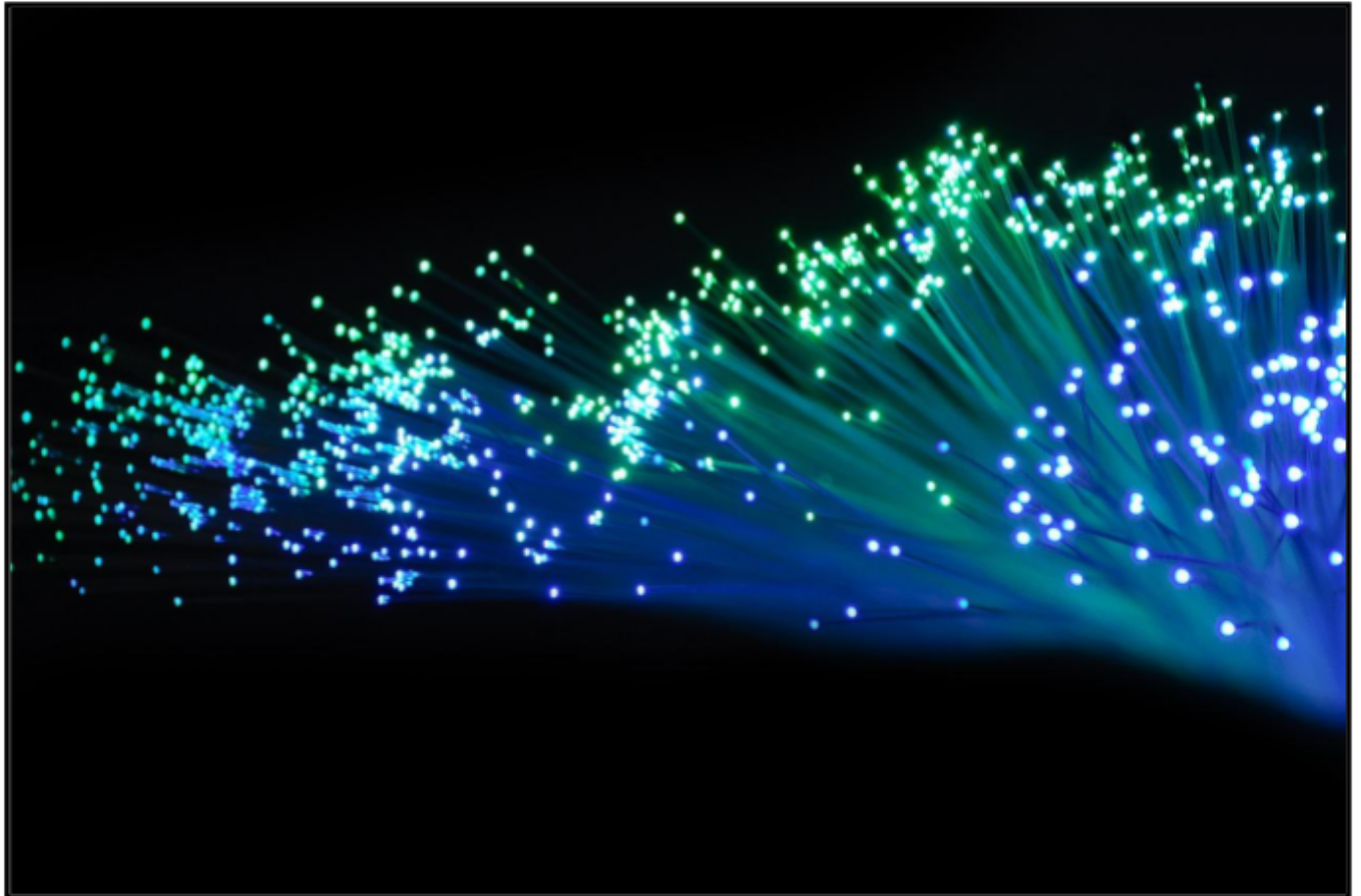


Lycée International de Ferney-Voltaire
Professeurs : M. Scata, M. Dussauge, M^{me} Duboz
Année 2017-2018



Maëlle
Guerre
TS1

Éclairage

Comment intégrer l'éclairage naturel et artificiel dans un luminaire?

Sommaire

Introduction	3
I - Analyse fonctionnelle	6
1 - Chaîne d'énergie du système 'Echy'	6
2 - Cahier des Charges Fonctionnelles (CdCF)	6
3 - Présentation de l'espace étudié	7
II - Éclairer en lumière artificielle	11
1 - Modèle / Réels : caractérisation de la dalle lumineuse	12
Écarts réel - modèle - attentes	15
2 - Modèle / réels : caractérisation du luminaire Aerio	16
Écarts modèle / réel / attentes	18
3 - Conclusion, pour aller plus loin	18
II - Éclairer en lumière naturelle	19
1 - Modèle / réel : Angle de la lumière naturelle - fibre optique	20
Écarts modèle - réel	22
2 - Modèle / réel : Angle de la lumière naturelle - luminaires	23
3 - Conclusion, pour aller plus loin	26
III - Étude des luminaires dans leur environnement	27
1 - Modèle / réels : cartographie de la salle	27
Écarts modèle / réels	30
2 - Conclusion, pour aller plus loin	31
IV. Équilibrage	32
1 - Comment équilibrer ?	32
2 - Le MOSFET	34
3 - Etude comparative de la consommation	35
Modèle / Réel	35
4 - Conclusion, écart modèle / réel	36
Conclusion	37
Sources	38
Définitions	39
Légendes	40

Introduction

En tant que futurs ingénieurs, nous sommes quotidiennement confrontés au besoin d'intégrer des nouveautés technologiques, produits du progrès. Il nous faut donc répondre à des contraintes en utilisant ces nouveautés.

Ainsi, lors de notre année de première, nous avons remarqué que la salle de Sciences d'Ingénieur était une salle 'borgne', c'est-à-dire qu'elle n'est pas desservie en fenêtres et donc en lumière naturelle. La classe est en effet entourée d'autres salles. Elle est éclairée par de la lumière artificielle, alimentée par le secteur, et consomme beaucoup d'électricité. En outre, la lumière artificielle peut poser des problèmes de concentration et de vue aux élèves car celle-ci est agressive. En effet, le spectre lumineux de la lumière artificielle est incomplet - cette lumière ne diffuse pas toutes les longueurs d'onde. Une étude en 1999 menée par Lisa Heshong chercheuse et architecte portant sur 21 000 élèves a démontré qu'en primaire, les notes s'amélioraient de **20% en mathématiques**, les résultats aux examens de **20% dans les salles éclairées par la lumière naturelle**. Si nous ne pouvons poser des fenêtres, il est possible d'acheminer de la lumière naturelle jusqu'à la salle par le biais de fibre optique.

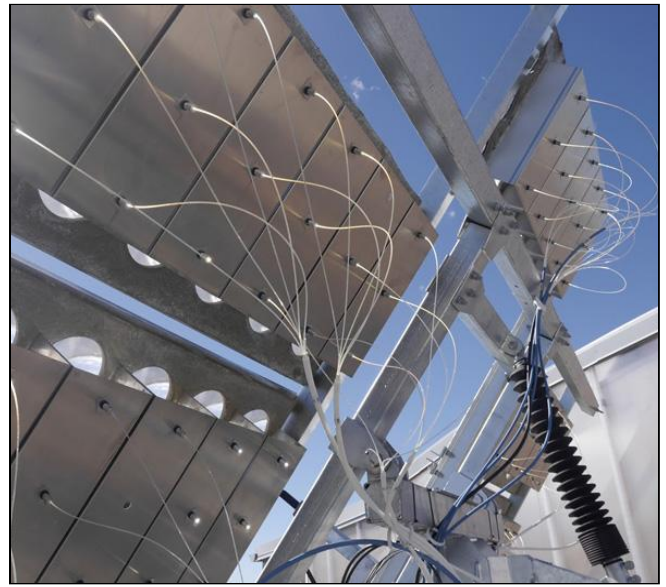


Figure 1 - Panneau aux lentilles de Fresnel *Figure 2 - lumière transmise par fibre optique*

Nous avons donc choisi de passer notre dernière année au lycée au service de la technologie "d'Echy¹". Cette société a développé un système de capteur avec des lentilles de Fresnels² qui transportent la lumière naturelle jusqu'à l'intérieur d'un bâtiment à l'aide de fibre

¹ Echy : start-up regroupant ingénieurs, commerciaux et chercheur, ayant pour but de rendre l'éclairage naturel accessible aux EHPAD, écoles, musées ...

Éclairement : quantité de lumière reçue par unité de **surface**, en lux = puissance (lumen) / surface m²

² Lentilles de Fresnels : initialement inventé pour remplacer les miroirs utilisés dans l'éclairage des phares de signalisations marines qui absorbent 50% du flux lumineux, ces lentilles reflètent la lumière naturelle.

optique. Cette technologie novatrice et simple ne consomme pas d'électricité, mais 50% de la l'éclairement (en lux) est perdue dans la fibre optique. C'est pourquoi l'apport en lumière naturelle n'est pas suffisant, et actuellement la salle est toujours éclairée majoritairement par des dalles lumineuse qui consomment autant qu'auparavant.

Le but de notre projet est de marier les deux types de lumières - naturelle et artificielle - dans un seul luminaire, ce qui permettra de consommer moins d'électricité :

“Comment intégrer lumière artificielle et lumière naturelle au sein d'un luminaire ?”.

À notre disposition, nous avons deux solutions à comparer :

- Le luminaire “aerio” (4 entrées de lumières), fourni par la société d'Echy et donc conçu pour diffuser la lumière naturelle.
- La dalle lumineuse, luminaire actuellement utilisé (9 entrées de lumière). Elle est conçue pour diffuser de la lumière artificielle mais il est possible de faire passer l'arrivée de fibre optique derrière les carreaux de cette dalle (voir photo)



Figure 3 - Luminaire “Aerio”

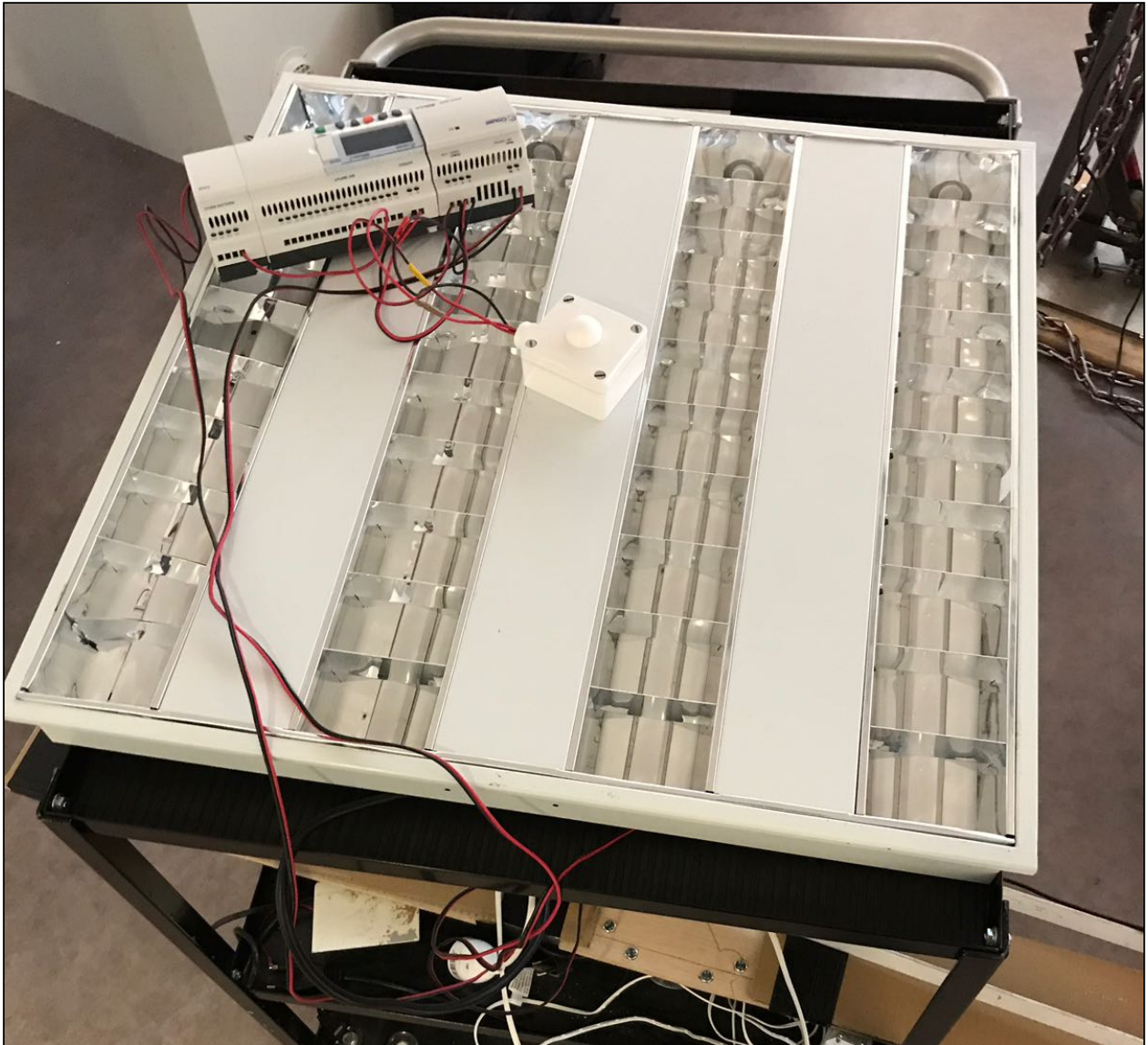


Figure 4 - Dalle lumineuse existante dans la salle

En plus de comparer ces deux solutions, nous allons étudier la manière d'équilibrer la lumière artificielle en fonction de l'apport en lumière naturel journalier, et les changements de forme, couleur ou de place de ce luminaire dans notre salle de SI.

Nous allons aussi comparer les deux matériaux des luminaires : le PMMA³ d'Aerio, matériau transparent réputé pour très bien diffuser la lumière, et les miroirs de la dalle qui reflètent les rayons lumineux.

³ PMMA : Polyméthacrylate de méthyle : polymère thermoplastique transparent, connu sous son premier nom commercial de plexiglas.

I - Analyse fonctionnelle

1 - Chaîne d'énergie du système 'Echy'

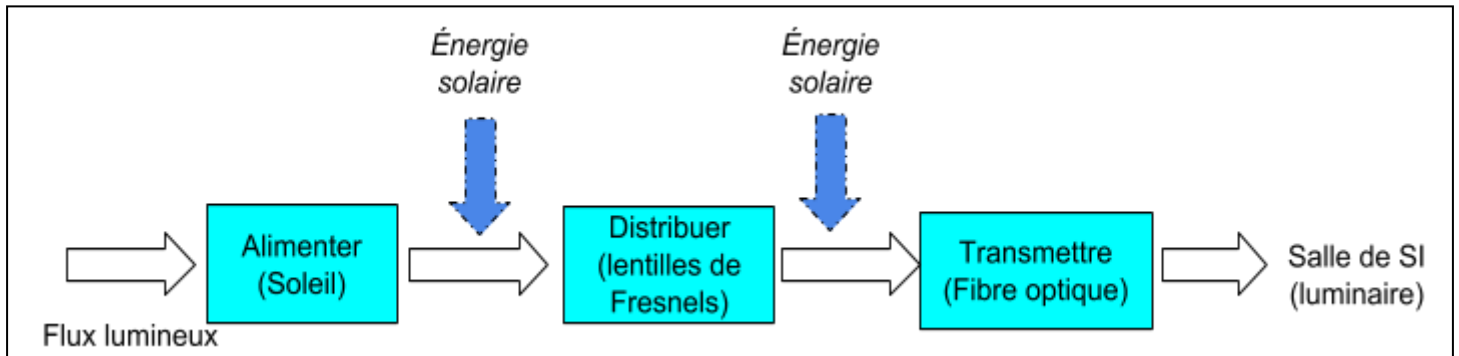


Figure 11 - Chaîne d'énergie du système echy

Afin de moduler la lumière artificielle pour l'ajouter à la lumière naturelle dans un luminaire, il est faudra ajouter une chaîne d'information (voir IV)

2 - Cahier des Charges Fonctionnelles (CdCF)

Nous nous sommes basés sur ce cahier des charges fonctionnelles pour structurer le projet :

- Éclairer en naturel : mesures d'angles de luminosité
- Éclairer en artificiel : cartographie de la salle

Fonction	Critère	Niveau	Flexibilité
F1 : Éclairer en lumière naturelle	Surface	10m ²	0
	Eclairement à 1,5m	300 lux	Max
	Nb points lumineux	4	0
F2 : Éclairer en lumière artificielle	Eclairement	500 lux	+/- 100 lux
	Nb points lumineux	9	0
	Surface	50m ²	0
	Fréquence d'oscillation de la lumière	f<0,1 Hz, f>25Hz	0
C1 : Caractéristiques des luminaires	Taille	1,25 x 0,095 m	total
	Matériau	PMMA	0
	Nombres de fibres	2 x 5	0
	Lumières artificielle par LED	5000 lumens	+/- 1000lm

3 - Présentation de l'espace étudié

- *Obstacles*

Afin d'intégrer le luminaire dans son environnement, nous avons modélisé l'espace de notre classe. Ainsi nous pouvons visualiser la manière avec laquelle la lumière se diffuse. Notre but ici est d'éclairer les tables et de modéliser les obstacles, telles que les chaises ou espaces de rangement.

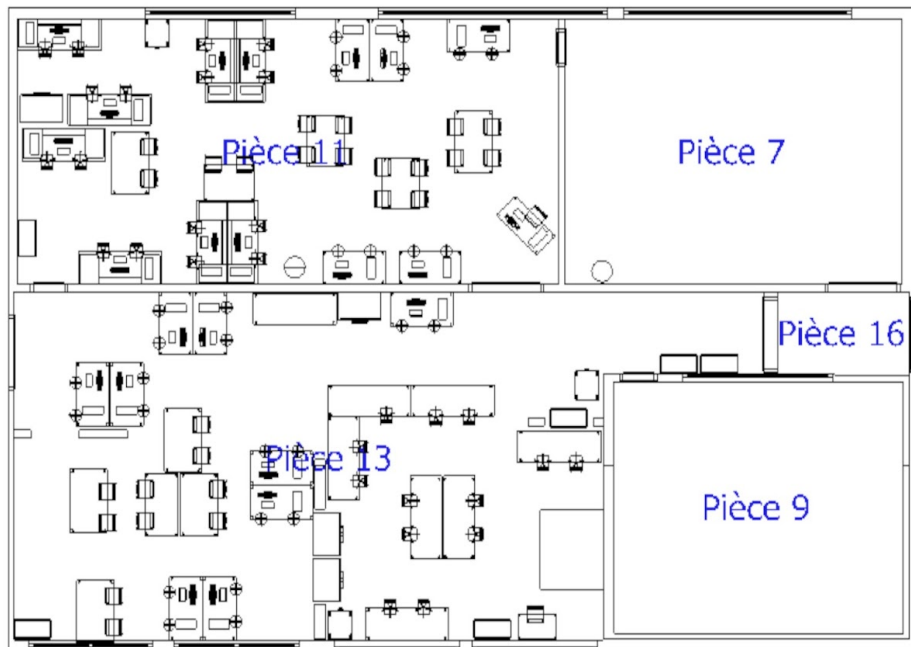


Figure 5 - Vue d'oiseau 2D de la classe modélisée à l'aide de Sweet Home 3D

En effet, conformément aux critères fixés par le cahier des charges, il est question d'apporter l'équivalent de **500 Lux** au niveau des tables. (source : le guide de l'éclairage)

On voit ici que les obstacles n'interfèrent pas et que les luminaires sont dispersés de sorte à ce que la lumière se dirige majoritairement sur les tables, l'espace étudié est donc bien agencé.

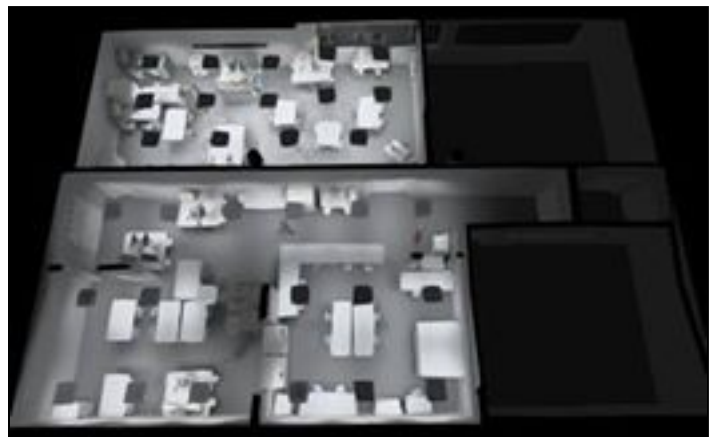


Figure 6 - Vue 3D de la classe modélisée avec DiaLUX

- *Reflets à l'extérieurs*

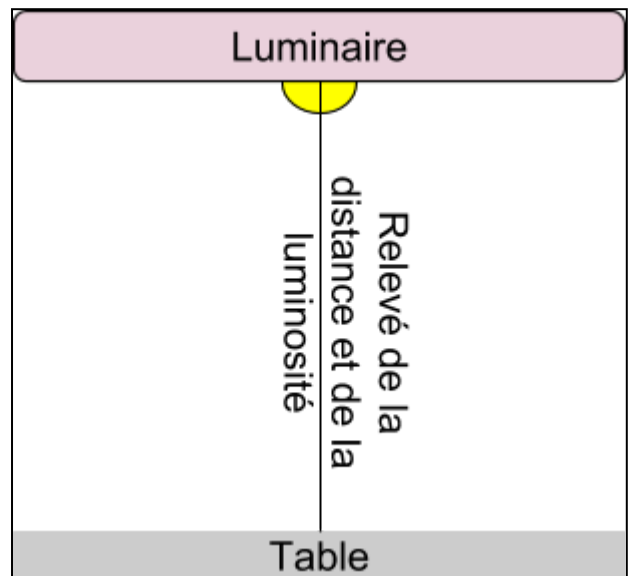
Nous avons pour attente une luminosité de 500 lux sur les tables, mais elles reflètent la lumière. Ce phénomène diminue la perte d'éclairement due aux obstacles dans la salle qui absorbent la lumière.

Pour modéliser l'apport lumineux des reflets, nous avons fait les expériences suivantes.

Protocole d'expérience à partir du réel

(i) À l'aide d'un luxmètre, nous avons capté la lumière à différentes distances, sur une perpendiculaire à la source lumineuse dans un espace sans obstacles.

(ii) Nous avons ensuite réitéré l'expérience en mettant une table en dessous du luminaire. *Figure 7 - Schéma expérience "reflets à l'extérieur"*



(iii) Après avoir entré ces valeurs dans un tableau, nous avons fait le rapport entre les valeurs avec des rayons réfléchis par la table, et celles sans la table.

Résultats obtenus, modélisation :

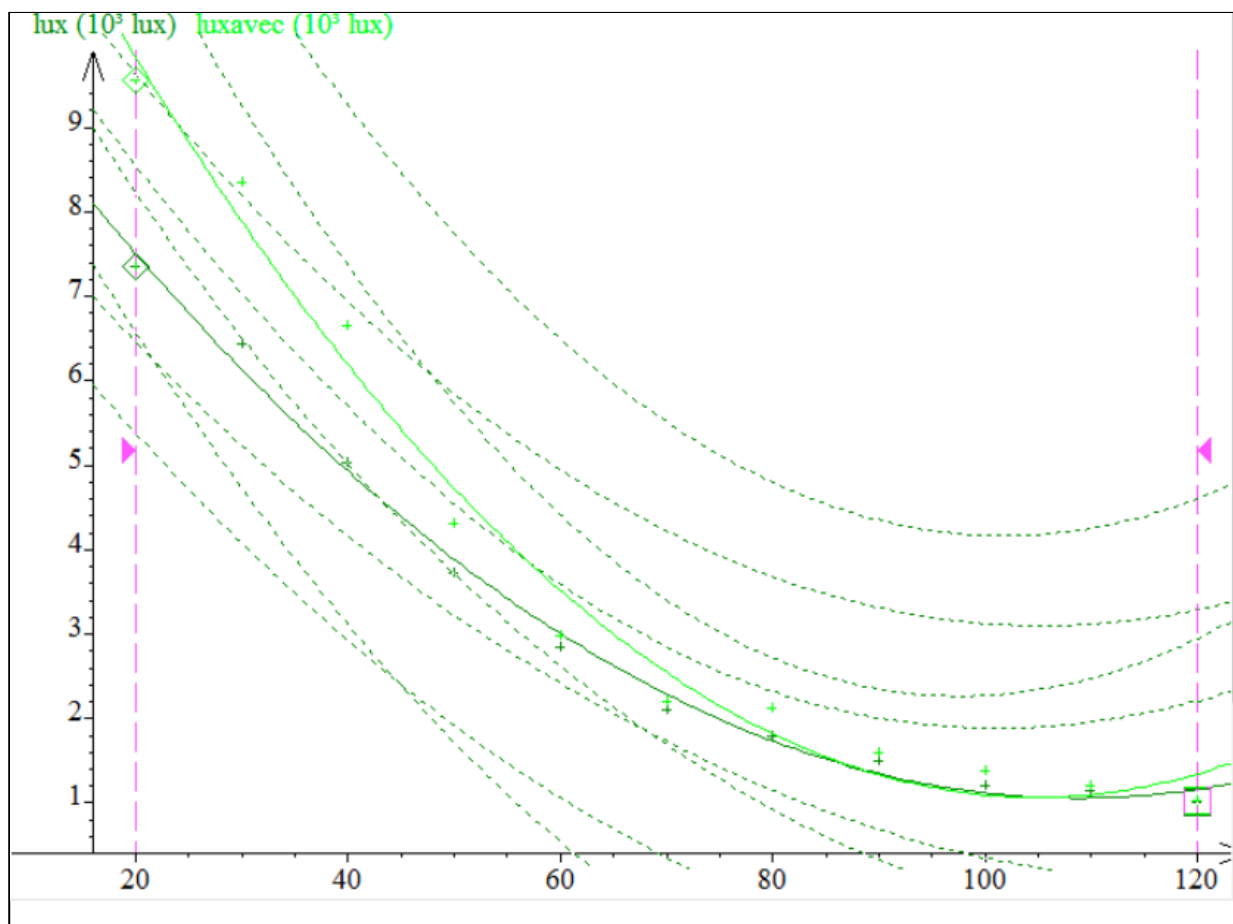


Figure 8 - Courbe des rayons lumineux reflétés par une table

Interprétation

D'après cette courbe lorsqu'un luminaire

- éclaire un espace sans obstacles : $lux(d) = 1,07 \times 10^4 - 178d + 0,82d^2$
- éclaire une table : $luxavec(d) = 1,45 \times 10^4 - 255d + 1,22d^2$

Avec d = distance entre la source lumineuse et la table donnée en centimètres.

La formule des rayons réfléchis est donc :

$$lum(\text{réfléchi}) = Luxavec(d) - Lum(d) = 1,32 \times 10^4 - 77d + 0,34d^2$$

Pour une distance de $d=120$ cm, nous avons donc **50 lux** de rayons réfléchis

- *Reflets internes au luminaire*

Ensuite, nous avons capté la lumière à plusieurs distances de la source de lumière du luminaire, en faisant passer la lumière dans le matériau utilisé pour le luminaire : pmma.

Protocole :

- A l'entrée du PMMA, nous mettons une LED source de lumière
- Avec un luxmètre, nous captions la luminosité en fonction de la distance à la LED le long du luminaire

Schéma de l'expérience, à partir du réel

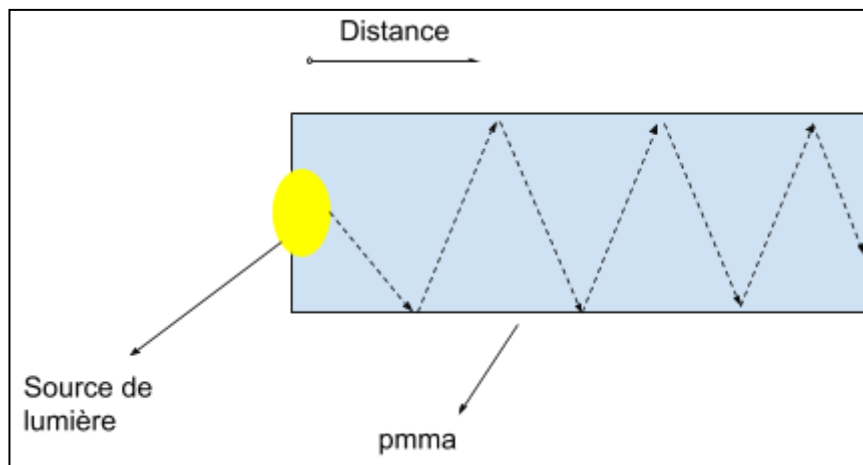


Figure 9 : Schéma de l'expérience 'reflets internes au luminaire'

Résultats obtenus et modélisation

À l'aide de cette expérience, nous avons obtenu la courbe de la puissance lumineuse⁴ (axe vertical en W/m^2) en fonction de l'inverse de la distance (axe horizontal, cm^{-1}) à la source. Ce diagramme représente le rendement lumineux⁵ pour une table, c'est-à-dire la quantité de lumière qu'une table reflète pour une même source.

⁴ Puissance de l'éclairage : puissance lumineuse d'une source **perçue par l'oeil humain**, en W/m^2

⁵ Rendement lumineux : indicateur d'efficacité d'une lampe électrique à convertir l'électricité en lumière.

Intensité lumineuse : capacité d'une source à éclairer dans une **direction donnée**, en candelas

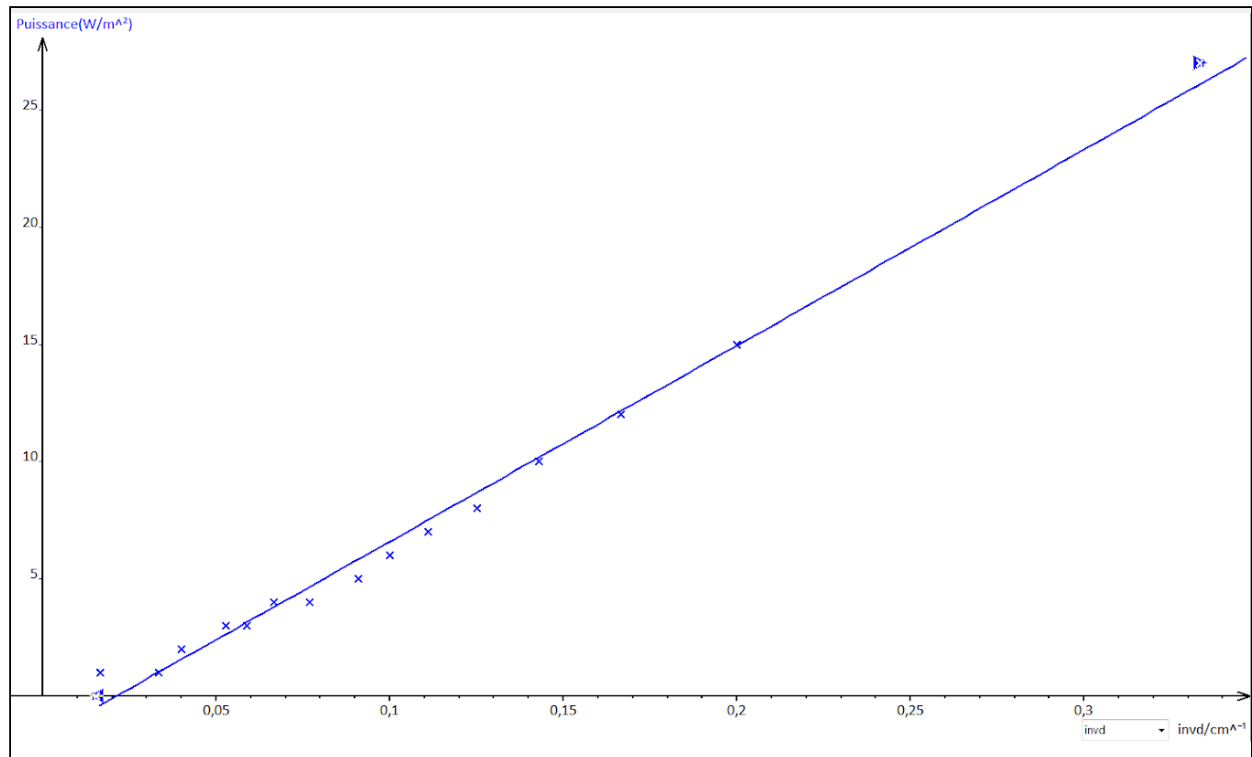


Figure 10 - Courbe de la puissance lumineuse en fonction de l'inverse de la distance à la LED

Interprétation

D'après cette courbe : la puissance lumineuse (pour un luminaire et une table) est

$$P_{\text{sortie}} = 83,6 \times \frac{1}{d} - 1,77$$

Avec d = distance entre la source lumineuse et la table donnée en centimètres.

Nous avons une distance luminaire - table d'un mètre vingt. Dans ce cas, la puissance calculé est de :

$$P_{\text{sortie}} = 83,6 \times \frac{1}{20} - 1,77 = 67,9$$

Pour réaliser cette expérience, nous avons utilisé 7 LEDs d'une puissance de 10W

$$P_{\text{entrée}} = 70 \times 10 = 70 \text{ W}$$

Le rendement calculé est donc

$$\eta_{\text{exp}} = \frac{P_{\text{sortie}}}{P_{\text{entrée}}} = 0,97$$

Or, d'après 'le guide de l'éclairage', le rendement moyen théorique du PMMA est de

Chargement en cours...

Ces résultats sont donc cohérents.

II - Éclairer en lumière artificielle

Pour choisir le luminaire optimal, c'est à dire celui qui disperse la lumière dans toutes les directions de manière la plus homogène, entre la dalle et "aerio", nous allons caractériser ces luminaires en créant leur diagramme polaire et diagramme de rayonnement⁶. Ces diagrammes représentent la manière avec laquelle la lumière artificielle se propage en sortie du luminaire.

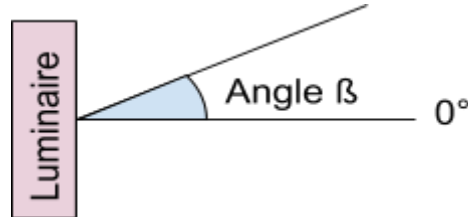


Figure 12 - Schéma de l'angle de diffusion de la lumière en sortie d'un luminaire

L'axe des ordonnées représente la luminosité, en lux, et les angles autour du diagramme sont pris avec pour référence : 0° une droite perpendiculaire à celle du luminaire (voir dessin). L'orientation des diagrammes de rayonnement par rapport à l'axe horizontal ou vertical n'influence pas l'étude puisque ces diagrammes sont symétriques. Notre but ici est de choisir un luminaire qui diffuse la lumière de manière homogène.

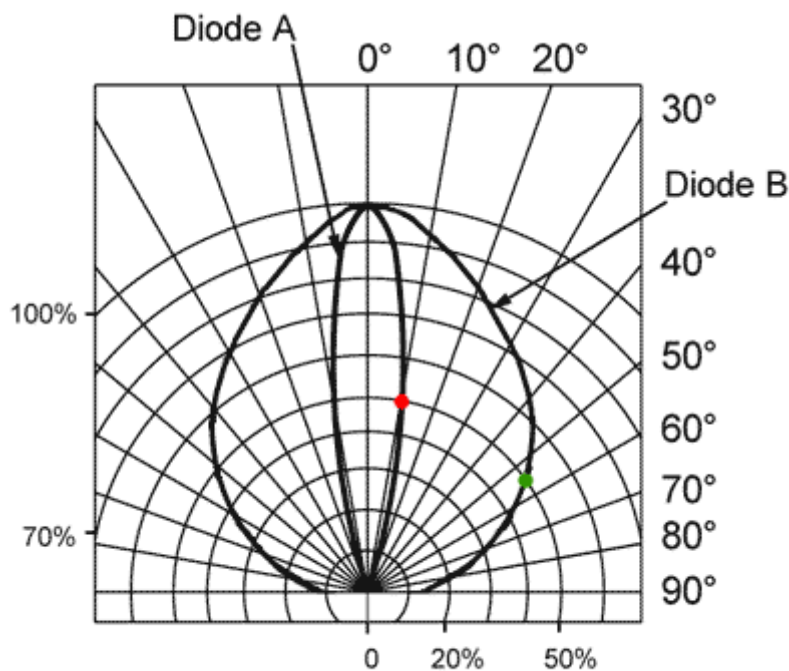


Figure 13 - Exemple de diagramme de rayonnement

La 'diode A' correspond au diagramme de rayonnement pour un endroit du luminaire, la diode B, à un autre.

⁶ Diagramme polaire : modélise le flux lumineux en sortie du luminaire comme s'il était posé sur l'axe x. Diagramme de rayonnement : représente la distribution angulaire de la lumière, modélise une sphère intégrante et donc le flux lumineux en 3D en sortie du luminaire. Symétrique sur ses deux axes

1 - Modèle / Réels : caractérisation de la dalle lumineuse

But de l'étude : comparer modèle, réel et attentes.

Nous utilisons des **lux** pour le diagramme polaire et des **candelas** pour les diagrammes de rayonnement.

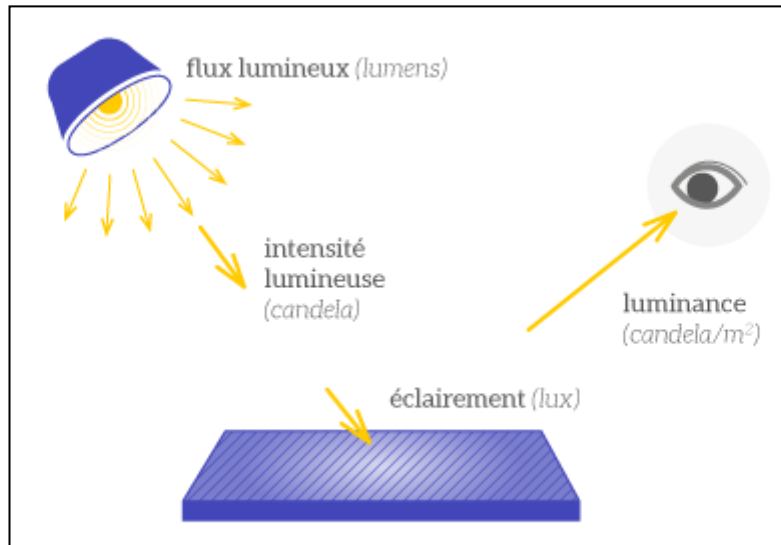


Figure 15 - Dessin explicatif des différentes grandeurs pour qualifier la lumière

- Réel 1 : Diagramme polaire

Protocole et schéma du réel

Pour créer ce diagramme, nous avons mis le luminaire en hauteur et avons capté la lumière à l'aide d'un luxmètre⁷ à différents angles pour une distance constante d'1m20, qui correspond à la distance entre les luminaires et les tables. On peut imaginer la dalle sur l'axe horizontal 270° - 90°.

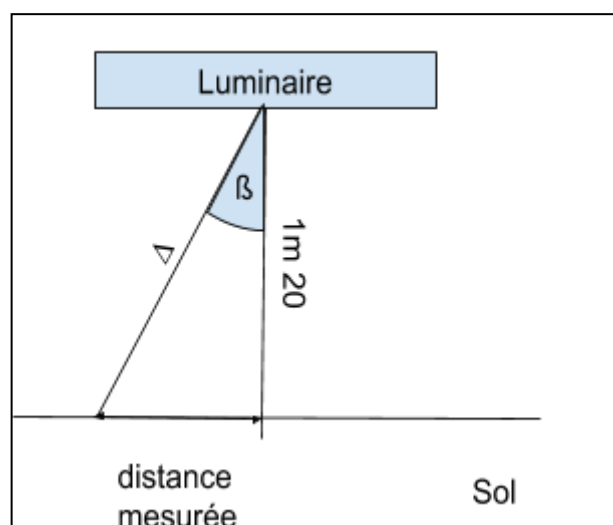


Figure 13 : Schéma du réel 1 : diagramme polaire

⁷ Luxmètre : appareil de mesure de l'éclairement, en lux.

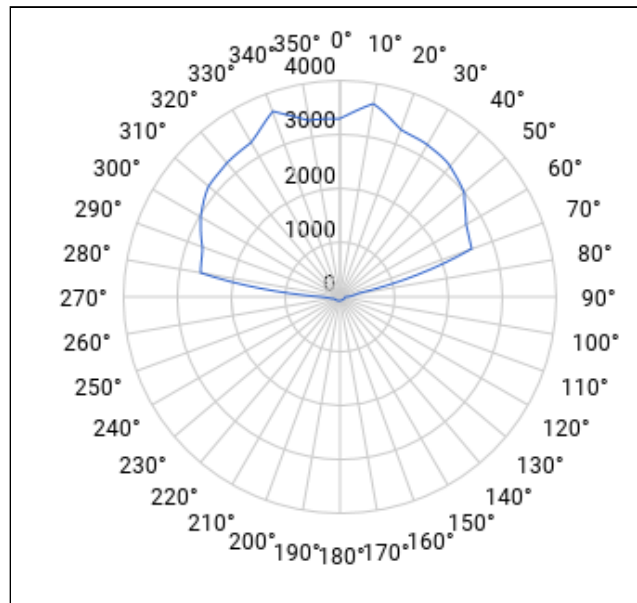


Figure 14 - Réel 1 : Diagramme polaire de la dalle lumineuse

Interprétation

Ici, on observe déjà que le diagramme est plutôt étalé, ce qui exprime la capacité de la dalle à diffuser la lumière de manière homogène dans toutes les directions.

Ici, on voit que le diagramme polaire est assez étendu mais qu'il perd en flux lumineux sur les côtés. Ceci est dû à la faible diffusion de lumière d'une dalle de luminosité.

- *Modèle 1 : Diagramme de rayonnement*

Protocole : expérience à partir du réel

Pour créer ce diagramme, nous avons établi un fichier .ies, qui renseigne les valeurs des angles verticaux et horizontaux. Munis d'un seul luxmètre, nous avons dû convertir les lux en candelas.

La relation entre lux et candelas est la suivante:

Chargement en cours...

avec Δ = distance entre la source de lumière et le luxmètre (m)

- Principe de l'expérimentation

Influence des angles 3D sur 'éclairage

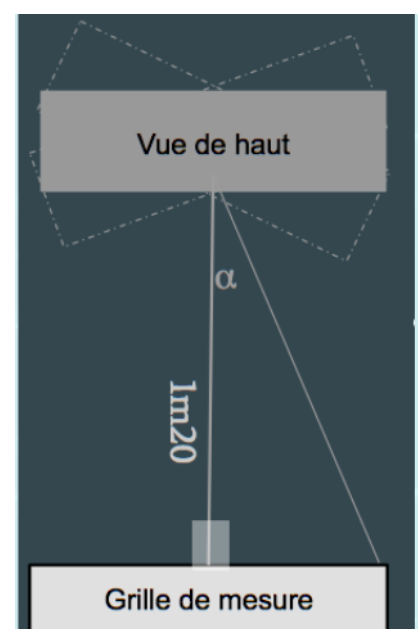
Matériel

- Luxmètre ± 2 lux
- Mètre mesureur ± 2 mm

Facteurs variables : angle α 'horizontaux' en fonction des angles β 'verticaux' $\pm 4^\circ$

Facteurs constants

- Distance lumineuse - grille = (1200 ± 10) mm
- Puissance lumineuse de la source = 200 lux



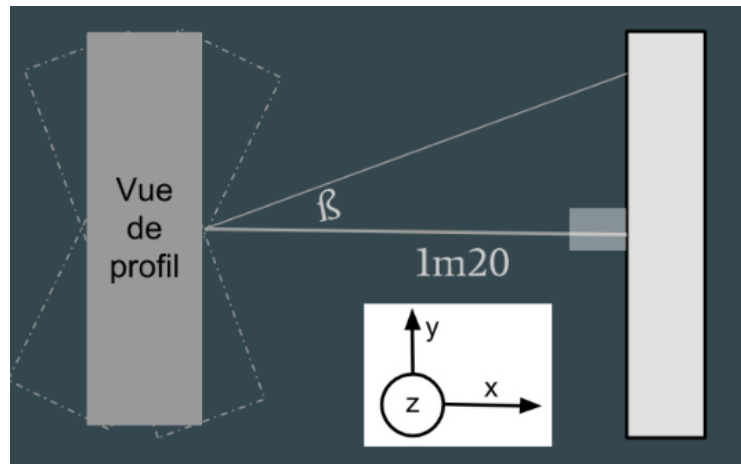


Figure 16 : Schémas de l'expérience "diagramme de rayonnement"

Modélisation

En entrant la valeurs des angles 'horizontaux' α et 'verticaux' β , les distances Δ , et luminosité correspondante dans un fichier .ies, nous avons créé "modèle 2" à l'aide du logiciel 'Optgéo'

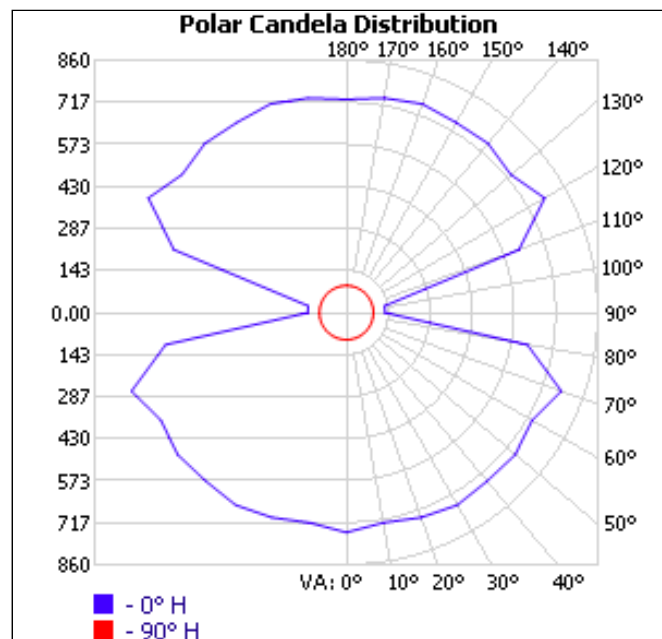


Figure 18 : Modèle 1 : Diagramme de rayonnement de la dalle

Interprétation

Ce diagramme représente l'équivalent d'une sphère intégrante⁸ mise à plat. C'est à dire que les angles dits "horizontaux", qui correspondent à ceux du diagramme polaire (cf réel 1) sont en bleus) et ceux dits "verticaux", qui correspondent au mouvement du luminaire sur son axe verticale (sur sa longueur) en rouge. Il y a déjà une forme d'homogénéité dans les résultats obtenus entre le premier et second réel car les courbes en bleu correspondent l'une avec l'autre. Le second réel a un effet "miroir" car il faut imaginer que les angles sont en 3D, c'est à dire que l'angle 0° (en haut du diagramme) et 180° (en bas du diagramme) sont les mêmes.

⁸ Sphère intégrante : composant optique consistant en une cavité creuse. Les faisceaux lumineux provenant de n'importe quel point de la surface interne de la sphère sont distribués de façon égale à tous les autres points de la sphère indépendamment de la direction originale de la lumière

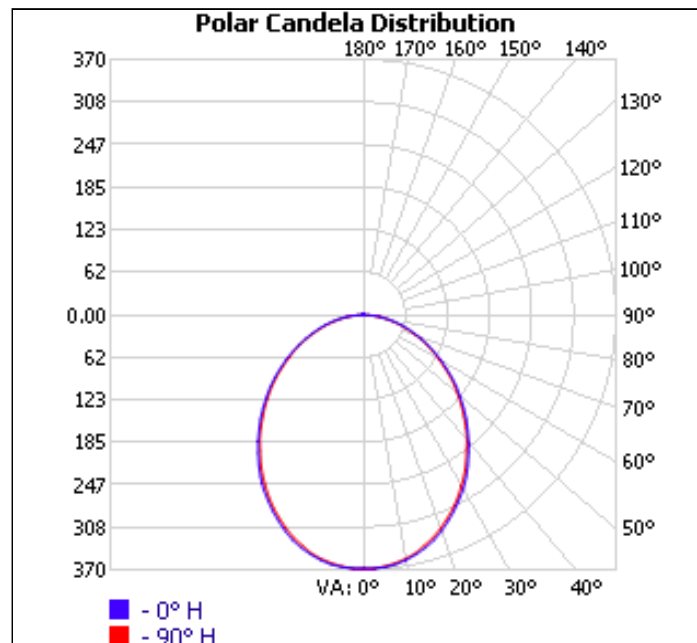


Figure 19 : Attentes: Diagramme de rayonnement de la dalle

Écarts réel - modèle - attentes

Pour les angles horizontaux (en bleu), les réels et modèles sont à peu près cohérent, il suffit d'inverser la courbe du modèle pour obtenir le diagramme polaire de la dalle. Ce changement n'est pas considéré comme conséquent puisqu'on modélise une sphère et que les angles en bas correspondent à ceux d'en haut, le diagramme est symétrique selon l'axe horizontal et vertical. La forme du flux lumineux en sortie du luminaire est donc la même pour l'expérience (réel) et la modélisation suite à une expérience. Ce constat permet de vérifier la cohérence des expériences effectuées, cette forme de flux lumineux est propre au luminaire fourni.

En revanche, l'écart modèle-réel pour les angles verticaux (rouge) est très important. Cette différence est sûrement due aux difficultés à mesurer l'angle du luminaire que l'on fait tourner sur son axe vertical, mis de côté au vu de la taille de celui-ci. Ces imprécisions sont donc dues à une expérience trop complexe. En l'absence de sphère intégrante, notre expérience remplaçait cette sphère, mais il est compliqué de mesurer avec exactitude dans l'espace des angles avec un niveau.

2 - Modèle / réels : caractérisation du luminaire Aerio

- *Réal 2 : Diagramme polaire*

Protocole et schéma du réel

Pour réaliser cette expérience, nous avons réitéré l'expérience de la création du diagramme polaire, avec le luminaire orienté à 90° à plat. On peut donc lire le diagramme en imaginant le luminaire posé sur l'axe horizontal (courbe bleue) ou sur l'axe vertical (courbe rouge).



Figure 21 - Photographie de l'expérience 'diagramme polaire'

Résultat obtenu

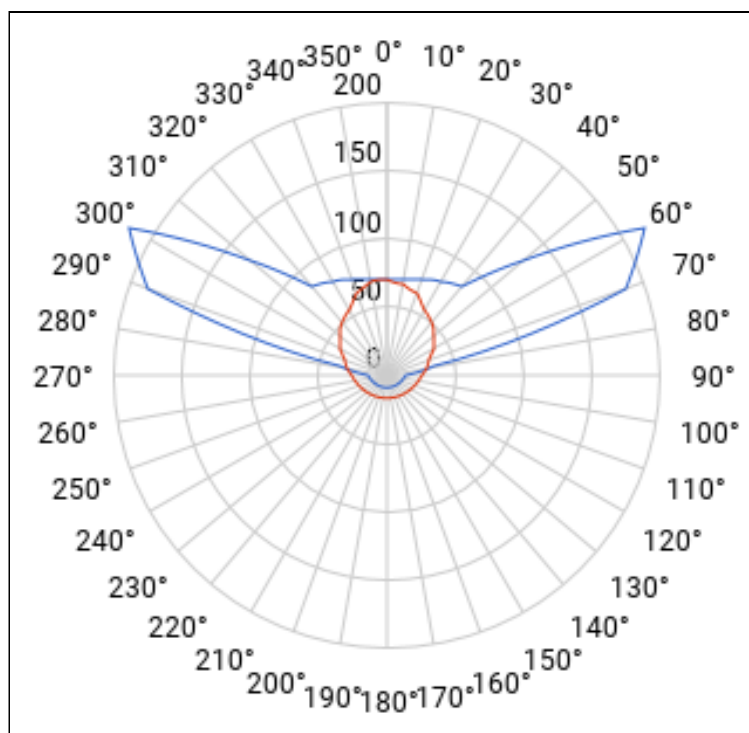


Figure 20 - Réel 2 : diagramme polaire d'Aerio

Interprétation

La courbe bleue est particulière car nous avons fait l'expérience avec deux entrées de lumière, le luminaire Aerio étant conçu pour deux sources à ces extrémités gauche et droite. Il y a donc une luminosité plus importante sur les côtés des luminaires qu'au centre, et l'on peut déjà comparer ce luminaire à la dalle. Le diagramme est plus étalé, ce qui veut dire que la lumière se disperse mieux dans le luminaire. Cela peut être dû au matériau du luminaire, le pmma, qui est connu pour avoir un indice de réfraction très faible, c'est-à-dire que les rayons lumineux ne perdent pas d'intensité en passant dans ce matériau.

La courbe rouge est un rond de faible intensité, ce diagramme est un diagramme polaire donc les angles sous l'axe horizontal (270° - 90°) ne sont pas considérés, on voit donc que la puissance lumineuse au milieu du luminaire, qu'on raisonne avec le luminaire orienté à 0° ou 90° est la même : 50 Lux. Cette puissance est faible car nous utilisons des LEDs de 5W comme source lumineuse.

Il est utile d'étudier les angles verticaux sur le diagramme polaire car le luminaire ne bouge pas de place pendant l'étude. Toutefois, pour les diagrammes de rayonnement, la distance entre le luxmètre et chacune de LEDs change pour différents angles verticaux. C'est la raison pour laquelle nous ne pouvons modéliser que des angles verticaux.

- *Modèle 2 : Diagramme de rayonnement*

Protocole et modélisation

Nous avons réitéré l'expérience de la dalle pour créer un fichier .ies⁹.

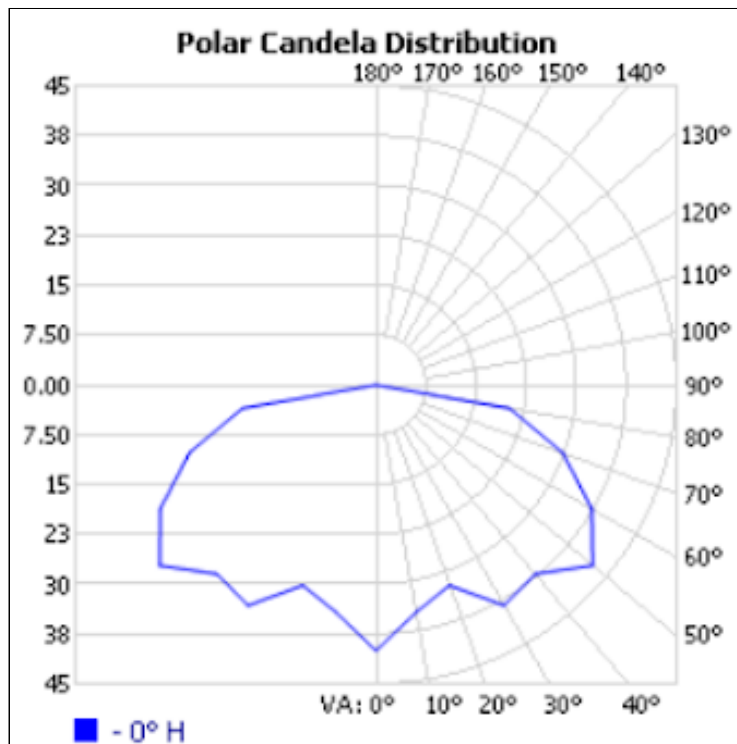


Figure 22 - Modèle 2 : Diagramme de rayonnement du luminaire Aerio

⁹ Fichier .ies : fichier texte qui caractérise un luminaire. Il y est renseigné les angles de luminosité du luminaire, et pour chacun d'entre eux l'intensité lumineuse en candelas.

Interprétation

On observe que le diagramme d'Aerio est plus étalé que celui de la dalle, ce qui veut dire que ce luminaire diffuse mieux la lumière, sur une plus grande surface.

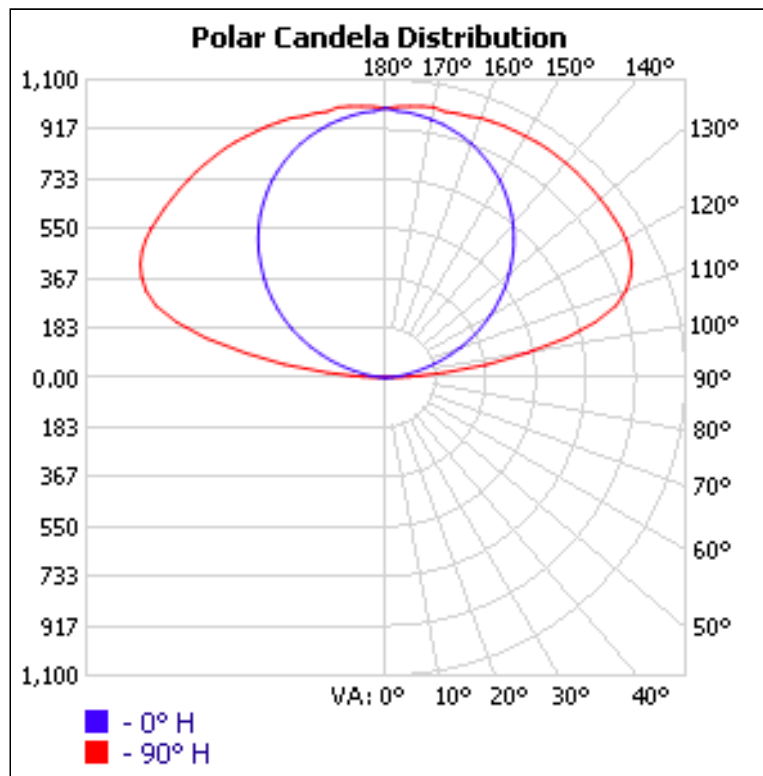


Figure 23 - Attentes 2: Diagramme de rayonnement d'Aerio

Ici, la courbe rouge correspond à celle du diagramme de rayonnement.

La courbe bleue correspond à la courbe rouge du diagramme polaire (cf réel 1).

Écarts modèle / réel / attentes

Ce modèle correspond à nos réels puisque la forme des deux courbes est semblable. Nos expériences sont donc cohérentes avec la réalité.

Les courbes des angles verticaux et horizontaux sont plus étalées que pour la dalle lumineuse, ce qui veut dire qu'en tous points, le luminaire Aerio diffuse mieux la lumière. Pour une même source lumineuse, l'environnement sera donc plus homogène avec le luminaire Aerio.

Toutefois, les valeurs de luminosité sont plus faibles pour le luminaire Aerio car nous avons utilisé une puissance de source lumineuse inférieure, ne pouvant mettre des LEDs de 3W dans la dalle lumineuse.

3 - Conclusion, pour aller plus loin

Nous pouvons conclure de cette première expérience que le luminaire Aerio est préférable pour diffuser la lumière et avoir un espace homogène car il diffuse mieux une lumière artificielle produite par des LEDs. En revanche, il faut encore étudier la manière dont se diffusera la lumière dans la salle afin de savoir si la puissance lumineuse apportée est suffisante.

II - Éclairer en lumière naturelle

Nous avons fait une première étude comparative en caractérisant les luminaires pour leur utilisation normale, alimentés par de la lumière artificielle (LEDs). Toutefois, les lumières naturelles et artificielles ne se comportent pas de la même façon. Les rayons émis par une LED accrochée au plafond seront tous perpendiculaires au plafond. Nous savons comment se comportent ses rayons une fois passés par le luminaire grâce à la première étude.

Nous cherchons à utiliser la lumière naturelle car elle utilise tout le spectre du visible, à l'inverse d'une LED.

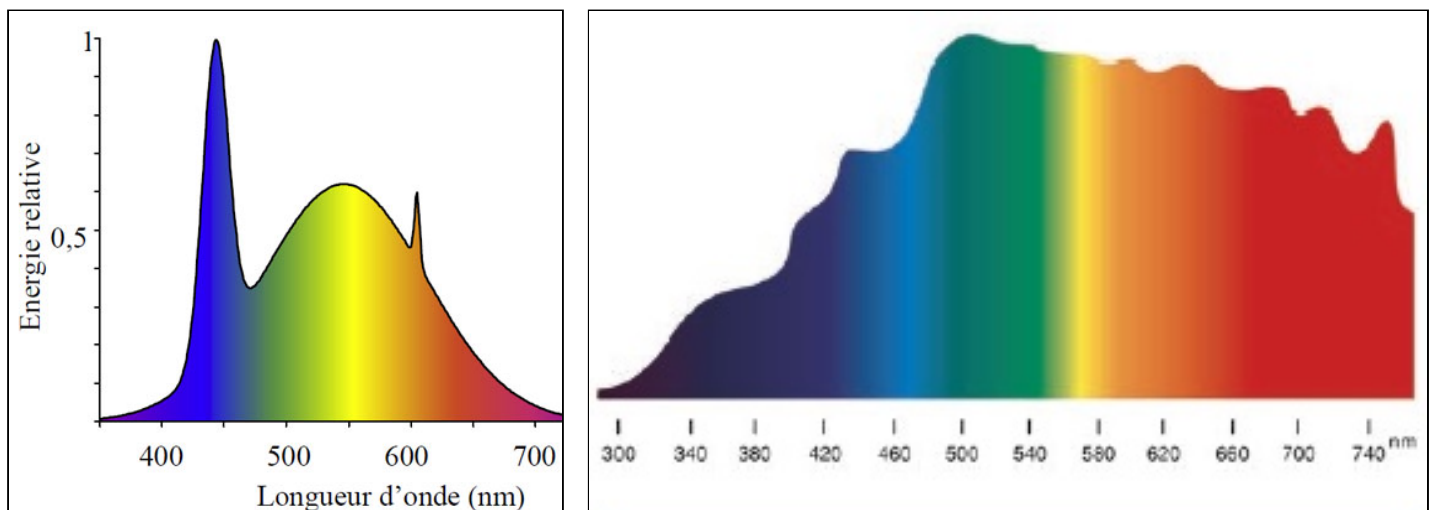


Figure 24 - Spectre de la lumière d'une LED blanche et spectre de la lumière naturelle du jour

Pour la lumière naturelle, les rayons en sortie de la fibre optique forment un cône en 3 dimensions, ils sont diffractés. Ces rayons peuvent donc se comporter de manière surprenante au contact du luminaire. Le but de cette étude est donc d'étudier la manière avec laquelle ces rayons vont se comporter dans chaque luminaire et de choisir lequel est préférable.

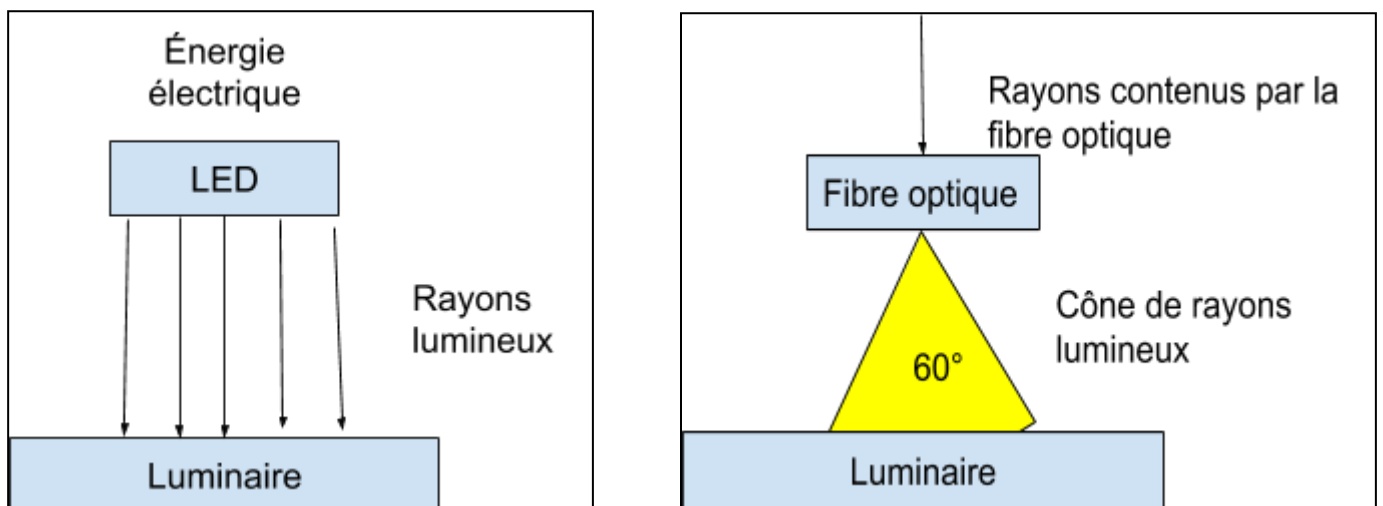


Figure 25 - Schéma des rayons de lumière artificielle et des rayons de lumière naturelle

1 - Modèle / réel : Angle de la lumière naturelle - fibre optique

Nous cherchons la direction de propagation de la lumière¹⁰ en sortie de fibre optique.

- *Réel 1 : dispersion de luminosité en sortie de la fibre optique*

Protocole et schéma :

Nous avons posé une feuille quadrillée de 5 cm^2 par terre, puis placés la sortie de la fibre optique 15 cm au-dessus de cette feuille.

L'objectif de cette expérience est de mesurer à l'aide d'un luxmètre le flux lumineux par unité de surface.

La feuille de calcul est à une distance $d = 15\text{cm}$ de la sortie de la fibre optique.

La distance entre le centre de la feuille et les points de luminosité nulle est $b = 22\text{cm}$

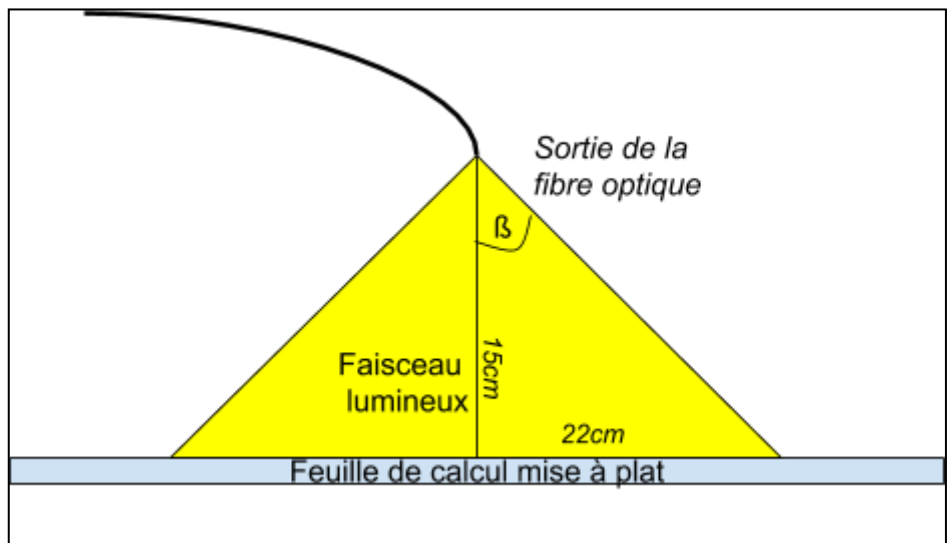


Figure 27 - Schéma 1 'lumière en sortie de la fibre optique'

Résultat obtenu

1	1	1	2	3	2	0	0
2	1	2	3	5	3	2	1
3	2	4	6	12	6	4	2
4	1	2	4	5	4	2	1
5	1	2	1	3	4	0	0

Figure 26 - Réel 1 : dispersion de luminosité en face de la sortie de fibre optique

Interprétation

- (1) On voit que la forme de la valeur de la luminosité est plus importante au centre de la feuille. Ceci peut exprimer le fait qu'en sortie de la fibre optique, la luminosité est concentrée au centre, puis qu'elle diminue au fur et à mesure qu'on s'éloigne concentriquement du centre.

¹⁰ Direction de propagation de la lumière : en réduisant une source à un point lumineux, forme de la direction suivie par la lumière en sortie de ce point : cône, droite...

- Calcul de l'angle de luminosité

D'après les formules de trigonométrie, le demi-angle β entre le centre de la feuille, a une luminosité maximale, est le côté de celle-ci qui a une luminosité nulle est :

$$\tan(\beta) = \frac{15}{22}$$

$$\Leftrightarrow \beta = \tan^{-1}\left(\frac{15}{22}\right) = 34^\circ$$

L'angle total est donc $\alpha = 2 \times 34 = 68^\circ$

Ceci est cohérent avec les 60° annoncés, les imprécisions sont dues aux imprécisions de mesures : lumière de second jour, orientation (angle) entre le luxmètre et la feuille.

Angle = 68°

- *Réal 2 : dispersion de luminosité le long de la sortie de la fibre optique*

Protocole et schéma

On réitère la même expérience en maintenant la sortie de la fibre optique au sol. L'objectif étant d'observer le comportement de la lumière à l'horizontale. Nous vérifions que la trajectoire d'un rayon lumineux est une ligne droite quelque soit le milieu de propagation.

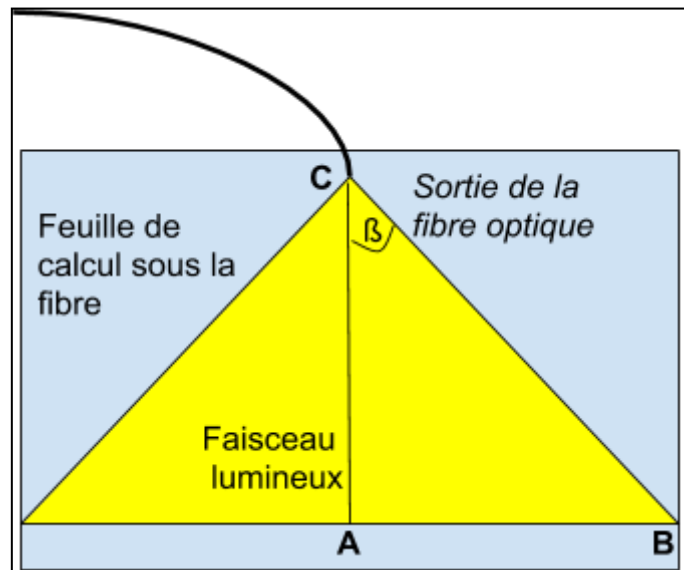


Figure 29 - Schéma 2 'lumière en sortie de la fibre optique'

1	3	3	4	5	3	1
2	6	4	7	6	5	2
2	6	7	11	8	6	2
1	2	6	12	13	2	1
1	1	5	8	7	1	1

entrée de la fibre

Figure 28 - Réel 2 : dispersion de luminosité le long de la sortie de fibre optique

Interprétation

La forme créée par les rayons lumineux en sortie de la fibre optique est un 'triangle', c'est à dire que l'angle de luminosité est constant et qu'elle forme un cône. Cette forme correspond à ce que nous avons prévu car la lumière se déplace en ligne droite.

- Calcul de l'angle

On procède de la même manière que la dernière fois, si nous trouvons le même angle, alors le cône sera un cône de 60°

Distance entre le centre de la feuille A et le côté B : AB= 13,5cm

AC = 22,5 cm, distance entre la source de luminosité C et le centre A

D'après les formules de trigonométrie:

$$\tan(\beta) = \frac{AB}{AC}$$

$$\Leftrightarrow \beta = \tan^{-1}\left(\frac{AB}{AC}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{13,5}{22,5}\right) = 30,9^\circ$$

L'angle total $\alpha' = 2 \times \beta = 2 \times 30,9 = 62^\circ$

Il y a donc un angle en 3 dimension de 62°

Angle en 3D = 62°

Écarts modèle - réel

Les valeurs trouvées sont cohérentes avec le modèle car juste à la sortie de la fibre. Les valeurs calculées sont légèrement supérieures au 60° attendu car nos carrés de mesure sont peu précis (au centimètre près). Aussi, il faut prendre en compte l'imprécision du luxmètre et l'imprécision de mesure.

2 - Modèle / réel : Angle de la lumière naturelle - luminaires

Protocole :

Une fois que nous connaissons l'angle de luminosité en sortie de la fibre optique, nous nous intéressons à la deuxième partie dans laquelle la lumière passe dans le luminaire. Nous cherchons le matériau préférable pour faire passer de la lumière naturelle. Si le luminaire aéro est en pmma, la dalle utilise des miroirs pour réfléchir les rayons. Nous allons donc comparer un même faisceau qui passe dans du pmma puis dans un miroir.

Schéma de l'expérience :

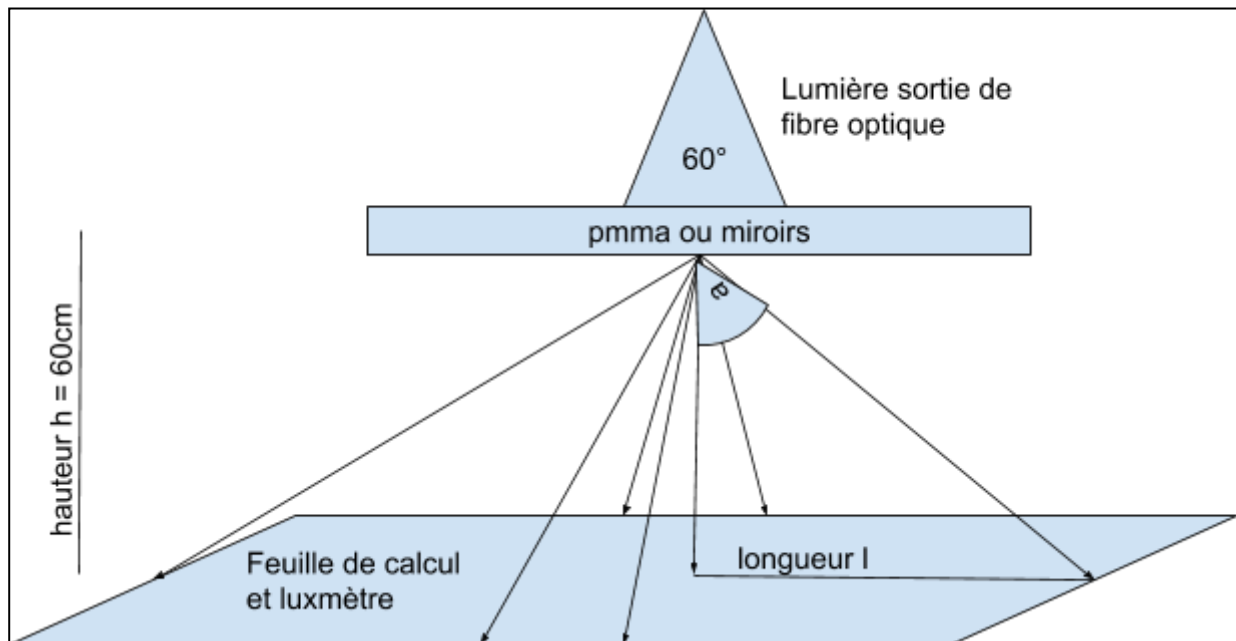


Figure 30 - Schéma de l'expérience 'angle de la lumière naturelle en sortie des luminaires'

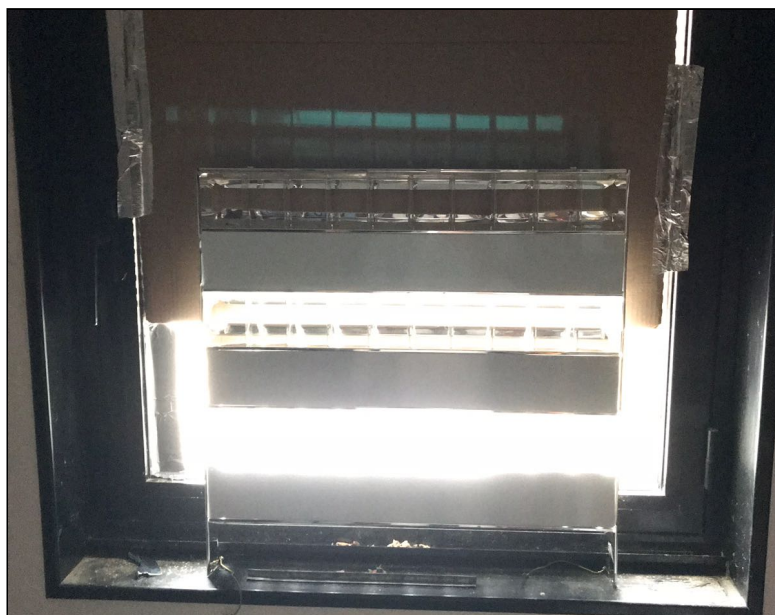


Figure 31 - Photographie de l'expérience 'lumière naturelle en sortie de la dalle lumineuse'

- *Réel obtenu 1 : le PMMA d'Aerio*

1	2	5	5	4	3	2	1
3	2	4	1	1	1	0	2
2	1	8	7	3	2	2	1
0	2	3	8	2	6	6	1
3	2	3	1	3	2	3	0
2	1	2	1	4	5	5	1

Figure 35 - réel 1 : dispersion de la lumière naturelle en sortie en face du pmma

Le tableau ci-dessus correspond à la surface en face du pmma. On voit que la puissance lumineuse au centre est plus importante que sur les extrémités. Ceci peut être interprété par l'idée que la lumière juste en face du luminaire est plus importante que sur ses côtés.

- Vérifions l'angle des rayons lumineux : cf "Schéma de l'expérience"

À droite du schéma : $\tan(a) = \frac{l}{h} \Leftrightarrow \text{angle } a = \tan^{-1}\left(\frac{40}{60}\right) = 23^\circ$

À gauche du schéma : $\text{angle } b = \tan^{-1}\left(\frac{30}{60}\right) = 27^\circ$

Angle du cône lumineux = $a + b = 23 + 27 = 50^\circ$

Angle du cône lumineux en sortie du pmma = 60°

Nous obtenons un angle de luminosité de 60° , ce qui est parfaitement cohérent avec le modèle.

- *Modèle 1 : Le PMMA d'Aerio*

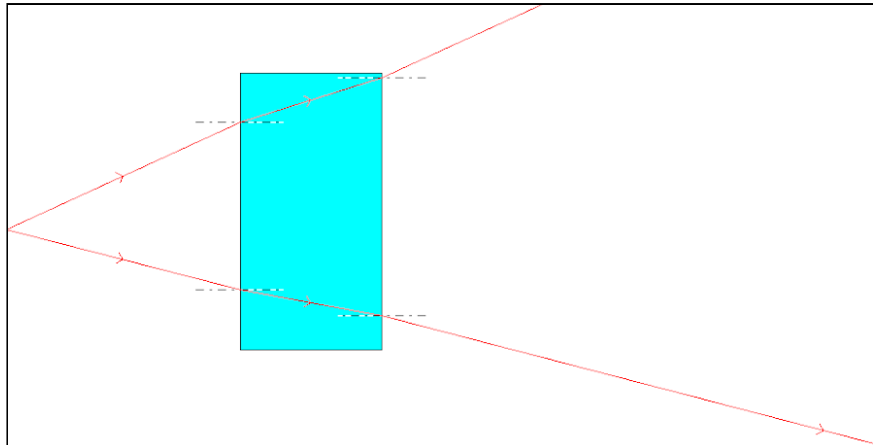


Figure 32 - modèle 1 le pmma d'Aerio

Sur ce modèle créé avec Optgéo, nous avons réécrit les valeurs de l'angle d'incidence¹¹, le rendement et la pourcentage des rayons diffractés afin d'obtenir les rayons en sortie du PMMA. L'angle du cône initial est égal à celui en sortie, le pmma n'est pas censé changer la direction ou le sens des rayons.

¹¹ Angle d'incidence : angle entre la direction de propagation de l'onde incidente et la normale au dioptré (ou luminaire étudié)

- **Réel 2 : les miroirs de la dalle lumineuse**

Même protocole et schéma que précédemment

40	49	50	49	48	42	30
34	40	41	37	30	30	27
44	43	44	38	40	35	32
41	41	47	45	44	35	33
34	33	33	32	32	38	34
37	35	38	33	26	33	34
34	36	38	36	35	33	32
36	38	40	40	38	36	33

Figure 37 - réel 1 : dispersion de la lumière naturelle réfléchiée par la dalle lumineuse

Interprétation

Ici, les valeurs sont plus importantes, mais ceci est aussi dû au fait que nous utilisons un des fenêtres pour prendre nos mesures, il y avait plus de soleil lors de cette expérience.

Au niveau de la répartition de lumière, les miroirs ne répandent pas de manière optimale et homogène la lumière. Toutefois, ceux-ci réfléchissent les rayons lumineux et ainsi, augmentent la quantité de lumière en sortie.

D'après le tableau, nous obtenons des raies de lumières, dûs aux places des miroirs dans le luminaires.

Calculons l'angle de luminosité en sortie des miroirs :

$$a' = \frac{l}{h} = \frac{200}{60} \Leftrightarrow \tan^{-1} \left(\frac{200}{60} \right) = 74^\circ$$

L'angle à gauche est de 74° .

L'angle total est donc de

Chargement en cours...

Angle de luminosité en sortie des miroirs = 168°

En sortie des miroirs, la lumière n'est donc plus un cône de 60° mais ressemble à de la lumière artificielle.

- **Modèle 2 : Les miroirs de la dalle lumineuse**

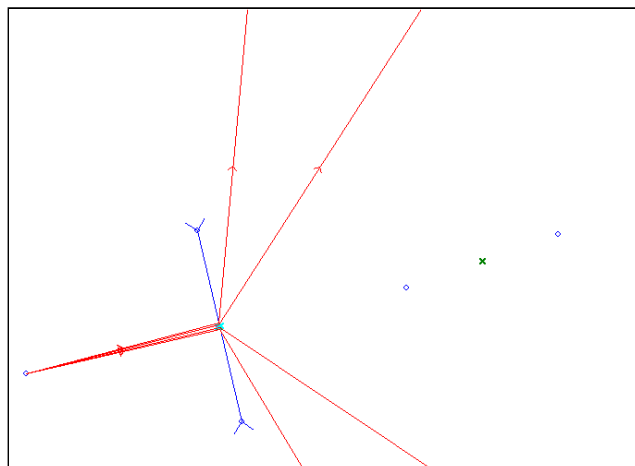


Figure 36 - modèle : Rayons diffractés par des miroirs (optgé)

Sur cette modélisation, la lentille représente une série de miroirs semblables à celle de la dalle. Nous avons réalisé ce modèle en choisissant l'option miroir, reportant l'angle d'incidence, de réfraction et l'écart de chaque miroirs entre eux.

Sur cette image, on voit que les rayons sont très diffractés dans tous les sens, l'angle initial de luminosité n'est pas gardé. Aussi, les rayons se diffusent de manière inégale, car les miroirs les dirigent dans tous les sens.

3 - Conclusion, pour aller plus loin

En somme, le modèle et le réel sont cohérents puisque la lumière forme un cône de 30° en sortie de la fibre optique. Toutefois, la luminosité est plus importante au centre du cône et ne se disperse donc pas de manière homogène. C'est pourquoi il faut faire passer la lumière en sortie de fibre optique par un luminaire.

Aussi, la forme de dispersion de la lumière étant celle d'un cône, il faut ajouter des LEDs au moins aux quatre coins du luminaire pour équilibrer les déficients de luminosité sur les côtés du cône. La solution la plus simple pour remédier à ce problème peut être d'ajouter un ruban de LED¹² sur les côtés du luminaire.

Pour la lumière naturelle, le pmma diffuse de manière homogène tous les rayons et les miroirs réfléchissent ceux-ci, de sorte à les combiner à la lumière artificielle.

Explication physique :

D'après les lois de Descartes

- $n_1 \sin(\text{Chargement en cours...}) = n_2 \sin(\text{Chargement en cours...})$

Dans notre situation, le rayon incident passe à travers l'air, le PMMA, puis l'air. Le rayon incident est perpendiculaire à la normale au point d'incidence.

$$\theta_{\text{air } 1} = 90^\circ$$

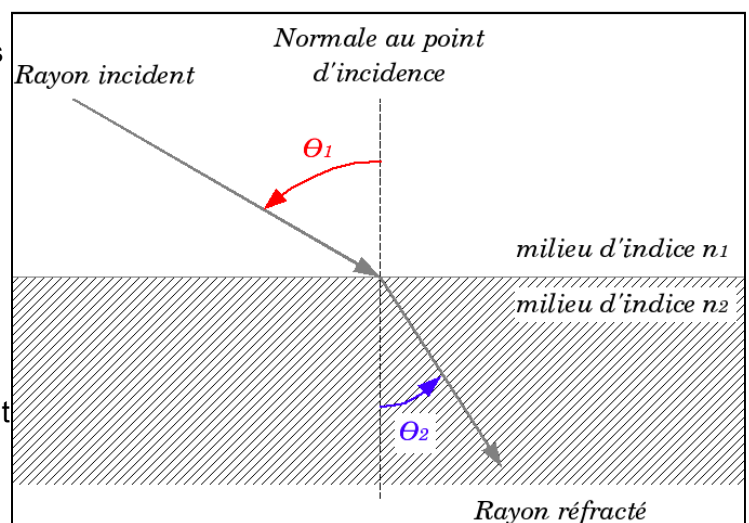
$$n_{\text{Air}} \sin \theta_{\text{air } 1} = n_{\text{PMMA}} \sin \theta_{\text{PMMA}} = n_{\text{air}} \sin \theta_{\text{air } 2}$$

$$1,0 \times \sin(90^\circ) = 1,5 \times \sin \theta_{\text{PMMA}}$$

$$\Leftrightarrow \sin \theta_{\text{PMMA}} = \frac{1}{1,5} \Leftrightarrow \theta_{\text{PMMA}} = \sin^{-1}\left(\frac{1}{1,5}\right) = 41,8^\circ$$

$$\Leftrightarrow \sin \theta_{\text{air } 2} = \frac{n(\text{PMMA}) \sin \theta_{\text{PMMA}}}{n(\text{air})} = \frac{1,5 \times \sin(41,8)}{1} = 0,99$$

$$\Leftrightarrow \theta_{\text{air } 2} = \sin^{-1}(0,99) = 87,4^\circ \simeq \theta_{\text{air } 1}$$



¹² Un ruban de LED tout autour du luminaire évite la diffusion inégale de la lumière selon la source lumineuse.

III - Étude des luminaires dans leur environnement

1 - Modèle / réels : cartographie de la salle

● Expérience 1 - Protocole

Pour créer ce réel, nous n'avons pas pu capter la lumière dans la salle car les luminaires ne fonctionnaient pas. Nous aurions pu modéliser cette expérience en reproduisant le système d'Echy, c'est à dire en concentrant la lumière naturelle avec un lentille de Fresnel à l'extérieur puis en l'injectant dans une fibre optique pour étudier sa propagation, mais nous avons étudié directement la lumière naturelle.

À l'aide d'un luxmètre, nous avons capté la lumière sur une feuille quadrillée à 1m20 du luminaire Aerio, alimenté par une lumière naturelle (soleil par une vitre).

Après avoir créé un premier tableau de la luminosité en face d'un luminaire, nous avons trouvé un rapport de luminosité en fonction de la distance au centre de la feuille.

Nous avons ensuite copié cette formule pour chaque autre luminaire (il y en a 4).

Sur ce tableau, 1 carreau représente un carré de 50 cm^2 . Nous n'avons représenté que la moitié droite de la salle car il n'y a aucune sortie de fibre optique à gauche.

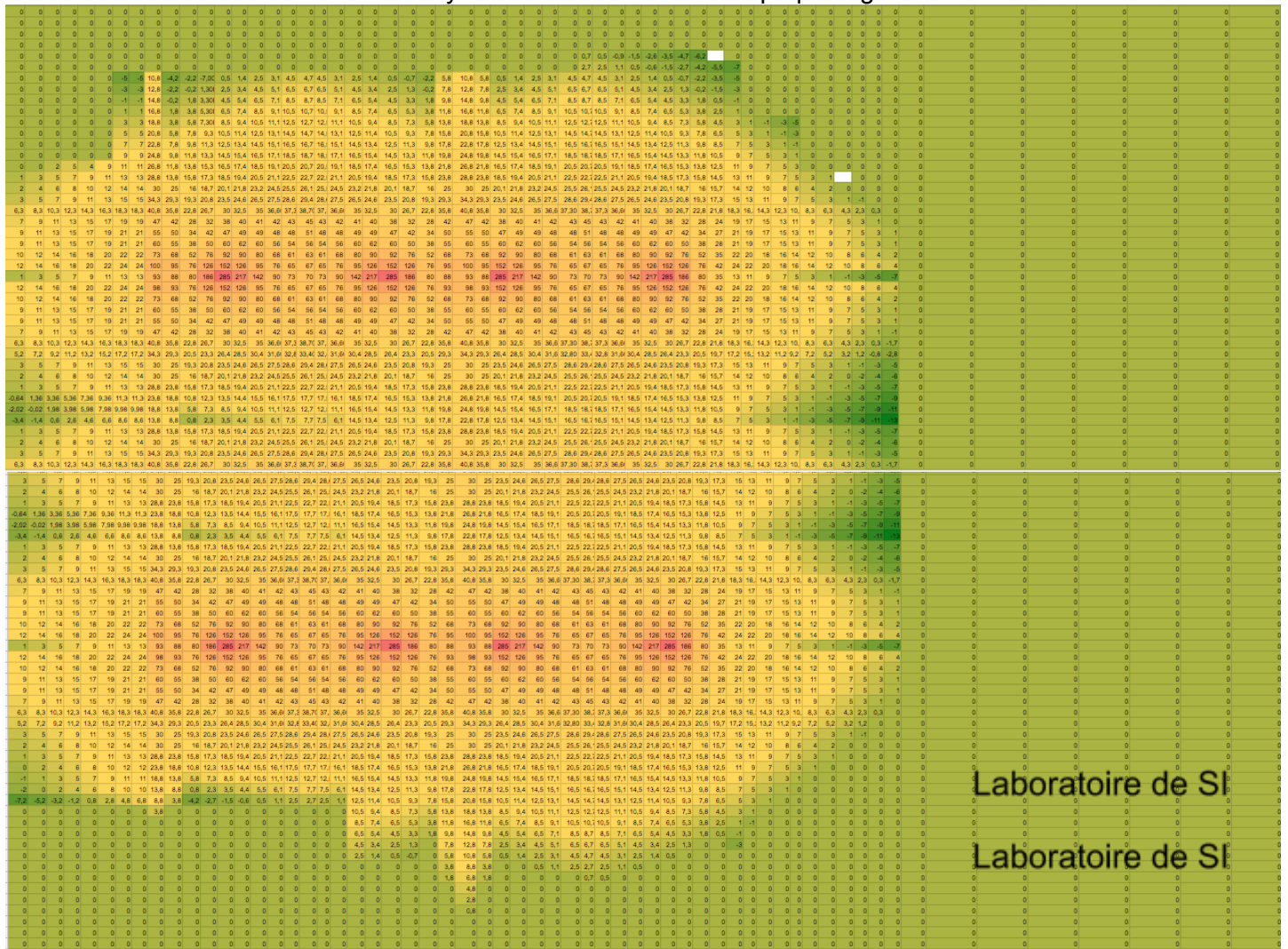


Figure 38 - réel 1 : lumière naturelle dans Aerio

Convention : le rouge modélise une grande luminosité, le vert une absence de luminosité.

Interprétation 1

Sur ce tableau, on voit que si on utilise les luminaires aërio, la salle sera éclairée de manière plus homogène qu'avec les dalles. Il semble que la partie au milieu du tableau est entièrement 'jaune', c'est-à-dire qu'il y a autant de puissance lumineuse.

En revanche, l'arrivée de fibre optique ne se faisant que dans la moitié de la salle, l'autre moitié a besoin de lumière artificielle. Ceci répond donc bien à la problématique, 'il faut de la lumière naturelle et artificielle. Nous n'avons pas modélisé l'autre moitié gauche de la salle qui serait entièrement dans le noir, c'est pourquoi nous ne pouvons nous contenter de lumière naturelle.

- *Expérience 2*

Protocole

Les dalles sont déjà implantées dans la salle de classe, c'est pourquoi nous avons quadrillé la salle et capté la luminosité à l'aide d'un luxmètre pour des carreaux de 4 mètres carrés. Nous avons ensuite entré ces valeurs dans un tableau.

Résultat obtenu

0	826	980	257	305	406	292	360	420	480	453	440	260	80	90	183	168	76	34	24
1	110	405	580	541	709	456	634	600	684	608	522	655	456	630	430	208	94	38	20
2	172	650	1135	770	1200	963	1300	870	1081	912	865	1143	765	1238	605	40	123	41	22
3	180	167	894	620	458	840	672	660	780	740	790	613	956	730	550				
4	250	86	1500	858	1528	1024	1632	205	650	681	663	1261	773	1434	710				
5	212	560	987	666	1170	735	621	825	827	724	1049	174	518	412					
6	220	470	646	508	724	450	576	670	590	484	360	579	814	407		Lab	de	SI	
7	357	742	693	814	1185	966	1022	1063	717	785	1100	765	908	653					
8	325	653	583	656	923	782	943	836	652	493	785	420	661	433					

Figure 39 - Réel 2 : Éclairage de la salle de SI avec la dalle Sunlux

Interprétation 2

La salle n'étant éclairée que grâce à des dalles, certaines zones sont plus lumineuses que d'autres. Les zones avec la luminosité maximale correspondent aux tables.

On peut donc déjà conclure que les dalles lumineuses sont bien agencées dans la classe de SI.

Pour une dalle :

À l'aide du logiciel Aerio, nous avons modélisé la lumière en sortie des dalles afin d'avoir un aperçu de la salle en 3D alors que les dalles sont implantés dans la salle.

On s'aperçoit bien qu'une fois implantées dans la salle, les dalles ne diffusent pas la lumière dans toutes les directions possibles, à l'inverse du luminaire Aerio.

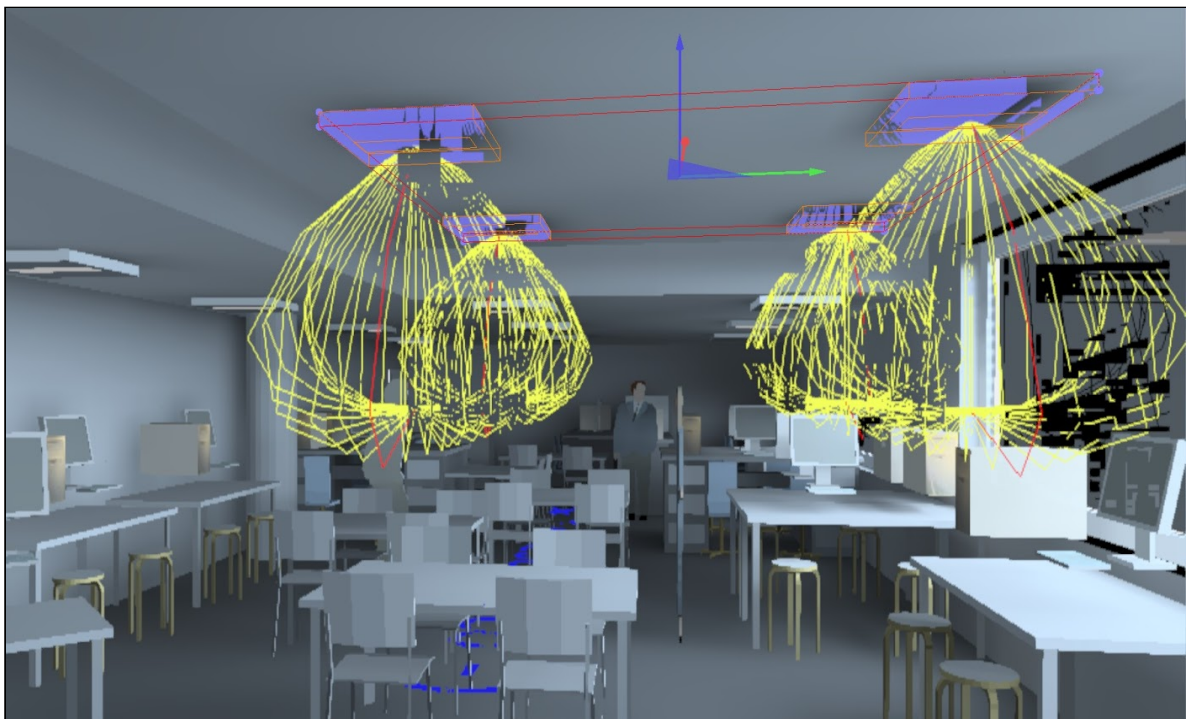
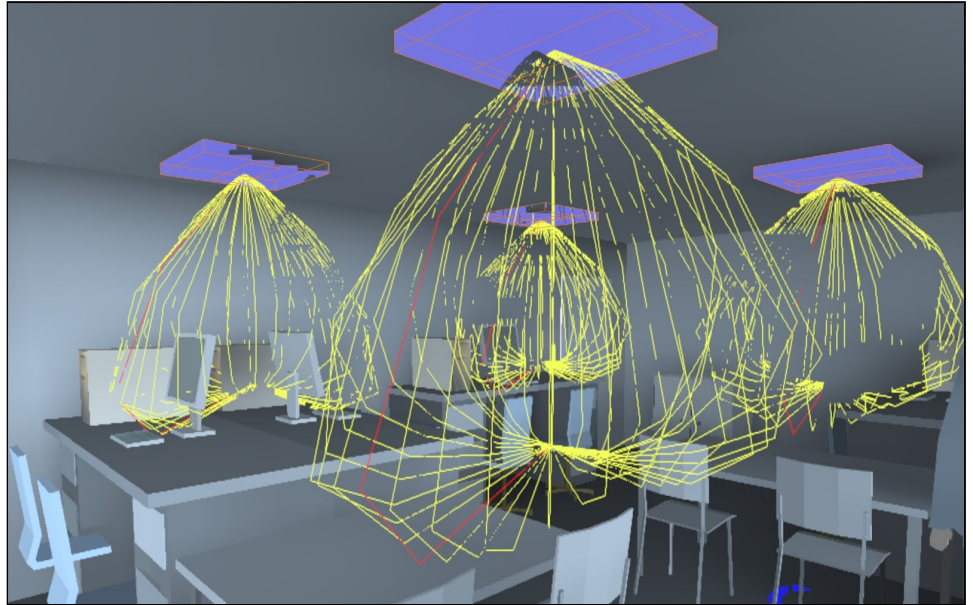


Figure 40 - Modélisation de la lumière en sortie des dalles lumineuses

- *Modèle lumière artificielle dans la dalle :*

Protocole de la modélisation

Pour ces modèles, nous avons implanté le luminaire "dalle", défini par les fichiers .ies créés lors des diagrammes de rayonnement (cf I- lumière artificielle) dans un logiciel nommé DiaLUX. Nous avons recréé la disposition de la salle pour obtenir une vue d'oiseau de la cartographie de la salle, avec des valeurs en lux par m². Nous avons aussi pu obtenir une diffusion 3D de la lumière dans la salle.

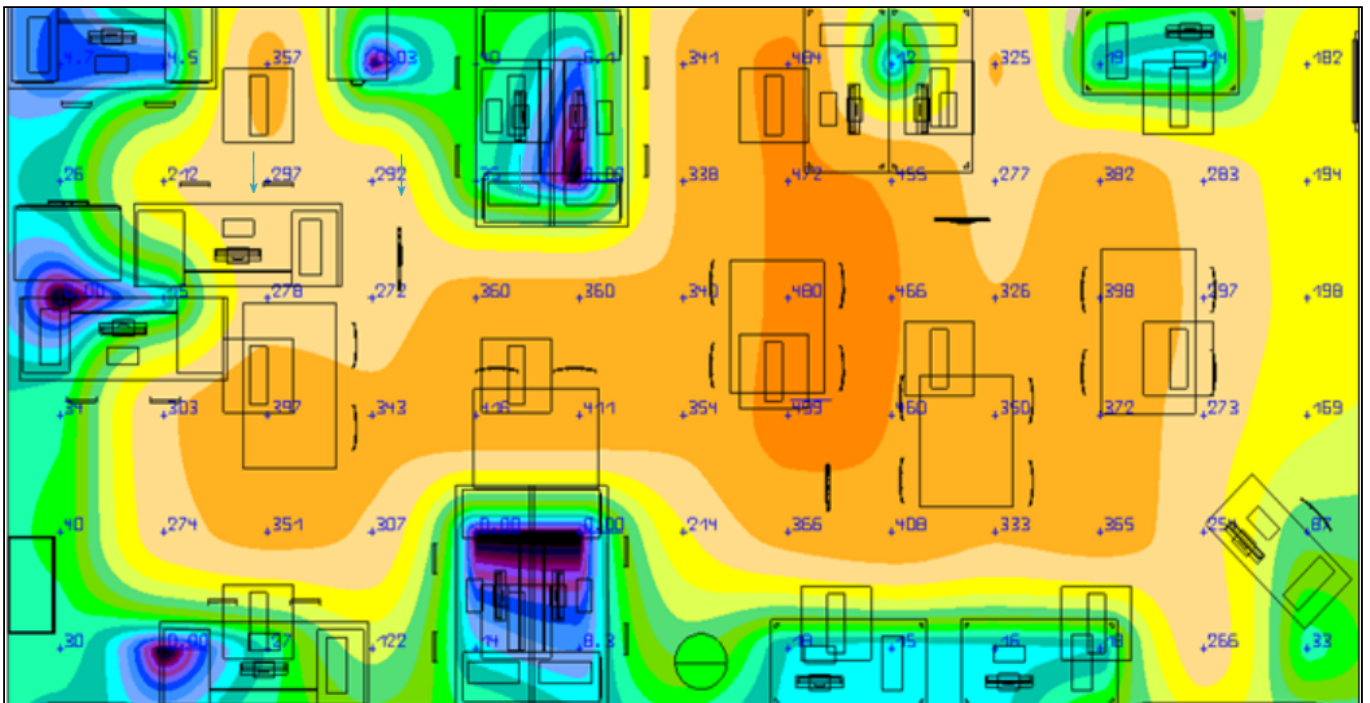


Figure 41 - Modèle : Cartographie de la salle avec la dalle, en lumière artificielle

Écarts modèle / réels

Nous ne pouvons créer un modèle pour le luminaire Aerio car il est impossible de modéliser la lumière naturelle dans une salle avec DiaLUX.

Toutefois, les modèles et réels de la dalle sont cohérents car ils dénotent d'un problème de diffusion homogène de la lumière, qui est trop concentrée sur le centre de la salle, ce qui ne correspond pas forcément à l'emplacement des tables.

Ainsi, nous voyons l'impératif de combiner cette lumière artificielle agressive et mal répartie avec une lumière naturelle qui soit diffuse et homogène.

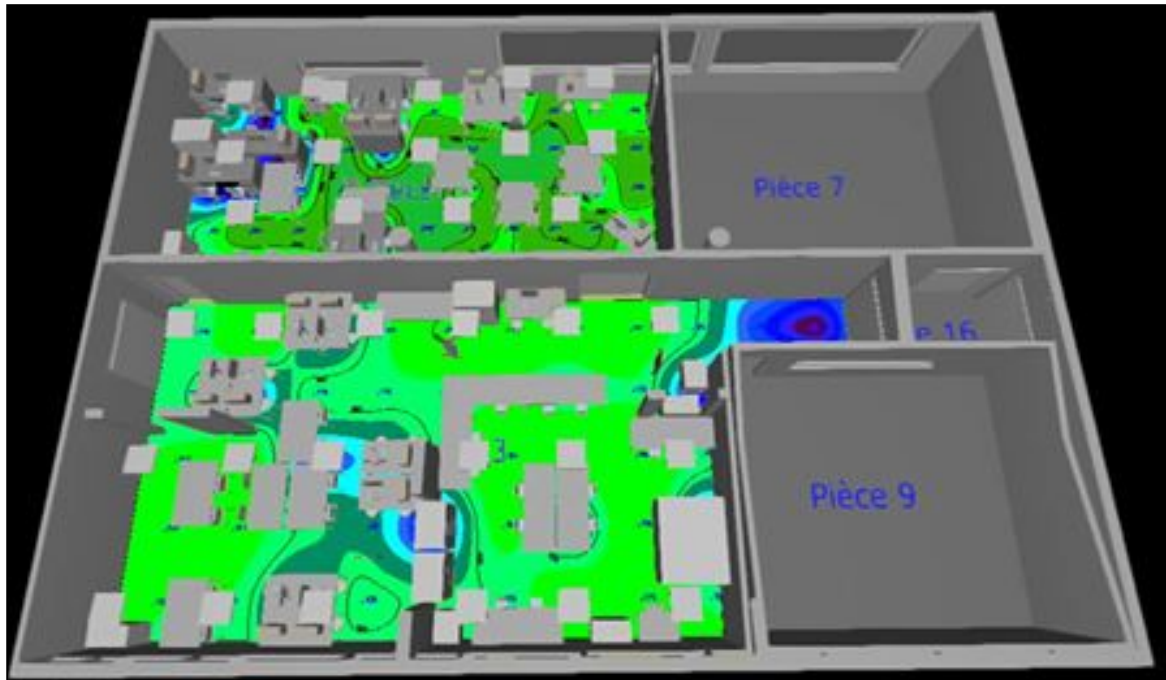


Figure 42 - Modélisation 3D de la lumière dans la salle

2 - Conclusion, pour aller plus loin

Avec les dalles, on s'aperçoit que la lumière est inégalement répartie, alors que le luminaire Aerio fournit une lumière homogène sur la moitié droite de la salle (voir réel 2). C'est pourquoi nous préférons garder les dalles sur la moitié gauche et utiliser des luminaires Aerio qui diffusent de la lumière naturelle dans la moitié droite de la salle.

Ici, nous sommes limités par les sorties de fibre optique¹³, nous ne pouvons donc pas ajouter des entrées de lumière là où il serait préférable. Ainsi, nous ne pouvons que modifier la forme du luminaire. En plus de combiner lumière artificielle et naturelle dans un luminaire, nous devons ajouter plus de lumière artificielle que naturelle pour compenser l'absence de lumière naturelle dans certains endroits de la salle.

¹³ Fibre optique : filament en verre ou en plastique conducteur de lumière.

Répartition homogène : éclairage lumineux égal en tous points de la salle.

IV. Équilibrage

1 - Comment équilibrer ?

Nous cherchons à moduler la lumière artificielle en fonction de l'apport en lumière naturelle, instable car dépendant du soleil, des passages de nuages, et des intempéries (pluies, neiges), qui sont communes dans notre région.

Pour équilibrer la lumière, nous codons sur une carte Arduino¹⁴. Le passage d'un nuage étant supérieur à 10 secondes, nous choisissons de capter la luminosité apportée par la fibre optique toutes les dix secondes. Ainsi, il n'y aura pas de contraste lumineux trop important, et cela ne gênera pas les élèves qui travaillent dans la salle.

Afin de moduler la lumière artificielle, il nous faut rajouter des LEDs sur le luminaire. C'est pourquoi nous choisissons d'ajouter un ruban de LED dimmable, qui a l'avantage d'être posé sur toute la longueur du luminaire.

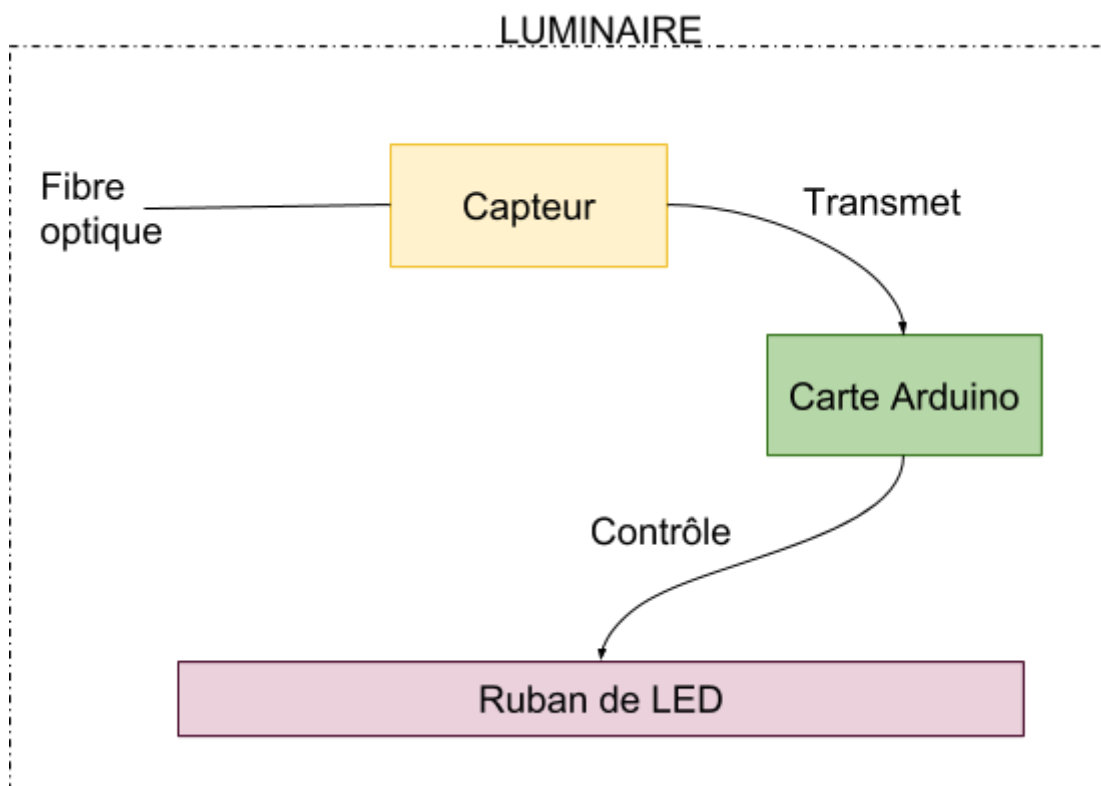


Figure 43 - Schéma de l'information pour équilibrer la lumière

Il y a trois phases possibles de susciter une réaction des LEDs. La carte reçoit les informations d'un capteur puis contrôle les LEDs.

¹⁴ Carte arduino ; carte électronique équipée d'un microcontrôleur.

Ruban de LED dimmable : LEDs dont l'éclairement peut être adapté en fonction des besoins en apport lumineux.

- Si la lumière captée est égale ou supérieur à 500 Lux, le ruban de LED s'éteint car cette lumière est suffisante pour avoir une atmosphère agréable dans la classe.
- Si la lumière captée est inférieure à 200 Lux, le ruban de LED s'allume complètement, pour ajouter 500 Lux. Ainsi, la nuit, les jours de neige ou nuageux, les LEDs sont allumées.
- Si la lumière captée est comprise entre 200 et 500 Lux, le ruban de LED s'allume en partie pour apporter 300 Lux au luminaire.

Ceci assure une luminosité minimale constante de 500 Lux dans la salle. Le luminaire ayant un indice de réfraction très faible, nous pouvons négliger les pertes dues au luminaires.

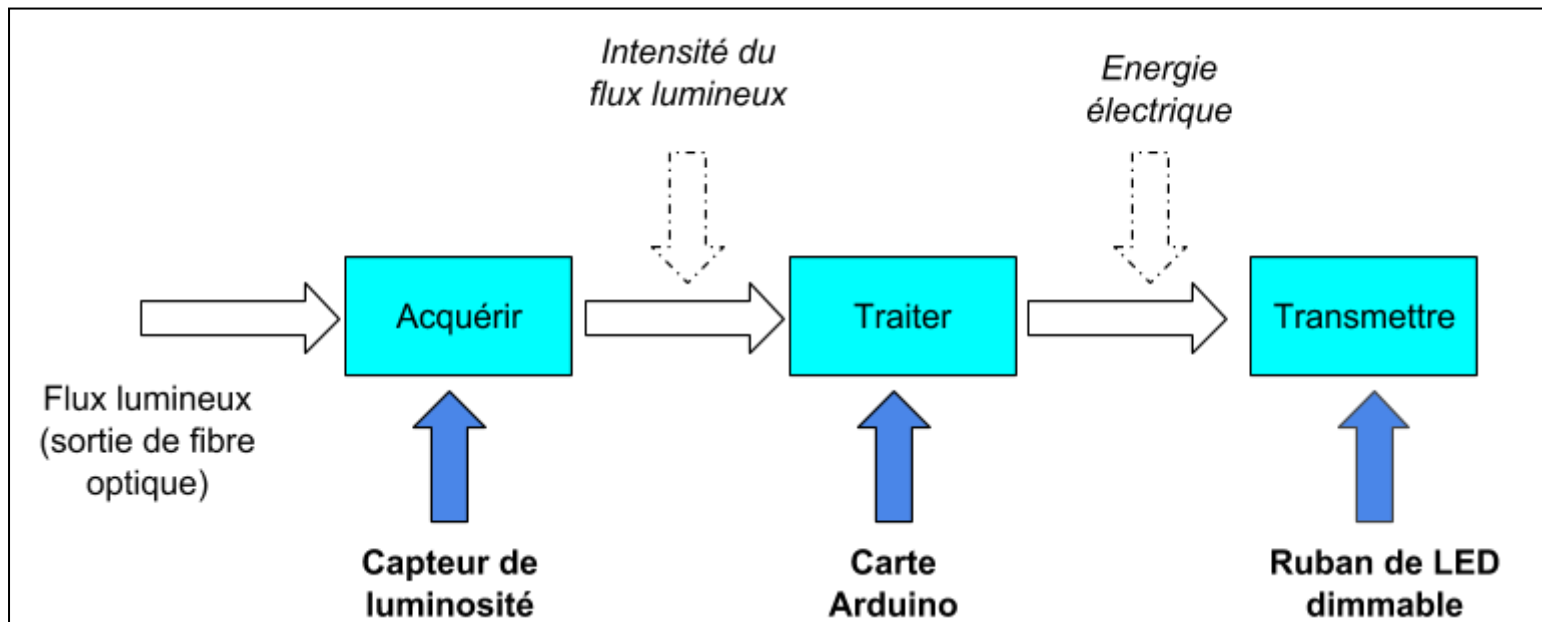


Figure 44 - Chaîne d'information du système d'équilibrage

2 - Le MOSFET

Pour contrôler le ruban de LED, nous utilisons un MOSFET¹⁵.

Cet élément électronique répond en fonction d'une tension donnée. Nous utilisons un MOSFET capable de supporter 12V et 15A.

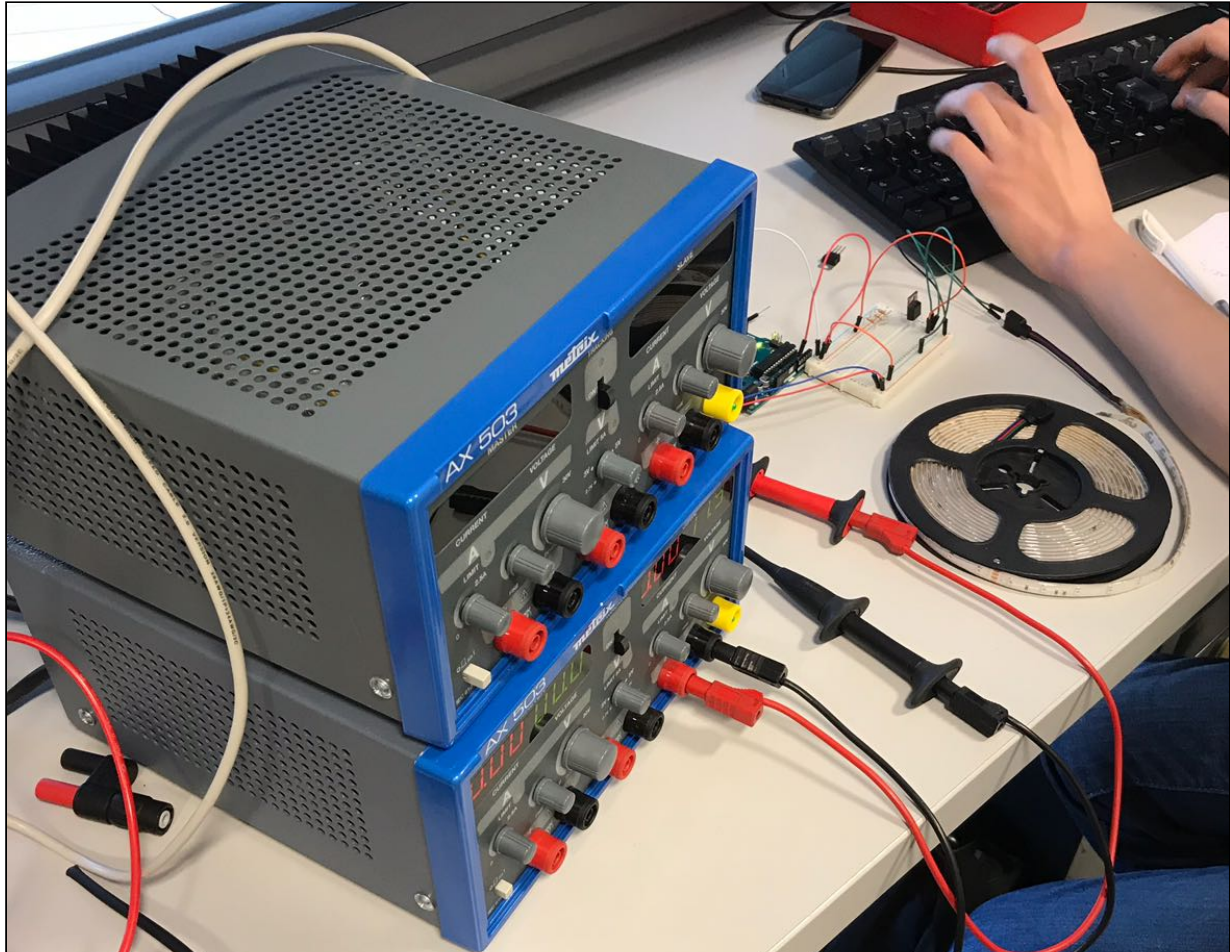


Figure 45 - Photographie d'un générateur relié à un mosfet et ruban de LED

Le capteur convertit la luminosité en une valeur numérique, qui correspond à une tension.

Cette valeur est transmise au MOSFET, qui varie la tension du ruban de LED en fonction de la tension d'entrée.

- Uentrée augmente, alors U sortie augmente
- Uentrée diminue, alors U sortie diminue

Pour piloter le ruban de LED avec plus de précision, nous utilisons un Arduino.

¹⁵ MOSFET : Transistor à Effet de Champ à Métal Oxyde Semiconducteur (Metal Oxyde Semiconductor Field Effect Transistor). Le MOS possède 4 électrodes : la source S point de départ des porteurs, le drain D point de collecte des porteurs. La grille G et le Substrat sont des électrodes qui contrôlent le nombre de porteurs présents dans le canal. L'intensité du courant circulant entre la source et le drain est commandé par la tension entre la grille et le substrat. On peut donc faire varier l'intensité en changeant la tension en entrée.

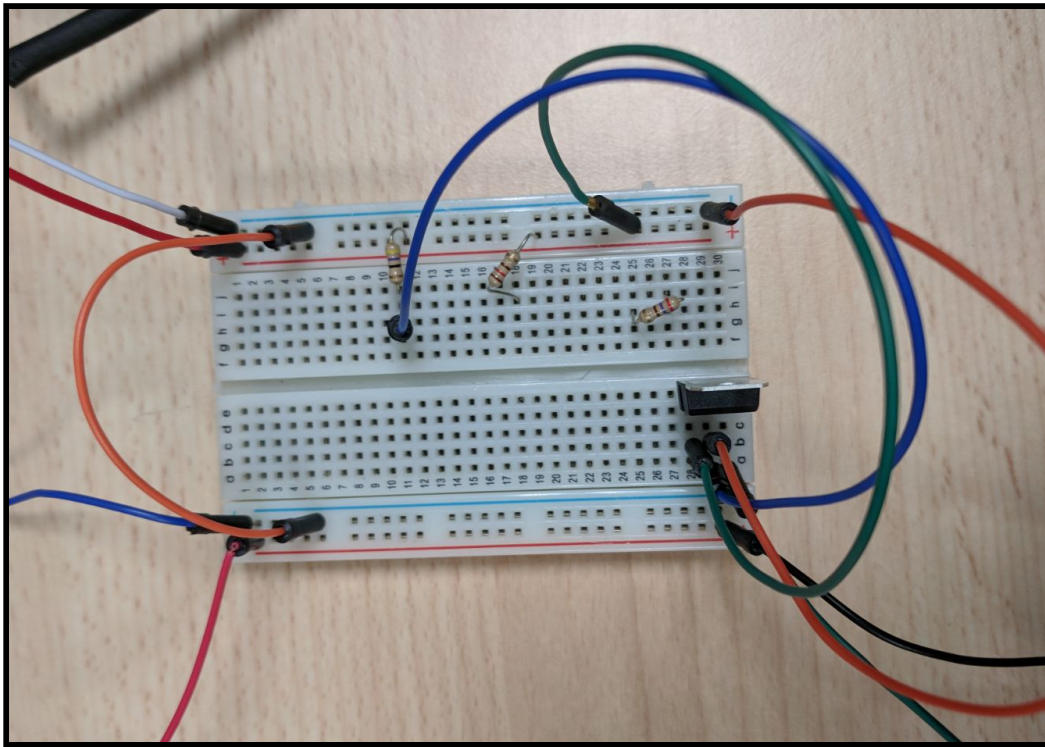


Figure 46 : photographie d'un MOSFET

3 - Etude comparative de la consommation

Modèle / Réel

Sans équilibrage : ajouter 300Lux en continu		
Pour un luminaire	Lumière naturelle	Lumière artificielle (modèle)
Apport lumineux	200 Lux	300 Lux
Puissance apparente moyenne P (W)	31,18	36
Energie consommée en 1 an (KW.h)	0	93,6
Coût pr une année (1 luminaire)	0	1216,8
Pour la salle	0	4867,2

Afin de connaître l'apport lumineux nécessaire à ajouter, afin d'équilibrer en fonction de l'apport en lumière naturel, nous avons procédé à l'expérience suivante.

- Chaque jour, le matin à 9h, le midi à 13h, le soir à 16h, nous captons la lumière à la fenêtre, là où le trackeur solaire relié à la fibre optique est placé.

- Suite à la moyenne par plage horaire, nous calculons la luminosité moyenne en une journée : $L = 52\,500$
- Ensuite, nous avons multiplié la valeur obtenue par le rendement de la fibre optique

Rendement de la fibre optique

Pour une fibre :

- Lumière captée en entrée avec un luxmètre : 52 350 lux
- Lumière captée en sortie de la fibre avec un luxmètre : 10 lux

Le rendement de la fibre est donc de

Chargement en cours...

Cette valeur n'est pas aberrante car la fibre optique est longue, elle passe du toit jusqu'au rez-de-chaussée du lycée.

Luminosité de la lumière naturelle pour un luminaire

$$Lum1 = 52\,500 \times \frac{1}{5\,235} = 10,02$$

On a 4 point de lumières, chacun avec 6 fibre optiques donc

Chargement en cours...

Lumière_naturelle_moyenne = 240 Lux

L'apport de la lumière naturelle est 240 Lux en réalité.

Il faut donc ajouter $500 - 240 = 260$ Lux

On a donc

Lumière_artificielle_à_ajouter = 260 Lux

L'électronique embarqué consomme 4 Watt (arduino + MOSFET). Le ruban de LED est alimenté par une batterie de 12V.

Avec équilibrage		
Pour un luminaire	Lumière naturelle	Lumière artificielle (Réal)
Apport lumineux	240 Lux	260
Puissance apparente moyenne P (W)	33	31,2
Energie consommée en 1 an (KW.h)	0	81,12
Coût pr une année	0	1054,56

4 - Conclusion, écart modèle / réel

Ces deux tableaux démontrent que l'équilibrage permet de consommer moins d'énergie que sans équilibrage. Il est donc plus rentable d'équilibrer avec la lumière artificielle car l'électronique embarqué a une puissance négligeable. Aussi, le fait d'alimenter le ruban de LED avec une batterie externe permet d'économiser l'énergie puisée sur le réseau.

Conclusion

Nos expériences et calculs ont permis de faire des choix. Nous avons déduit de notre étude qu'il faut utiliser le pmma, matériau du luminaire Aerio car il diffuse mieux la lumière artificielle et naturelle que la dalle.

Aussi, l'étude des matériaux nous a permis de s'apercevoir de l'efficacité des miroirs pour diriger les rayons. Ainsi, nous avons choisi de mettre une surface réfléchissante sur le fond du luminaire pour limiter les pertes lumineuses contre le plafond.

Une étude de consommation a confirmé qu'il était optimal d'utiliser un système d'équilibrage en lumière artificielle. Nous avons donc besoin d'ajouter sur le luminaire choisi un ruban de LED, un capteur et un emplacement pour la carte arduino.

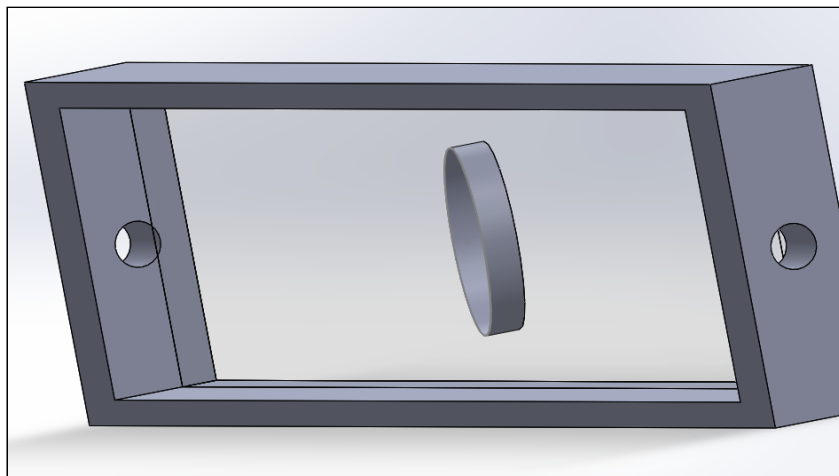


Figure 47 : Solution à la problématique

Nous avons donc modélisé le luminaire sur SolidWorks avant de le créer. Ceci consiste en une plaque de pmma. Sur les côtés, des ouvertures en forme de rond sont laissées vides pour que nous puissions y faire entrer la fibre optique. Le rond au milieu correspond au capteur, au centre du luminaire, il sera collé sur la carte arduino. Au fond du luminaire, il y a un matériau réfléchissant fixé au plafond.

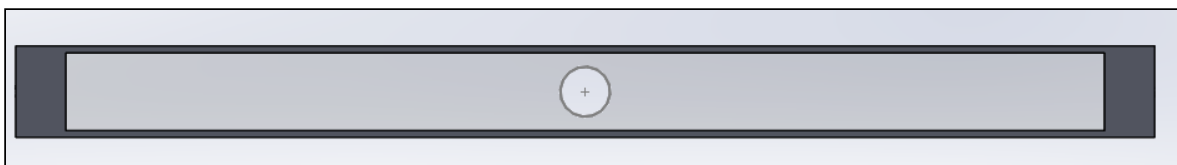


Figure 47

Le ruban de LED n'est pas modélisé ici, mais il est fixé sur l'intérieur du cadre du luminaire (en gris foncé). Ainsi, la lumière artificielle est diffusée par le pmma, mais n'interfère pas avec les rayons en sortie de fibre optique. Le spectre lumineux des LEDs (lumière artificielles) étant incomplet, on peut le compenser en utilisant des LEDs de couleur pour reproduire le spectre de la lumière naturelle. Ceci permettrait de rendre l'éclairage de la salle encore plus agréable.

Sources

<http://projet-thax.e-monsite.com/pages/conception-simulation/maquettage-numerique-de-la-salle-de-classe.html>

<http://www4.ac-nancy-metz.fr/echanges-pedagogiques-btp/?q=node/263>

https://www.ac-strasbourg.fr/fileadmin/pedagogie/physiquechimie/terminale_S/specialite/materiau_RP/JS_lumiere.pdf

<https://www.hindawi.com/journals/ijp/2009/150389/>

<http://leclairage.fr/optique-rendement-dun-systeme/>

<https://www.dial.de/en/software/ldt-editor/>

<http://www.echy.fr/produits-eclairage-naturel/luminaires/>

<https://www.lucedesign.fr>

<http://www.insp.jussieu.fr/Rayonnement-lumineux-et-champ.html>

<http://hlbmatos.free.fr/Lampes/Sources%20lumineuses/SOURCESLUMINEUSES.htm>

<https://www.positron-libre.com/cours/electronique/diode/led/diode-led.php>

<https://addislighting.com/technologie-led/puissance-flux-lumineux-et-angle-lumineux/>

Logiciels utilisés

- DiaLUX
- générateur de diagrammes de rayonnements
- SolidWorks
- Sweet home 3D
- Optgeo
- Excell

Définitions

- Lentilles de Fresnels : initialement inventé pour remplacer les miroirs utilisés dans l'éclairage des phares de signalisations marines qui absorbent 50% du flux lumineux, ces lentilles reflètent la lumière naturelle.
- Echy : start-up regroupant ingénieurs, commerciaux et chercheur, ayant pour but de rendre l'éclairage naturel accessible aux EHPAD, écoles, musées ...
- PMMA : Polyméthacrylate de méthyle : polymère thermoplastique transparent, connu sous son premier nom commercial de plexiglas.
- Puissance de l'éclairage : puissance lumineuse d'une source **perçue par l'oeil humain**, en W/m^2
- Rendement lumineux : indicateur d'efficacité d'une lampe électrique à convertir l'électricité en lumière.
- Intensité lumineuse : capacité d'une source à éclairer dans une **direction donnée**, en candelas
- Éclairement : quantité de lumière reçue par unité de **surface**, en lux = puissance (lumen) / surface m^2
- Diagramme polaire : modélise le flux lumineux en sortie du luminaire comme s'il était posé sur l'axe x.
- Diagramme de rayonnement : représente la distribution angulaire de la lumière, modélise une sphère intégrante et donc le flux lumineux en 3D en sortie du luminaire. Symétrique sur ses deux axes
- Luxmètre : appareil de mesure de l'éclairement, en lux.
- Sphère intégrante : composant optique consistant en une cavité creuse. Les faisceaux lumineux provenant de n'importe quel point de la surface interne de la sphère sont distribués de façon égale à tous les autres points de la sphère indépendamment de la direction originale de la lumière
- Fichier .ies : fichier texte qui caractérise un luminaire. Il y est renseigné les angles de luminosité du luminaire, et pour chacun d'entre eux l'intensité lumineuse en candelas.
- Direction de propagation de la lumière : en réduisant une source à un point lumineux, forme de la direction suivie par la lumière en sortie de ce point : cône, droite...
- Angle d'incidence : angle entre la direction de propagation de l'onde incidente et la normale au dioptré (ou luminaire étudié)
- Un ruban de LED tout autour du luminaire évite la diffusion inégale de la lumière selon la source lumineuse.
- Fibre optique : filament en verre ou en plastique conducteur de lumière.
- Répartition homogène : éclairage lumineux égal en tous points de la salle.
- Carte arduino ; carte électronique équipée d'un microcontrôleur.
- Ruban de LED dimmable : LEDs dont l'éclairement peut être adapté en fonction des besoins en apport lumineux.
- MOSFET : Transistor à Effet de Champ à Métal Oxyde Semiconducteur (Metal Oxyde Semiconductor Field Effect Transistor). Le MOS possède 4 électrodes : la source S point de départ des porteurs, le drain D point de collecte des porteurs. La grille G et le Substrat sont des électrodes qui contrôlent le nombre de porteurs présents dans le canal. L'intensité du courant circulant entre la source et le drain est commandé par la tension entre la grille et le substrat. On peut donc faire varier l'intensité en changeant la tension en entrée.

Légendes

- Figure 1 - Panneau aux lentilles de Fresnels
- Figure 2 - lumière transmise par fibre optique
- Figure 3 - Luminaire "Aerio"
- Figure 4 - Dalle lumineuse existante dans la salle
- Figure 5 - Vue d'oiseau 2D de la classe modélisée à l'aide de Sweet Home 3D
- Figure 6 - Vue 3D de la classe modélisée avec DiaLUX
- Figure 7 - Schéma de l'expérience "reflets à l'extérieur"
- Figure 8 - Courbe des rayons lumineux reflétés par un tableau
- Figure 9 - Schéma de l'expérience 'reflets internes au luminaire'
- Figure 10 - Courbe de la puissance lumineuse en fonction de l'inverse de la distance à la LED
- Figure 11 - Chaîne d'énergie du système echy
- Figure 12 - Schéma de l'angle de diffusion de la lumière en sortie d'un luminaire
- Figure 13 - Exemple de diagramme de rayonnement
- Figure 14 - Réel 1 : Diagramme polaire de la dalle lumineuse
- Figure 15 - Dessin explicatif des différentes grandeurs pour qualifier la lumière
- Figure 16 : Schéma de l'expérience "diagramme de rayonnement"
- Figure 17 : Schéma explicatif de l'expérience pour calculer les candelas en sortie de luminaire.
- Figure 18 : Réel 2 : Diagramme de rayonnement de la dalle
- Figure 19 : Modèle : Diagramme de rayonnement de la dalle
- Figure 20 - Réel 1 : diagramme polaire d'Aerio
- Figure 21 - Photographie de l'expérience 'diagramme polaire'
- Figure 22 - Réel 2 : Diagramme de rayonnement du luminaire Aerio
- Figure 23 - Modèle : Diagramme de rayonnement d'Aerio
- Figure 24 - Spectre de la lumière d'une LED blanche et spectre de la lumière naturelle du jour
- Figure 25 - Schéma des rayons de lumière artificielle et des rayons de lumière naturelle
- Figure 26 - Réel 1 : dispersion de luminosité en face de la sortie de fibre optique
- Figure 27 - Schéma 1 'lumière en sortie de la fibre optique'
- Figure 28 - Réel 2 : dispersion de luminosité le long de la sortie de fibre optique
- Figure 29 - Schéma 2 'lumière en sortie de la fibre optique'
- Figure 30 - Schéma de l'expérience 'angle de la lumière naturelle en sortie des luminaires
- Figure 31 - Photographie de l'expérience 'lumière naturelle en sortie de la dalle lumineuse'
- Figure 32 - modèle 1 le pmma d'Aerio
- Figure 35 - réel 1 : dispersion de la lumière naturelle en sortie en face du pmma
- Figure 36 - modèle : Rayons diffractés par des miroirs (optgé)
- Figure 37 - réel 1 : dispersion de la lumière naturelle réfléchi par la dalle lumineuse
- Figure 38 - réel 1 : lumière naturelle dans Aerio
- Figure 39 - Réel 2 : Éclairage de la salle de SI avec la dalle Sunlux
- Figure 40 - Modélisation de la lumière en sortie des dalles lumineuses
- Figure 41 - Modèle : Cartographie de la salle avec la dalle, en lumière artificielle
- Figure 42 - Modélisation 3D de la lumière dans la salle
- Figure 43 - Schéma de l'information pour équilibrer la lumière
- Figure 44 - Chaîne d'information du système d'équilibrage
- Figure 45 - Photographie d'un générateur relié à un mosfet et ruban de LED
- Figure 46 : photographie d'un MOSFET
- Figure 47 : Solution à la problématique