

## Outils Numériques pour l'Ingénieur·e en Physique

2023-2024

6N-076-PHY / ONIP-2

Bloc 4 - Objets / Projet A ( 100%)

### Concepts étudiés

[PHYS] Photométrie  
[PHYS] Simulation éclairage  
[PHYS] Modélisation source ponctuelle  
[NUM] Affichage 2D et 3D

### Mots clefs

Photométrie; Carte d'éclairage;  
Modélisation de sources lumineuses

### Sessions

0 Cours(s) - 1h30  
0 TD(s) - 1h30  
6 TD(s) Machine - 2h00  
0 TP(s) - 4h30

### Travail

Par binôme

Institut d'Optique  
Graduate School, France  
<https://www.institutoptique.fr>

GitHub - Digital Methods

<https://github.com/IOGS-Digital-Methods>

## Réalisation de cartes d'éclairage

Dans ce projet, on cherche à **calculer la carte d'éclairage** produit par un **ensemble de sources incohérentes**.

Les sources seront modélisées de manière approchée (valable si l'on n'est pas trop près du composant) comme une **source ponctuelle** ayant un diagramme de rayonnement possédant une symétrie de révolution autour d'un axe.

D'un point de vue programmation, vous devrez développer ce projet selon les règles de la **programmation orientée objet**.

Aucune fonction ne devra être utilisée en dehors d'un objet.

### Acquis d'Apprentissage Visés

En résolvant ce problème, les étudiant·e·s seront capables de :

#### CÔTÉ NUMÉRIQUE

1. **Créer des classes** (sources, plan de projection...)
2. **Définir et documenter les méthodes et attributs** de chaque classe
3. **Produire des figures** claires et légendées à partir de signaux numériques - incluant un titre, des axes, des légendes

#### CÔTÉ PHYSIQUE

1. **Modéliser une source ponctuelle** de lumière
2. **Réaliser une carte d'éclairage** pour N sources ponctuelles

### Livrables attendus

Voir la fiche introductive du module ONIP-2 pour connaître les livrables attendus.

## Ressources

Cette séquence est basée sur le langage Python.

Vous pouvez utiliser l'environnement **Spyder 5** inclus dans *Anaconda 3*.

Des tutoriels Python (et sur les bibliothèques classiques : Numpy, Matplotlib or Scipy) sont disponibles à l'adresse : <http://lense.institutoptique.fr/python/>.

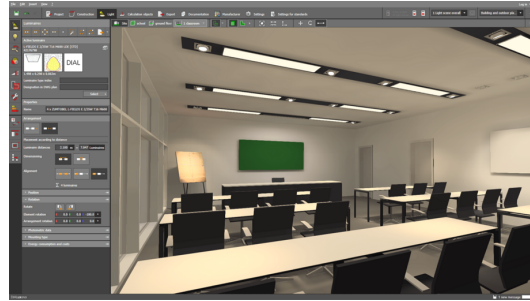
# Sujet A - Carte d'éclairement

*Ce projet est grandement inspiré d'un sujet proposé par Hervé SAUER - enseignant-chercheur retraité de l'Institut d'Optique - en Calcul Scientifique il y a quelques années.*

## 1 Introduction

On se propose dans ce projet de simuler l'**éclairage** produit par un **ensemble de sources lumineuses incohérentes** sur un plan en deux dimensions.

Ci-dessous une représentation de l'ambiance lumineuse basée sur la modélisation de sources lumineuses à l'aide d'un logiciel spécialisé de conception d'environnement d'éclairage en 3D - DIALux.

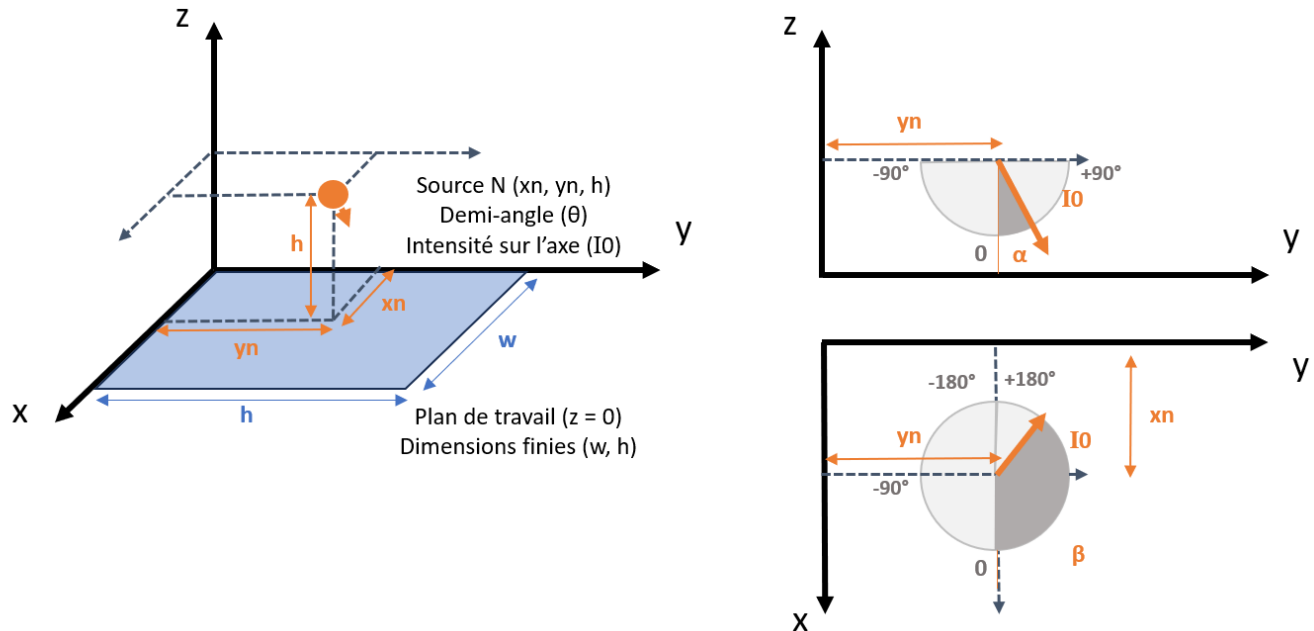


## 2 Objectifs

### 2.1 Modélisation simple

Dans le cadre de ce projet, on souhaite obtenir une **cartographie en deux dimensions** (puis en trois dimensions selon l'ouverture choisie - voir paragraphe ouverture) d'un ensemble de sources à LEDs positionnées dans un espace en trois dimensions (voir figure ci-dessous).

On partira d'un modèle simplifié d'une source lumineuse, repérée dans un espace en trois dimensions, dont la directivité de l'intensité sera perpendiculaire au plan de travail considéré et avec une intensité lumineuse donnée (angle  $\alpha = 0$  dans la figure suivante), pour ensuite enrichir le modèle en intégrant la possibilité de réorienter les sources par rapport à la normale du plan considéré.



Chaque source sera considérée comme indépendante des autres (incohérence) et il sera alors possible de complexifier le système en paramétrant un ensemble N de sources lumineuses et d'en obtenir la cartographie sur un plan donné.

## 2.2 Conception de système d'éclairage

Lorsque l'on conçoit un système d'éclairage, le but le plus souvent recherché est d'avoir un éclairage le plus uniforme et le plus lumineux possible sur une zone donnée en disposant de manière appropriée les sources dont on dispose.

A partir du modèle établi précédemment, il sera alors possible d'optimiser sous contrainte en minimisant la variance ou la valeur absolue de l'écart ou la valeur absolue de l'écart crête à la valeur moyenne de l'éclairage sur la zone considérée avec une contrainte d'éclairage moyen minimum et d'éventuelles contraintes supplémentaires sur le positionnement des sources pour modéliser des limitations ou impératifs mécaniques de placement de celles-ci.

*Par exemple, on pourra étudier le placement optimal sur un cercle de diamètre  $D$  et d'altitude  $z_0$  variables, de  $N$  DELs (par exemple, 5 ou 7) de même type (mêmes  $I_0$  et mêmes  $D$ ), en fonction de la directivité des DEL (paramètre  $D$ ), et de l'éclairage moyen (e.g. 10, 100 voire 1000 lux) souhaités sur un disque de diamètre  $d$  (3 ou 4 cm) donné...*

## 3 Grandes étapes

- Définir une source lumineuse
- Définir un plan de travail
- Définir un système comprenant un plan de travail et un ensemble de sources lumineuses
- Calculer l'éclairage produit en tout point du plan de travail par chacune des sources lumineuses
- Calculer l'éclairage de l'ensemble des sources et afficher la carte
- Calculer la valeur moyenne et l'écart-type de l'éclairage produit
- Afficher les valeurs maximale, minimale ainsi que les moyennes et écart-type d'éclairage

*Afin de simplifier la phase de développement et d'essais de votre application, nous vous suggérons de commencer à réaliser vos modélisations de la façon suivante :*

**Essai 1** Carte d'éclairage pour une source ponctuelle - direction perpendiculaire par rapport au plan éclairé

**Essai 2** Carte d'éclairage pour une source ponctuelle - direction quelconque par rapport au plan éclairé

**Essai 3** Carte d'éclairage pour  $N$  sources ponctuelles - direction quelconque par rapport au plan éclairé

## 4 Modélisation des sources et calcul d'éclairage

### 4.1 Modélisation d'une diode électroluminescente

Les sources seront modélisées de manière approchée (valable si l'on n'est pas trop près du composant) comme une **source ponctuelle** ayant un diagramme de rayonnement possédant une symétrie de révolution autour d'un axe.

Les sources (par exemple des LEDs) seront modélisées de manière approchée (valable si l'on n'est pas trop près du composant) comme des **sources ponctuelles**. Ces sources ont un **diagramme de rayonnement** possédant une **symétrie de révolution** autour d'un axe orienté.

L'indicatrice de rayonnement pourra être considérée comme gaussienne, et caractérisée par son intensité visuelle vers l'avant sur l'axe  $I_0$  (en candela) et sa largeur totale à mi-hauteur  $\Delta$ .

Cette indicatrice peut-être modélisée par l'équation suivante :

$$I(\alpha) = I_0 \cdot \exp(-(4 \cdot \ln(2)) \cdot (\alpha/\Delta)^2)$$

où  $\alpha$  est l'angle entre la direction d'émission et l'axe de la source ( $\alpha \in [0^\circ, 180^\circ]$ ).

### 4.2 Positionnement d'une source

Le positionnement de la source dans l'espace sera caractérisé par ses coordonnées  $(x, y, z)$  et l'orientation de son axe de symétrie par deux angles ( $\theta$  et  $\phi$ ).

### 4.3 Eclairage / Formule de Bouguer

L'éclairage fourni par une source ponctuelle en un point M de l'espace séparé d'une distance  $d$  et d'une inclinaison de  $\psi$  par rapport à la direction de la source ponctuelle, est donnée par la relation photométrique suivante :

$$E = \frac{I \cdot \cos(\psi)}{d^2}$$

L'éclairement produit par  $N$  sources (incohérentes) est la somme des éclairagements produits par chaque source.

*Les représentations graphiques à produire à chacune des étapes seront accompagnées de **renseignements quantitatifs** comme la valeur moyenne de l'éclairement, son écart-type et son écart  $P_{10}$  à  $P_{90}$ , absolus et relatifs, sur l'ensemble de la zone représentée (ou sur une sous-partie rectangulaire ou circulaire de celle-ci). Par ailleurs, une **représentation en 3D de la position et de l'orientation des  $N$  sources** sera utile.*

## 5 Quelques pistes d'ouvertures possibles

Vous devrez choisir et réaliser au moins l'une des ouvertures suivantes dans le cadre de ce projet.

### Ouverture A Carte d'éclairement 3D

- Intégration de la carte d'éclairement et des différents éléments (sources et plan de travail) dans une représentation en 3D. Les sources devront être représentées de telle façon à montrer leurs orientations.

### Ouverture B Optimisation d'un éclairage

- Optimisation du nombre et de l'orientation de LEDs pour obtenir un flux lumineux donné sur un plan de travail

### Ouverture C Plusieurs plans de travail

- Système final avec plusieurs plans de travail à des hauteurs différentes par exemple
  - Prise en compte de l'ombre portée d'un plan sur un autre
-