

Outils Numériques pour l'Ingénieur·e en Physique

2025-2026

6N-076-PHY / ONIP-2

Bloc 4 - Objets / Projet A (100%)

Concepts étudiés

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

Mots clefs

Photométrie; Carte d'éclairement;
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

Réalisation de cartes d'éclairement

Dans ce projet, on cherche à **calculer la carte d'éclairement** 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'éclairement** pour N sources ponctuelles

Livrables attendus

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

Ressources

Cette séquence est basée sur le langage Python.

Vous pouvez utiliser l'environnement de développement **PyCharm** 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/>.

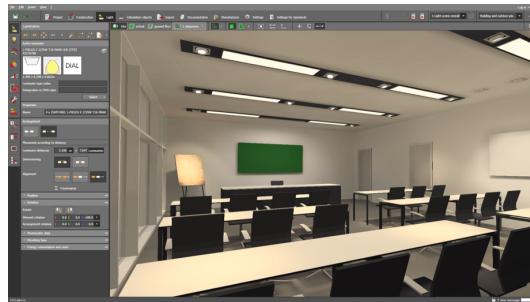
Sujet A - Carte d'éclairement

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'**éclairement** 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 1).

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 (figure 1.(a)) : l'angle $\theta = -\pi$ dans la figure suivante et un plan horizontal $n_{\Pi} = [0, 0, 1]$), pour ensuite enrichir le modèle en intégrant la possibilité de réorienter les sources par rapport à la normale du plan considéré (figure 1.(b)).

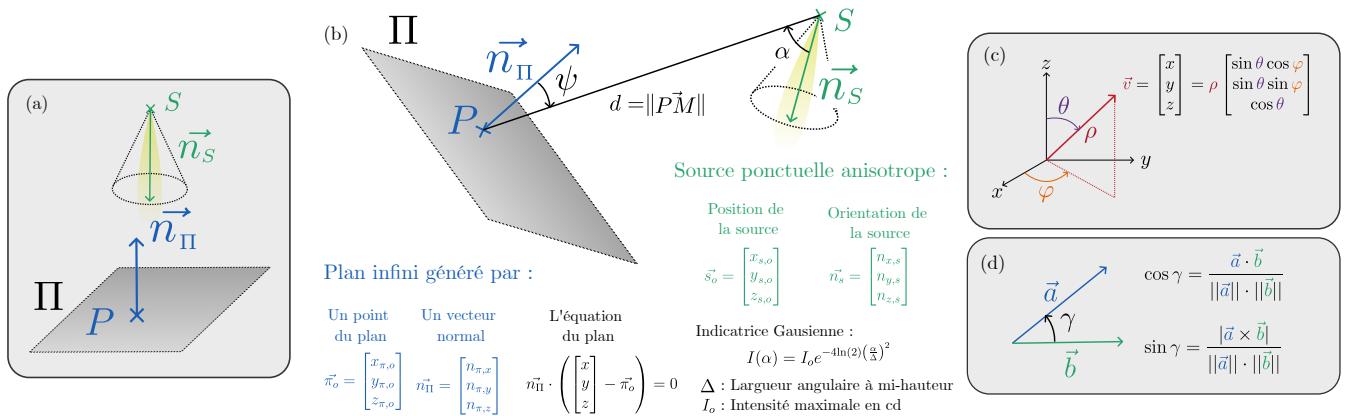


Figure 1. Schéma de principe de la géométrie d'une source positionnée au point S et d'un plan Π . On représente ici un point P du plan. (a) Situation de départ simplifiée avec un plan horizontal et une source dont la direction est perpendiculaire au plan Π . (b) Situation générale avec une source et un plan orientés de manière arbitraire. L'éclairement sur l'ensemble du plan Π peut être déterminé avec les angles non orientés ψ et α . \vec{n}_s et \vec{n}_{Π} sont respectivement le vecteur d'orientation de la source et le vecteur normal au plan Π dans le système de coordonnées Cartésien (x, y, z) . (c) Rappel de transformation d'un système de coordonnées sphérique à un système Cartésien. (utile pour l'orientation de la source selon (θ, φ) , voir ci-dessous). (d) Calcul de l'angle γ entre deux vecteurs quelconques \vec{a} et \vec{b} .

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 éclairement 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 par rapport à la valeur moyenne de l'éclairement sur la zone considérée avec une contrainte d'éclairement 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'éclairement 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'éclairement produit en tout point (discrétisé) du plan de travail par chacune des sources lumineuses
- Calculer l'éclairement de l'ensemble des sources et afficher la carte d'éclairement
- Calculer la valeur moyenne et l'écart-type de l'éclairement produit sur un plan
- Afficher les valeurs maximale, minimale ainsi que les moyennes et écart-type d'éclairement sur un plan

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'éclairement pour une source ponctuelle - direction perpendiculaire par rapport au plan éclairé

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

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

4 Modélisation des sources et calcul d'éclairement

4.1 Modélisation d'une diode électroluminescente

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 Δ .

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

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

où α 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 (*i.e.* là où l'intensité est maximale) par deux angles (θ et φ) dans le système de coordonnée sphérique centrée sur la source.

4.3 Eclairement / Formule de Bouguer

L'éclairement fourni par une source ponctuelle en un point P de l'espace séparé d'une distance d et d'une inclinaison de ψ par rapport à la direction de la source ponctuelle, est données par la relation photométrique suivante :

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

L'éclairement produit par N sources (incohérentes) est la somme des éclairements 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 Pic à Vallée, absous 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 éclairement

- 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
-