الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

Département du Génie Électrique

Mémoire de Fin d'Études

Présenté pour l'obtention du Diplôme
de Master en Électronique

Spécialité : Instrumentation

THÈME

SYSTÈME INTELLIGENT ET ÉCONOMIQUE POUR LA GESTION DE LA LUMIÈRE DANS UNE HABITATION

Proposé et dirigé par,

Dr. BOUHEDDA Mounir

Préparé et présenté par,

Mr. SELLAMI Ali

Mr.OMARI Ahmed

Thèse préparée au sein du Laboratoire des Systèmes Électroniques Avancés (LSEA) de l'Université de Médéa

Année Universitaire 2017-2018

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier de façon générale tous les enseignants qui nous ont encadrés durant notre deuxième année de Master Instrumentation.
Nos remerciements particuliers s'adressent à notre promoteur M.BOUHEDDA ainsi qu'aux membres du jury qui ont accepté d'évaluer notre travail.

DÉDICACES

Je dédie cet humble travail à mes chers parents ainsi qu'à mes frères et sœur qui m'ont beaucoup soutenu.

A.SELLAMI

DÉDICACES

Je dédie cet humble travail à mes chers parents ainsi qu'à mes frères et sœur qui m'ont beaucoup soutenu.

A.OMARI

RÉSUMÉS

ملخص

الهدف من هذا العمل هو محاكات نظام ذكي لتسيير الإضاءة داخل غرفة مقسمة الى عدة مناطق وتحتوي على عدد من المصابيح الصغيرة والكبيرة من أجل تقليص استهلاك الطاقة الكهربائية مع إرضاء جميع المستعملين وذلك بالاعتماد على نموذج رياضي يستعمل طريقة البرمجة الخطية سمبلكس لإيجاد نسبة الإضاءة الخاصة بكل مصباح وتعديلها.

كلمات مفتاحية مصابيح سمبلكس برمجة خطية محاكاة.

RÉSUMÉ

Le but de ce travail est de concevoir un système intelligent de gestion de l'éclairage dans une pièce divisées en plusieurs zones et contenant un certain nombre de dispositifs d'éclairage local et global dans l'intérêt de minimiser la consommation de l'énergie électrique en satisfaisant les exigences des utilisateurs en adoptant un modèle mathématique reposant sur une méthode de programmation linéaire à savoir l'algorithme du simplexe afin de déterminer et ajuster l'intensité lumineuse de chaque luminaire.

Mots clés : luminaire, simplexe, programmation linéaire, simulation.

Abstract

The aim of the this work is to simulate an indoor smart lighting system divided in grids and containing global and local lighting devices with as objective the minimization of electrical energy consumption and the satisfaction of users requirements adopting a mathematical model using Simplex linear programming method to determine and adjust the intensity of each lighting device.

Key words: Lighting device, Simplex, Linear programming, Simulation.

SOMMAIRE

SOMMAIRE

Introduction Generale 1
CHAPITRE I : État de l'art dans la gestion intelligente de l'éclairage 2
I.1. Introduction 3
I.2.Définitions 3
I.2.1. Flux lumineux 3
I.2.2. Intensité lumineuse 3
I.2.3. Éclairement lumineux 3
I.2.4. Luminance 3
I.3. Principaux types de dispositifs d'éclairage 4
I.3.1. Lampe à incandescence 4
I.3.2. Lampe fluorescente compacte 5
I.3.3 Lampes LED 6
I.4. Systèmes d'éclairage automatique 7
I.4.1 Capteur de lumière 8
I.4.2 Capteurs de mouvement 9
I.5. Protocole de communication DALI 10
I.6. Conclusion : 12
CHAPITRE II : Méthode du simplexe 13
II.1. Introduction 14
II.2. Méthode du simplexe 14
II.2.1. Définition 14
***II.2.3.* Programmes de dimension 2** 15
II.2.4. Variable à choisir 18
***II.2.5.*Critère d'arrêt de l'algorithme** 18
***II.2.6* Pseudo-code de l'algorithme du simplexe** 18
II.3. Conclusion 21
CHAPITRE III : Simulation 22
III.1. Introduction 23
III.2. Description du système 23
III.3. Notations 24
III.5. Détermination des paramètres 26

III.5.1. Détermination de L_D : 26
III.5.2. Détermination des ajustements A_d : 29
III.7. Exemples d'application 29
III.8. Conclusion 31
CONCLUSION GENERALE 33
RÉFÉRENCES 35

LISTE DES TABLEAUX

Liste Des Tableaux

Tableau I. 1. Efficacité énergétique d'une lampe incandescente 5
Tableau I. 2. Efficacité énergétique d'une lampe fluorescente compacte..... 5
Tableau I. 3. Efficacité énergétique d'une lampe LED..... 6
Tableau I. 4. Comparaison entre les lampes LED et fluorescente compacte 7
Tableau II. 1. Exemple d'une itération 18

LISTE DES FIGURES

Liste Des Figures

Figure I. 1. Résumé des différentes grandeurs lumineuses 4
Figure I. 2. lampe à incandescence..... 5
Figure I. 3. Lampe fluorescente compacte 5
Figure I. 4. Lampe LED 6
Figure I. 5. Effet d'un capteur de luminosité sur le système..... 7
Figure I. 6. Schéma fonctionnel du TSL2591 8
Figure I. 7. Schéma fonctionnel du BH1603VFC 8
Figure I. 8. Application en éclairage automatique 9
Figure I. 9. Fonctionnement d'un capteur actif..... 9
Figure I. 10. Capteur PIR 10
Figure I. 11. Topologies du protocole DALI..... 11
Figure I. 12. Bus utilisés dans le protocole DALI..... 11
Figure II. 1. Première itération..... 16
Figure II. 2. deuxième itération..... 17
Figure II. 3. Troisième itération 17
Figure III. 1. Scénario du système……..……24
Figure III. 2. Organigramme de fonctionnement-..... 26
Figure III. 3. Atténuation de l'intensité lumineuse en fonction de la distance 27
Figure III. 4. Scénario N°1..... 30

INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION GENERALE

La diminution de la consommation de l'énergie électrique est l'un des enjeux majeurs dans le monde pour rationaliser les coûts financiers et préserver l'environnement.

La consommation électrique en termes d'éclairage constitue environ 10% de la consommation totale d'un local résidentiel d'où l'intérêt accordé aux systèmes intelligents de gestion automatique de l'éclairage.

Dans ce mémoire l'intérêt est porté sur l'étude d'un système d'éclairage intelligent utilisant un réseau de capteurs sans fils pour transmettre les données au contrôleur pour ajuster l'intensité lumineuse de chaque dispositif d'éclairage afin de satisfaire les exigences des utilisateurs tout en minimisant la consommation de l'énergie. À cet effet, une méthode mathématique d'optimisation est utilisée.

Le mémoire est organisé en trois chapitres de la façon suivante :

- Chapitre I : Dans ce chapitre l'accent est mis sur l'état de l'art dans la gestion des systèmes d'éclairage intelligents où l'on évoque les principaux types de dispositifs d'éclairage utilisé à l'intérieur des locaux résidentiels avec leurs principales caractéristiques, les différents capteurs utilisés ainsi que protocole DALI très utilisé dans la commande des luminaires.
- Chapitre II : Dans ce chapitre l'accent est mis sur les méthodes d'optimisation pouvant être utilisées dans un système de gestion intelligent de l'éclairage tel que l'algorithme du simplexe et l'optimisation par colonie de fourmis.
- Chapitre III : Dans ce chapitre un scénario de simulation a été proposé pour permettre de déterminer l'intensité lumineuse de chaque dispositif d'éclairage en fonction des exigences des utilisateurs.

  À la fin du mémoire une conclusion permet de conclure le travail et de préciser les perspectives et les propositions pour améliorer le sujet.

CHAPITRE I : ÉTAT DE L'ART DANS LA GESTION INTELLIGENTE DE L'ÉCLAIRAGE

I.1. Introduction

Les systèmes intelligents de gestion de la lumière permettent de faire le compromis entre les besoins des occupants d'un local en matière d'éclairage tout en minimisant la consommation de l'énergie électrique.

Un système de gestion d'éclairage automatique est composé de plusieurs constituants essentiels [1] telles que les sources de lumière artificielles de différents types, des différents capteurs permettant la mesure de l'intensité lumineuse dans un endroit précis et/ou déterminer la présence ou le mouvement des utilisateurs et des différents dispositifs de contrôle et de commande.

L'objectif du présent chapitre est de mettre en évidence les solutions technologiques possibles pour réaliser un système de gestion d'éclairage intelligent.

I.2.Définitions

Pour pouvoir faire la comparaison entre les différents types de dispositifs d'éclairage disponibles dans le commerce la définition des paramètres relatifs à la lumière s'impose [2].

I.2.1. Flux lumineux

Le flux lumineux Φ exprimé en lumens décrit la quantité de lumière émise par une source de lumière. L'efficacité lumineuse est le rapport entre le flux lumineux et la puissance électrique dissipée exprimée en lm/W.

I.2.2. Intensité lumineuse

L'intensité lumineuse décrit la quantité de lumière rayonnant dans une direction donnée exprimée en Candela utile pour caractériser la qualité des réflecteurs.

I.2.3. Éclairement lumineux

Exprimé en lux, il permet de décrire la quantité de flux lumineux atteignant une surface.

I.2.4. Luminance

La luminance est le paramètre de de base perçu par l'œil humain. Il décrit la brillance de la source de lumière ainsi que la réflexion de l'objet illuminé et sa couleur. La figure I.1 résume les différents paramètres essentiels pour quantifier une source lumineuse.

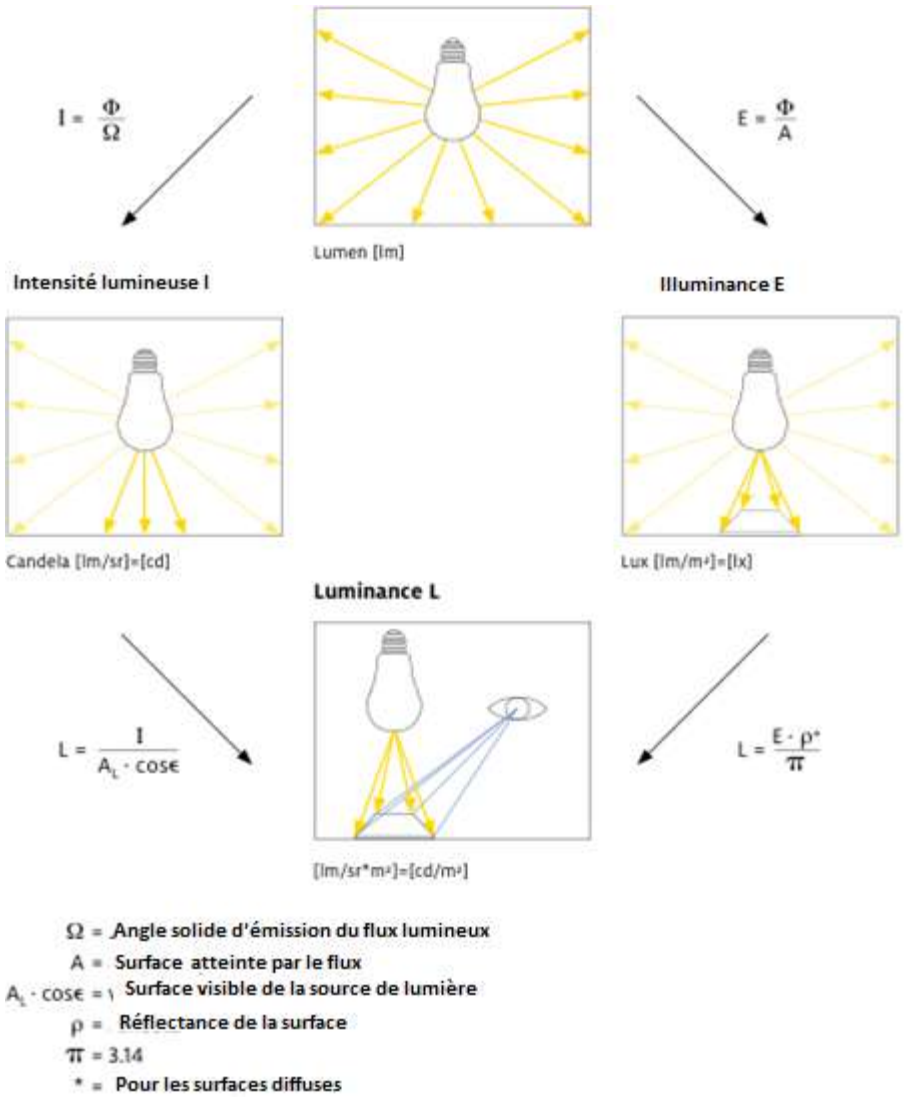


Figure I. 1. Résumé des différentes grandeurs lumineuses

I.3. Principaux types de dispositifs d'éclairage

Le domaine de l'éclairage a connu d'importants progrès visant à la fois la diminution de la consommation de l'énergie électrique et la qualité de la lumière obtenue en fonction des besoins des utilisateurs. Dans ce que suit sont résumés les principaux dispositifs d'éclairage intérieur disponibles dans le commerce.

I.3.1. Lampe à incandescence

Depuis son invention par T. Edison il y a de cela plus de cent ans [3] la lampe à incandescence a su garder le même design. Elle produit la lumière lorsqu'un filament de tungstène à l'intérieur de laquelle est chauffé par un courant électrique le traversant.

Ce procédé délivre une grande quantité de chaleur influant négativement sur le rendement de telles lampes et plusieurs pays développés dans le monde adoptent des législations dans le sens de bannir l'utilisation de ces dispositifs d'éclairage.

La figure I.2 montre une lampe à incandescence et le tableau I.1 permet d'illustrer le rendement lumineux de ce type de lampes.



Figure I. 2. lampe à incandescence

Tableau I. 1. Efficacité énergétique d'une lampe incandescente

Puissance (W)	40	60
Lumens (Lux)	290	840

I.3.2. Lampe fluorescente compacte

Ce type de lampes est plus efficace énergétiquement que les lampes incandescentes. Le principe utilisé est de faire circuler un courant électrique dans un gaz pour produire de la lumière et c'est le revêtement des spirales qui donne une lumière blanche à la lumière. Pour fonctionner ce type de lampe a besoin de ballast. La figure I.3 illustre une lampe fluorescente compacte et le tableau I.2 donne son efficacité énergétique.



Figure I. 3. Lampe fluorescente compacte

Tableau I. 2. Efficacité énergétique d'une lampe fluorescente compacte

Puissance (W)	9	13
Lumens (Lux)	550	810

I.3.3 Lampes LED

A l'inverse des lampes incandescentes et fluorescentes, les lampes LED sont les derniers nés de la technologie. La LED à lumière blanche a valu à son inventeur le prix Nobel de physique en 2014 [3]. Il s'agit des lampes le plus efficientes en matière de consommation. Néanmoins elles ne sont pas son problème et bien qu'une lampe LED à lumière blanche produit une lumière contenant toutes les couleurs du spectre mais la prédominance de la couleur bleue la rend dangereuse pour la santé humaine. La figure I.4 représente une lampe LED et le tableau I.3 en donne l'efficacité énergétique.



Figure I. 4. Lampe LED

Tableau I. 3. Efficacité énergétique d'une lampe LED

Puissance	6	9,5
Lumens	450	800

Le tableau I.4 résume les qualités et les déférentes de chaque type de lampe en fonction des paramètres. Les principaux paramètres pris en compte sont l'efficacité énergétique, les économies pouvant être faites, la durée de vie et la robustesse.

Ce tableau contient uniquement les lampes LED et les lampes fluorescentes compactes car les lampes à incandescence ne sont plus utilisées dans la plupart des pays avancés.

Tableau I. 4. Comparaison entre les lampes LED et fluorescente compacte

Types de lampe/paramètre	Lampes LED	Lampes fluorescentes compactes
Consommation (pour une lumière équivalente à une lampe incandescente de 60W)	6-8W	13-15W
Economies	80% annuellement	75% annuellement
Durée de vie (en heures)	5000	8000
Coût	Elevé	Comparativement moindre
Robustesse	Grande	Fragile du fait de son enveloppe en verre cassable
Taille	Petite	Grande
Dissipation de chaleur	Pas de surchauffe	Se chauffe rapidement

I.4. Systèmes d'éclairage automatique

L'éclairage artificiel a pour tâche de remplacer la lumière naturelle si elle est diminuée ou non disponible. Plusieurs facteurs influencent le niveau d'éclairage dans une pièce tels que la saison, l'heure du jour ou les conditions climatiques [5]. Ceci est possible grâce à la combinaison de plusieurs éléments tels que des LEDs économes en énergie, des détecteurs de mouvement pour une utilisation ciblé de la lumière et des capteurs de luminosité pour l'utilisation d'une lumière du jour libre et naturelle. La figure I.4 montre l'effet de l'utilisation d'un capteur de luminosité pour commander un luminaire.

En effet, à l'aide d'un capteur de luminosité l'association d'éclairage artificiel et naturel est possible pour obtenir un éclairage optimal. Lorsque la lumière diurne est suffisante les luminaires sont dimmés à une intensité lumineuse minimale ou éteints.

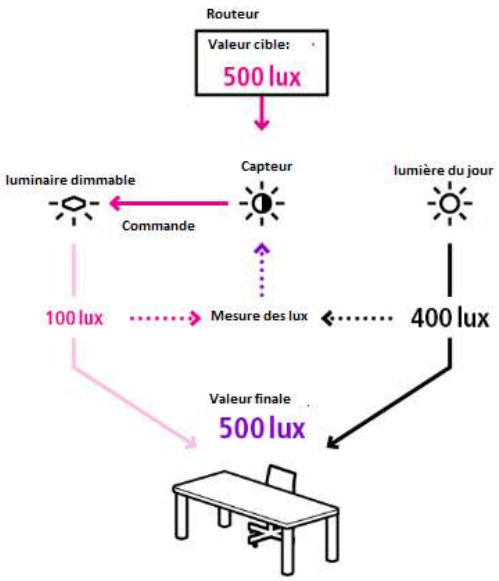


Figure I. 5. Effet d'un capteur de luminosité sur le système

I.4.1 Capteur de lumière

Les capteurs de lumière sont des dispositifs qui convertissent l'énergie lumineuse (photons) dans le spectre visible ou infrarouge en énergie électrique (signal). [6]

La réponse de ce type de capteurs peut être analogique ou numérique [7] selon les besoins de l'utilisateur. Le TSL 2591 et le BH1603VFC sont deux exemples pour illustration

Le TSL2591 le schéma de principe est cité sur la figure I.6 est un exemple de capteur à réponse numérique. Il combine sur le même circuit CMOS une photodiode à large spectre (visible et infrarouge) et une photodiode infrarouge. Deux convertisseurs analogiques numériques sont intégrés sur la puce ainsi qu'une interface I^2C.

La sortie du dispositif étant numérique et supposé immune au bruit contrairement aux sorties analogiques.

Le BH1603VFC est un dispositif à réponse analogique dont le schéma fonctionnel est illustré sur la figure I.7.Il présente une sensibilité spectrale proche de celle de l'œil humain et un courant de sortie proportionnel à la luminosité.

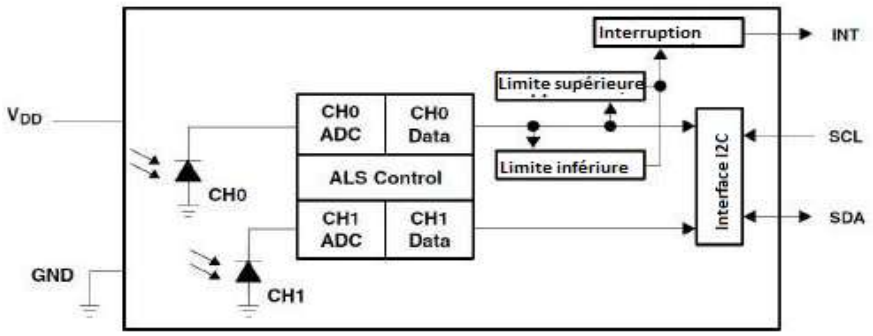


Figure I. 6. Schéma fonctionnel du TSL2591

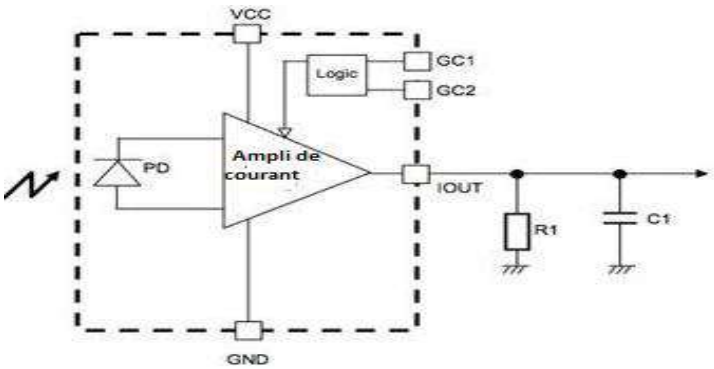


Figure I. 7. Schéma fonctionnel du BH1603VFC

I.4.2 Capteurs de mouvement

Très utilisés dans les systèmes de sécurité, leurs principes physiques varient d'un type à l'autre. Ils trouvent aussi leur application dans les systèmes d'éclairage automatiques [8] comme illustré sur la figure I.8. Ces capteurs peuvent être actifs ou passifs selon la technologie utilisée en détection.

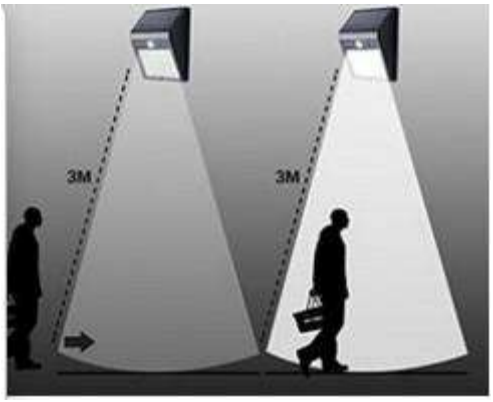


Figure I. 8. Application en éclairage automatique

Les capteurs actifs émettent des ondes radio ou des micro-ondes qui heurtent les objets situés dans leur champ d'action et grâce au changement de fréquence entre l'onde émise et l'onde reçue (différence due à l'effet Doppler), le capteur perçoit le mouvement de l'objet. L'utilisation de tels capteurs est indiquée en éclairage interne. La figure I.8 illustre le principe utilisé dans ce type de capteurs.

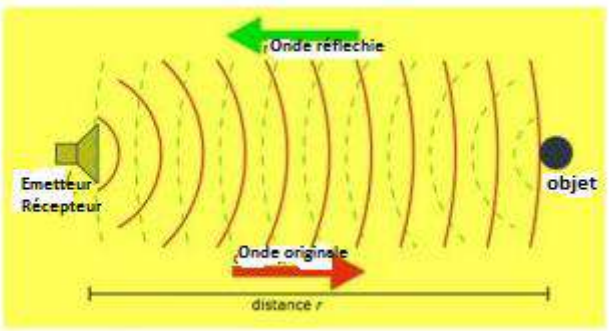


Figure I. 9. Fonctionnement d'un capteur actif

Les capteurs de mouvement passifs, à l'inverse des capteurs actifs n'envoient aucune onde mais détectent les ondes infrarouges de la chaleur émise par les objets (êtres vivants en particulier). En général, dans les applications liées au système d'éclairage automatique ils sont calibrés pour répondre à une quantité de chaleur relative à un être humain. La présence d'une personne dans la zone de détection du capteur déclenche l'allumage de la lampe.

Les capteurs de type PIR (Passive Infra Red) dont un exemple est mentionné sur la figure I.10 sont très utilisés en domotique. Ils permettent de mesurer le changement de niveau en énergie infra-rouge du au mouvement d'un être vivant (humain en particulier).L'inconvénient de telles capteurs est l'influence de la lumière du jour pour leur fonctionnement d'où l'indication d'être utilisé à l'intérieur.

D'autres type de capteurs de mouvement sont disponibles tels que les capteurs infra-rouge actif constitué d'émetteur et de récepteur ou les capteurs à ultrasons.

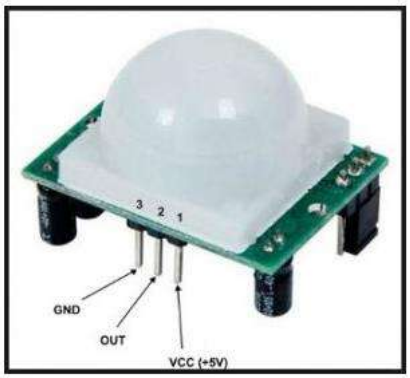


Figure I. 10. Capteur PIR

I.5. Protocole de communication DALI

DALI (Digital Addressable Lighting Interface) est un protocole ouvert et standard (IEC 62386) développé et soutenu par différents constructeurs de ballasts électroniques, qui permet de gérer une installation d'éclairage par l'intermédiaire d'un bus de communication à deux fils. Plusieurs topologies de réseau sont possibles dans le protocole DALI sont représentées sur la figure I.11 [9].

L'association DALIAG (Digital Addressable Lighting Interface Activity Group) est chargée de la promotion et de la coordination des activités. La norme DALI garantit l'interchangeabilité des produits des différents constructeurs. La technologie numérique utilisée par DALI permet :

- De contrôler individuellement 64 luminaires adressables, pouvant être regroupés pour constituer jusqu'à 16 groupes.
- De commander précisément l'intensité lumineuse (gradation de 0,1% à 100% du flux lumineux par courbe logarithmique).
- De mémoriser 16 ambiances d'éclairement (scénarios de commande et de gestion).
- De connaître l'état de l'installation : remontées individuelles d'état des lampes.

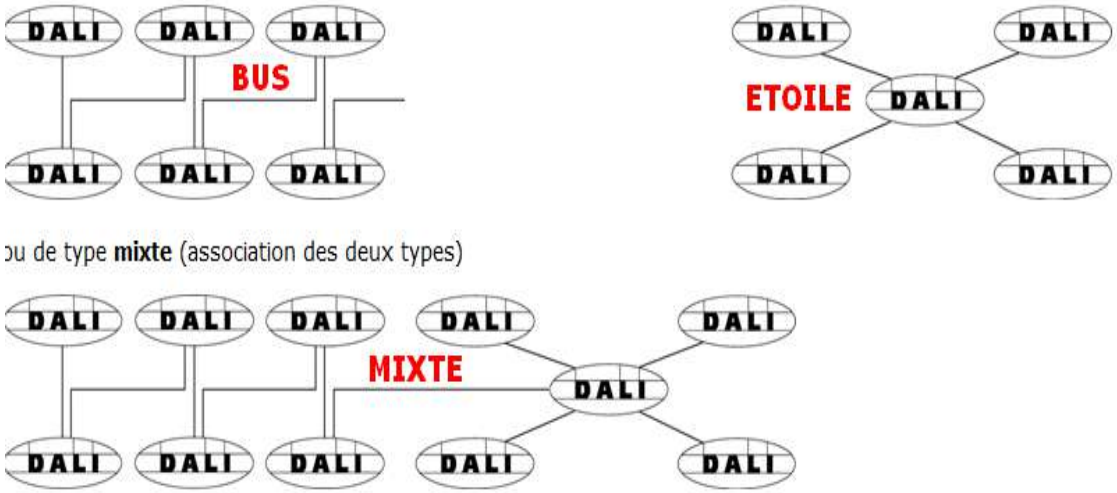


Figure I. 11. Topologies du protocole DALI

La figure I.12 montre l'utilisation de des bus dans le transfert des données dans le protocole DALI où les deux bus de terrain EIB ou LonWorks peuvent être utilisés.



Figure I. 12. Bus utilisés dans le protocole DALI

- Les échanges d'informations entre DALI et le système de GTB (LON ou EIB-KNX) sont du type :
  - Marche/Arrêt/Plus/Moins
  - Numéro de scénario
  - Occupé/Libre
  - Niveau d'éclairement
  - Etat du composant

- Il y a 3 niveaux d'adressage :
  - *Broadcast* qui concerne tous les composants
  - *Groupe* qui concerne les composants d'un même groupe
  - *Composant* qui concerne un composant précis

I.6. Conclusion :

La gestion intelligente de l'éclairage demeure parmi les préoccupations majeures des temps modernes et plusieurs solutions technologiques sont disponibles mais les recherches en la matière sont toujours d'actualité en particulier dans le domaine d'optimisation d'utilisation des ressources

CHAPITRE II : MÉTHODE DU SIMPLEXE

II.1. Introduction

La conception d'un système automatique intelligent de gestion de lumière requiert l'utilisation de techniques adéquates pour optimiser la consommation de l'énergie tout en assurant le confort relatif aux exigences des utilisateurs.

Dans ce chapitre on abordera une méthode de programmation linéaire à savoir l'algorithme du simplexe.

II.2. Méthode du simplexe

II.2.1. Définition

L'algorithme du simplexe, introduit par le mathématicien américain George Dantzig en 1947[11], est un algorithme permettant de trouver la valeur minimale ou maximale que prend une fonction linéaire à n variables sur un domaine définit par des inégalités appelées contraintes du programme linéaire, qui sont elles-mêmes linéaires aussi. C'est donc un algorithme permettant de résoudre des problèmes d'optimisation linéaire.

Un programme linéaire à n variables et m contraintes de la forme :

$$\begin{cases} \text{Max(z)} = \sum_{j=1}^{n} c_j x_j \\ \sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j \leq b_i \text{ , i } \in \{1, \dots, \text{m}\} \\ \text{x}_\text{j} \geq 0, \forall \text{j} \in \{1, \dots, \text{n}\} \end{cases} \quad \text{(II.1)}$$

Où z est la fonction à optimiser, peut être écrit sous forme matricielle :

$$\text{Max(z)} = {}^{\text{t}}C \, . X : A\, X \leq b \; et \; X \in \mathbb{R}_{+}^{n} \quad \text{(II.2)}$$

$\text{X} = {}^{\text{t}}(\text{x}_1, \dots, \text{x}_\text{n})$ étant le vecteur solution, $\text{C} \in \mathbb{R}^{\text{n}}$ le vecteur des coefficients de la fonction objectif z, b le second membre et

$\text{A} = \begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nn} \end{pmatrix} \in \text{M}_{\text{mn}}(\mathbb{R})$ est la matrice représentant les coefficients des contraintes.

Un programme linéaire est dit sous forme canonique si on peut le transformer en un programme linéaire équivalent, où :

- La fonction z est à maximiser
- Toutes les contraintes sont de type $\leq$

D_r : L'ensemble formé par les contraintes du programme linéaire, s'il n'est pas vide, est un polyèdre de l'espace$\mathbb{R}^{\text{n}}$.

II.2.2. Notions essentielles

- **Solution réalisable :** tout $X \in D_r$ satisfaisant toutes les contraintes est appelé *solution réalisable* du programme linéaire. Une solution réalisable n'est pas forcément optimale !
- **Point extrême :** un point $x \in D_r$ est appelé point extrême de D_r si et seulement s' il ne peut pas être écrit comme combinaison convexe de 2 autres points. Autrement dit, il n'existe pas $y, z \in D_r$ tels que
  - $x = \alpha y + (1 - \alpha)z, \alpha \in [0,1].$ (II.3)

- **Base et variables de base :** soit $B \subset \{1, \dots, n\}$ un ensemble d'indices tel que $|B| = m$ (m le nombre de contraintes), et la sous-matrice carrée formée par les colonnes dont les numéros appartiennent à B est inversible. On dit alors que :
  - B est une base.
  - Les variables $x_i : i \in B$ sont appelées variables de base.
  - Les autres variables sont appelées variables hors-base.
- **Solution de base réalisable :** toute solution réalisable $X \in D_r$ dont les variables hors base sont toutes nulles.
  On peut montrer que toute solution de base réalisable est en fait un point extrême de D_r.
- **Solution optimale :** une solution réalisable $X \in D_r$ est dite optimale si et seulement si :
  - $\forall Y \in D_r,\ {}^tCX \geq {}^tCY$ pour un problème de maximisation
  - $\forall Y \in D_r,\ {}^tCX \leq CY$ pour un problème de minimisation.

On peut montrer que, si une solution optimale existe est atteinte en au moins une solution de base réalisable. C'est-à-dire que si une solution optimale existe, alors au moins un des points extrêmes (sommets) du polyèdre D_r est une solution optimale.

Cette proposition est le résultat à la base de l'algorithme du simplexe !

II.2.3. Programmes de dimension 2

Soit le programme linéaire à 2 variables suivant :

$$Min(z) = x_1 + x_2 \qquad \text{(II.4)}$$
$$\begin{cases} x_1 + 2x_2 \geq 60 \\ 3x_1 + 2x_2 \leq 120 \\ 3x_1 + x_2 \geq 90 \\ x_1, x_2 \geq 0 \end{cases}$$

Graphiquement, le polyèdre des solutions réalisables devient un polygone en dimension 2, dont les points extrêmes ou sommets sont A, B, C et D comme mentionné sur la figure II.1.

Dans l'exemple ci-dessus, on remarque facilement que A est une solution réalisable. On peut alors exprimer la fonction objectif sous la forme $z = x_3 - 2x_1 + 90$ en posant $x_3 = x_1 + x_2 - 90$.

Le problème devient :

$$Min(z) = -2x_1 + x_3 + 90 \qquad \text{(II.5)}$$
$$\begin{cases} 5x_1 - 2x_3 \leq 120 \\ 3x_1 - 2x_3 \leq 60 \\ x_1, x_3 \geq 0 \end{cases}$$

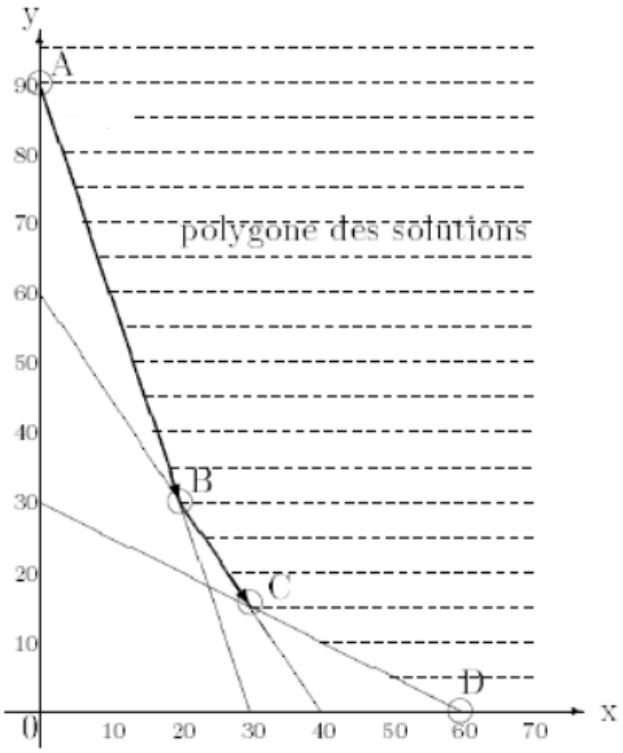


Figure II. 1. Première itération

On peut faire diminuer z en gardant x_2 à zéro, et en augmentant x_1 de 20 (quantité maximale respectant les contraintes) : on obtient ainsi la solution B comme mentionné sur la figure II.2.

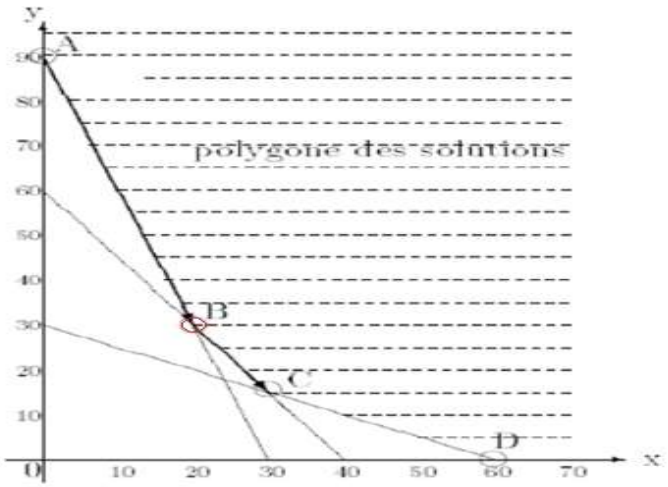


Figure II. 2. deuxième itération

Ensuite, en posant $x_4 = -3x_1 + 2x_3 + 60$ on obtient :

$$z = -1/3x_3 + 2/3x_4 + 50.$$

On peut alors faire diminuer z en mettant $x_4 = 0$ et en augmentant x_3 de 15, i.e. la valeur maximale respectant les contraintes. On obtient alors la solution C comme mentionné sur la figure II.3. La solution C correspond à la solution optimale !

D'une manière générale, l'algorithme du simplexe consiste à améliorer une solution de base non dégénérée (pas de variable de base nulle) en augmentant une et une seule des valeurs associées aux variables hors base (ce qui revient à faire entrer dans la base l'une de ces variables), et en mettant à zéro une variable de base (ce qui revient à la faire sortir de la base).

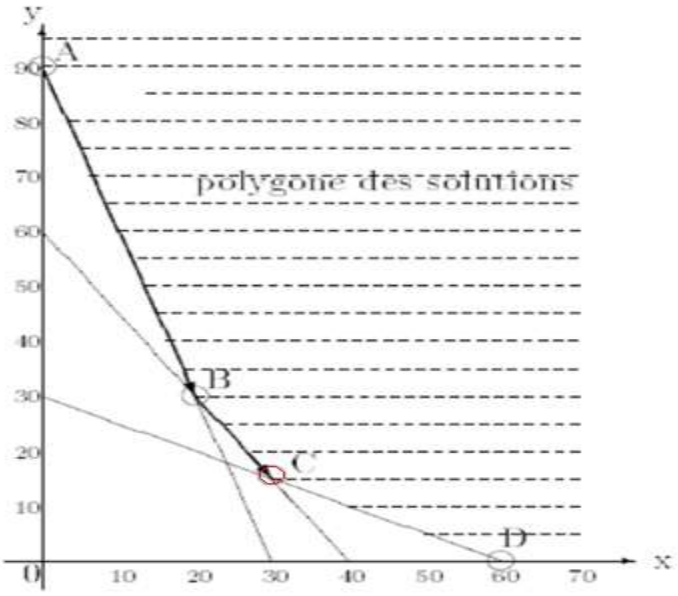


Figure II. 3. Troisième itération

On poursuit cette amélioration jusqu'à obtention de la solution optimale.

Nous constatons donc qu'une étape (itération) de l'algorithme du simplexe consiste à passer d'une solution de base réalisable (point extrême) à une autre de meilleur coût, ce qui correspond concrètement à faire sortir une variable de la base et faire entrer une autre à sa place. L'algorithme s'arrête quand nous ne pouvons plus améliorer la fonction objectif.

II.2.4. Variable à choisir

- La variable ayant le coefficient le plus grand dans la fonction objectif est celle qui entre en base quand il s'agit d'un problème de maximisation.
- La variable à faire sortir de base est la première qui s'annule quand on augmente la valeur de la variable hors base, tel que toutes les autres variables de base restent positives.

*II.2.5.*Critère d'arrêt de l'algorithme

À chaque itération, une variable entre en base et une autre en sort, et la fonction objectif est à chaque fois modifiée selon ces 2 variables.

Quand tous les coefficients de la fonction de base deviennent négatifs ou nuls pour les problèmes de maximisation ; positifs ou nuls pour les problèmes de minimisations, l'algorithme s'arrête. En effet, il ne serait plus possible d'améliorer la valeur de z.

En général, on représente chaque itération de l'algorithme du simplexe par le tableau II.1:

Tableau II. 1. Exemple d'une itération

Var de base	x_1	x_2	…..	x_j	…..	x_{n+m}	b
x_i	a_{i1}	a_{i2}	…..	a_{ij}	…..	$a_{i(n+m)}$	b_i
Z	c_1	c_2	…..	c_j	…..	c_{n+m}	$-C$

Ce n'est bien sûr qu'une façon visuelle de dérouler l'algorithme du simplexe.

II.2.6 Pseudo-code de l'algorithme du simplexe

Etape 0. Initialisation

- Exprimer la fonction objective en fonction des variables hors base.
- Mettre en évidence une solution de base réalisable de départ.
- Construire le premier tableau du simplexe.

Etape 1. Test d'optimalité

Si tous les coefficients de z sont négatifs ou nuls, alors l'algorithme s'arrête ; la solution de base actuelle est optimale.

Etape 2. Sinon (il y a au moins un coefficient positif)

- Choisir la variable qui entre en base.
- Choisir la variable qui sort de base.

Etape 3. Pivot :

- Échanger les colonnes des variables entrante et sortante de base.
- Aller à **Etape 1.**

Dualité en programmation linéaire :

Soit le programme linéaire suivant :

$$\begin{cases} maxZ = \sum_{j=1}^{n} c_j x_j \\ \sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j \leq b_i \, , i \in \{1, \dots, m\} \\ x_j \geq 0 \; pour \; j \in \{1, \dots, n\} \end{cases} \qquad \text{(II.6)}$$

On peut considérer qu'il concerne une entreprise *E*1 fabricant *n* biens *j*, $j \in \{1, \dots, n\}$ et faisant intervenir *m* ressources *i*, $i \in \{1, \dots, m\}$. Le problème que peut se poser l'entreprise est le suivant : Étant donnée la disponibilité bi pour chaque ressource i et le profit unitaire cj pour chacun des biens j, quel doit être le niveau de production de chaque bien j pour que la quantité de biens i consommée reste inférieure à la disponibilité bi et que le profit total soit maximal?

Supposons maintenant qu'une autre entreprise E2, en rupture de stock, désire racheter les ressources de la première, le problème qu'elle va se poser et le suivant : Etant donné un prix unitaire cj pour chacun n biens j et une disponibilité bi pour chacune des m ressources i, quel doit être le prix unitaire minimum d'achat yi de chaque ressource i pour que la valeur totale des ressources consommées par chaque bien j soit supérieure ou égale à cj (pour que cela rester intéressant pour l'entreprise E1 et que le prix total d'achat des ressources disponible soit minimum?

Ce deuxième problème constitue le problème **dual** du premier, il peut se mettre sous la forme

$$\begin{cases} \min W = \sum_{i=1}^{m} b_i y_i \\ \sum_{i=1}^{n} a_{ij} y_i \geq c_j \, , j \in \{1, \dots, n\} \\ y_i \geq 0 \; pour \; i \in \{1, \dots, m\} \end{cases} \qquad \text{(II.7)}$$

En fait, les deux problèmes sont quasiment équivalents, mais vus de deux points de vue différents ; le premier celui de l'entreprise E1, le second celui de l'entreprise E2. Évidemment, il existe une relation très étroite entre les 2 problèmes :

Théorème : si le problème primal admet une solution optimale, alors le problème dual admet aussi une solution optimale. De plus, les deux solutions coïncident !

La formulation du problème dual peut s'obtenir de façon directe à partir de celle du problème primal par transposition de la matrice des contraintes.

Le problème dual est intéressant car il se peut parfois que sa résolution soit nettement plus simple que la résolution du problème primal !

II.2.7. Résolution d'un programme linéaire sur Matlab

On peut facilement résoudre un programme linéaire grâce à Matlab. Par exemple pour résoudre le problème suivant :

$$\text{Min}(z) = -x_1 - \frac{x_2}{3}$$

$$\begin{cases} x_1 + x_2 \leq 2 \\ x1 + \frac{x_2}{4} \leq 1 \\ x1 - x2 \leq 2 \\ -\frac{x_1}{4} - x_2 \leq 1 \\ -x_1 - x_2 \leq -1 \\ -x_1 + x_2 \leq 2 \end{cases} \qquad \text{(II.8)}$$

Le code suivant sur Matlab permet de résoudre ce programme linéaire :

```
f = [-1 -1/3]; %fonction objectif
A = [1 1
1 1/4
1 -1
-1/4 -1
-1 -1
-1 1]; %matrice des contraintes

b = [2 1 2 1 -1 2]; %second membre
x = linprog(f,A,b) %résolution du programme linéaire
```

Résultat :

```
Optimal solution found.

x = 2×1

    0.6667
    1.3333
```

II.3. Conclusion

Dans ce chapitre ont été présentés deux principaux outils utilisés dans l'optimisation des systèmes à savoir la méthode classique du simplexe et une technique récente appelée algorithme « colonie de fourmi » et dont les résultats peuvent être utilisés à titre comparatif dans la commande d'un système intelligent.

CHAPITRE III : SIMULATION

III.1. Introduction

Dans ce chapitre l'accent sera mis sur la simulation d'un système d'éclairage intelligent basé sur un réseau de capteurs sans fil et la comparaison avec les travaux effectués par *Pan et al* [12].

Le système permet la gestion de l'éclairage à l'intérieur d'une pièce de manière intelligente en fonction des activités effectuées par les utilisateurs et du taux de lumière dans la pièce en minimisant la consommation de l'énergie tout en assurant la satisfaction aux utilisateurs.

III.2. Description du système

Le système en question repose sur l'utilisation des réseaux de capteurs sans fil pour la gestion intelligente de l'éclairage à l'intérieur d'une pièce en tenant compte des besoins des utilisateurs.

Le scénario adopté est représenté sur la figure III.1. où le réseau est une grille composé de zones uniformes. Chaque zone contient un capteur fixe. Ensemble, ces capteurs constituent un réseau *ad hoc*.

Un des nœuds du réseau est relié au contrôleur pour permettre la commande de l'ensemble des dispositifs d'éclairage disponibles sur le réseau en question.

Dans le système étudié deux types de dispositifs d'éclairage sont considérés : les dispositifs d'éclairage local, et les dispositifs d'éclairage global.

Un dispositif d'éclairage global est semblable à un tube fluorescent qui peut éclairer plusieurs zones. Par exemple dans la figure III.1, le type de dispositif dans la zone G_{13} est global car il peut illuminer les zones G_7, G_8, G_9, G_{12}, G_{13}, G_{14}, G_{17}, G_{18}, et G_{19}. Un dispositif d'éclairage local est semblable à une lampe de chevet permettant d'apporter une illumination concentrée.

Dans le système, on considère que la position de chaque utilisateur est connue et que chaque utilisateur porte un capteur sans fil permettant de détecter son intensité lumineuse.

Les utilisateurs sont considérés avoir des exigences d'éclairage variables en fonction de leurs activités et profiles.

Par exemple dans la figure III.1 l'utilisateur A en zone G_{25} est en train de regarder la télévision et l'utilisateur B en zone G_{16} est en train de lire.

Les deux utilisateurs A et B nécessitent un éclairage de fond dans leur entourage et l'utilisateur B a besoin d'un éclairage concentré pour lire.

Dans le système étudié une exigence d'éclairage est la combinaison de l'éclairage de fond et de l'éclairage concentré.

Une exigence lumineuse consiste en un intervalle d'intensités lumineuses et une portée.

Ainsi, on peut dire qu'un utilisateur est satisfait si l'intensité lumineuse dans sa zone est dans l'intervalle considéré est que son entourage est dans la portée adéquate.

III.3. Notations

Pour mieux cerner le problème des notations concernant les informations délivrées par les capteurs, les intensités lumineuses des dispositifs d'éclairage, ainsi que les ajustements à apporter doivent être adoptées.

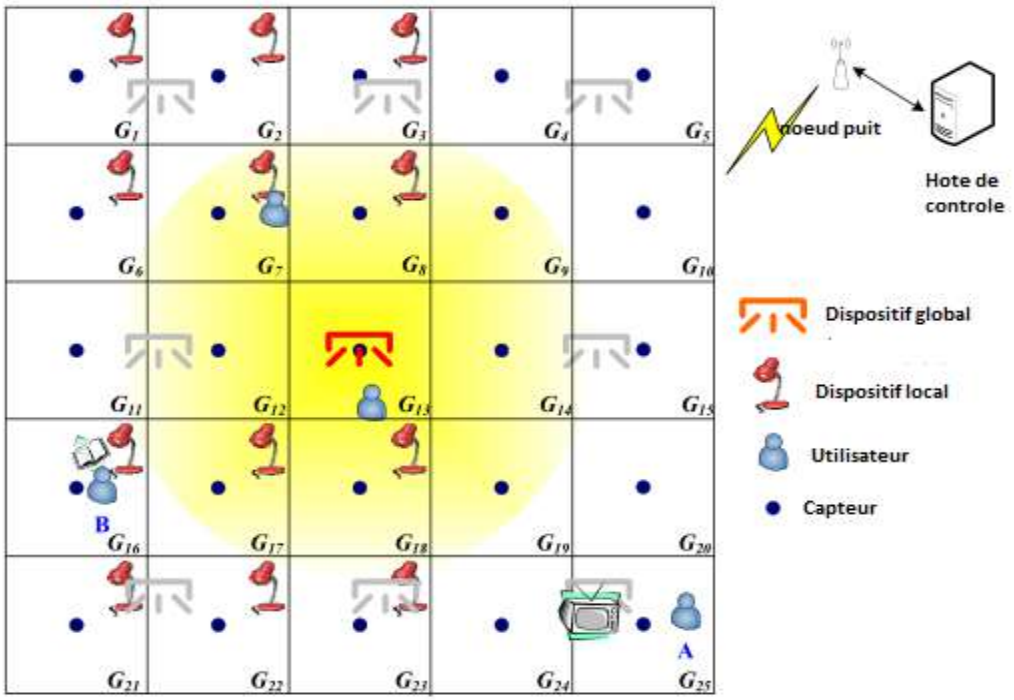


Figure III. 1. Scénario du système.

Dans le système représenté sur la figure III.1 il est à noter qu'il existe :

- k zones représentant le réseau à éclairer noté G_1, G_2,…,G_k dans chacune desquels se trouve un capteur fixe noté f_i.
- n utilisateurs (u_j) chacun doté d'un capteur de lumière mobile noté p_j et permettant de spécifier l'activité courante de chaque personne.
- m dispositifs d'éclairage global notés D_1, D_2,…,D_m dont les intensités lumineuses sont ajustables.
- m'dispositifs d'éclairage local noté d_1,d_2,…,d_m, dont les intensités lumineuses sont ajustables.

Le capteur fixe le plus proche de D_i, i=1…m est noté $f_{c(Di)}$ mais comme les utilisateurs sont mobiles à l'intérieur de la pièce et pour déterminer l'association entre les utilisateurs et les dispositifs d'éclairage local une fonction notée *recherche*(u_j), j=1…n a été utilisée à cet effet. Cette fonction restreint un dispositif d'éclairage local à servir un seul utilisateur au

plus en même temps. S'il n'y a pas de dispositif d'éclairage local au voisinage d'un utilisateur quelconque alors *recherche*(u_j)=Φ.

Les intensités lumineuses déterminées par les capteurs fixes et mobiles sont notées respectivement $s(f_i)$ et $s(p_j)$.

Comme la valeur de $s(f_i)$ étant le résultat de la contribution de plusieurs sources on note $l(D_i)$, i=1…m la proportion d'intensité lumineuse contribuée par D_i au capteur fixe le plus proche. On note que $l(D_i) \leq s(f_{c(Di)})$ car le capteur le plus proche peut être affecté par les autres dispositifs d'éclairage ou la lumière du soleil.

De façon analogue on définit $l(d_i)$, i=1…m', la proportion de lumière contribuée par un dispositif d'éclairage local au capteur mobile correspondant s'il existe.

Ainsi les notations suivantes ont été adoptées.

$S_f=[s(f_1), s(f_2), \ldots, s(f_k)]^T$

$S_p=[s(p_1), s(p_2), \ldots, s(p_n)]^T$

$L_D=[l(D_1), l(D_2), \ldots, l(D_m)]^T$

$Ld=[l(d_1), l(d_2), \ldots, l(d_{m'})]^T$

Notons qu'en pratique chaque dispositif d'éclairage global a ses limites d'où la nécessité de définir un vecteur contenant les valeurs maximales des dispositifs d'éclairage global.

$$L_D^{max} = [l^{max}(D_1), l^{max}(D_2), \ldots, l^{max}(D_m)]^T$$

En connaissant les exigences des utilisateurs le système doit déterminer l'intervalle d'illumination et la zone de couverture des zones à éclairer tout en minimisant la consommation en énergie.

Avant de commencer les calculs nécessaires des suppositions doivent être prises en considération :

1- Un dispositif d'éclairage local peut satisfaire seulement un utilisateur situé dans sa zone.
2- Il n'y a pas d'obstacles entre les dispositifs d'éclairage global et les capteurs fixes.
3- L'intensité lumineuse délivrée par un dispositif d'éclairage local n'influe pas sur les capteurs fixes.

III.4. Fonctionnement du système

Pour pouvoir satisfaire les exigences en matière d'éclairage des utilisateurs du système les capteurs fixes et mobiles envoient les informations relatives à l'intensité lumineuse au contrôleur qui doit déterminer les ajustements à apporter pour chaque dispositif d'éclairage local ou global selon l'organigramme de la figure III.2.

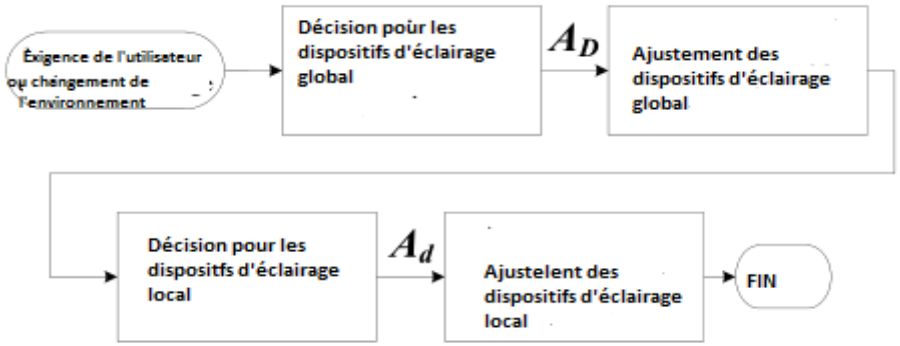


Figure III. 2. Organigramme de fonctionnement

Ainsi la satisfaction des exigences en matière d'éclairage d'un ou de plusieurs utilisateurs passe par les étapes suivantes :

1- Collecte d'informations par le système : dans cette étape le choix de l'activité de l'utilisateur est introduit dans le système par l'utilisateur lui-même via son mobile et les conditions d'éclairage dans lesquelles il se trouve sont déterminées par les différents capteurs.
2- Décision pour les dispositifs d'éclairage global : grâce aux données des capteurs la contribution individuelle de chaque dispositif d'éclairage global peut être déterminée.
3- Ajustement A_D : il s'agit de déterminer l'ajustement à apporter à chaque dispositif d'éclairage global de façon à ce que la consommation de l'énergie soit minimale.
4- Décision pour les dispositifs d'éclairage local : dans cette partie le système doit s'assurer que l'utilisateur se trouve dans une zone où un dispositif d'éclairage local est disponible. Les dispositifs situés dans les zones où aucun utilisateur n'est présent doivent être éteints.
5- Ajustement A_d : les dispositifs locaux mis en marche doivent être ajuster pour satisfaire les exigences des utilisateurs tout en minimisant la consommation en énergie.

III.5. Détermination des paramètres

III.5.1. Détermination de L_D :

Comme les proportions d'éclairage des dispositifs ne peuvent pas être obtenus directement une méthode expérimentale a été adoptée par *Meng-Shiuan Pan et al [14]* consistant à mesurer l'intensité lumineuse détectée par chaque capteur fixe en considérant que toutes les autres sources lumineuses sont éteintes.

L'expérience a été réalisé avec plusieurs niveaux d'éclairage des dispositifs globaux et les résultats sont représentés sur la figure III.3. (a)

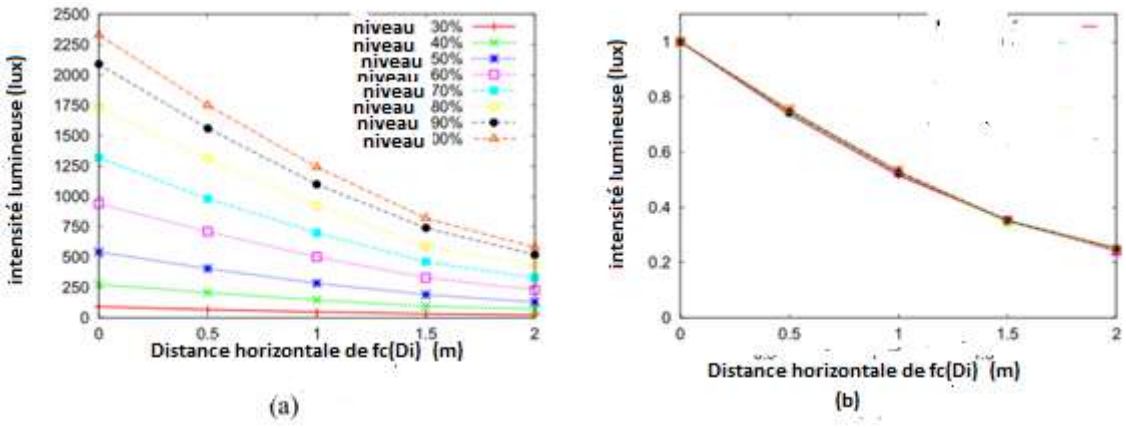


Figure III. 3. Atténuation de l'intensité lumineuse en fonction de la distance

La figure III.3(b) permet de montrer que quel que soit le niveau choisi l'atténuation est la même.

Pour caractériser cette atténuation un facteur d'impact a été défini permettant de calculer l'influence de chaque dispositif d'éclairage global sur une zone choisie.

Ainsi on note que w_j^i l'impact du dispositif D_i sur le capteur fixe $f_c(D_i)$ est égal à 1.

Si l'on s'éloigne du capteur le plus proche alors le facteur d'impact diminue et on a

$$0 \leq w_j^i \leq 1 \qquad \text{(III.1)}$$

Pour pouvoir déterminer L_D une matrice W des facteurs d'impacts doit être créée permettant de préciser l'impact de chaque dispositif global sur une zone déterminée.

$$W = \begin{bmatrix} w_1^1 & w_1^2 & \cdots & w_1^m \\ w_2^1 & w_2^2 & \cdots & w_i^m \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ w_k^1 & w_k^2 & \cdots & w_k^m \end{bmatrix}.$$

Comme les intensités lumineuses sont additives [18] l'intensité lumineuse mesuré par un capteur fixe est la somme des sources lumineuses globales pondérés par les facteurs d'impact et de l'intensité lumineuse de la lumière du soleil.

L'intensité lumineuse de la lumière du soleil peut être défini comme un vecteur colonne de dimension $k \times 1$. D'où :

$$S_f = W.L_D + S_{soleil} \qquad \text{(III.2)}$$

Comme le nombre de capteurs fixe dans la figure III.1 est supérieur au nombre de dispositifs globaux $m \leq k$ le système d'équation contient un nombre d'équations supérieur au nombre d'inconnues d'où la nécessité au recours à la pseudo-inverse [19] de la matrice W notéeW^{-1}. D'où :

$$L_D = W^{-1}.(S_f - S_{soleil}) \qquad \text{(III.3)}$$

III.5.2. Détermination de L_d

Le Calcul de L_d s'obtient de façon plus directe conformément à l'approche considérée. Si l'utilisateur se trouve dans une zone où aucun dispositif local n'existe alors $l(d_i) = 0$.

Lorsqu'un capteur portable noté p_k est dans une zone où un dispositif local est disponible alors le dispositif local doit être activé.

Pour déterminer le taux de lumière ambiante dans une zone considérée la lecture du capteur fixe a été prise en compte, si un le capteur fixe f_j est dans la zone dans laquelle se trouve un dispositif local d_i alors l'intensité délivrée par d_i à p_k est :

$$l(d_i) = s(p_k) - s(f_j). \qquad \text{(III.4)}$$

III.6. Détermination des ajustements

III.6.1. Détermination de A_D

Pour déterminer les ajustements à effectuer sur les dispositifs d'éclairage global le système doit connaitre la proportion d'éclairage apportée par chaque dispositif global D_i, la lecture des capteurs fixes f_j et les exigences de chaque utilisateur u_i qui est composée de deux parties :

1) L'intervalle d'éclairage attendu des dispositifs d'éclairage global $[B_D^l(u_i), B_D^u(u_i)]$ exprimé en lux et où $B_D^l(u_i)$ représente la borne inférieure et $B_D^u(u_i)$ représente la borne supérieure de l'intervalle.
2) La portée (ensemble de zones adjacentes à l'utilisateur) des dispositifs d'éclairage global $R_i = [r_i(G_1), r_i(G_2), \dots r_i(G_k)]^T$ pour chaque $j = 1 \dots k$, $r_i(G_j)$ =1 si la zone G_j est susceptible de recevoir une intensité lumineuse dans l'intervalle $[B_D^l(u_i), B_D^u(u_i)]$ pour un utilisateur u_i sinon $r_i(G_j)$=0.
   Ce vecteur représente l'ensemble de zones qui doivent satisfaire les exigences lumineuses concernant les dispositifs d'éclairage global.
   Par exemple pour l'utilisateur B représenté sur la figure III.1 les valeurs possibles concernant les dispositifs d'éclairage global peuvent être les suivantes :

$$\left[B_D^l(u_i), B_D^u(u_i)\right] = [200,600]$$

Et la portée R_B prend la valeur

R_B=[0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,1,0,0,0,1,1,0,0,0,1,1,0,0,0]^T.

Pour pouvoir déterminer l'ajustement de chaque dispositif d'éclairage global une matrice $\bar{R}_i$ de dimensions $k \times k$ doit être définie et un vecteur X de dimension égale à k doit être défini.

$$\bar{R}_i = \begin{bmatrix} r_i(G_1) & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & r_i(G_2) & \cdots & 0 \\ 0 & \vdots & \cdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & r_i(G_k) \end{bmatrix}.$$

Ainsi, pour pouvoir obtenir le vecteur contenant toutes les valeurs des ajustements des dispositifs d'éclairage global $A_D = [\alpha(D_1), \alpha(D_2), \dots, \alpha(D_m)]$ l'ensemble des conditions ci-dessous doit être satisfait :

$$\min\ X_m(A_D + L_D) \qquad (III.5)$$

$$B_D^l(u_i)R_i \le \bar{R}_\iota\left(S_f + WA_D\right) \le B_D^u R_i \quad \text{(III.6)}$$

$$O \le A_D + L_D \le L_D^{max} \qquad (III.7)$$

La formule (III.5) veut dire que la consommation de l'énergie électrique des dispositifs d'éclairage global est minimisée.

La formule (III.6) impose les exigences de l'utilisateur aux dispositifs d'éclairage global, où $S_f + WA_D$ est le vecteur d'intensité lumineuse après ajustement et la matrice $\bar{R}_\iota$sert à filtrer les grilles hors de portée d'un dispositif d'éclairage global.

La formule (III.7) sert à confiner le résultat d'ajustement entre le minimum et le maximum des capacités des dispositifs d'éclairage global où *O* représente un vecteur nul.

On note que les dispositifs d'éclairage local n'influent pas sur les mesures effectuées par les capteurs fixes, la décision concernant les dispositifs globaux peut être prise de façon indépendante par rapport aux dispositifs locaux. Cependant, l'inverse n'est pas vrai car les dispositifs globaux influent sur l'entourage des dispositifs locaux.

Pour résoudre le problème relatif aux formules (III.5), (III.6) et (III.7) permettant de déterminer l'ajustement des dispositifs globaux A_D la méthode du Simplexe peut être utilisée mais certaines contraintes doivent être éliminées pour éviter des situations conflictuelles (par exemple deux utilisateurs situés dans la même portée et effectuant des activités nécessitant des intensités lumineuses différentes).

III.6.2. Détermination des ajustements A_d :

Pour déterminer les ajustements que le système doit apporter aux dispositifs d'éclairage local A_d les résultats concernant la lumière ambiante et le profil de l'utilisateur doivent être connues et les formules (III.8) et (III.9) doivent être satisfaites.

$$\min X_{m'}(A_d + L_d) \qquad \text{(III.8)}$$

$$B_d^l \le a\left(d_j\right) + s(p_i) \le B_d^u(u_i), \text{si bound}(\mathrm{u_i}) = \mathrm{j}\ \forall \mathrm{i} \in [1, \mathrm{n}] \qquad \text{(III.9)}$$

La formule (III.8) a pour intérêt la minimisation de la consommation en énergie électrique des dispositifs d'éclairage local. La formule (III.9) sert à préciser l'endroit où se trouve l'utilisateur grâce à la fonction *recherche* ainsi que les exigences de l'utilisateur en termes d'éclairage.

Pour résoudre le problème relatif aux formules (III.8) et (III.9), on détermine pour chaque dispositif local d_j, *j=1…m'si recherche* $(u_i)=j$. Si c'est le cas alors

$$a\left(d_j\right) = B_d^l(u_i) - s(p_j) \qquad \text{(III.10)}$$

sinon on doit informer le système d'éteindre d_j.

III.7. Exemples d'application

Pour mettre en évidence le fonctionnement du système on s'est proposé un scénario possible et on a utilisé Matlab pour effectuer les calculs.

Ce scénario est représenté sur la figure III.4 où deux utilisateurs A et B effectuent des tâches différentes. L'utilisateur A dans la zone G_{16} est en train de lire et l'utilisateur B dans la zone G_{25} est en train de regarder la télévision. Sur la figure III.4 il existe 9 dispositifs d'éclairage global notés D_1, D_2,…,D_9. On suppose que qu'il fait nuit, c'est-à-dire que l'influence de la lumière du soleil est nulle sur la grille.

Les dispositifs d'éclairage local sont notés d_1, d_2,…,d_{12} et ne doivent être activés que si un utilisateur se présente dans la zone exacte où l'un de ces dispositifs existe.

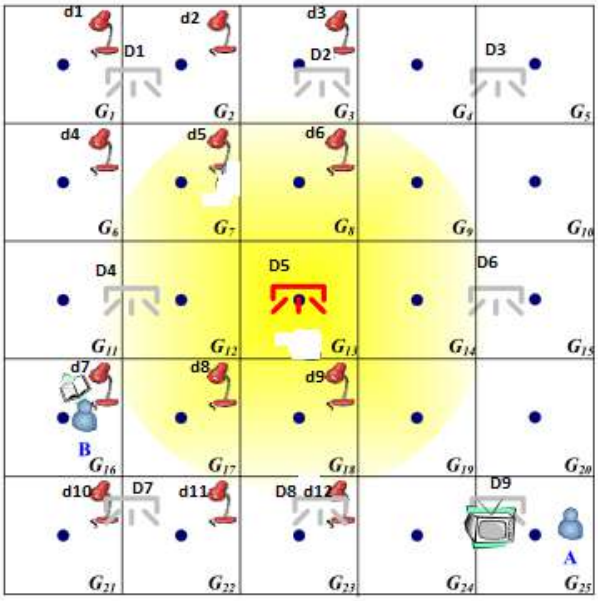


Figure III. 4. Scénario N°1

En supposant à l'état initial du système que l'intensité lumineuse dans la pièce est uniformément répartie pour des activités de bureau ne nécessitant pas une précision particulière exigeant une intensité lumineuse de 200 lux. [13].

En premier lieu et en définissant la matrice *W* comme expliquée en III.5.1 et grâce à une simulation Matlab on peut obtenir le vecteur des intensités lumineuses des différents dispositifs d'éclairage global (en lux) avant ajustement.

$$\begin{bmatrix} LD_1 \\ LD_2 \\ LD_3 \\ LD_4 \\ LD_5 \\ LD_6 \\ LD_7 \\ LD_8 \\ LD_9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 162 \\ 40 \\ 165 \\ 169 \\ 0 \\ 202 \\ 218 \\ 38 \\ 222 \end{bmatrix}$$

Pour obtenir le vecteur des ajustements des dispositifs d'éclairage global, les exigences des utilisateurs doivent être introduit selon les tâches qu'ils sont en train d'accomplir. Ainsi pour chaque utilisateur on doit définir les intensités lumineuses minimales et maximales et la portée que les dispositifs d'éclairage global doivent atteindre et les résultats sont présentés sous forme de vecteur.

$$\begin{bmatrix} A_{D1} \\ A_{D2} \\ A_{D3} \\ A_{D4} \\ A_{D5} \\ A_{D6} \\ A_{D7} \\ A_{D8} \\ A_{D9} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -162 \\ -39 \\ -165 \\ 45 \\ 24 \\ -121 \\ 44 \\ -38 \\ -135 \end{bmatrix}$$

Ainsi les résultats ci-dessous sont obtenus pour vérifier les exigences du scénario :

- D_1 éteint (car diminuée de 162 lux par rapport à l'état initial).
- D_2 éteint (car diminuée de 40 lux par rapport à l'état initial).
- D_3 éteint (car diminuée de 165 lux par rapport à l'état initial)
- L'intensité lumineuse de D_4 est augmentée de 45 lux pour devenir 214 lux.
- L'intensité lumineuse de D_5 est augmentée de 24 lux (à l'état initial le luminaire en question était éteint)
- L'intensité lumineuse de D_6 est diminuée de 121 lux pour devenir 81 lux.
- L'intensité lumineuse de D_7 est augmentée de 44 lux pour devenir 262 lux.
- D_8 éteint.
- L'intensité lumineuse de de D_9 est diminuée de 135 lux pour devenir 87 lux.

Après l'ajustement des dispositifs globaux de nouvelles informations arrivent aux capteurs fixes et grâce à la fonction *recherche* le système détermine le dispositif local à mettre en marche et à ajuster.

Dans ce scénario un seul dispositif est mis en marche à savoir le luminaire présent dans la G_{16} car il s'agit de la seule zone où un utilisateur est présent.

À titre d'exemple on prend $s(p_B) = 300$ lux. Et selon l'équation III.4 : $l(d_{21}) = 0$ alors le système doit apporter un ajustement $a(d_{10}) = 400$ lux pour satisfaire l'utilisateur.

III.8. Conclusion

Grace à la modélisation mathématique, le problème d'ajustement de la lumière tout en satisfaisant les besoins d'un occupant de la salle est transformé en un problème de programmation linéaire.

Ce problème est résout en utilisant l'algorithme d'optimisation du simplex où on a pu déterminer les ajustements que peut effectuer un système d'éclairage intelligent sur les différents luminaires afin de minimiser la consommation de l'énergie électrique tout en satisfaisant les exigences des utilisateurs.

CONCLUSION GÉNÉRALE

CONCLUSION GENERALE

Pour pouvoir résoudre le problème de la gestion de l'éclairage à l'intérieure d'une pièce un modèle mathématique a été adopté pour simuler le comportement des dispositifs d'éclairage.

Une modélisation mathématique a été réalisée en prenant en compte tous les dispositifs installés ainsi que les conditions existantes pour l'éclairage.

Afin de déterminer l'intensité lumineuse de chaque dispositif d'éclairage présent dans la pièce et l'ajuster en fonction des besoins des utilisateurs la méthode du simplex a été utilisée avec comme objectif la minimisation de la consommation totale de l'énergie électrique.

Les avantages présentés par la méthode utilisée sont de pouvoir connaitre la contribution de chaque luminaire selon les informations détectées par le réseau de capteurs fixes et mobiles disponibles dans la pièce et d'apporter les ajustements selon la présence des utilisateurs dans les différentes zones et l'activité qu'ils effectuent.

Les résultats de quelques exemples présentés montrent l'efficacité de la méthode proposée.

Les perspectives permettant d'améliorer le présent travail sont nombreuses notamment la traduction des intensités lumineuses calculés en niveaux de gradation discrets et d'implémenter la solution apportée dans la pratique notamment l'éclairage des serres agricoles.

RÉFÉRENCES

RÉFÉRENCES

[1] : Simpson, R. (2003). Lighting Control Technology and Applications. Oxford, USA: Focal Press.

[2] : ZUMTOBEL. (2018). The Lighting Handbook (6ème éd.). doi:Avril 2018

[3]:https://www.noao.edu/education/QLTkit/ACTIVITY_Documents/Energy/TypesofLights.pdf

[4] : https://keydifferences.com/difference-between-led-and-cfl-bulbs.html

[5] : https://www.sharp.ch/cps/rde/xchg/fr-ch/hs.xsl/-/html/eclairage-a-led.htm#content-1988

[6] : https://www.electronics-tutorials.ws/io/io_4.html

[7] : https://www.rohm.com/documents/11308/12928/CNA09016_wp.pdf

[8] : https://www.edgefx.in/types-of-motion-sensors-working-and-applications/

[9] : Microchip Technology Inc. (2012, 1 janvier). Digitally Adressable Lighting Interface (DALI) communication. Récupéré 13 mai, 2018, de http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/01465A.pdf.

[10] : DALI the smart guide. (s.d.). Récupéré de www.mySmartCTI.com.au

[11] : Bixby, R. (2010). A Brief History of Linear and Mixed-Integer Programming Computation. Documenta Mathematica, Extra, 107-122. Récupéré sur https://www.math.uni-bielefeld.de/documenta/Welcome-eng.html

[12] : Design and implementation of a WSN-Based Intelligent Light Control System.

IEEE SENSORS JOURNAL, VOL. 8, NO. 10, OCTOBER 2008