

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

جامعة الدكتور الطاهر مولاي سيدة

Université Saida Dr Tahar Moulay –

Faculté de TECHNOLOGIE



## **MEMOIRE**

Mémoire de fin d'études présenté pour l'obtention du Diplôme de MASTER

**En : Électrotechnique**

**Spécialité : Réseaux Électriques**

**Par : Menad Hanane**

**Guerroudji Kheira**

**Sujet**

**Activités de gestion de la charge pour la transition de  
l'éclairage public Application « wilaya de SAIDA »**

Soutenue publiquement en .../06/2022 devant le jury composé de :

**Mr M.YAHYAOUÏ**

Univ. Saida

Président

**Mme F.LAKDJA**

Univ. Saida

Rapporteur

**Mr L.BOUMEDIENE**

Univ. Saida

Examineur

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## **Résumé :**

L'accès à l'énergie est une priorité stratégique dans le monde, avec une forte consommation d'énergie due à la croissance démographique, au développement industriel, aux transports, etc.

Dans le monde comme en Algérie, les principaux problèmes du secteur de l'énergie sont l'augmentation de la consommation et du coût de l'énergie, les limites des ressources conventionnelles, le réchauffement climatique. Donc tous les pays du monde s'évertuent de trouver des solutions techniques et énergétiques pour résoudre ces problèmes. Ces techniques incluent la gestion de la charge, l'efficacité énergétique, et l'intégration de l'énergie renouvelable décentralisée. La gestion de la charge est l'un des processus fondamentaux du futur réseau intelligent. Elle permet d'équilibrer entre la production et la consommation du réseau de distribution. Cela permettra une bonne répartition de l'électricité dans le réseau en fonction de la demande énergétique correspondant à chaque profil de charge du consommateur.

Notre travail se focalise sur l'effet de la gestion de la charge (Demand Side Management DSM) notamment la conservation d'énergie et l'efficacité énergétique sur le nombre des charges (foyers, éclairage ...etc.), alimenter par une source d'énergie nouvelle est renouvelable (photovoltaïque), c'est-à-dire, nous allons déterminer la charge que cette puissance peut alimenter avant et après la mise en œuvre des mesures de DSM ,nous avons l'appliqué sur la Wilaya de Saida (cité Soummam), nous avons analysé l'avantage technico-économique et environnemental par plusieurs critères utilisés pour l'évaluation de faisabilité ,notamment le cout de l'énergie ,le cout total actuel net ,la fraction renouvelable.

**Mot clés :** Gestion de la demande, énergie renouvelable, coût de l'énergie

## **Abstract:**

Access to energy is a strategic priority in the world, with high energy consumption due to population growth, industrial development, transportation, etc.

In the world as in Algeria, the main problems of the energy sector are the increase in consumption and cost of energy, the limits of conventional resources, global warming. Therefore, all countries in the world are striving to find technical and energetic solutions to solve these problems. These techniques include load management, energy efficiency, and the integration of decentralized renewable energy. Load management is one of the fundamental processes of the future smart grid. It allows balancing between production and consumption of the distribution network. This will allow a proper distribution of electricity in the grid according to the energy demand corresponding to each consumer's load profile.

Our work focuses on the effect of load management (Demand Side Management DSM) including energy conservation and energy efficiency on the number of loads (homes, lighting ... etc.. ), supplied by a new energy source is renewable (Solar energy), which means , we will determine the load that this power can supply before and after the implementation of DSM measures, we have apply it on the Wilaya of Saida (Soummam city), we have analyzed the technical-economic and environmental advantage by several criteria used for the feasibility assessment, including the cost of energy, the total current net cost, the renewable fraction .

**Keywords:** Demand side management, renewable energy, energy costs

# *Remerciements*

*Louange à dieu le Tout-puissant de nous avoir donné foi, courage, volonté et patience de mener à terme cette thèse de mémoire de fin de cycle Master 2*

*Nous souhaitons d'abord et avant tout remercier particulièrement notre directrice de mémoire, **Madame Fatiha LAKDJA**, professeur à l'université de Saida à qui nous lui exprimons notre profonde reconnaissance et ample gratitude pour la confiance qu'elle nous a faite durant toutes ces années d'études pour ses qualités humaines, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils en cette difficile conjoncture par l'apport de tous les outils pédagogiques et méthodologiques indispensables qui ont contribué à nous guider sous sa conduite à la réalisation de ce projet.*

*Nous adressons nos remerciements les plus sincères à Monsieur **Mr M. YAHYAOU**, maître de conférences à l'université de Saida, pour avoir accepté de présider le jury.*

*Nous voudrions remercier vivement les membres du jury : Monsieur **Mr L. BOUMEDIENE** Professeur à l'université de Saida, pour l'honneur qu'il nous a fait par sa participation à l'évaluation scientifique de ce travail en tant qu'examinateur.*

*Nous tenons à exprimer nos remerciements et notre gratitude à tous nos enseignants pour l'enseignement de qualité dispensé durant ces cycles d'études.*

*Nous remercions vivement **Mr A. HAFFAF** enseignant à l'université de Saida ; **MEHIDI Ahlem** diplômée de notre université et **BENHAMIDI Meriem** actuellement doctorante dans notre université pour nous avoir donné en ce temps, par leurs abondantes informations, ainsi que **L'URSSAF** pour les données qui nous ont accordé et à tous les intervenants et toutes les personnes qui par leurs conseils et leurs critiques ont guidé nos réflexions et ont accepté de nous rencontrer et de répondre à nos questions durant nos recherches.*

*A nos parents nous leur disons pour leur soutien physique, moral sans faille, pour leurs encouragements et pour tous les sacrifices consentis : M E R C I*





## *Dédicaces*

*C'est tout plein de joie que je dédie ce travail à ceux qui  
m'ont été une source d'inspiration et de volonté ;*

*À mes chers parents ma mère et mon père pour leur patience,  
leur amour, leur soutien et leur encouragement*

*Je le dédie à mes très chers frères À toute ; ma grande famille  
Menad et Guerroudj ;*

*Une dédicace à tous mes amis et pour tous ceux qui me  
connaissent ;*

*Sans oublier tous les professeurs que ce soit du primaire, du  
moyen, du secondaire ou du l'enseignement supérieur*

*À la fin je dédie très chaleureusement ce mémoire à mon  
binôme : Kheira*

**MENAD Hanane**



## *Dédicaces*




*Je dédie ce travail :*

*À ma famille qui m'a dotée de tout ce dont j'ai besoin,  
Particulièrement à ma mère qui m'a tant soutenue et donné  
le courage afin de continuer à bout,  
À mon cher papa, meilleur père à qui je dois toute la  
reconnaissance et l'amour du monde,  
À mes chers sœurs, que j'adore, **Radjaa, Fatima** ; et surtout  
les petites princesses : **HibatArrahmane** et **Imane**,  
À ma grand-mère, signe de courage et source de tendresse et  
d'amour **Mima Zoulíkha**,  
À tous mes chers (es) oncles et tantes, en particulier, Dr.  
Yacine,  
À ma chère binôme **Hanane** pour son soutien.  
À ceux que j'aime et à ceux qui m'aiment.*

**Guerroudjí Kheira**



## ***Table des matières***

-  Liste des symboles et abréviations
-  Liste des figures
-  Liste des tableaux

|                                   |          |
|-----------------------------------|----------|
| <b>Introduction Générale.....</b> | <b>1</b> |
|-----------------------------------|----------|

### ***Chapitre 1 : La gestion de la demande***

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1.1</b> Introduction.....  | <b>3</b>  |
| <b>1.2</b> Production d'énergie électrique .....  | <b>3</b>  |
| <b>1.3</b> Consommation de l'énergie électrique .....   | <b>4</b>  |
| <b>1.4</b> La gestion de la demande .....   | <b>4</b>  |
| <b>1.4.1</b> Définition.....  | <b>4</b>  |
| <b>1.4.2</b> Objectif de la gestion de la demande .....   | <b>5</b>  |
| <b>1.4.3</b> Les processus de la demande .....  | <b>5</b>  |
| <b>1.4.4</b> Les caractéristiques de la demande .....   | <b>6</b>  |
| <b>1.4.5</b> Les activités de la gestion de la demande (Stratégie passive) (Stratégie active) ..... | <b>6</b>  |
| <b>1.5</b> La prévision de la demande .....   | <b>7</b>  |
| <b>1.5.1</b> Définition.....  | <b>7</b>  |
| <b>1.5.2</b> Les lois déterminant les méthodes.....   | <b>7</b>  |
| <b>1.5.3</b> Etapes de la prévision de la demande.....  | <b>7</b>  |
| <b>1.5.4</b> Horizon de la prévision.....   | <b>7</b>  |
| <b>1.5.5</b> Méthodes prévisionnelles.....  | <b>8</b>  |
| <b>1.5.5.1</b> Méthodes qualitatives.....   | <b>8</b>  |
| <b>1.5.5.2</b> Méthodes quantitatives.....  | <b>8</b>  |
| <b>1.5.6</b> Caractéristiques de prévision .....  | <b>9</b>  |
| <b>1.6</b> Gestion des réseaux électriques.....   | <b>10</b> |

|   |    |
|---|----|
| <b>1.6.1</b> Gestionnaires et opérateurs du réseau électrique .....                               | 10 |
| <b>1.6.2</b> Gestion du plan de tension .....   | 10 |
| <b>1.7</b> La gestion de la demande dans le réseau électrique.....                                | 10 |
| <b>1.7.1</b> Définition.....  | 10 |
| <b>1.7.2</b> Les stratégies de gestion de la demande.....   | 11 |
| <b>1.7.2.1</b> Efficacité.....  | 11 |
| <b>1.7.2.2</b> Délestage.....   | 11 |
| <b>1.7.2.3</b> Déplacement de charge.....   | 11 |
| <b>1.7.3</b> Les outils de la gestion de la demande.....  | 12 |
| <b>1.7.4</b> Les programmes tarifaires.....   | 13 |
| <b>1.7.4.1</b> La tarification en fonction de l'heure de la consommation (Time-of-use (TOU))..... | 13 |
| <b>1.7.4.2</b> Le prix dynamique en temps réel (Real-Time Pricing (RTP)) .....                    | 14 |
| <b>1.7.4.3</b> La tarification pour la période de pointe (Critical Peak Pricing (CPP)) .....      | 14 |
| <b>1.8</b> Conclusion .....   | 15 |

## ***Chapitre 2 : L'éclairage public***

|   |    |
|---|----|
| <b>2.1</b> Introduction.....  | 16 |
| <b>2.2</b> Définition de la lumière .....   | 17 |
| <b>2.2.1</b> Newton et la naissance de la théorie des couleurs de la lumière..... | 17 |
| <b>2.2.2</b> Composition de la lumière.....                                       | 17 |
| <b>2.3</b> Grandeurs photométriques .....   | 18 |
| <b>2.3.1</b> La photométrie .....   | 18 |
| <b>2.3.2</b> Le flux lumineux .....   | 18 |
| <b>2.3.3</b> L'intensité lumineuse .....  | 19 |
| <b>2.3.4</b> Eclairement.....   | 19 |
| <b>2.3.5</b> Luminance.....   | 20 |

|   |    |
|---|----|
| <b>2.4</b> Caractéristiques lumineuses des lampes .....       | 20 |
| <b>2.4.1</b> Température de couleur .....                     | 20 |
| <b>2.4.2</b> Indice de rendu des couleurs (IRC) .....         | 21 |
| <b>2.5</b> Qu'est-ce que l'éclairage.....                     | 23 |
| <b>2.5.1</b> L'éclairage naturel.....                         | 23 |
| <b>2.5.2</b> L'éclairage artificiel.....                      | 23 |
| <b>2.5.3</b> L'éclairage public.....                          | 23 |
| <b>2.6</b> Historique de l'éclairage.....                     | 24 |
| <b>2.6.1</b> Les techniques primitives.....                   | 24 |
| <b>2.6.1.1</b> Le feu.....                                    | 24 |
| <b>2.6.1.2</b> Les torches.....                               | 24 |
| <b>2.6.1.3</b> Les lampes à combustion .....                  | 24 |
| <b>2.6.1.4</b> La lampe à huile.....                          | 24 |
| <b>2.6.1.5</b> La chandelle.....                              | 25 |
| <b>2.6.1.6</b> La bougie à la cire d'abeille.....             | 25 |
| <b>2.6.1.7</b> La lanterne réverbère.....                     | 25 |
| <b>2.6.1.8</b> La lampe à réservoir constant.....             | 25 |
| <b>2.6.1.9</b> L'éclairage au gaz.....                        | 25 |
| <b>2.6.1.10</b> La lampe à pétrole .....                      | 25 |
| <b>2.6.2</b> Les lampes électriques.....                      | 26 |
| <b>2.6.2.1</b> La lampe à incandescence .....                 | 26 |
| <b>2.6.2.2</b> Les lampes luminescence .....                  | 28 |
| <b>2.6.2.3</b> La Diode Électroluminescente (DEL).....        | 33 |
| <b>2.7</b> Éclairage public solaire.....                      | 35 |
| <b>2.7.1</b> Aperçu des énergies renouvelables pour 2020..... | 35 |
| <b>2.7.2</b> Lampe solaire.....                               | 36 |

## Table des matières

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 2.7.3  | Panneau solaire.....  | 36 |
| 2.7.4  | Appareil d'éclairage.....   | 37 |
| 2.7.5  | Batterie.....   | 37 |
| 2.8    | Composants principaux d'un réseau d'éclairage public.....                   | 38 |
| 2.8.1  | Armoire.....  | 38 |
| 2.8.2  | Câbles réseaux électriques.....   | 39 |
| 2.8.3  | Point lumineux .....  | 39 |
| 2.8.4  | Luminaire.....  | 40 |
| 2.8.5  | Ballast.....  | 40 |
| 2.8.6  | Crosse.....   | 40 |
| 2.8.7  | Mât ou support.....   | 41 |
| 2.9    | Sources d'énergie pour l'éclairage public.....                              | 41 |
| 2.10   | Types d'éclairage public .....  | 41 |
| 2.10.1 | Éclairage routier.....  | 41 |
| 2.10.2 | Eclairage des espaces publics.....  | 42 |
| 2.10.3 | Eclairage des espaces sportifs.....   | 42 |
| 2.10.4 | Eclairage d'ambiance.....   | 43 |
| 2.11   | L'éclairage public dans le monde.....                                       | 43 |
| 2.12   | Normes mondiales.....   | 44 |
| 2.13   | L'éclairage public intelligent : une solution économique et écologique..... | 44 |
| 2.14   | Les nouveaux services permis par l'éclairage public intelligent.....        | 46 |
| 2.15   | Le Top 10 des villes mettant en œuvre des lampadaires connectés.....        | 46 |
| 2.16   | Conclusion.....   | 47 |

## Chapitre 3 : L'éclairage public en Algérie

|     |                   |    |
|-----|-------------------|----|
| 3.1 | Introduction..... | 48 |
| 3.2 | L'Algérie .....   | 48 |

|  |   |    |
|--|---|----|
| <b>3.3</b>   | Consommation d'énergie électrique des communes par wilaya.....                          | 49 |
| <b>3.4</b>   | L'éclairage public en Algérie .....   | 51 |
| <b>3.4.1</b>   | Les sources lumineuses existantes dans l'éclairage public en Algérie .....              | 52 |
| <b>3.5</b>   | Moderniser l'éclairage public en Algérie .....  | 52 |
| <b>3.5.1</b>   | L'éclairage public et intégration des LED .....   | 53 |
| <b>3.5.2</b>   | Système de lampadaire solaire .....   | 55 |
| <b>3.5.2.1</b>   | Lampadaire à une seule crosse .....   | 56 |
| <b>3.5.2.2</b>   | Lampadaire à deux crosses .....   | 56 |
| <b>3.5.2.3</b>   | Crosse fixée au mur.....  | 57 |
| <b>3.6</b>   | L'éclairage public à Saida .....  | 57 |
| <b>3.6.1</b>   | Présentation de la wilaya de Saida.....   | 57 |
| <b>3.6.2</b>   | Inauguration d'une centrale solaire dans la Wilaya de Saida.....                        | 58 |
| <b>3.6.2.1</b>   | Description de la centrale PV d'Ain Skhouna .....                                       | 58 |
| <b>3.6.2.2</b>   | Fonctionnement de la centrale PV d'Ain Skhouna.....                                     | 59 |
| <b>3.6.3</b>   | Les différents types des lampes utilisées.....  | 59 |
| <b>3.6.4</b>   | Les poteaux utilisés .....  | 60 |
| <b>3.6.5</b>   | Le coût de l'éclairage public de la wilaya de Saida .....                               | 60 |
| <b>3.6.5.1</b>   | Le coût d'entretien .....   | 60 |
| <b>3.6.5.2</b>   | Le coût de poteaux .....  | 60 |
| <b>3.7</b>   | Conclusion .....  | 60 |
| <br><b>Chapitre 4 : Gestion de la charge dans l'éclairage public</b> |   |    |
| <b>4.1</b>   | Introduction.....   | 61 |
| <b>4.2</b>   | Présentation de logiciel Homer .....  | 61 |
| <b>4.2.1</b>   | Les interfaces de logiciel Homer. ....  | 62 |
| <b>4.2.2</b>   | Les données d'entrées et résultats.....   | 65 |
| <b>4.3</b>   | Présentation de site d'expérimentation (Cité Soummam –Saida-) et les données solaires.. | 67 |



|  |    |
|--|----|
| <b>4.3.1</b> Les différents types de lampadaires utilisés à city Soummam –Saida-.....  | 67 |
| <b>4.4</b> Etude de cas.....   | 68 |
| <b>4.5</b> La consommation d'énergie par jour de toutes les charges (en KWh) .....   | 68 |
| <b>4.5.1</b> Estimation des besoins énergétiques de système d'éclairage $E_j$ (en KWh/jr) en utilisant des lampes LED.....                           | 68 |
| <b>4.5.2</b> Estimation des besoins énergétiques de système d'éclairage $E_j$ (en KWh/jr) en utilisant des lampes de Sodium haut pression (HPS)..... | 69 |
| <b>4.5.3</b> Analyse des résultats .....   | 70 |
| <b>4.6</b> Modélisation du système .....   | 70 |
| <b>4.6.1</b> Le fonctionnement de ce système.....  | 70 |
| <b>4.6.2</b> Coûts des composants des systèmes d'éclairage public utilisé.....   | 71 |
| <b>4.7</b> Les critères d'évaluation économique .....  | 72 |
| <b>4.7.1</b> Coût total net actuel TNPC.....   | 72 |
| <b>4.7.2</b> Coût de l'énergie CoE.....  | 72 |
| <b>4.8</b> Application de la gestion de la charge au niveau du Cité Soummam.....   | 72 |
| <b>4.8.1</b> Scénario 1 : système d'éclairage public solaire décentralisé avec un seul luminaire LED 150W.....                                       | 73 |
| <b>4.8.1.1</b> Résultats de la simulation.....   | 73 |
| <b>4.8.1.2</b> Analyse des résultats.....  | 75 |
| <b>4.8.2</b> Scénario 2 : système d'éclairage public solaire centralisé (158 luminaires de type LED de 150 W) .....                                  | 75 |
| <b>4.8.2.1</b> Résultats de la simulation.....   | 79 |
| <b>4.8.2.2</b> Analyse des résultats.....  | 77 |
| <b>4.8.2.3</b> Interprétation des résultats.....   | 77 |
| <b>4.9</b> Proposition avec un luminaire de 100 W.....   | 77 |
| <b>4.9.1</b> Analyse des résultats.....  | 79 |
| <b>4.9.2</b> Résultat de simulation Centralisé 100W.....   | 79 |

## *Table des matières*

|  |    |
|--|----|
| <b>4.9.3</b> Analyse des résultats.....        | 81 |
| <b>4.9.4</b> Interprétation des résultats..... | 81 |
| <b>4.10</b> Conclusion .....                   | 81 |
| <b>Conclusion générale</b> .....               | 83 |
| Références bibliographiques.....               | 86 |
| Annexe .....                                   | 92 |

## *Liste des symboles et abréviations*

**SPTE** : Système Production-Transport de l'Electricité.

**GRT** : Les gestionnaires de réseau de transport.

**DR** : Les programmes de réponse à la demande.

**DLC** : Les programmes de contrôle direct de la charge (ou Direct Load Control)

**TOU** : La tarification en fonction de l'heure de la consommation (Time-of-use).

**RTP** : Le prix dynamique en temps réel (Real-Time Pricing)

**CPP** : La tarification pour la période de pointe (Critical Peak Pricing).

**EP** : Eclairage Public.

**MICLAT** : Ministère de l'Intérieur, des collectivités Locales et de l'Aménagement du Territoire.

**IRC** : L'indice de rendu des couleurs.

**ERMA** : Etablissement de Réalisation et de Maintenance de l'Eclairage Public d'Alger.

**CDER** : Centre de Développement des Energies Renouvelable.

**PV** : Photovoltaïque.

**GRTE** : Gestion du Réseau de Transport de l'Electricité.

**CIE** : La Commission internationale de l'éclairage.

**LED** : La Diode Électroluminescente.

**TBT** : Très basse tension.

**HID** : Lampes à décharge.

**VM** : Lampe à vapeur de mercure.

**HM** : Lampe à halogéné métallique.

**CCP** : Coffret de commande et de protection.

**HPS** : Sodium haute pression.

**NTIC** : Nouvelles technologies de l'information et de la communication.

**THD** : très haut débit.

## Liste des symboles et abréviations

**HOMER** : Modèle d'optimisation hybride pour plusieurs ressources énergétiques (Hybrid Optimization Model for Multiple Energy Resources).

**TNPC** : Le cout total actuel net.

**CoE** : Le cout de l'énergie CoE.

**$E_j$**  : Le besoin énergétiques.

**$P_{lampe}$**  : Puissance unitaire de lampe.

**$N_{heures}$**  : Nombre d'heure d'éclairé.

**$N_{lampes}$**  : Nombre de lampe utilise dans le système.

**SSE** : Le système de stockage d'énergie.

**AC** : Alternative courant.

**DC** : Courant continu.

**$Pp_v$**  : Puissance PV nominale.

**$Cp_v$**  : Coût du panneau photovoltaïque.

**Co&M** : Coût annuel de maintenance.

**$\eta_{pv}$**  : Rendement du photovoltaïque.

**$C_{Ba}$**  : Coût de la batterie.

**$P_{conv}$**  : Puissance nominale du convertisseur.

**$C_{conv}$**  : Coût du convertisseur.

**\$** : Dollar américain.

## Liste des figures

### Chapitre 1 : La gestion de la demande

|  |    |
|--|----|
| <b>Figure1.1:</b> Conversion d'énergie.....                                    | 04 |
| <b>Figure 1.2:</b> Les trois processus métier de la demande.....               | 06 |
| <b>Figure 1.3:</b> Méthodes de prévisions.....                                 | 09 |
| <b>Figure 1.4:</b> Tarification en fonction de l'heure de la consommation..... | 13 |
| <b>Figure1.5:</b> Tarification au rebais aux heures de pointe.....             | 14 |
| <b>Figure1.6:</b> Tarification Critical Peak Pricing (CPP).....                | 15 |

### Chapitre 2 : L'éclairage public

|  |    |
|--|----|
| <b>Figure 2.1 :</b> Décomposition de la lumière blanche en couleurs et effet de l'Arc.....               | 17 |
| <b>Figure 2.2 :</b> Composition de la lumière du jour à travers un prisme.....                           | 18 |
| <b>Figure 2.3:</b> Flux lumineux.....  | 19 |
| <b>Figure 2.4:</b> Intensité lumineuse.....  | 19 |
| <b>Figure 2.5:</b> Eclairage.....  | 20 |
| <b>Figure 2.6 :</b> Luminance et Illustration unifiée des données.....                                   | 20 |
| <b>Figure 2.7 :</b> Température de couleur illustrée à travers des sources de lumière artificielles..... | 21 |
| <b>Figure 2.8 :</b> Influence de l'indice de rendu de couleur de la source.....                          | 21 |
| <b>Figure 2.9 :</b> IRC de différentes lampes.....   | 22 |
| <b>Figure 2.10 :</b> Premières sources artificielles de lumière et leur évolution.....                   | 26 |
| <b>Figure 2.11 :</b> Schéma d'une lampe incandescence classique.....                                     | 27 |
| <b>Figure 2.12:</b> Lampe à incandescence halogéné.....  | 28 |
| <b>Figure 2.13 :</b> Technologies à la base des sources artificielles de lumière.....                    | 29 |
| <b>Figure 2.14 :</b> Diverses technologies des lampes à décharge (HID).....                              | 30 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Figure 2.15</b> : Coupe schématique d'une lampe fluorescente tubulaire.....         | 31 |
| <b>Figure2.16</b> : Lampe à vapeur de mercure (VM).....                                | 32 |
| <b>Figures 2.17</b> : Constitution d'une lampe à vapeur de sodium haute pression.....  | 32 |
| <b>Figures2.18</b> : Lampe à halogéné métallique(HM).....                              | 33 |
| <b>Figure2.19</b> : Une diode électroluminescente LED.....                             | 34 |
| <b>Figure2.20</b> : Les statistiques annuelles sur les capacités en matière.....       | 35 |
| <b>Figure 2.21</b> : Lampadaire solaire photovoltaïque.....                            | 36 |
| <b>Figure 2.22</b> : Panneau solaire poly cristallin et monocristallin.....            | 37 |
| <b>Figure2.23</b> : Les composants principaux de l'armoire d'éclairage public.....     | 38 |
| <b>Figure 2.24</b> : Eclairage avec réseau électrique aérien.....                      | 39 |
| <b>Figure2.25</b> : Eclairage avec réseau électrique enterré.....                      | 39 |
| <b>Figure2.26</b> : Principaux composants d'un point lumineux.....                     | 39 |
| <b>Figure 2.27</b> : Principaux composants d'un luminaire.....                         | 40 |
| <b>Figure 2.28</b> : L'éclairage routier.....  | 41 |
| <b>Figure 2.29</b> : L'éclairage des espaces publics.....                              | 42 |
| <b>Figure 2.30</b> : L'Eclairage des espaces sportifs.....                             | 42 |
| <b>Figure 2.31</b> : Eclairage d'ambiance.....   | 43 |
| <b>Figure 2.32</b> : Top 10 des villes mettant en œuvre des lampadaires connectés..... | 47 |

### ***Chapitre 3 : L'éclairage public en Algérie***

|   |    |
|---|----|
| <b>Figure 3.1</b> : Carte géographique de l'Algérie.....  | 49 |
| <b>Figure 3.2</b> : Consommation des communes des 48 wilayas d'Algérie en GWh –<br>année2017..... | 51 |
| <b>Figure 3.3</b> : Consommation de l'éclairage public de l'exerce 2017.....                      | 51 |
| <b>Figure 3.4</b> : Exemple d'un projet de remplacement des HPS par LED en Algérie.....           | 54 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Figure 3.5 :</b> Candélabre solaire à LED réalisé à l'UDES/ CDER- Centre de Développement des Energies Renouvelable-..... | 55 |
| <b>Figure 3.6 :</b> Lampadaire solaire à une crosse.....   | 56 |
| <b>Figure 3.7:</b> Lampadaire à deux crosses.....  | 56 |
| <b>Figure 3.8 :</b> Crosse fixé au mur.....  | 57 |
| <b>Figure 3.9:</b> Site de la Wilaya de Saïda.....   | 58 |

#### ***Chapitre 4 : Gestion de la charge dans l'éclairage public***

|   |    |
|---|----|
| <b>Figure 4.1 :</b> Interface HOMER – Fichier vierge.....   | 63 |
| <b>Figure 4.2 :</b> Interface HOMER – Équipements à ajouter.....                                  | 63 |
| <b>Figure 4.3 :</b> Équipements sélectionnés.....   | 64 |
| <b>Figure 4.4 :</b> Ressources.....   | 64 |
| <b>Figure 4.5 :</b> Interface HOMER – Fichier complété.....                                       | 65 |
| <b>Figure 4.6 :</b> Interface HOMER – Résultats des calculs.....                                  | 65 |
| <b>Figure 4.7 :</b> Données à fournir.....  | 65 |
| <b>Figure 4.8 :</b> Résultats obtenus après simulation.....                                       | 66 |
| <b>Figure 4.9 :</b> Fenêtre des résultats détaillés.....  | 66 |
| <b>Figure 4.10 :</b> Situation de la cité Soummam sur Google Earth.....                           | 67 |
| <b>Figure 4.11 :</b> Plan Soummam.....  | 68 |
| <b>Figure 4.12:</b> Schéma global d'un système d'éclairage public photovoltaïque.....             | 70 |
| <b>Figure 4.13:</b> Le schéma global de système d'éclairage public solaire.....                   | 72 |
| <b>Figure 4.14 :</b> Coût total actuel net pour LED de 150W.....                                  | 74 |
| <b>Figure 4.15 :</b> Production électrique mensuelle moyenne.....                                 | 74 |
| <b>Figure 4.16 :</b> Production PV dans le cas de la configuration décentralisée (LED 150W).....  | 74 |
| <b>Figure 4.17:</b> Coût total actuel net pour 158 luminaires LED de 150W.....                    | 76 |
| <b>Figure 4.18 :</b> Production électrique mensuelle moyenne des 158 luminaires LED de 150 W..... | 76 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Figure 4.19</b> : Production PV dans le cas de la configuration centralisée (LED 150W).....   | 76 |
| <b>Figure 4.20</b> : Coût total actuel net pour LED de 100 W.....                                | 78 |
| <b>Figure 4.21</b> : Production électrique mensuelle moyenne du LED de 100 W.....                | 78 |
| <b>Figure 4.22</b> : Production PV dans le cas de la configuration décentralisée (LED 100W)..... | 79 |
| <b>Figure 4.23</b> : Coût total actuel net pour LED de 100 W.....                                | 80 |
| <b>Figure 4.24</b> : Production électrique mensuelle moyenne Centralisé du LED de 100W...        | 80 |
| <b>Figure 4.25</b> : Production PV dans le cas de la configuration centralisée (LED 100W)...     | 81 |



## Liste des tableaux

### *Chapitre 2 :L'éclairage public*

|  |    |
|--|----|
| <b>Tableau 2.1</b> : Caractéristiques des lampes à incandescence « standard » et halogène..... | 28 |
|--|----|

### *Chapitre 3 : L'éclairage public en Algérie*

|  |    |
|--|----|
| <b>Tableau 3.1</b> : Consommation de l'énergie électrique des communes des 48 wilayas d'Algérie..... | 52 |
|--|----|

|  |    |
|--|----|
| <b>Tableau 3.2</b> : Parc d'éclairage public et points lumineux en Algérie (2018)..... | 54 |
|--|----|

### *Chapitre 4 : Gestion de la charge dans l'éclairage public*

|  |    |
|--|----|
| <b>Tableau 4.1</b> : Rayonnement solaire et indice clarté..... | 71 |
|--|----|

|   |    |
|---|----|
| <b>Tableau 4.2</b> : Le besoin énergétiques de système d'éclairage en quatre saisons..... | 72 |
|---|----|

|   |    |
|---|----|
| <b>Tableau 4.3</b> : Le besoin énergétiques de système d'éclairage en quatre saisons..... | 73 |
|---|----|

|   |    |
|---|----|
| <b>Tableau 4.4</b> : Coût des composants des systèmes d'éclairage public..... | 75 |
|---|----|

|  |    |
|--|----|
| <b>Tableau 4.5</b> : Résultats technique et économique d'un seul luminaire 150W..... | 77 |
|--|----|

|  |    |
|--|----|
| <b>Tableau 4.6</b> : Résultats technique et économique pour 158 luminaires de 150W.... | 80 |
|--|----|

|   |    |
|---|----|
| <b>Tableau 4.7</b> : Résultats technique et économique d'un seul luminaire de 100W..... | 82 |
|---|----|

|   |    |
|---|----|
| <b>Tableau 4.8</b> : Résultats technique et économique pour 158 luminaires de 100W..... | 84 |
|---|----|

# Introduction Générale

## ***Introduction générale***

L'éclairage public est l'un des besoins les plus importants dans notre vie quotidienne qui sert à voir et à être vu et permet d'identifier les piétons et les obstacles. Il sert aussi à mieux comprendre l'organisation de la ville. Il est en effet garant de la sécurité publique, de l'amélioration du cadre de vie des habitants.

Ainsi, l'éclairage public est aussi l'un de postes les plus importants de consommation d'énergie électrique de mairies de grandes villes. Cela est dû à plusieurs raisons notamment la mauvaise gestion de l'éclairage, un mauvais dimensionnement de la puissance à installer ainsi que la non utilisation des lampes adaptées aux besoins. Tous ces facteurs ont un impact non négligeable sur le budget de ces institutions en charge de ce secteur.

D'autre part, l'éclairage public en Algérie est représenté une part conséquente de la consommation d'énergie. Avec la libéralisation du marché de l'électricité et l'augmentation importante des coûts de l'énergie facturée aux communes, l'éclairage public en Algérie est devenu un enjeu majeur. Dans de nombreuses communes, l'énergie consommée par l'éclairage public représente la plus grande proportion de leur facture d'électricité annuelle (la consommation des communes a atteint 4801 GWh, soit 8% de la consommation nationale en énergie électrique, pour un montant correspondant à 27 milliards de dinars en 2017). Généralement la raison principale est l'utilisation de vieille technologie de lampes HPS : D'après les services publics compétents du Ministère de l'Intérieur, des collectivités Locales et de l'Aménagement du Territoire (MICLAT) de l'Algérie trois millions de lampe HPS à décharge en cours d'utilisation. Alors la question qui se pose « Quelles sont les solutions possibles pour consommer moins et exploiter mieux ? ».

Dans ce travail l'intérêt majeur est d'assurer une meilleure maîtrise de la consommation de l'énergie électrique de manière globale pour la réduction de la consommation de l'éclairage public à travers la gestion de la charge.

Dans ce projet de fin d'étude, nous émettons des propositions pour diminuer les pertes d'énergie dans les installations et réduire les factures d'électricité. Nous présentons également une situation optimale applicable au quartier Soummam – Wilaya de Saida. Pour cela notre mémoire comporte quatre chapitres :

- Le premier chapitre sera axé sur la gestion de la demande ou nous allons donner sa définition, objective et caractéristique.
- Le deuxième chapitre sera axé sur l'éclairage public : historique, objectives, les différentes lampes ainsi que sur l'éclairage public solaire.

- Le troisième chapitre présentera l'éclairage public en Algérie et ces différentes sources lumineuses qui possèdent. Ensuite, nous mettrons la lumière sur l'éclairage public au niveau de la wilaya de Saida, les différentes lampes et poteaux utilisées au niveau de l'éclairage de la Wilaya.
- Dans le quatrième chapitre, nous allons étudier un cas réel d'un quartier résidentiel "Cité Soummam- Wilaya de Saida- où lotissement Soummam" qui est déjà éclairé par 158 luminaires de type LED de 150w alimenté par le réseau électrique. Nous allons appliquer l'étude de la gestion de la charge pour valider l'intérêt d'intégration de l'énergie photovoltaïque à travers plusieurs scénarios. Par la suite nous proposerons une solution technico-économique dont le but de montrer le rôle important que peut jouer la gestion de la charge à travers une application réelle.

Nous clôturons notre travail par une conclusion générale mettant en évidence les différents résultats trouvés et les références bibliographiques consultées qui nous ont aidés à enrichir notre mémoire.

# Chapitre 1



## *La gestion de la demande*

## *La gestion de la demande*

### **1.1 Introduction :**

L'énergie électrique est l'une des formes d'énergie la plus consommée partout dans le monde. C'est l'un des facteurs le plus important pour le développement d'un pays. [1]

À chaque instant, notre société a besoin d'électricité pour produire des biens dans les usines, mener des activités commerciales et répondre aux besoins de chaque foyer [2]. "Faire fonctionner le réseau est une question d'égalité de production et de consommation". Les déséquilibres entre production et consommation peuvent entraîner des conséquences juridiques entre les acteurs concernés, producteurs, transporteurs, distributeurs et consommateurs industriels ou résidentiels. L'équilibre entre production et consommation implique donc de connaître les différents profils de charge de tous les différents consommateurs du réseau de distribution. Cela permettra une bonne répartition de l'électricité dans le réseau en fonction de la demande énergétique correspondant à chaque profil de charge du consommateur.

Par conséquent, il est très important de comprendre et d'exécuter les profils de charge des différents consommateurs et de les classer selon leur forme afin d'avoir une bonne répartition et gestion de l'énergie électrique correspondant à chaque type de profil de charge.[1]

Dans ce chapitre nous allons présenter et définir la gestion de la demande en général.

### **1.2 Production d'énergie électrique :**

La production d'énergie électrique est en fait une transformation de l'énergie primaire, par des procédés de conversion de différents types (figure 1.1). Nous pouvons classer les sources primaires en deux grandes familles ; les énergies fossiles que l'on extrait du sol que sont le pétrole, le gaz, le charbon et l'uranium d'une part et d'autre part les énergies renouvelables (solaire, éolien, hydraulique, biomasse) ou de l'activité du magma terrestre comme la géothermie. Le diagramme ci-dessous schématise l'ensemble des voies de production de l'énergie électrique.

Pour ne pas être dépendant d'une seule ressource, il faut que la production de l'énergie électrique soit aussi diversifiée que possible, le choix d'une unité de production d'une ligne, ou d'un poste électrique dépend de leurs caractéristiques (capacité de production ou de transport), de leurs coûts d'investissement, de leurs durées de vie etc. [3]

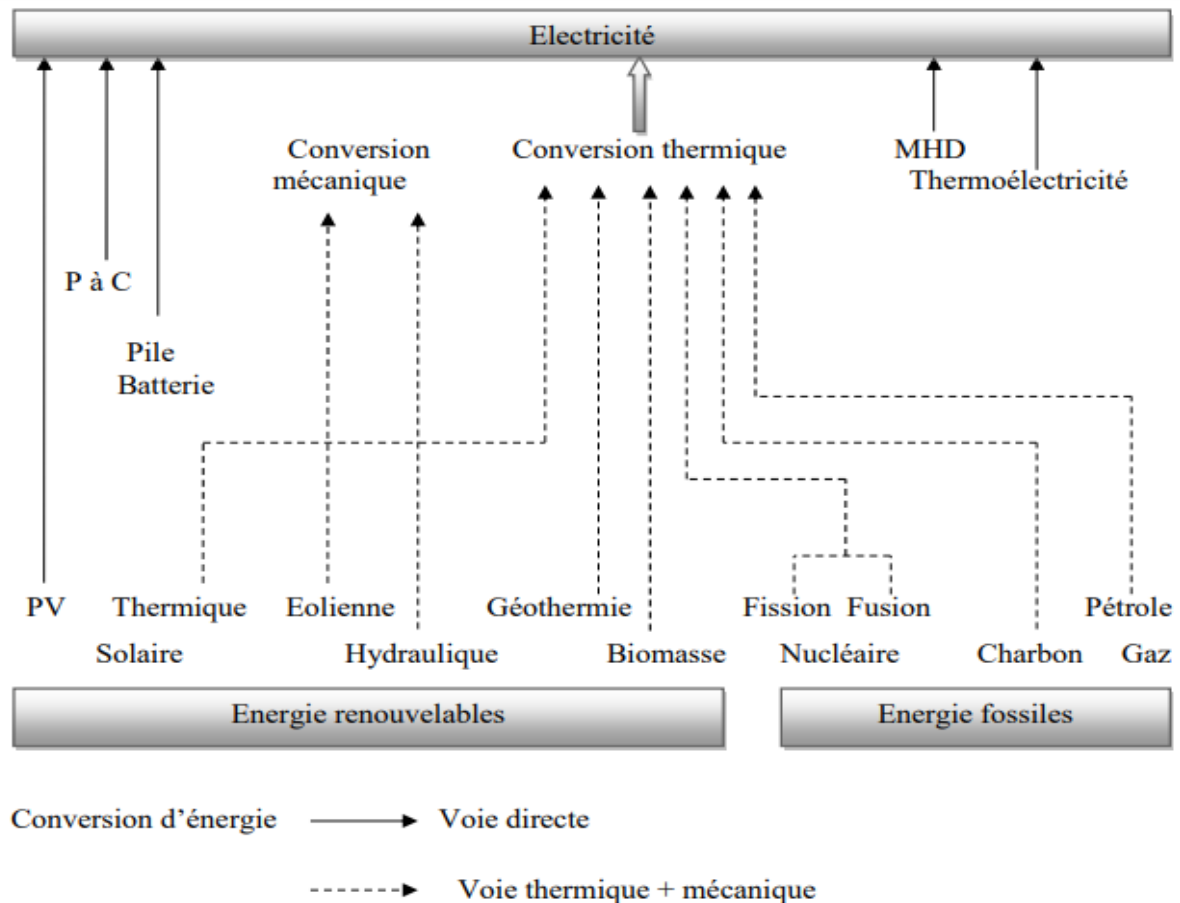


Figure1.1: Conversion d'énergie

### 1.3 Consommation de l'énergie électrique :

La consommation d'électricité, reflet de l'activité économique et sociale du pays, présente un caractère globalement prévisible, mais avec une marge aléatoire notable. A cet effet, il est nécessaire de prévoir la demande, même à très court terme, et cela constitue le principal défi auquel est confronté le gestionnaire du Système Production-Transport de l'Electricité (SPTE) quotidiennement.

### 1.4 La gestion de la demande :

#### 1.4.1 Définition :

La gestion de la demande est la planification et la mise en œuvre de différentes mesures destinées à influencer la façon dont l'énergie est consommée afin qu'un changement se produise dans les modèles de consommation énergétique quotidienne. Ces mesures contribuent à une gestion plus efficace et plus durable du système électrique.

La gestion de la demande permet un fonctionnement plus fiable et économique tout en maintenant l'intégrité opérationnelle du système électrique. L'évaluation de l'efficacité et l'identification des stratégies d'économie d'énergie (telles que le passage d'une utilisation de

pointe à une utilisation hors pointe ou le passage d'une grille tarifaire à une autre) peuvent contribuer à améliorer la rentabilité.

Comme la demande peut souvent varier chaque heure, chaque jour ou chaque mois, des surcharges spécifiques peuvent être réduites ou éliminées en identifiant la source et la durée de la pointe de demande. La Gestion de la Demande peut être configurée pour supprimer les charges non critiques dans des situations où la pointe de demande en électricité menace d'augmenter votre facture d'électricité et de réduire le bénéfice d'exploitation de votre installation. [4]

#### **1.4.2 Objectif de la gestion de la demande :**

L'objectif principal des solutions de gestion de la demande est d'aider les entreprises à prévoir, planifier et gérer la demande de produits, afin de pouvoir optimiser les approvisionnements, la production et la distribution.

En ce sens la gestion de la demande est le processus de base d'une chaîne d'approvisionnement optimisée.

La performance globale de la chaîne d'approvisionnement de l'entreprise dépend directement de la qualité du processus de gestion de la demande.

Les principaux bénéfices à attendre d'une bonne gestion de la demande sont :

- La réduction des niveaux de stock.
- Un ajustement optimal et permanent des niveaux de stock à la politique commerciale voulue (taux de service).
- La réduction de l'obsolescence des stocks.
- Une meilleure productivité et réactivité des unités de production et des moyens de distribution. [5]

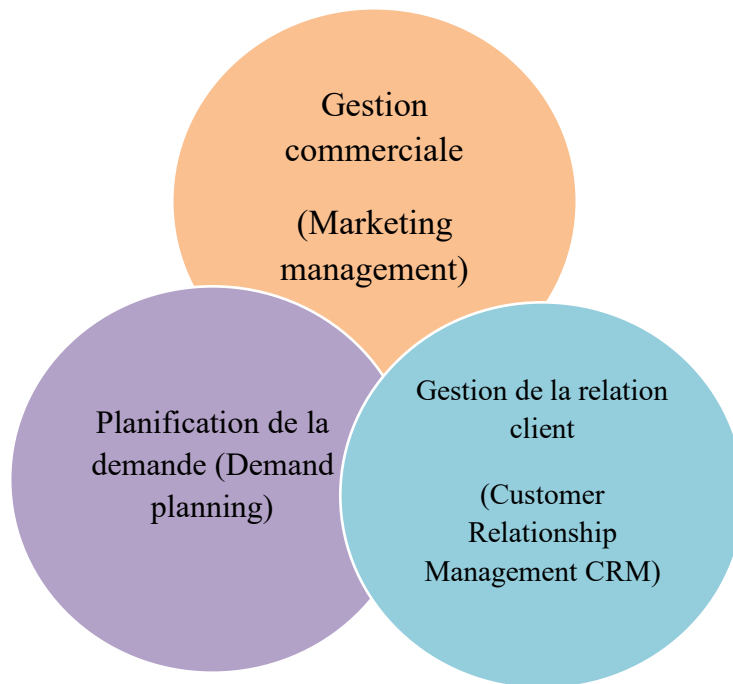
#### **1.4.3 Les processus de la demande :**

Le processus de gestion de la demande est un processus qui évalue à la fois la demande des clients et les capacités de production d'une entreprise, et tente de les équilibrer [6]. Le processus de la gestion de la demande est une interaction entre trois processus métier :

1. Planifier la demande : implique les prévisions et les commandes clients induisent l'activité de production
2. Gestion commerciale (Ensemble des activités de ventes)
3. Gestion de la relation client (CRM)

Une gestion adéquate de la demande est stratégique car elle facilite la planification et l'utilisation des ressources à travers la supply chain. [5]





**Figure 1.2:** Les trois processus métier de la demande.

#### **1.4.4** *Les caractéristiques de la demande :*

- La demande normale ou moyenne actuelle.
- La tendance de la demande (croissance ou décroissance)
- Les variations cycliques sous saisonnière
- La dépendance de la demande sur des facteurs socio-économique.

#### **1.4.5** *Les activités de la gestion de la demande :*

##### *Stratégie passive*

- La prévision de la demande

##### *Stratégie active*

- Les projets de promotion et de publicité

On essaie de modifier la demande durant une période définie pour augmenter l'efficacité de l'exploitation des ressources de l'entreprise.

- Les opérations de gestion des relations avec la clientèle (CRM)

On essaie de fidéliser la clientèle actuelle. [7]

## **1.5 La prévision de la demande :**

### **1.5.1 Définition :**

Les prévisions sont des éléments de base qui servent à coordonner les différents départements d'une compagnie. Lorsque tous les départements utilisent la même prévision dans la planification de leur travail, ils se préparent au même futur et leurs efforts sont coordonnés. Il est donc important que ces derniers fassent leur planification en se basant sur les mêmes hypothèses en ce qui concerne l'avenir. [8]

### **1.5.2 Les lois déterminant les méthodes:**

- **La loi horizontale** : Correspond au cas où les données ne représenteraient aucune tendance (série stationnaire).
- **La loi saisonnière** : Existe quand une série fluctue selon un certain facteur saisonnier
- **La loi cyclique** : analogue à une loi saisonnière, mais la longueur du cycle est supérieure à un an et ne répète pas nécessairement à des intervalles de temps régulier
- **La loi de tendance** : existe lorsqu'on observe une croissance ou une décroissance de la variable avec le temps.

### **1.5.3 Etapes de la prévision de la demande:**

1. Préciser le but de la prévision
2. Déterminer l'horizon de temps
3. Choisir une méthode de prévision
4. Recueillir des données nécessaires
5. Établir un modèle de prévision
6. Évaluer le modèle
7. Exposer les résultats du modèle
8. Alimenter la stratégie de production ou les décisions de lancement
9. Entretenir le modèle de prévision. [9]

### **1.5.4 Horizon de la prévision:**

L'horizon de la prévision se décompose en trois termes selon la demande qui influence sur plusieurs aspects de l'entreprise aussi bien au niveau des opérations journalières que des décisions stratégiques.

#### **a) Court Terme :**

Généralement mesuré en jours ou en semaines et peut aller jusqu'à un an. Au niveau opérationnel, la demande peut amener à déterminer le créneau du travail et elle influe également les fonctions d'approvisionnement, d'expédition et de réception.

***b) Moyen Terme :***

Généralement mesuré en années et peut aller jusqu'à 10 ans. A ce niveau, la demande a un impact sur les stocks de sécurité et sur les contrats avec les clients et les fournisseurs et les prévisions permettent une planification agrégée de la production.

***c) Long Terme:***

Peut aller jusqu'à 20 ans ou plus. Les prévisions de la demande permettent de prendre des décisions stratégiques concernant:

- La planification du capital.
- La structure du réseau de création de valeur.
- La localisation et la mission des unités d'affaires
- Les stratégies de pilotage des réseaux de production et de distribution.

Une entreprise peut avoir plusieurs prévisions, chacune ayant un horizon de planification différent. Cela permet aux gestionnaires de les utiliser pour prendre des décisions fondées sur des délais d'exécution différents. Il est important que les décisions à court terme doivent mener vers les objectifs établis par les décisions à long terme. [8]

***1.5.5 Méthodes prévisionnelles:******1.5.5.1 Méthodes qualitatives:***

Les méthodes qualitatives sont basées sur le jugement humain.

***1.5.5.2 Méthodes quantitatives:***

Les méthodes quantitatives sont générées à partir de modèles mathématiques et économétriques, en se basant sur plusieurs variables qui sont utilisées pour expliquer la variation de la demande comme les modèles cause-effet.

Alors que les séries chronologiques n'utilisent que le temps comme variable ayant une influence sur la demande (utilisation des valeurs historiques).

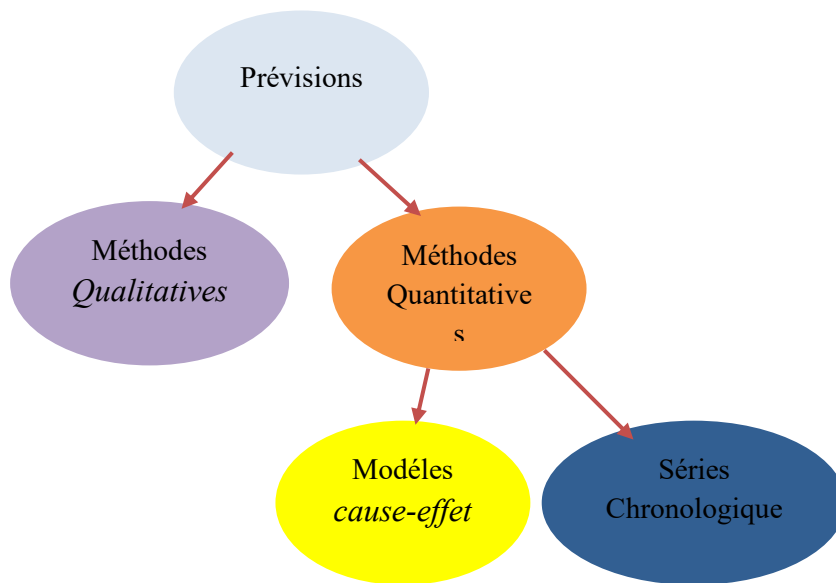


Figure 1.3: Méthodes de prévisions

### 1.5.6 Caractéristiques de prévision :

- ***Elles sont généralement incertaines :***

Les ressources requises et les plans de production peuvent demander à être modifiés si les prévisions de la demande ne sont pas exactes. Le système de planification doit être suffisamment robuste pour réagir en cas d'erreur de prévision non anticipée.

- ***Une bonne prévision est plus qu'une valeur numérique :***

Puisque les prévisions sont généralement incertaines, une bonne prévision doit également inclure une mesure de l'erreur anticipée pour la prévision, et celle-ci peut prendre la forme d'une étendue ou d'une mesure de l'erreur.

- ***Prévisions agrégées sont plus précises :***

L'erreur faite pour la prévision de ventes d'une ligne de produits est généralement moindre que l'erreur faite dans prévision de vente d'un seul item (produit).

- ***Prévisions à long terme sont moins précises :***

Cette caractéristique est assez intuitive. On peut prévoir plus exactement les ventes à court terme que celles à long terme.

## **1.6 Gestion des réseaux électriques :**

### **1.6.1 Gestionnaires et opérateurs du réseau électrique :**

Les acteurs principaux qui s'occupent de la gestion du système électrique sont: Les Gestionnaires du Réseau de Transport Électrique (GRTE) qui s'occupe des infrastructures de transport, de l'exploitation, de la maintenance et du développement du réseau.

- ❖ Les Opérateurs du Système Électrique (OS) (Dispatching): La conduite du système est assurée par l'OS qui est chargé de la coordination du système production-transport de l'électricité et qui veille en particulier à l'équilibre permanent entre l'offre et la demande. Son rôle est avant tout d'assurer la sécurité de fonctionnement du réseau interconnecté.
- ❖ Les Opérateurs du marché (OM) sont chargés de la gestion de l'équilibre offre / demande d'électricité. Leur rôle est essentiellement de recueillir les offres de vente, les offres d'achat, et de faire l'adéquation entre ces offres. Il s'agit d'une organisation de marché de type Bourse Volontaire.

### **1.6.2 Gestion du plan de tension :**

Les gestionnaires de réseau de transport GRT appliquent pour la gestion de la tension sur le réseau production-transport une stratégie qui s'articule autour de deux axes principaux: Rechercher une exploitation à haute tension au niveau des installations de production localisée sur réseau amont, notamment en 400kV. Limiter autant que possible les chutes de tension sur le réseau aval en minimisant les flux de puissance réactive circulant sur le réseau production-transport.

## **1.7 La gestion de la demande dans le réseau électrique :**

### **1.7.1 Définition :**

La gestion de la demande est l'ensemble des actions prises pour modifier la demande de l'électricité en fonction de contraintes financières et techniques liées à la production et à la distribution de l'énergie.

La gestion de la demande est utilisée pour offrir différents services au réseau électrique comme la réduction de la pointe de consommation et l'équilibrage entre la production et la demande.

Comme le réseau électrique doit être dimensionné pour supporter la pointe de la puissance, la réduction de la pointe permet de servir plus de clients en utilisant les mêmes installations. Ceci évite la construction des nouvelles centrales électriques pour répondre à la demande grandissante. Ceci permet également de réduire le coût de la production qui est plus élevé pendant les heures de pointes.

L'équilibre entre la production et la consommation doit être assuré en tout temps. Lorsqu'une panne d'électricité survient, l'opérateur du réseau peut délester « Load Shedding » certaines charges pour rétablir cet équilibre.

Pour éviter de créer une autre pointe de consommation après la période de délestage, il faut répartir la consommation des charges pour niveler leur profil de consommation « Load Shifting ».

Il est possible de gérer continuellement la consommation des charges pour créer des profils de consommation variable « Load Shaping ». Ceci peut être utilisé pour, par exemple, mieux intégrer les productions d'énergies fluctuantes. [10]

### **1.7.2 Les stratégies de gestion de la demande :**

Parmi les stratégies qui peuvent être mises en œuvre pour gérer la charge, on peut mentionner l'efficacité, le délestage et le déplacement de charge.

#### **1.7.2.1 Efficacité:**

Il s'agit de la réduction continue de la consommation d'énergie des charges tout en assurant le même niveau ou un niveau amélioré de fonctionnalité. Cette stratégie permet de réduire la demande non seulement aux heures de pointe, mais également aux autres heures de la journée.

#### **1.7.2.2 Délestage :**

Ce type de stratégie permet de réduire la consommation d'électricité pendant une courte période de temps. Le délestage est généralement mis en place pendant les périodes de pointe et en cas d'urgence en utilisant par exemple un contrôle direct sur certains appareils, permettant de réduire les pics de charge.

#### **1.7.2.3 Déplacement de charge:**

Il fait référence à la capacité de modifier le moment où l'électricité est utilisée. Cela implique un déplacement de la charge des périodes de pointe aux heures creuses. Les applications courantes incluent l'utilisation du préchauffage de l'eau et des locaux avant la période de pointe, de dispositifs de stockage d'énergie et les déplacements de certaines charges des clients.

Pour atteindre la réalisation de ces stratégies, les programmes de réponse à la demande (Demand Response (DR), en anglais) constituent une alternative qui vise à motiver les consommateurs finaux à réagir aux changements de prix à travers des programmes incitatifs au fil du temps en modifiant leurs habitudes normales d'utilisation de l'électricité. En effet, ces stratégies cherchent à influencer de façon directe ou indirecte le profil de la demande et à couvrir les forts appels de puissance de façon efficace avec l'énergie disponible. [11]

### **1.7.3 Les outils de la gestion de la demande :**

Deux grandes catégories de programmes demande réponse coexistent.

La première permet un contrôle automatique de la charge par l'opérateur. Ces programmes reposent sur une incitation financière accordée aux consommateurs,

généralement sous la forme d'un rabais sur leur facture, faisant office de rémunération pour participation. Ils autorisent l'opérateur à couper à distance et momentanément la consommation de certains équipements (généralement thermiques).

Il existe plusieurs types de programmes de contrôle automatique.

- Les contrats interruptibles initialement réservés aux gros industriels sont élargis aux sites tertiaires dans une limite de 200kW. Lorsqu'appelé, le site de consommation doit être en mesure de réduire sa charge dans les 30 à 60 minutes et la maintenir après notification durant plusieurs heures (2 à 6 heures). Le nombre d'appel par an est enfin restreint à une centaine d'heures (Aalami et al., 2010). De manière générale, l'opérateur ou le fournisseur en charge du site est autorisé à contrôler automatiquement les équipements dont la consommation peut être modulée ou effacée. Le consommateur reste autorisé à garder la main sur sa consommation mais fait face à des pénalités en cas de non-respect d'une notification de réduction de charge.

- Les programmes de contrôle direct de la charge (ou DLC pour Direct Load Control). Ils sont principalement utilisés auprès des consommateurs résidentiels qui gardent la main sur l'utilisation de leurs équipements. Une coupure peut être réalisée sur quelques secondes à quelques heures. On trouve différents niveaux possibles d'automatisation grâce aux équipements de smart thermostats couplés ou non avec des offres de tarification qui seront présentées plus bas. Ces appareils agissent sur les équipements de chauffage/climatisation du domicile, les chauffe-eaux, ainsi que sur les appareils électroménagers.

-Le contrôle automatique dote ces instruments de DR d'une réactivité relative qui leur permet de répondre à certaines situations de risques sur les réseaux (congestions), les marchés (forte pointe) ou de l'offre (variation de la production des énergies renouvelables etc.). La présence de pénalités permet de réduire, sans pour autant éliminer, l'incertitude liée au niveau de réponse à une notification d'évènement.

La seconde catégorie de programmes de DR est davantage adaptée à l'atténuation des pics de prix et à l'accroissement de l'efficacité énergétique. Elle rassemble les programmes de contrôle volontaire de la charge. Ces programmes volontaires rassemblent plusieurs instruments incitatifs sous leur ombrelle, d'ordres informationnels ou tarifaires.

La diffusion d'informations est un élément critique dans la réussite d'un programme de DR. Elle peut être directe, c'est-à-dire immédiate à partir du compteur ou d'une interface de contrôle. Ou elle peut être indirecte, via l'envoi de conseils énergétiques sur la facture, par brochure etc.[9]

### **1.7.4 Les programmes tarifaires :**

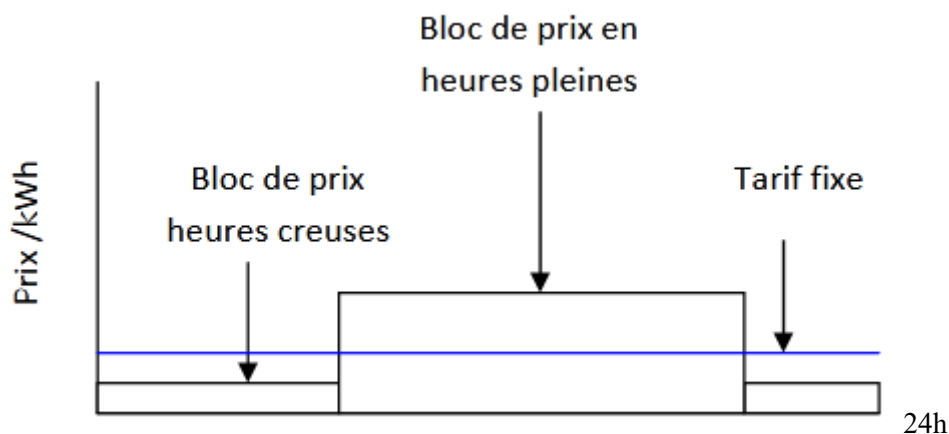
Parmi les programmes de réponse à la demande fondés sur des changements de prix, nous pouvons mentionner :

- La tarification en fonction de l'heure de la consommation (Time-of-use (TOU))
- Le prix dynamique en temps réel (Real-Time Pricing (RTP))

- La tarification pour la période de pointe (Critical Peak Pricing (CPP))

#### 1.7.4.1 La tarification en fonction de l'heure de la consommation (Time-of-use (TOU)):

Le tarif Time of Use (ToU) divise la journée en périodes et applique un tarif différencié selon les périodes. Ces blocs de prix fixés à l'avance permettent de suivre dans une certaine mesure les variations des prix spot journaliers et intègrent généralement une dimension saisonnière. Typiquement, les périodes de la journée enregistrant les pics de demande sont soumis à des prix plus élevés, pour pénaliser l'usage d'électricité à ce moment-là et pousser les utilisateurs à reporter leurs usages lors des périodes creuses. Un tarif ToU peut être plus ou moins sophistiqué et précis selon le nombre de blocs de prix utilisés dans la journée. En guise d'exemple, le tarif français heures pleines/heures creuses propose deux blocs de prix (Figure1.4). Le ToU représente le système de tarification variable le plus utilisé. Proposé depuis plus de trente ans aux Etats-Unis et en Europe, il est le système le plus simple à mettre en place et le moins onéreux car il est compatible avec les compteurs mécaniques traditionnels.



**Figure1.4** : Tarification en fonction de l'heure de la consommation.

Bien qu'il ne soit pas reconnu comme une tarification de pointe, un ToU conçu adéquatement peut avoir un impact positif sur la réduction de la charge en pointe étant donné que les pointes de demande s'inscrivent dans le bloc de prix élevé. L'impact de ce tarif est directement lié au différentiel tarifaire entre les différents blocs. Un écart trop faible n'apporte pas l'incitation nécessaire au consommateur pour déplacer ou effacer sa charge et inversement.

Au regard des tarifications ToU traditionnellement appliquées, le signal tarifaire est généralement trop faible pour représenter une réelle incitation aux yeux des consommateurs à réduire leur demande (Faruqi et Wood, 2008). Cela rejoint les propos de Vickrey (1971) comme quoi le ToU n'offre qu'un degré de flexibilité limité. Faruqi et George (2005) estiment que pour effectivement contraindre les consommateurs à modifier leur



comportement de consommation, le prix en bloc pointe doit être au moins deux fois supérieur au prix hors pointe.

#### 1.7.4.2 Le prix dynamique en temps réel (Real-Time Pricing (RTP)) :

Le tarif au PTR, au lieu d'appliquer un prix plus élevé en pointe, accorde un rabais pour chaque kWh économisé par rapport à une courbe de charge de référence ou baseline durant les heures d'évènement (Figure1.5). Les consommateurs sous PTR sont informés un jour à l'avance des périodes d'évènement. En dehors des notifications, le consommateur est soumis à un tarif ToU ou fixe. Lorsqu'un évènement est notifié, la baseline reflète le profil de charge en bloc de pointe classique, soit ce qui aurait dû être consommé en l'absence d'incitation. L'écart entre cette courbe de référence et ce qui est effectivement consommé représente le gain pour le consommateur.

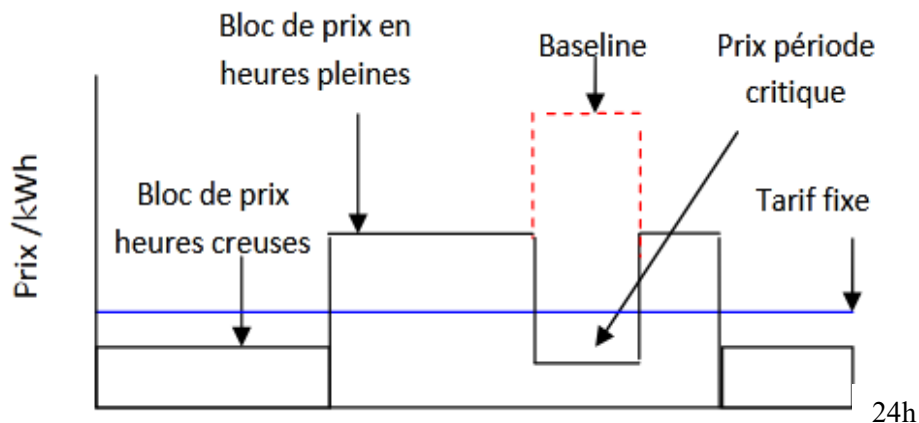


Figure1.5 : Tarification au rebais aux heures de pointe.

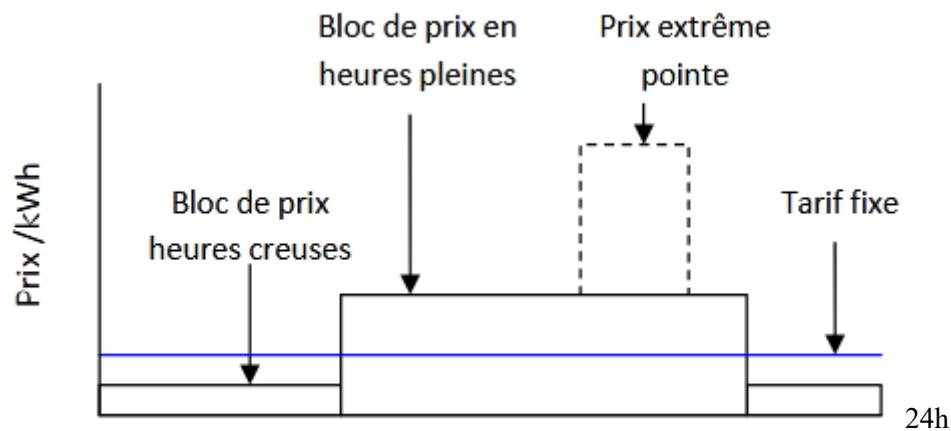
#### 1.7.4.3 La tarification pour la période de pointe (Critical Peak Pricing (CPP)) :

Les tarifications au Critical Peak Pricing (CPP) et au Peak Time Rebate (PTR) constituent deux tarifications spécifiquement conçues pour réduire les appels d'extrême pointe. Ces schémas sont basés soit sur un tarif fixe classique, soit sur un ToU durant la quasi-totalité de l'année (Borenstein, 2012). Seules les 60 à 100 heures d'extrêmes pointes annuelles, ou périodes

d'évènements, sont tarifées à un prix largement plus élevé, censé représenter une incitation suffisante pour induire une réduction de charge significative (Figure1.6). Ces périodes d'extrême pointe sont notifiées 24 heures à l'avance en fonction des fortes hausses observées sur le marché.

Ce type de tarification est déjà connu en France avec le tarif Tempo d'EDF26 pour les particuliers où les prix sont diffusés en J-1 par divers moyens (notamment en se connectant

sur le site web d'EDF). Le CPP a ainsi été introduit par plusieurs pays pour contenir la croissance de la pointe (Nouvelle Zélande, Californie).[12]



**Figure 1.6:** Tarification Critical Peak Pricing (CPP)

### 1.8 Conclusion:

La gestion de la demande occupe une place centrale dans le processus de mise en phase des moyens de production et de consommation, car elle est en charge de tout ce qui concerne les décisions d'investissement en équipements de système électrique. L'objectif principal d'un réseau d'énergie est de pouvoir approvisionner les consommateurs selon leurs besoins.

Dans ce chapitre nous avons présenté la gestion de la demande en générale puis la gestion de la demande dans les réseaux électriques ; nous aborderons dans un chapitre suivant l'éclairage public.

# Chapitre 2



## *L'éclairage public*

## *L'éclairage public*

### **2.1 Introduction :**

Durant des millénaires, l'Homme était tributaire de la lumière naturelle qui constituait sa seule source d'éclairage nécessaire pour effectuer les différentes tâches et activités quotidiennes. Avec l'invention de la lampe à Tungstène par l'américain Thomas Alva Edison<sup>1</sup> en 1879 et son succès commercial accumulé dès le début du 20ème siècle, l'éclairage électrique associé aux nouvelles technologies, a profondément bouleversé les techniques de construction et considérablement atténué le besoin de disposer de prises de jour pour la pénétration de la lumière naturelle.

Ces dernières années, l'utilisation rationnelle de l'énergie est devenue un problème majeur pour répondre à des besoins mondiaux croissants et à la décroissance progressive et inéluctable des ressources naturelles. L'éclairage, avec une consommation mondiale de 19% de l'électricité produite annuellement, est un secteur qui a un rôle important à jouer en vue de la maîtrise de la demande d'électricité. Avec 10% du secteur, l'éclairage public est ainsi en première ligne. [13]

Le Plan d'action national pour l'efficacité énergétique 2009-2020 définit l'engagement du gouvernement à assurer une réduction de 20 % de la consommation d'énergie d'ici 2020. Afin de d'action, il est essentiel que toutes les autorités locales disposent d'un inventaire complet et précis des inventaires complets et précis des actifs d'éclairage public. [14]

L'éclairage public (EP) permet d'illuminer l'espace public, principalement le long de la voirie et sur les places publiques afin de se repérer dans l'espace, se mouvoir ou encore sécuriser les personnes et les biens pendant les heures où la lumière naturelle du soleil est absente ou insuffisante. [15]

L'objectif de l'éclairage public est de :

- Sécuriser les déplacements grâce à une bonne perception des obstacles par tous les usagers, qu'ils soient à pied ou motorisés
- Assurer la sécurité des personnes et des biens par un éclairage d'ambiance satisfaisant
- Repérer aisément les lieux et les points particuliers, carrefours, passages piétonniers, etc.
- Permettre les activités nocturnes, sportives ou autres
- Créer une ambiance agréable en harmonie avec les différents espaces
- Valoriser les bâtiments et les façades ainsi que les espaces verts

- Maîtriser l'intégration des installations, candélabres et luminaires, avec le mobilier urbain dans leur environnement de jour, sans occasionner de gêne majeure. [16]

Dans ce chapitre nous allons parler ; sur l'historique et la base théorique de l'éclairage, cités quelques méthodes de calcul et enfin ; l'éclairage public dans le monde.

## 2.2 Définition de la lumière :

« Rayonnement électromagnétique dont la longueur d'onde, comprise entre 400 et 780 nm, correspond à la zone de sensibilité de l'œil humain, entre l'ultraviolet et l'infrarouge » (Larousse) [17]

### 2.2.1 Newton et la naissance de la théorie des couleurs de la lumière :

En 1662, Newton commence à réaliser des expériences d'optique. Un de ses premiers projets est de construire une lunette astronomique. Il polit alors des lentilles et tente d'améliorer l'instrument en se débarrassant des couleurs qui apparaissent sur le bord des images (il n'y parviendra d'ailleurs pas et décidera de se passer de lentilles ; c'est pour cette raison qu'il mettra au point un télescope à miroir).

En 1666, lors de ses expériences d'optique, Newton fait passer de la lumière solaire blanche à travers un prisme de façon à la décomposer en rayons lumineux de différentes couleurs, comme le fait le rebord d'une lentille. D'autres avant lui avait réalisé le même genre d'expérience, mais Newton est le premier à comprendre que la lumière blanche est faite d'un mélange de rayons de lumière de couleurs différentes. [18]

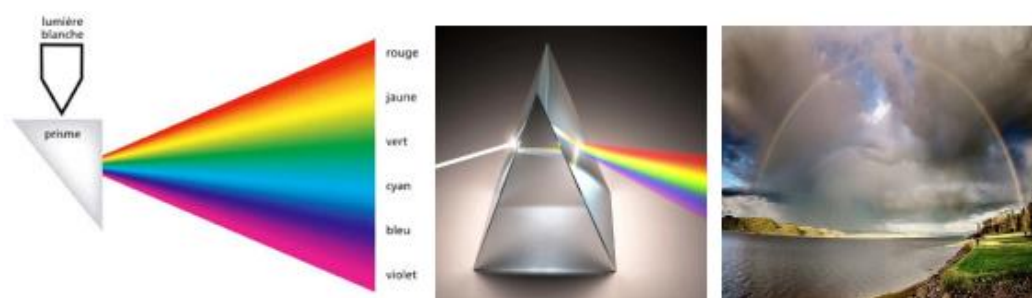
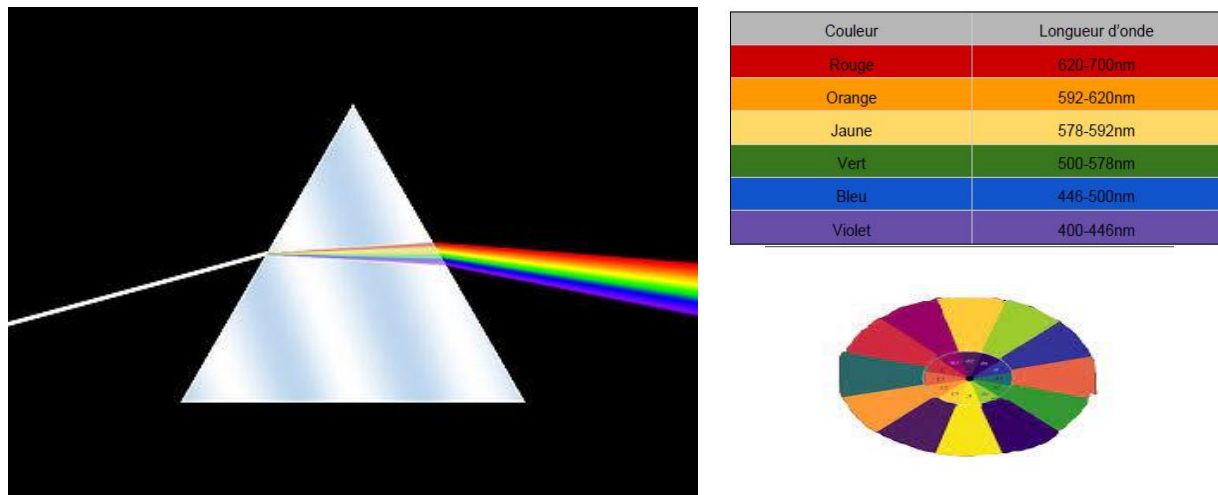


Figure 2.1 : Décomposition de la lumière blanche en couleurs et effet de l'Arc

### 2.2.2 Composition de la lumière :

La lumière est une énergie radiante perçue visuellement par l'œil. Elle provient de sources naturelles (soleil, étoiles) ou artificielles (ampoule) ou d'un objet réfléchissant la lumière comme la lune quand elle est éclairée par le soleil. La lumière est composée de plusieurs couleurs allant du rouge au violet qui correspondent à différentes longueurs d'onde (Figure 2.2). L'ensemble de ces longueurs d'onde constituant la lumière est appelé spectre, il est compris entre 380 et 780 nanomètres ( $1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$ )



**Figure 2.2 :** Composition de la lumière du jour à travers un prisme

### 2.3 Grandeurs photométriques :

Les grandeurs photométriques sont à la base de toutes les mesures en éclairage et il en existe quatre fondamentaux : L'intensité lumineuse ; le flux lumineux ; l'éclairement (lux) ; la luminance (candela/m<sup>2</sup>).[19]

#### 2.3.1 La photométrie :

La photométrie est la science qui traite la mesure de la lumière comme de la luminosité perçue par l'œil humain. Elle étudie la capacité du rayonnement électromagnétique à stimuler le système visuel en mesurant la gamme de longueurs d'onde de la lumière visible à l'aide d'un photomètre.[20]

Les grandeurs photométriques sont à la base de toutes les mesures en éclairage et il en existe 4 fondamentales :

- Le flux lumineux,
- L'intensité lumineuse,
- L'éclairement lumineux,
- La luminance [21]

#### 2.3.2 Le flux lumineux :

Le flux lumineux ( $\Phi$ ) est quantité de lumière émise par une source lumineuse. L'efficacité lumineuse, quant à elle, est le quotient du flux lumineux par la quantité d'énergie électrique consommée (lumen/Watt). Elle indique la rentabilité d'une source lumineuse. [22]

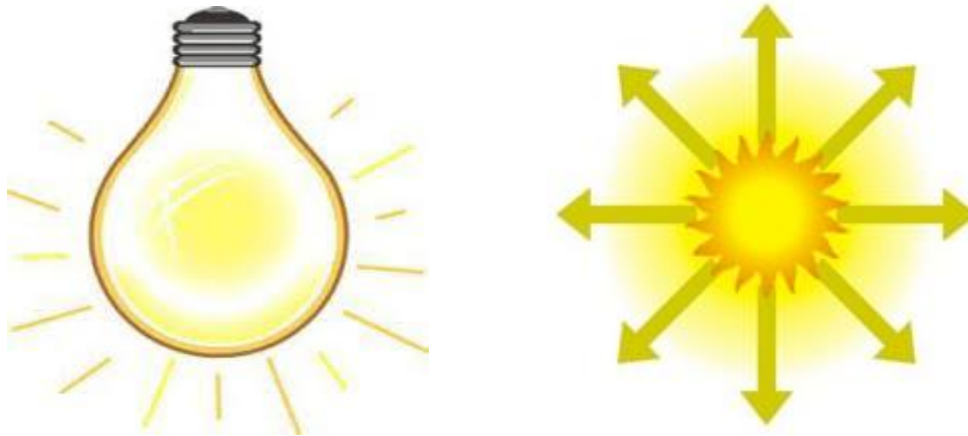


Figure 2.3: Flux lumineux

### 2.3.3 L'intensité lumineuse :

L'intensité lumineuse est une grandeur physique qui correspond à la capacité d'une source ponctuelle de lumière à éclairer dans une direction donnée. Elle quantifie donc la quantité de lumière émise dans cette direction et est liée à la notion de luminosité. Son unité de mesure officielle est la candela (cd), ce qui signifie « chandelle » en latin. L'intensité lumineuse est indépendante de la distance d'observation : elle ne caractérise pas la quantité de lumière observée, mais la quantité de lumière émise. [23]

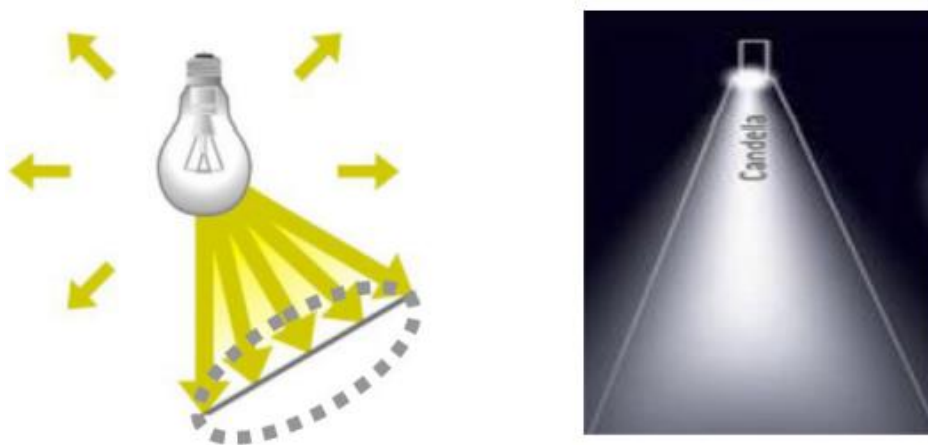


Figure 2.4: Intensité lumineuse

### 2.3.4 Eclairement :

L'éclairement (E) est la quantité de flux lumineux reçue par une surface S. Il est exprimé en lux (lx) ou lm/m². L'éclairement ne se voit pas.

$$E = \frac{\Phi}{S} \quad (2.1)$$

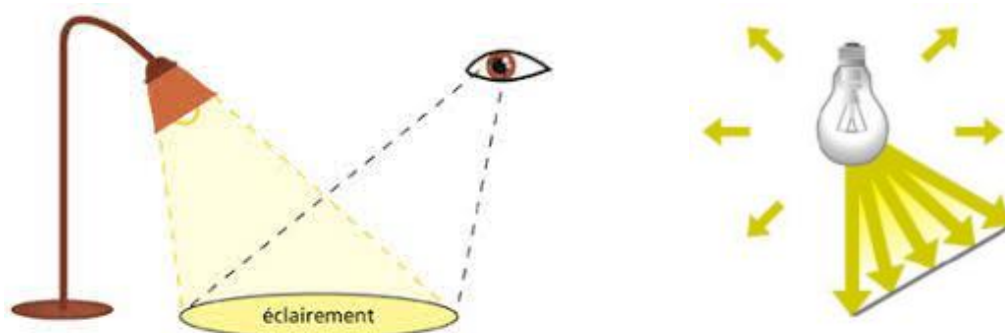


Figure 2.5: Eclairage.

### 2.3.5 Luminance :

La luminance est la seule grandeur réellement perçue par l'œil humain. Elle représente le rapport entre l'intensité de la source dans une direction donnée et la surface apparente de cette source. Elle s'exprime en candela par mètre carré ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ). L'œil humain perçoit des valeurs de luminance allant de 0,001 à 100 000  $\text{cd}/\text{m}^2$ . [23]

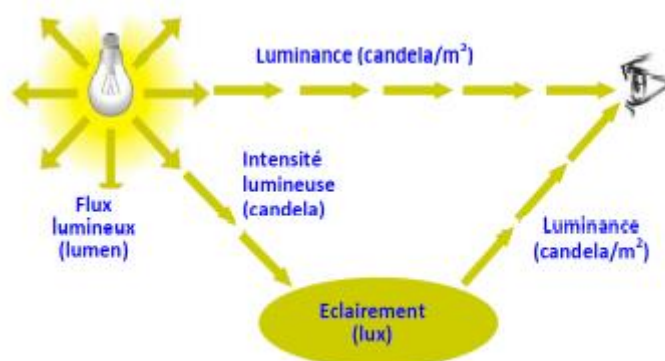


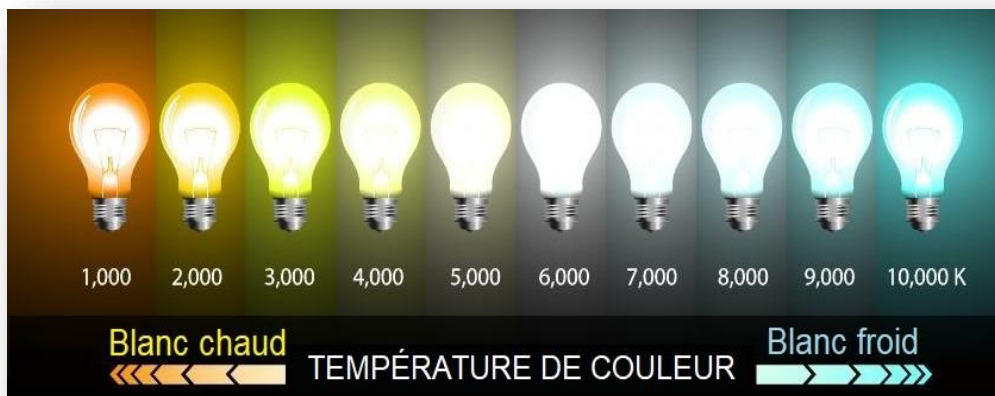
Figure 2.6 : Luminance et Illustration unifiée des données

## 2.4 Caractéristiques lumineuses des lampes :

### 2.4.1 Température de couleur :

La température de couleur permet de déterminer la température (effective ou "virtuelle") d'une source de lumière à partir de sa couleur. Elle se mesure en kelvins. La couleur d'une source lumineuse est comparée à celle d'un corps noir théorique chauffé entre 2 000 et 10 000 K, qui aurait dans le domaine de la lumière visible un spectre d'émission similaire à la couleur considérée. La plage de températures de couleur est illustrée par la figure 2.7. [24]



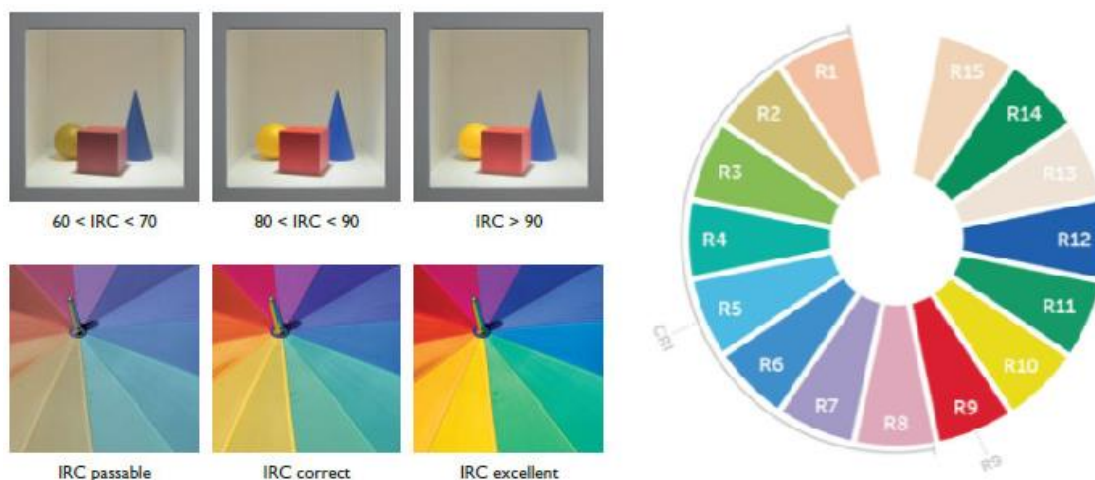


**Figure 2.7 :** Température de couleur illustrée à travers des sources de lumière artificielles.

### 2.4.2 Indice de rendu des couleurs (IRC) :

L'indice de rendu de couleurs IRC désigne la précision avec laquelle les couleurs d'un objet seront restituées. L'IRC s'établit sur une échelle de 0 (mauvais) à 100 (parfait). Une source caractérisée par un bon indice de rendu des couleurs émet une lumière contenant toutes les couleurs (toutes les longueurs d'onde) du spectre visible, restituant ainsi la couleur réelle des objets. [25]

L'IRC est normalisé par la Commission internationale de l'éclairage (CIE) et défini en comparant la source de lumière à tester à une source de référence ayant la même température de couleur. Le test de rendu de couleur s'effectue sur les 15 couleurs sélectionnées, puis on établit une moyenne des résultats pour produire l'IRC ; celui-ci est le résultat d'une moyenne des rendus de chacune des couleurs. La couleur rouge (R9) étant la plus difficile à restituer, celle-ci est souvent pauvre. [26]



**Figure 2.8 :** Influence de l'indice de rendu de couleur de la source

### **Un IRC entre 0 et 70 :**

Rappelons que les sources lumineuses qui présentent un indice de rendu des couleurs de moins de 70 altèrent la perception des couleurs.

Cette tranche d'indice inclut :

- Les tubes fluorescents dits blanc industrie
- Les lampes à vapeur de sodium basse pression
- Les lampes à vapeur de sodium haute pression (à l'exception des lampes blanches)
- Les lampes claires au mercure

### **Un IRC entre 70 et 90 :**

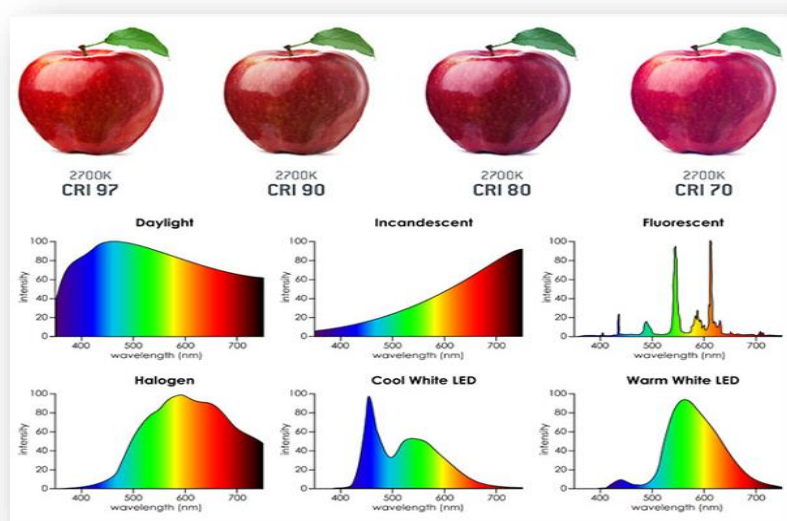
Ces sources lumineuses révèlent les couleurs de façon satisfaisante. Parmi elles, nous retrouvons :

- Les lampes DEL standards
- Plusieurs tubes fluorescents
- Certaines lampes aux halogénures métalliques
- Les lampes sodium haute pression blanches

### **Un IRC entre 90 et 100**

Les sources de lumière dont la valeur de l'IRC est supérieure à 90 présentent les couleurs de façon plus exacte et permettent de distinguer toutes les nuances des couleurs. Celles-ci incluent :

- Les lampes DEL haute-fidélité
- Certaines lampes aux halogénures métalliques
- Les sources incandescentes (les lampes classiques et halogènes))[27]



**Figure 2.9 :** IRC de différentes lampes

## 2.5 Qu'est-ce que l'éclairage :

Selon le dictionnaire Larousse :

Application de la lumière aux objets ou à leur entourage pour qu'ils puissent être vus ; action, manière d'éclairer, de s'éclairer ; ensemble des appareils qui distribuent une lumière artificielle. [28]

### 2.5.1 L'éclairage naturel :

L'éclairage naturel reste un choix prépondérant dans nombre de situations et de modes de vie. Il faut différencier deux types de sources de lumière naturelle : la lumière naturelle directe et la lumière naturelle diffuse. Ainsi, le soleil fournit un éclairage direct, puissant et changeant, alors que le ciel est une source de lumière plutôt diffuse et stable.

✓ L'utilisation de l'éclairage naturel apporte de nombreux avantages tant physiologiques que psychologiques. La lumière fournie par le soleil et le ciel est rayonné sur tout le spectre, ce qui rend la couleur des objets réelle. La lumière naturelle ne consomme pas d'énergie. La quantité de lumière disponible varie en fonction du jour de l'année, de l'heure et des conditions climatiques ; dans un certain nombre de cas, la lumière naturelle peut être suffisante pour éclairer convenablement nos intérieurs.

✓ La lumière naturelle n'est cependant pas parfaite : elle change constamment d'intensité et de couleur. Elle peut atteindre de très fortes valeurs de luminance et créer un certain éblouissement (par exemple, si les rayons directs du soleil pénètrent dans un local). Il pourra donc être nécessaire de prévoir des moyens de protection vis-à-vis de cette source. [29]

### 2.5.2 L'éclairage artificiel :

Depuis l'invention de l'ampoule à incandescence au XIX<sup>e</sup> siècle par Thomas Edison, l'éclairage artificiel s'est développé dans tous les secteurs : éclairage routier, éclairage des logements et des bureaux, éclairage décoratif, etc. L'éclairage artificiel présente l'avantage d'être continuellement disponible, à la condition d'être alimenté en énergie. Quelle que soit l'heure du jour ou de la nuit, il est possible de s'éclairer. Mais l'éclairage artificiel a également ses limites car, ayant besoin d'énergie pour fonctionner, il entraîne nuisances, de plus, s'il est mal utilisé (trop de lumière, flux mal dirigé, etc.), il sera source de pollution lumineuse. [30]

### 2.5.3 L'éclairage public :

L'éclairage publics est l'ensemble des moyens d'éclairage mis en œuvre dans les espaces publics, à l'intérieur et à l'extérieur des villes, très généralement en bordures des voiries et places, nécessaires à la sécurité ou à l'agrément de l'homme. L'éclairage public permet aux usagers de se déplacer en sécurité sur la chaussée et sur les trottoirs. Il participe au confort de vie des habitants, valorise l'espace urbain (visibilité, lisibilités, esthétique),

contribue à l'économie du territoire en renforçant son attractivité (patrimoine, animation de la vie nocturne) [31]

## **2.6 Historique de l'éclairage :**

Il est difficile d'imaginer une technologie plus efficace que l'éclairage. Comme vous pouvez l'imaginer, l'éclairage a parcouru un long chemin pour arriver là où il en est aujourd'hui. [32]

### **2.6.1 Les techniques primitives :**

Lors de la période préhistorique, les Hommes ont appris à maîtriser le feu et ont employé des moyens d'éclairage très simples.

#### **2.6.1.1 Le feu :**

Les Hommes commencent à maîtriser le feu pendant la Préhistoire environ 450 000 ans avant J.C. Obtenu en frottant un silex contre une pierre riche en fer et un feutre naturel (amadou) au-dessus d'un tas de bois : le feu est le premier moyen d'éclairage artificiel.

#### **2.6.1.2 Les torches :**

Selon \*l'Illuminating Engineering Society, "la première tentative d'éclairage artificiel a eu lieu il y a environ 70 000 ans. La première lampe a été inventée, faite d'une coquille, d'une roche évidée ou d'un autre objet ininflammable similaire, qui a été remplie d'un matériau combustible (probablement de l'herbe ou du bois séché), saupoudrée de graisse animale (l'essence à briquet originale) et allumée".

Les torches portatives et celles qui sont montées sur les bâtiments ont bien progressé au-delà de leur début rudimentaire, mais les principes de base restent les mêmes : la source de combustible est une sorte d'huile, de cire ou de matière combustible entourée d'une matière ininflammable. Invention du feu et utilisation des premières torches. Des torches améliorées utilisant de la graisse animale et de la mousse.

#### **2.6.1.3 Les lampes à combustion :**

De l'Antiquité au 19ème siècle, l'éclairage s'obtient grâce à la combustion d'huiles, de pétrole ou de gaz. Différentes techniques se succèdent afin d'améliorer l'utilisation des lampes.

#### **2.6.1.4 La lampe à huile :**

Les lampes à huiles les plus anciennes ont été retrouvées il y a plus de 15000 ans. Celles-ci sont constituées d'un réservoir contenant des huiles végétales, et sont munies d'un bec avec une mèche.

### **2.6.1.5 La chandelle :**

La chandelle est un dispositif d'éclairage à flamme formé d'une mèche entourée de matière combustible solide. Au Moyen Âge, la mèche est composée de chanvre ou d'étoupe et plus tard en coton. Le combustible est généralement du suif de mouton ou de bœuf. La chandelle brûle avec une odeur forte et en émet une fumée noire.

### **2.6.1.6 La bougie à la cire d'abeille :**

La bougie est inventée au Moyen-Âge. Elle est constituée d'un bloc de cire dont le centre est traversé par une mèche en fil de coton tressée et imbibée d'acide borique (combustible). Au XIV<sup>ème</sup> siècle, la ville Algérienne de Béjaïa (anciennement appelée Bougie) qui fournit une grande quantité de cire pour la fabrication de ces nouvelles chandelles, donne son nom à la bougie. La bougie est plus chère que la chandelle mais elle émet une odeur plus agréable et moins de fumée.

### **2.6.1.7 La lanterne réverbère :**

En 1744, un ingénieur Français, Dominique-François Bourgeois, surnommé Bourgeois de Château blanc, met au point la lanterne à réverbère. C'est une lampe à combustion munie d'une mèche de coton, plongée dans de l'huile. Elle brûle sur une longue durée et possède des réflecteurs argenté (miroirs) qui réverbèrent la lumière vers le sol.

### **2.6.1.8 La lampe à réservoir constant :**

Le chimiste français Joseph Louis Proust invente la lampe à réservoir à huile séparé en 1780. Appelée « lampe à niveau constant », elle possède un réservoir d'huile et elle utilise le principe des vases communicants pour alimenter la mèche de manière constante. [33]

### **2.6.1.9 L'éclairage au gaz :**

Les premiers essais de l'éclairage au gaz remontent au début du 19<sup>ème</sup> siècle (quartiers et avenues de prestige). Londres éclaire dès décembre 1813 le pont de Westminster. Grâce à la première usine à gaz, Bruxelles s'équipe progressivement à partir de 1819 pour devenir en 1825, la première ville d'Europe entièrement éclairée au gaz. [34]

### **2.6.1.10 La lampe à pétrole :**

Le pharmacien polonais Ignacy Lukasiewicz invente la lampe à pétrole en 1853. C'est un luminaire muni d'un réservoir contenant du pétrole distillé et d'une cheminée de verre. La mèche trempée brûle le pétrole par capillarité, c'est à dire en l'absorbant. [35]



**Figure 2.10 :** Premières sources artificielles de lumière et leur évolution.

## **2.6.2 Les lampes électriques :**

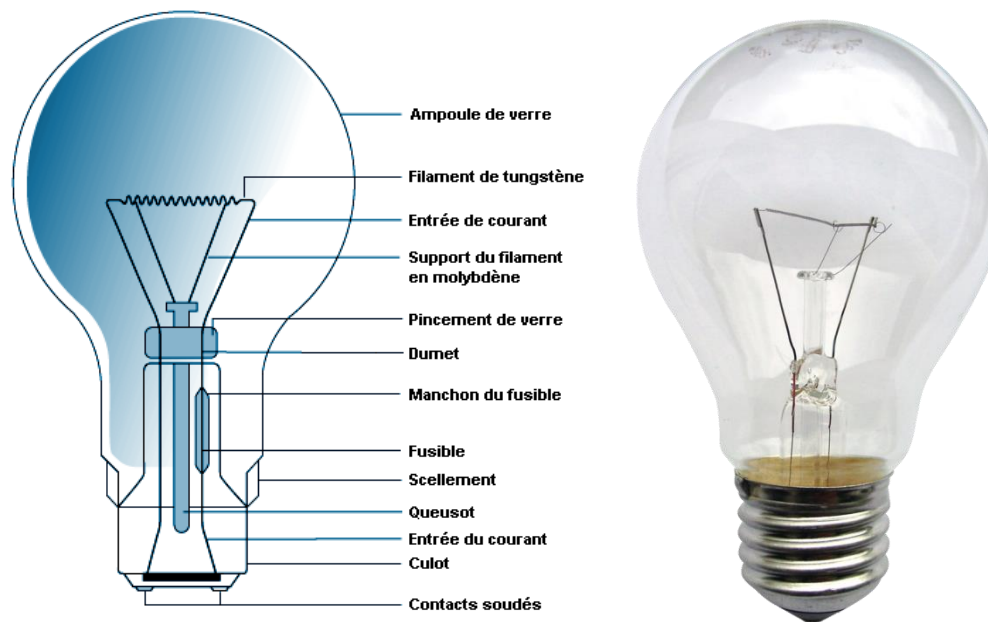
Finalement le 19ème siècle marque l'avènement de l'électricité. Aujourd'hui, nous utilisons encore cette énergie pour nous éclairer, même si les solutions techniques ont bien changé.

### **2.6.2.1 La lampe à incandescence :**

#### **a. La lampe à incandescence standard :**

Les lampes à incandescence « classiques » figure 2.11 sont utilisées pour l'éclairage domestique intérieur, elle est inventée en 1835 par James Bowman Lindsay, développée par Joseph Swan en 1860. Puis par Thomas Edison en 1879 dans sa version industrielle. Il s'agit d'une ampoule dans laquelle le courant électrique circule dans le fil conducteur et traverse un filament en tungstène. Le tungstène est un matériau capable de résister à une température de  $3400^{\circ}\text{C}$ [35]. Ce filament résiste donc au passage des électrons et chauffe jusqu'à devenir incandescent. Il produit ainsi de la lumière. Ces lampes ont un rendement lumineux faible à cause de la plus grande partie de l'énergie électrique est convertit en chaleur plus qu'en lumière





**Figure 2.11 :** Schéma d'une lampe incandescence classique

Les avantages des lampes classiques sont :

- Une lumière chaleureuse, propice à la relaxation
- Un spectre continu, donc un confort pour le système visuel
- Un allumage instantané
- La possibilité d'être utilisée avec un gradateur sans dommages
- Elle est silencieuse, sans oscillation ou grondement
- Elle ne contient aucun produit toxique ou dangereux
- On la retrouve dans une grande panoplie de tailles, de formes et de puissances [36]

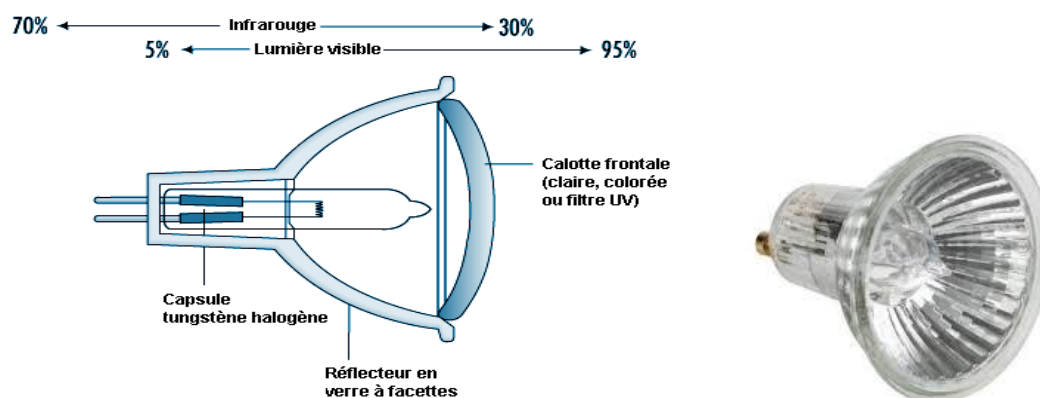
Les inconvénients sont :

- Très mauvais rendement puisque 92 à 95% de l'énergie électrique est perdue en chaleur ; seule 5 à 8% de l'électricité consommée est transformée en lumière.
- L'intensité lumineuse diminue avec le temps.
- La durée de vie n'excède pas 1000 heures.
- Risques de brûlures dus à la température élevée de l'ampoule. [37]

### ***b. Les lampes à incandescence halogéné :***

En 1959 Edward G. Zubler et Frederick Mosby, ingénieurs de General Electric inventent la lampe à incandescence halogène. Ils se basent principalement sur un brevet de 1933 décrivant la redéposition du tungstène sur le filament et l'usage de l'iode qui est un gaz halogène. Ces gaz permettent aux fragments de tungstène qui se détachent du filament de s'y redéposer. Le filament se dégrade donc moins vite et autorise un échauffement beaucoup plus important, produisant une lumière plus forte et plus blanche qu'une lampe à incandescence

outre, l'ampoule ne noircit pas. En variété de lampes halogènes dont la puissance varie de 20 à 500 Watts. Les plus courantes sont les puissantes lampes allongées en forme de crayon ainsi que les lampes très basse tension (TBT) en forme de petits spots. [38]



**Figure 2.12:** Lampe à incandescence halogéné

Les avantages des lampes à incandescence halogéné sont :

- Aucun risque sanitaire
- Peuvent être jetées avec les ordures ménagères
- Allumage instantané
- Rendement lumineux 30% supérieur à celui d'une ampoule classique : une ampoule halogène 70W éclaire autant qu'une incandescence classique de 100W
- Bon rendu des couleurs

Leurs inconvénients sont :

- Durée de vie limitée (2000h)
- Risques de brûlures du fait de la température de l'ampoule
- Ne supportent pas les cycles marches/arrêts répétés [39]

| Types de lampe | Efficacité lumineuse (lm/W) | Durée de vie (h) | Température de couleur(5) (K) |
|----------------|-----------------------------|------------------|-------------------------------|
| Standard       | 12-14                       | 1000             | 2700                          |
| Halogène       | 17-27                       | 3000-5000        | 2900-3100                     |

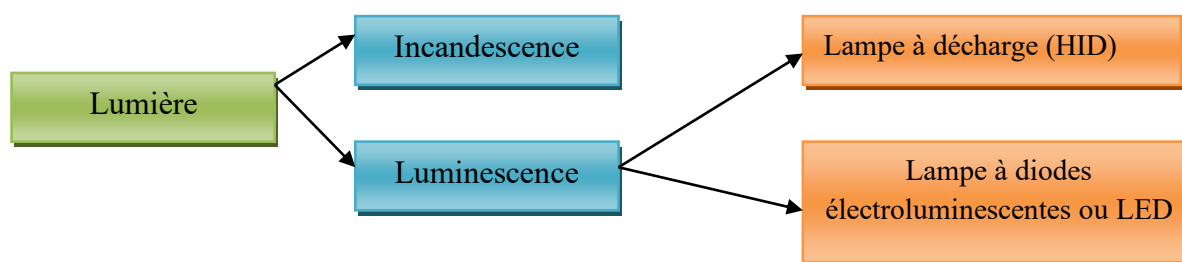
**Tableau 2.1** - Caractéristiques des lampes à incandescence « standard » et

### 2.6.2.2 Les lampes luminescence :

La luminescence est à la base de toutes les radiations visibles autres que thermiques, d'où une lumière qualifiée de froide contrairement à celle chaude obtenue par incandescence (Figure2.13). Les solutions d'éclairage à base de cette technologie, exploitent le phénomène d'émission d'une radiation lumineuse par la matière, qui peut être gazeuse, liquide ou solide, lorsqu'elle est soumise à un mode d'excitation particulier [40]



Le principe de la luminescence est utilisé dans les lampes à décharge et LED. Ce type de lampes est caractérisé par un grand rendement énergétique :



**Figure 2.13 :** Technologies à la base des sources artificielles de lumière.

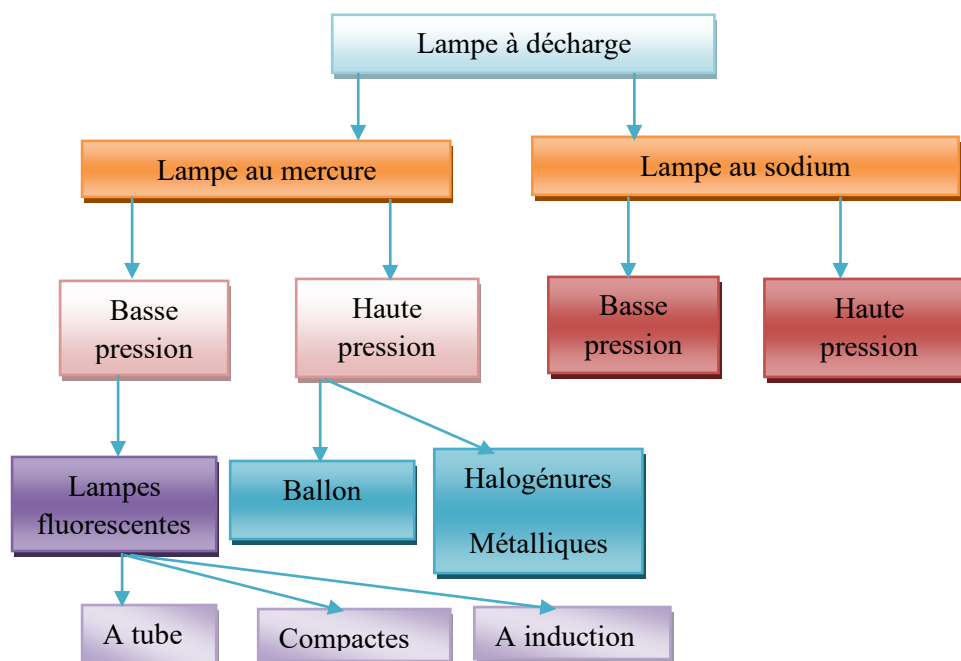
### **a. La lampe à décharge :**

L'origine des premières observations de décharges électriques dans des gaz raréfiés remonte à 1675, quelques années après l'invention du baromètre par Torricelli (1644). Jean Picard note des phénomènes lumineux dans le « vide » au-dessus du mercure. C'est seulement en 1846 que Julius Plücker, assisté du verrier Heinrich Geissler, réalise des décharges électriques dans des « tubes à vide » à l'aide des bobines d'induction de Ruhmkorff. De nombreux chercheurs comme Hittorff, Crookes et Goldstein constatent que les phénomènes lumineux obtenus varient avec la pression et aussi avec la nature des gaz ou des vapeurs en présence. Le premier essai d'éclairage est expérimenté en 1894 par D. McFarlane Moore, avec l'azote puis le dioxyde de carbone. [41]

La lumière est produite par une décharge électrique créée entre deux électrodes au sein d'un gaz dans une ampoule de quartz. Toutes ces lampes nécessitent donc un ballast pour limiter le courant dans l'arc. Le spectre d'émission et l'IRC dépendent de la composition du gaz et s'améliorent avec l'augmentation de la pression. Plusieurs technologies ont donc été développées pour différentes applications.

Ainsi que la pression avec laquelle il est confiné à l'intérieur de l'ampoule, le classement de celles-ci ne peut pas échapper à ces deux critères [42]:

1. Pression (lampes à décharge basse ou haute pression)
2. Nature du gaz utilisé (Lampes à mercure ou au sodium)



**Figure 2.14** : Diverses technologies des lampes à décharge (HID).

Ce type de lampes à cathode regroupe :

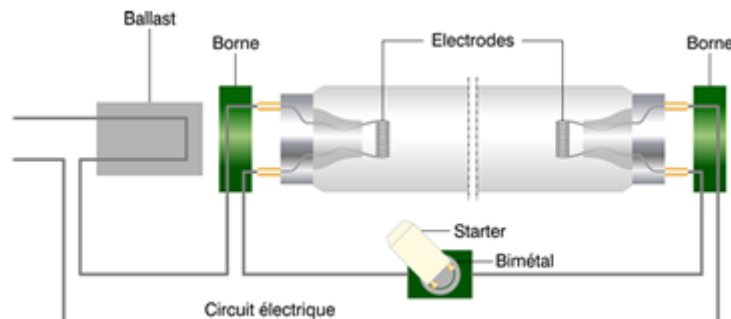
- Les lampes à vapeur de mercure,
- Les lampes à iodures métalliques,
- Les lampes à vapeur de sodium, haute pression, basse pression,
- Et également les tubes fluorescents. Ces lampes ont une grande efficacité lumineuse, pour un même flux lumineux elles consomment en moyenne quatre fois moins qu'une lampe à incandescence.

### **b. Lampes basse pression :**

#### **➤ Le tube fluorescent**

Les premières expériences en laboratoire relatives aux poudres fluorescentes et phosphorescentes datent de 1857 (A.E. Becquerel). Dès 1860, J.T. Way réalise les premières manipulations de décharge électrique dans la vapeur de mercure, et il faut attendre 1901 pour que Cooper Hewitt construise une lampe à décharge de mercure basse pression stabilisée à l'aide de lampes à incandescence. En 1935, au congrès de l'IES (Illuminating Engineering Society) à Cincinnati, André Claude présente le premier tube fluorescent à « cathode chaude ». Les premiers tubes apparaissent sur le marché américain en 1938. Dans ces tubes, une décharge électrique provoque la collision d'électrons avec des ions de vapeur de mercure, d'où un rayonnement ultraviolet par excitation des atomes de mercure. Le matériau fluorescent, dont est recouvert l'intérieur des tubes, transforme alors ce rayonnement en lumière visible. Les tubes fluorescents dissipent moins de chaleur et ont une durée de vie plus longue que les lampes à incandescence, par contre ils nécessitent l'emploi de deux dispositifs

: l'un pour l'allumage appelé « starter » et l'autre pour la limitation du courant de l'arc après allumage. Ce dernier appelé « ballast » est en général une inductance placée en série avec l'arc. Les contraintes liées à ce ballast sont détaillées dans la suite du chapitre. Applications : parkings, hypermarchés, entrepôts



**Figure 2.15 :** Coupe schématique d'une lampe fluorescente tubulaire

### ➤ *Lampes fluo-compactes :*

Leur principe est identique à celui d'un tube fluorescent. Les fonctions de starter et de ballast sont assurées par un circuit électronique (intégré à la lampe) qui permet l'emploi de tubes de dimensions réduites et repliés sur eux-mêmes. Les lampes fluo-compactes ont été développées pour remplacer les lampes à incandescence : elles apportent une économie d'énergie significative (15 W contre 75 W pour une même luminosité) et une augmentation de la durée de vie (8000 h en moyenne et jusqu'à 20 000 h pour certaines).

Les lampes fluo-compactes standard présentent un léger retard à l'allumage et leur durée de vie est réduite selon le nombre d'allumages. Ainsi, pour une fréquence d'allumage multipliée par 3, la durée de vie de la lampe est réduite de moitié. Les lampes dites « à induction » ou « sans électrodes » ont un démarrage instantané et le nombre de commutations n'affecte pas leur durée de vie. Leur principe est une ionisation du gaz présent dans le tube par un champ électromagnétique à très haute fréquence (jusqu'à 1 GHz). Leur durée de vie peut atteindre 100 000 h. [43]

### *c. Les lampes à vapeur de mercure (VM) :*

A la base des lampes à décharge à haute intensité -DHISa particularité constitutive réside dans la vapeur métallique et du mercure d'où elle tire son appellation « VM » ou « Hg/HP ». Elle émet de la lumière blanche, elle a une efficacité lumineuse limitée. La mise au rebut des lampes à vapeur de mercure exige des techniques spéciales d'élimination à cause du mercure présent dans la lampe (La gestion des déchets). Les lampes VM sont les moins efficaces de toutes les lampes DHI.

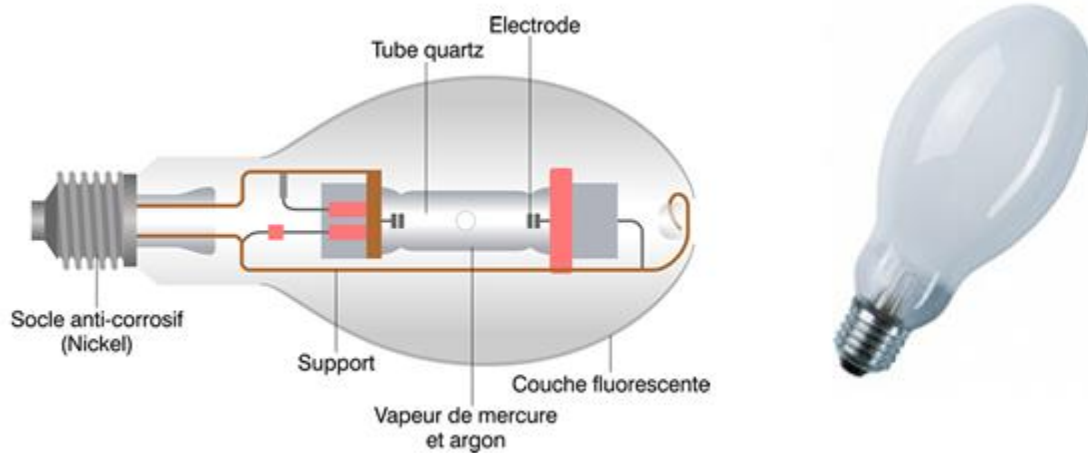


Figure 2.16 : Lampe à vapeur de mercure (VM)

#### *d. Les lampes à vapeur de sodium :*

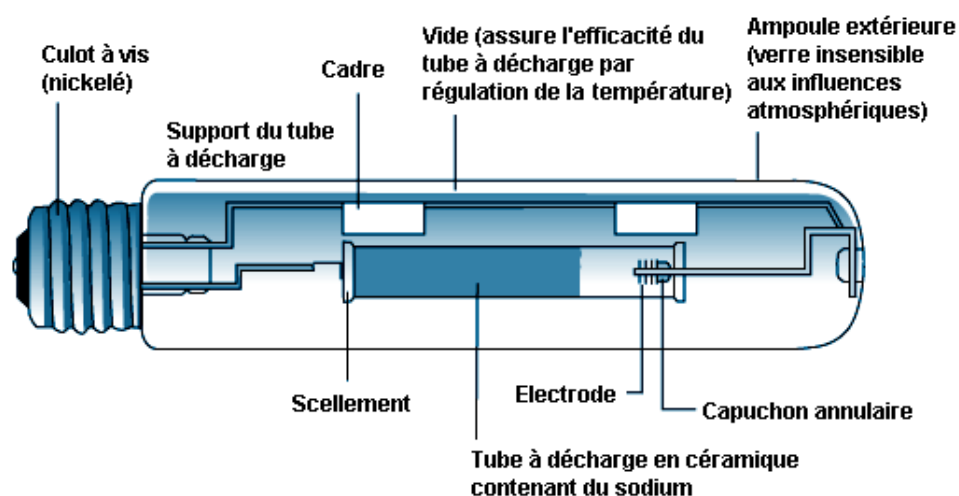
Deux sous-catégories :

##### ➤ *Lampes à vapeur de sodium basse pression :*

On les retrouve dans l'éclairage de tunnel ou encore dans les régions à fort brouillard. Ces lampes sont dites « monochromatiques » car elles émettent un rayonnement lumineux uniquement dans une longueur d'onde jaune-orangé.

##### ➤ *Lampes à vapeur de sodium haute pression :*

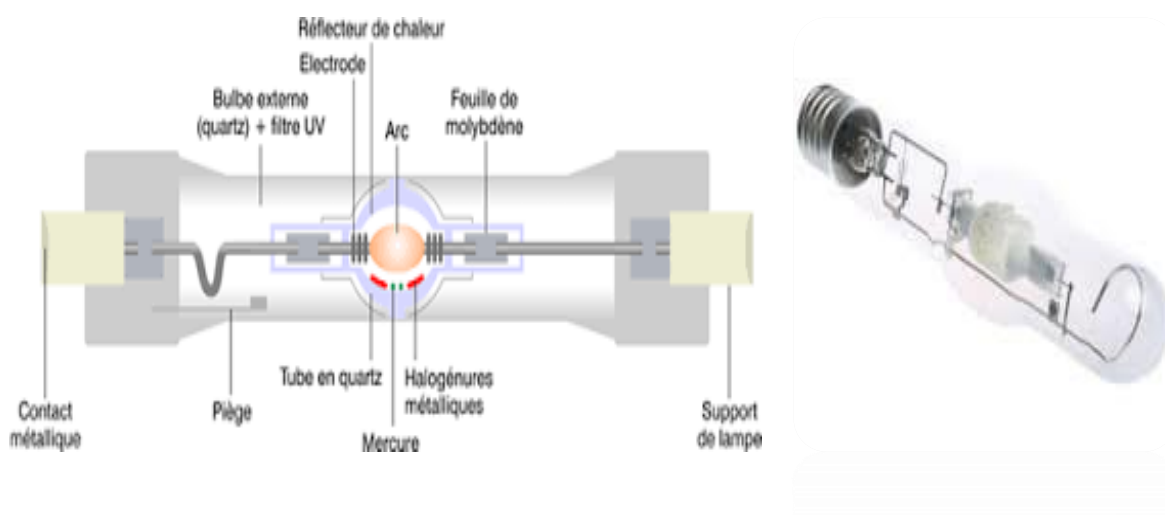
Elles ont supplanté les lampes à vapeur de mercure : Durée de vie et flux lumineux supérieur mais d'une couleur jaune-orangé et un mauvais IRC (25) ce qui les cantonne dans l'éclairage public, routier ou parking. Il existe toutefois une exception : La lampe sodium blanche qui a un IRC de 80 à 85 au détriment de son rendement lumineux 50 lm/W.[31]



Figures 2.17 : Constitution d'une lampe à vapeur de sodium haute pression

### e. Lampes aux halogénures métalliques (HM) :

Les lampes aux halogénures métalliques, ces performances sont améliorées à cause de l'addition de composés halogènes (iodures). La principale différence est que le tube à arc contient des sels métalliques (de scandium et de sodium) en plus de la vapeur de mercure et du gaz argon. Ceux-ci entraînent un cycle de régénération qui permet d'obtenir des quantités et qualités de lumière supérieures à ce que produirait le mercure seul. Applications : stades, commerces, projecteurs. [36]



Figures 2.18 : Lampe à halogéné métallique (HM)

#### 2.6.2.3 La Diode Électroluminescente (DEL) :

La première diode électroluminescente a été créée par Nick Holonyak Jr. et Sam Bevacqua de General Electric en 1962. La DEL (ou LED en anglais) repose sur la découverte de Henry Joseph Round en 1907 de la première émission de lumière par un semi-conducteur. Plus tard en 1927, Oleg Losev dépose le premier brevet de la DEL. Les DEL ne sont utilisées qu'en infrarouge pour les télécommandes et principalement dans les couleurs rouges, vert et jaune. [44]

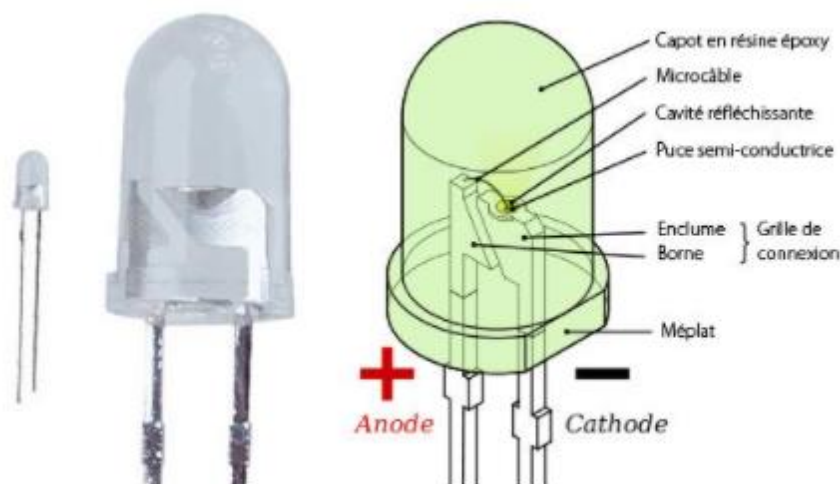
En 1993 les japonais Shuji Nakamura et Takashi Mukai de l'entreprise NICHIA, inventent la DEL bleue de forte luminosité. C'est cette dernière innovation qui permet de réaliser la DEL blanche et la lampe d'éclairage à LED actuelles. [45]

Une diode électroluminescente, abrégée sous les sigles DEL ou LED (de l'anglais light-emitting diode), est un composant optoélectronique capable d'émettre de la lumière lorsqu'il est parcouru par un courant électrique.

Elle compte plusieurs dérivées, principalement, l'OLED, l'AMOLED ou le FOLED (pour flexible oled). Les ampoules LED sont considérées, par beaucoup, comme une technologie d'avenir dans le domaine de l'éclairage général. [46]

Le principe des diodes électroluminescentes est l'émission de lumière par un semi-conducteur au passage d'un courant électrique [45]. La diode électroluminescente ne laisse passer le courant électrique que dans un seul sens (le sens passant, comme une diode classique, l'inverse étant le sens bloquant). Les LED sont d'un usage courant dans de nombreuses applications, mais le développement récent de diodes de couleur blanche ou bleue à haut rendement lumineux ouvre de nouvelles perspectives, en particulier pour la signalisation (feux de circulation, panneaux de sécurité ou l'éclairage de secours). Le courant moyen dans une LED est de 20 mA, la chute de tension étant comprise entre 1,7 et 4,6 V suivant la couleur.

Ces caractéristiques sont donc propices à une alimentation en très basse tension, en particulier par des batteries. L'alimentation par le réseau nécessite un convertisseur. L'avantage des LED est leur faible consommation d'énergie. Il en résulte une faible température de fonctionnement qui autorise une très longue durée de vie. Par contre, une diode élémentaire a une faible puissance lumineuse. Un éclairage puissant nécessite donc le raccordement d'un grand nombre d'unités en série. Ces diodes sont surtout employées lorsque la puissance disponible est faible.



**Figure 2.19:** Une diode électroluminescente LED

Les avantages de LED :

- Allumage instantané (contrairement aux lampes ou tubes fluorescents).
- Durée de vie très longue, moins de maintenance
- Fiabilité : grande résistance aux chocs et vibrations.
- Insensibilité aux allumages répétés et aux basses températures.
- Directivité : l'angle d'émission des LEDs actuelles peut varier de 15° à 120°. On peut donc obtenir au choix des éclairages très directifs sans ajout de réflecteurs ou de lentilles (liseuses, torches), ou bien des éclairages beaucoup plus diffus.
- Possibilité de contrôle de l'intensité lumineuse très facile, par simple variation de la tension d'alimentation.

- Utilisation possible à basse puissance et basse tension (utilisation directe sur batteries).
- Large gamme de couleurs possibles (sans utilisation de filtres).
- Petite taille et esthétique

Les Inconvénients :

- Coût d'investissement supérieur aux solutions traditionnelles.
- Faible qualité d'éclairage : l'IRC est, pour les LEDs blanches les plus répandues, inférieur à 65.
- Phénomène de 'halo' sur les LEDs blanches à partir de lumière bleue.
- Risque de danger pour les yeux en raison de la très forte luminance des LEDs
- Fréquemment, l'axe géométrique et l'axe optique des LEDs ne sont pas confondus, ce qui entraîne de mauvaises performances optiques pour des tableaux de LEDs[47]

## 2.7 Éclairage public solaire :

### 2.7.1 Aperçu des énergies renouvelables pour 2020 :

COVID-19 ravage le monde en 2020, mais ajoute tout de même plus de 260 GW de capacité d'énergie renouvelable dans le monde en 2020, soit près de 50 % de plus que ce qui avait été enregistré précédemment. Les statistiques annuelles sur les capacités en matière d'énergies renouvelables pour 2021 montrent que la part des énergies renouvelables dans l'ensemble des nouvelles capacités de production a fortement augmenté pour la deuxième année consécutive. Plus de 80 % de toutes les nouvelles capacités de production ajoutées l'année dernière étaient renouvelables, l'énergie solaire et éolienne représentant 91 % des nouvelles énergies renouvelables.

La capacité solaire totale a maintenant atteint à peu près le même niveau que la capacité éolienne, principalement en raison de l'expansion en Asie en 2020 (78 GW). Les principales augmentations de capacité ont été réalisées en Chine (49 GW) et au Vietnam (11 GW). Le Japon a également ajouté plus de 5 GW, et l'Inde et la République de Corée ont toutes deux augmenté leur capacité solaire de plus de 4 GW. Les États-Unis ont ajouté 15 GW.[48]

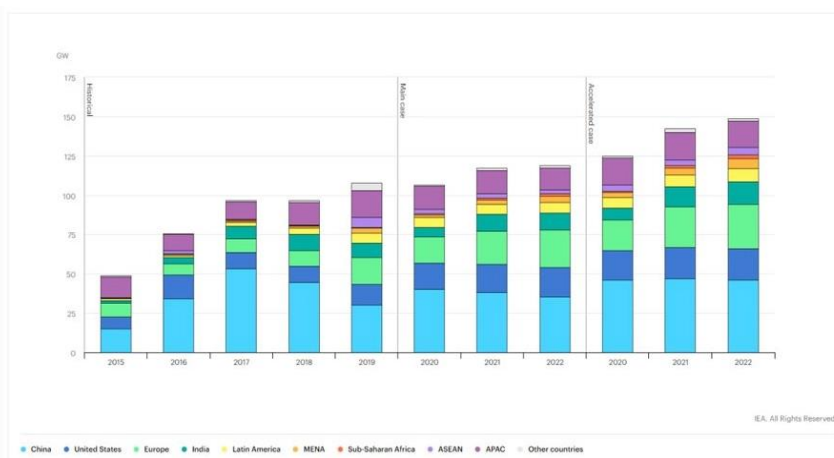


Figure 2.20 : Les statistiques annuelles sur les capacités en matière d'énergies renouvelables

### 2.7.2 Lampe solaire :

Une lampe solaire est un système d'éclairage composé d'une lampe à LED, de panneaux solaires, d'une batterie, d'un contrôleur de charge et d'un inverseur. La lampe fonctionne à l'électricité à partir de batteries, chargées grâce à l'utilisation de panneaux solaires photovoltaïques.

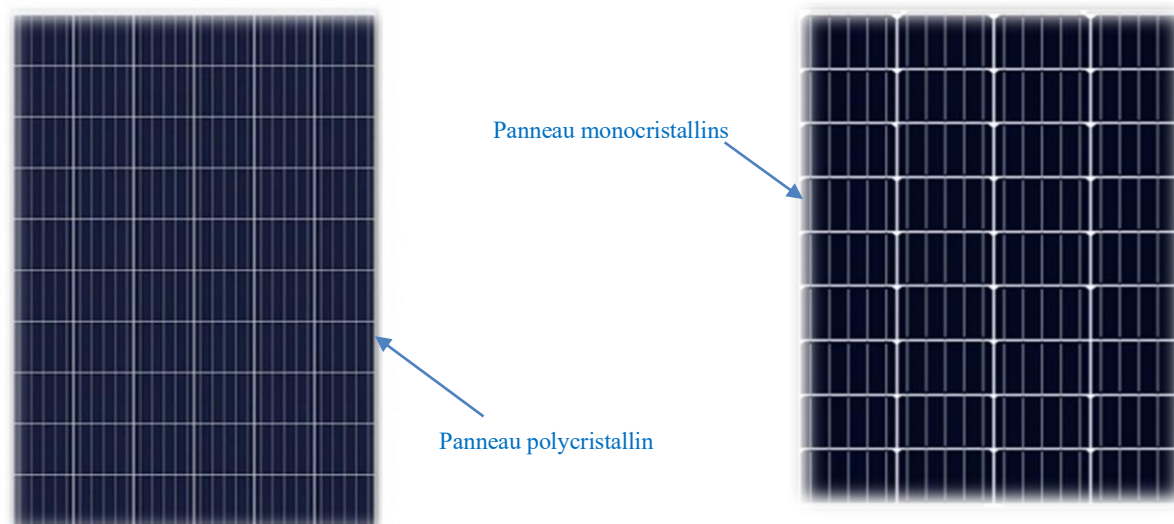


Figure 2.21: Lampadaire solaire photovoltaïque

### 2.7.3 Panneau solaire :

Le panneau solaire est l'une des parties les plus importantes d'un réverbère solaire, car le panneau solaire peut convertir l'énergie solaire en électricité que les lampes peuvent utiliser. Les panneaux solaires sont constitués de cristaux constitués de liaisons covalentes entre les électrons de la couche externe des atomes de silicium. Le silicium est un semi-conducteur qui n'est ni des métaux conducteurs de l'électricité ni des isolants qui ne conduisent pas l'électricité. Les semi-conducteurs ne conduisent normalement pas l'électricité, mais dans certaines circonstances, ils s'exposent dans cet exemple à la lumière, il existe deux types de panneaux solaires couramment utilisés dans les lampadaires solaires : monocristallins et polycristallins. Le taux de conversion des panneaux solaires monocristallins est beaucoup plus élevé que leurs homologues polycristallins. Les panneaux solaires varient également selon les systèmes de puissance. [47]





**Figure 2.22** : Panneau solaire polycristallin et monocristallin

#### **2.7.4** *Appareil d'éclairage :*

Les LED sont généralement utilisées comme source d'éclairage principale des lampadaires solaires modernes, car la LED fournira une luminosité beaucoup plus élevée avec une consommation d'énergie moindre. La consommation d'énergie d'un luminaire LED est au moins 50% inférieure à celle du luminaire HPS qui est largement utilisé comme source d'éclairage dans les lampadaires traditionnels. Un manque de temps de préchauffage dans les LED permet également l'utilisation de détecteurs de mouvement pour des gains d'efficacité supplémentaires. [48]

#### **2.7.5** *Batterie :*

Une batterie est généralement logée dans un boîtier en métal ou en plastique. À l'intérieur du boîtier se trouvent des électrodes comprenant des cathodes et des anodes où des réactions chimiques se produisent. Il existe également un séparateur entre cathode et anode qui empêche les électrodes de réagir ensemble tout en permettant à la charge électrique de circuler librement entre les deux. Enfin, le collecteur effectue une charge de la batterie vers l'extérieur. [49]

Les batteries stockeront l'électricité produite par le panneau solaire pendant la journée et fourniront de l'énergie au luminaire pendant la nuit. Le cycle de vie de la batterie est très important pour la durée de vie de la lumière et la capacité de la batterie affectera les jours de sauvegarde des lumières. [50]

Avantage des lampadaires solaires :

- Aucune pollution et économie d'énergie : juste besoin d'énergie solaire
- Construction et entretien faciles

- Moins d'investissement : indépendant et n'a pas besoin d'autres équipements électriques
- Sécurité : choc électrique ou incendie
- Économie d'argent : pas de frais de câble.[51]

Inconvénients des lampadaires solaires :

- Une lampe solaire a besoin d'un bon ensoleillement
- Le prix est généralement plus élevé
- Le panneau solaire doit être nettoyé [47]

## 2.8 Composants principaux d'un réseau d'éclairage public :

Le réseau d'éclairage public est principalement composé :

- 1) Des armoires ou coffret d'électricité servant à commander et de protéger le réseau
- 2) Des câbles électriques servant à transporter l'électricité à partir des sources d'alimentation
- 3) Des points lumineux/ lampadaires qui éclairent l'espace public

### 2.8.1 Armoire :

Armoire également appelée coffret de commande et de protection (ccp), l'armoire d'éclairage public permet d'alimentation du réseau d'EP à partir du réseau de distribution d'énergie .il renferme des équipements ou dispositifs de comptage, de commande et de protection. Une armoire est généralement constituée d'une partie pour le comptage de la consommation électrique, une partie de commande d'allumage des points lumineux contenant des composantes telles que les horloges et les contacteurs, comportant tous les deux des appareils de protections (disjoncteur, fusible ...).

La figure ci-dessous décrit les principaux composants d'une armoire d'éclairage public .



**Figure 2.23 :** Les composants principaux de l'armoire d'éclairage public

### 2.8.2 Câbles réseaux électriques :

On distingue deux types principaux de réseaux dans L'éclairage public : Le réseau indépendant en câbles souterrains qui est le plus recommandé, car il est sécurisé et offre un éclairage plus approprié et le réseau mixte sur poteaux et sur façade avec des câbles exposés ou partiellement exposés (réseau aérien). Ce dernier continue à représenter un certain pourcentage du réseau d'éclairage public dont une partie sur façade et cette solution est habituellement moins coûteuse. Néanmoins, l'éclairage public sur un réseau aérien ne permet pas d'obtenir un éclairage conforme aux normes en vigueur. En effet, l'inter-distance entre supports est imposée par le réseau de distribution desservant les habitations et non en fonction des besoins d'éclairage. [51]



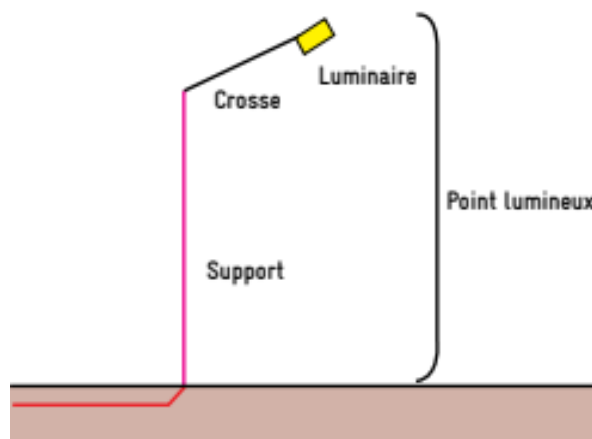
**Figure 2.24 :** Éclairage avec réseau électrique aérien



**Figure 2.25 :** Éclairage avec réseau électrique enterré

### 2.8.3 Point lumineux :

Le point lumineux représente dans la figure 2.26 constitue d'une des parties les plus importantes et les plus sensibles du réseau d'éclairage public. En effet, c'est la partie qui porte la source lumineuse et qui est la plus exposée aux pannes et aux aléas. Elle nécessite une attention particulière, tant au niveau conception qu'au niveau maintenance. Un point lumineux est composé essentiellement d'un luminaire, d'une crosse et d'un mât.



**Figure 2.26 :** Principaux composants d'un point lumineux

### 2.8.4 Luminaire :

Élément appelé également lanterne ou appareil d'éclairage, il est composé d'une enveloppe regroupant la source lumineuse, le réflecteur, la vasque et généralement l'appareillage comme indiqué ci-après

- *Lampe ou source lumineuse* : Élément produisant la lumière, les grandes familles étant les lampes à décharges (ballons fluorescents, sodium haute pression, iodures métalliques,), les lampes à filament (halogènes, incandescentes) et les semi-conducteurs (module LED).
- *Optique ou réflectrice* : Élément mettant en forme la lumière émise par les sources, de manière adaptée l'éclairage à la voie tout en limitant les nuisances lumineuses. Les deux grandes familles étant les optiques symétriques ou circulaires adaptées pour l'éclairage de place ou de parking et les optiques asymétriques ou routières favorisant un éclairage devant et sur les côtés.
- *Vasque* : Élément permettant de protéger la lampe et le réflecteur de l'environnement extérieur, il est en verre ou en matière plastique et diffuse la lumière émise par la source .

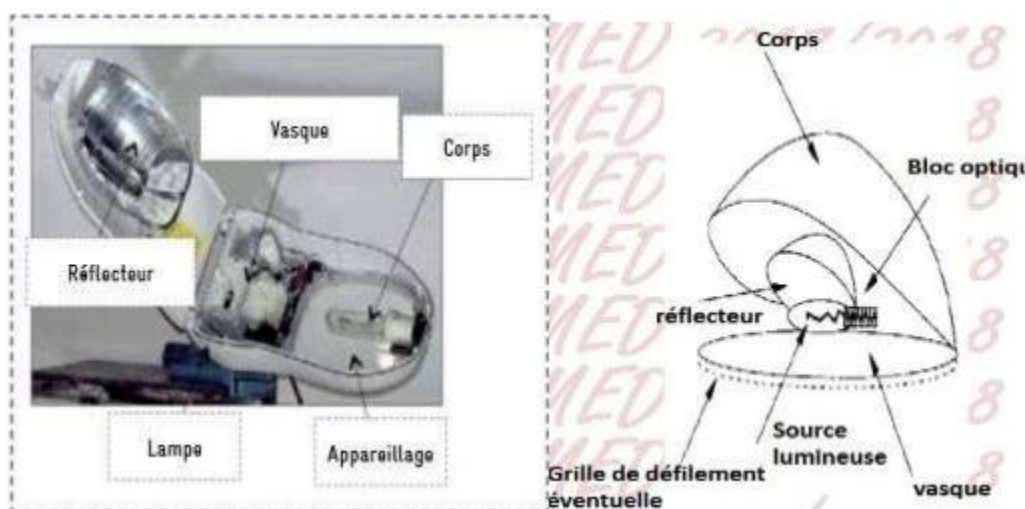


Figure 2.27 : Principaux composants d'un luminaire

### 2.8.5 Ballast :

Les lampes à décharge nécessitent un ballast. Il est conseillé d'utiliser des ballasts électroniques de faible consommation et d'une longue durée de vie.

### 2.8.6 Crosse :

Élément le plus souvent métallique permettant de déporter la lanterne. Souvent, la crosse est fixée au mât à travers des colliers ajustables en hauteur.

### 2.8.7 Mât ou support :

Élément supportant le luminaire, parfois accompagné d'une crosse. Il peut être droit ou incliné. Idéalement, le mât est fixé sur la semelle en béton à travers d'une platine métallique pour faciliter son remplacement, si nécessaire. Selon la fonction, l'aspect esthétique, l'espace et l'environnement, on peut identifier plusieurs types de supports, par exemple un poteau en acier, en aluminium, en fonte, en béton, en bois et de forme tubulaire, cylindro-conique, octogonale avec ou sans embase, un mât décoratif, un caténaire, un candélabre traditionnel, une console sur façade ; on peut l'encastrer au sol, etc. [25]

## 2.9 Sources d'énergie pour l'éclairage public :

En pratique il est connu que la première source d'énergie de l'éclairage public est l'énergie conventionnelle (centrale de production électrique : thermique, nucléaire...), mais après que l'énergie renouvelable saisi un rôle principal dans la production d'énergie [31], il ne faut que l'éclairage public prenne sa part. Pour ce dernier on distingue deux systèmes d'éclairage soit l'éclairage conventionnelle (raccordé au réseau), soit l'éclairage autonome solaire uniquement ou solaire plus éoliennes (hybride), le deuxième type produit indépendamment son énergie de fonctionnement sans rejoindre un réseau électrique.

## 2.10 Types d'éclairage public :

### 2.10.1 Éclairage routier :

Eclairer les zones de circulation véhiculaire est principalement une question de sécurité. La grande vitesse des véhicules motorisés pose un risque d'accidents important que l'éclairage nocturne permet de réduire considérablement. En conséquence, la réglementation concernant l'éclairage routier est stricte, et la planification et l'exécution du projet exigent un grand soin

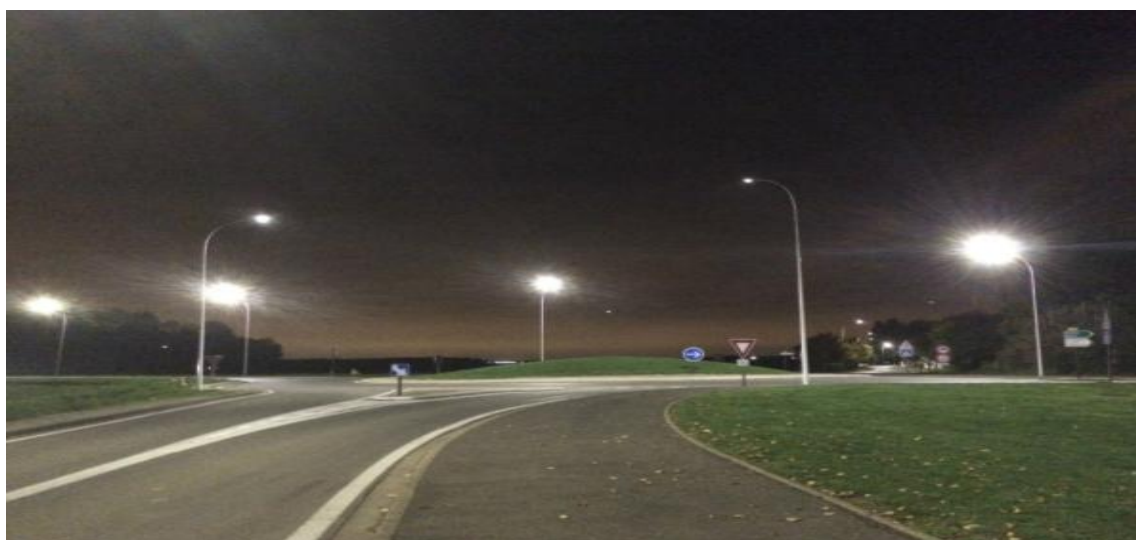


Figure 2.28 : L'éclairage routier



### **2.10.2 Eclairage des espaces publics :**

L'éclairage des espaces publics facilite leur surveillance pendant la nuit dans le but de prolonger leur utilité et de prévenir des accidents et des crimes. En créant une atmosphère détendue, ils sécurisent donc les utilisateurs. Par conséquent, l'illumination des espaces publics augmente la qualité de vie et stimule souvent les activités économiques dans les agglomérations principales.



**Figure 2.29 :** L'éclairage des espaces publics

### **2.10.3 Eclairage des espaces sportifs :**

Pour permettre des activités sportives pendant des heures d'obscurité, il faut éclairer les terrains de sport avec des projecteurs spécialisés. Il est important que ceux-ci soient assez puissants et ne dérangent pas les joueurs pour éviter des accidents.



**Figure 2.30 :** L'éclairage des espaces sportifs

### 2.10.4 Eclairage d'ambiance :

L'éclairage des bâtiments et monuments intéressants souligne leur importance, conçoit des points d'identification et crée une atmosphère agréable. De plus, ce type d'éclairage peut prévenir des graffiti et décharges aléatoire des déchets. Il faut être prudent lors de l'éclairage des espaces verts publics, car cela peut nuire aux plantes. [51]



Figure 2.31 : Éclairage d'ambiance

### 2.11 L'éclairage public dans le monde :

La consommation mondiale d'électricité atteint des chiffres considérables et augmente d'environ 3 % chaque année. L'éclairage extérieur est responsable de 15 à 19 % de la consommation mondiale d'électricité, l'éclairage représente quelque chose comme 2,4 % des ressources énergétiques annuelles de l'humanité, représentant 5 à 6 % des émissions totales de gaz à effet de serre dans l'atmosphère [ 52, 53 ]. Les concentrations atmosphériques de dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ), de méthane et de protoxyde d'azote ont augmenté de 40 % par rapport à l'ère préindustrielle, principalement en raison de la combustion de combustibles fossiles [ 54 ]. Selon les estimations, les villes consomment près de 75 % de l'énergie mondiale, et l'éclairage urbain extérieur peut représenter à lui seul jusqu'à 20 à 40 % des dépenses budgétaires liées à l'électricité [ 55]. L'éclairage à LED (diodes électroluminescentes) permet de réaliser des économies d'énergie de 50 à 70 % par rapport aux anciennes technologies. Le passage à l'éclairage LED peut apporter des avantages considérables aux budgets serrés des villes. Il estime qu'une transition mondiale vers une technologie LED économe en énergie permettrait d'économiser plus de 1400 millions de tonnes de  $\text{CO}_2$  et d'éviter la construction de 1250 centrales [ 56 ]

### 2.12 Normes mondiales:

L'éclairage public doit apporter beaucoup plus aux usagers que le seul sentiment de « confort », encore faut-il que ses performances photométriques permettent d'accéder de nuit aux exigences indispensables à l'accomplissement des différentes tâches visuelles de chaque catégorie d'usagers. C'est la raison pour laquelle la notion « d'éclairer juste » s'impose et se décline au travers de valeurs d'éclairements et de luminances minimales à maintenir. Et pour cela, nous comptons sur les normes et ce dernier varie d'une pays à l'autre par exemple les normes plus utilisées dans le monde est les normes européennes

La norme européenne d'éclairage public a pour objectif d'établir les prescriptions sur les zones de circulation dans les espaces publics extérieurs dans le but d'assurer la sécurité aux usagers, le bon écoulement du trafic et la protection des biens et des personnes ; elle est constituée de quatre parties :

- La partie 1 : RT EN 13201-1 – Sélection des classes de chaussées, et ses prescriptions associées.
- La partie 2 : EN 13201-2 – Exigences de performances – définit les performances photométriques auxquelles doivent satisfaire des classes de chaussées établies à partir des prescriptions en cours dans différents pays européens.
- La partie 3 : EN 13201-3 – Calcul des performances – donne les procédures et les méthodes de calcul nécessaires à l'expression des performances photométriques des installations d'éclairage public (éclairements, luminances, maillage de points de calcul et de mesure, calcul de l'éblouissement et du rapport de contiguïté).
- La partie 4 : EN 13201-4 – Méthodes de mesure des performances photométriques – décrit les conventions et les procédures qui prévalent lors de la réception des installations d'éclairage public. Cette dernière partie a été publiée sous la forme d'une norme nationale (NF EN 13201-4).[57]

### 2.13 L'éclairage public intelligent : une solution économique et écologique :

Plutôt que de maintenir des infrastructures de plus en plus vétustes et énergivores, il est recommandé aux collectivités de rénover leurs réseaux d'éclairage urbain. En effet, selon le contexte et la technologie utilisée, l'économie de consommation d'énergie et donc de dépenses pour les collectivités, grâce à la mise en place d'un éclairage public intelligent, serait de l'ordre de 50 à 75% !

#### **Première étape : le passage aux LEDs**

L'adoption de la LED, ou des diodes électroluminescentes, est actuellement le changement privilégié par les collectivités pour réduire leur consommation et leur facture énergétique.

D'une part, les LEDs sont en effet très largement moins énergivores que les lampes au sodium, et d'autre part leur durée de vie est dix fois supérieure.



De plus, la technologie LED permet de moduler aisément l'intensité lumineuse au moyen d'un gradateur (principe du « dimming ») configurable à distance. Associé à un capteur de présence ou à un programme de gestion de l'éclairage urbain, l'éclairement peut donc être réduit aux heures tardives de la nuit ou en l'absence de mouvement à proximité du candélabre. La diminution de l'intensité lumineuse engendre de facto des économies d'énergie.

Enfin, les réflecteurs aujourd'hui sur le marché minimisent la pollution lumineuse.

L'avènement des LEDs au sein de l'éclairage public permet donc aux collectivités de rénover leur parc en générant des économies énergétiques et financières substantielles et en réduisant les nuisances pour les citoyens. En outre, un tel projet est une véritable opportunité de faire un premier pas sur le chemin de la Smart City, en implémentant des solutions de pilotage intelligent de l'éclairage public, et en y associant le déploiement de nouveaux services à la ville.

### **Deuxième étape : l'introduction de l'intelligence**

A l'instar des Smart Grids, les collectivités peuvent compter sur l'utilisation accrue des nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC) afin de rendre leur éclairage public plus intelligent, par exemple :

- La télégestion : c'est un système de gestion globale de l'éclairage public, à partir d'un centre de contrôle duquel des consignes sont transférées aux points lumineux de manière à commander leur allumage, leur extinction ou leur « dimming », individuellement ou par zone,
- La télémaintenance : complémentaire de la télégestion, elle permet de transférer les informations de chaque point lumineux vers le centre de contrôle, pour par exemple en connaître les dysfonctionnements, ou planifier et contrôler le remplacement des équipements. L'efficacité d'une lampe décroît en effet vers la fin de sa vie, et le fait de la remplacer à temps la rend plus économique, et permet en outre de prolonger la vie de celles qui sont sur le même réseau d'éclairage.

### **Troisième et dernière étape : l'automatisation intelligente de l'éclairage public**

Les collectivités et les Smart Territoires de demain pourront développer des réseaux d'éclairage public intelligents autonomes, en comptant sur des technologies telles que :

- Des capteurs de mouvement : les candélabres équipés de détecteurs de mouvement ne délivreront l'intensité maximale d'éclairement qu'au passage d'un piéton, d'un cycliste ou d'un véhicule, générant de facto de considérables économies d'énergie,
- L'auto-alimentation des mâts d'éclairage : des lampadaires peuvent être munis de panneaux photovoltaïques pour garantir leur propre alimentation en restituant l'énergie accumulée en journée en éclairage nocturne via un dispositif de stockage d'énergie.

Autrement, dans une logique d'alimentation décentralisée, les candélabres d'une zone peuvent être raccordés à une centrale de production d'énergie solaire ou éolienne à proximité pour assurer leur autonomie vis-à-vis du réseau électrique public. Ces solutions prennent tout leur sens dans les situations où le réseau de distribution local est peu fiable, ou en zones rurales reculées non connectées au réseau électrique national (dans les pays en développement typiquement).

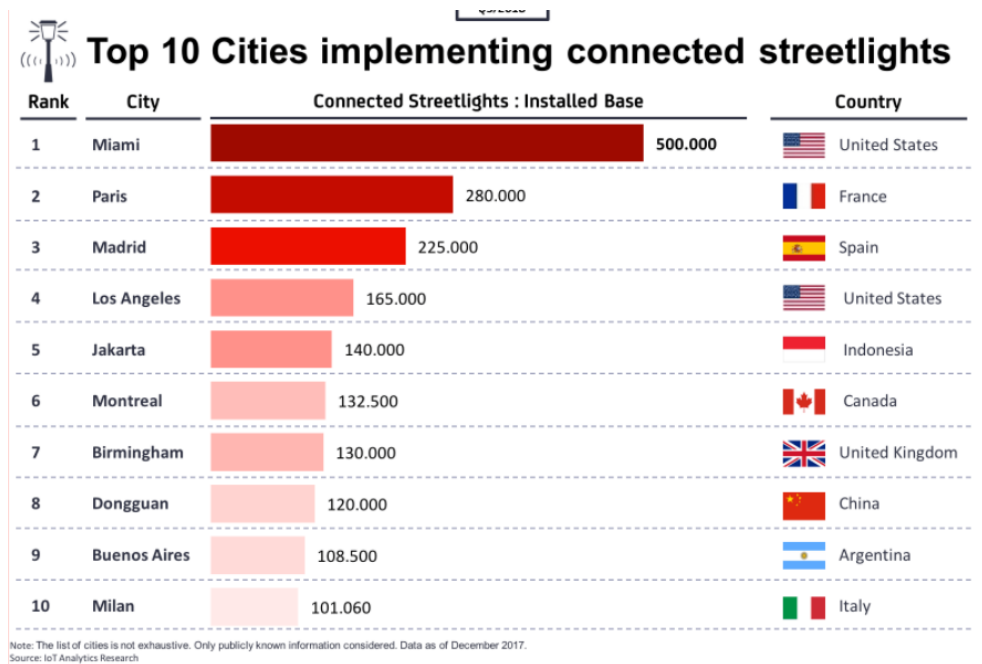
### **2.14 Les nouveaux services permis par l'éclairage public intelligent :**

Les réseaux d'éclairage public constituent un maillage dense d'infrastructures publiques qui ont vocation à devenir le support de nouveaux services aux usagers tels que :

- Une connectivité internet en Li-Fi (transmission de l'information à travers les ondes lumineuses), ou très haut débit (THD) en 5G en utilisant les candélabres comme support des « Small Cells »,
- Un meilleur suivi de la qualité de l'air en positionnant des capteurs sur les mâts d'éclairage,
- La possibilité de recharger les véhicules électriques sur des bornes utilisant l'alimentation électrique des candélabres,
- Une amélioration de la sécurité en ville en déployant un réseau de caméras et de systèmes d'alertes plus performants.
- Une meilleure gestion de la circulation et du stationnement en ville, des flux de piétons, etc, grâce à des capteurs mis en place sur les mâts.
- Ainsi, réduire les coûts, préserver l'environnement, et accroître l'attractivité de la ville sont des objectifs dont l'éclairage public intelligent peut devenir vecteur en ouvrant la porte à la création des Smart Territoires de demain. [58]

### **2.15 Le Top 10 des villes mettant en œuvre des lampadaires connectés :**

Les initiatives de villes intelligentes sont de plus en plus déployées dans le monde pour faire face à l'urbanisation croissante, atteindre les objectifs environnementaux et réduire la consommation énergétique des villes. La conversion des lampadaires existants en éclairage LED ou à semi-conducteurs connecté est devenue un ingrédient important des stratégies de transformation numérique de nombreuses villes. Dans ce post, l'état actuel du développement mondial des villes intelligentes basé sur le déploiement de lampadaires connectés est examiné. [59]



**Figure 2.32:** Top 10 des villes mettant en œuvre des lampadaires connectés

### 2.16 Conclusion :

Le confort visuel est assuré en considérant la source de lumière naturelle la plus confortable, il n'est pas toujours suffisant car il n'est pas constant, pour cela, afin de combler ce manque, les concepteurs doivent choisir l'éclairage public.

Dans ce chapitre, nous avons exposé les grandeurs photométriques, le système d'éclairage public et ses moyens (lampes, lampadaire, etc.), et les normes mondiales de l'éclairage. Nous aborderons dans un chapitre suivant l'éclairage public en Algérie, en ciblant particulièrement la Wilaya de Saida.

# Chapitre 3



## *L'éclairage public en Algérie*

## *L'éclairage public en Algérie*

### **3.1 Introduction :**

A l'époque, les villes ont employé l'éclairage public pour des raisons de sécurité et aussi pouvoir distinguer les obstacles rencontrés, ou simplement créer un confort visuel.

Cependant, la priorité et la dynamique ont changé à cause de l'évolution de la technologie, des besoins de la population en général et même des propres lampes. Le développement de l'industrie et les nouveaux chercheurs ont vraiment contribué toute cette diversité des luminaires que nous entourons de nos jours tout en prenant en compte le milieu climatique et ses impacts par exemple dans l'environnement. L'utilisation des détecteurs de présence par exemple pour réduire la consommation énergétique est devenue l'outil idéal pour le développement d'une bonne commande du réseau EP.

L'Algérie est l'un des pays qui travaille à l'amélioration de la qualité de l'éclairage public et la réduction de la consommation énergétique. Dans ce chapitre nous allons parler de l'éclairage public en Algérie d'une façon générale et à la fin nous prenons la wilaya de Saida comme exemple.

### **3.2 L'Algérie**

L'Algérie est la porte du continent Africain, elle est le plus grand pays d'Afrique avec une superficie de 2381741 km<sup>2</sup>. Il partage plus de 6 385 km de frontières terrestres, avec la Tunisie au Nord-Est, la Libye à l'est, le Niger au sud-est, le Mali au sud-ouest, la Mauritanie et le Sahara occidental à l'ouest, et enfin le Maroc au nord-ouest.

Au 1<sup>er</sup> janvier 2021, la population algérienne résidente avait atteint 44,6 millions d'habitants selon l'Office National des Statistiques.

Le centre de climatologie de l'Algérie est sous la responsabilité de l'Office national de météorologie. [60]

Un méditerranéen couvre le Nord, tandis qu'un désertique règne sur le Sud. Durant l'été, le mois le plus chaud, à Alger, est août.

Au sud, le climat est sec. Le Sahara est une région très ventée et aride. Les amplitudes thermiques sont généralement considérables à cause des variations de températures et aussi extrêmement élevées pendant le jour et très basses durant la nuit.

En Algérie, le temps est généralement ensoleillé, il avoisine 3 650 heures de soleil par année. [61]

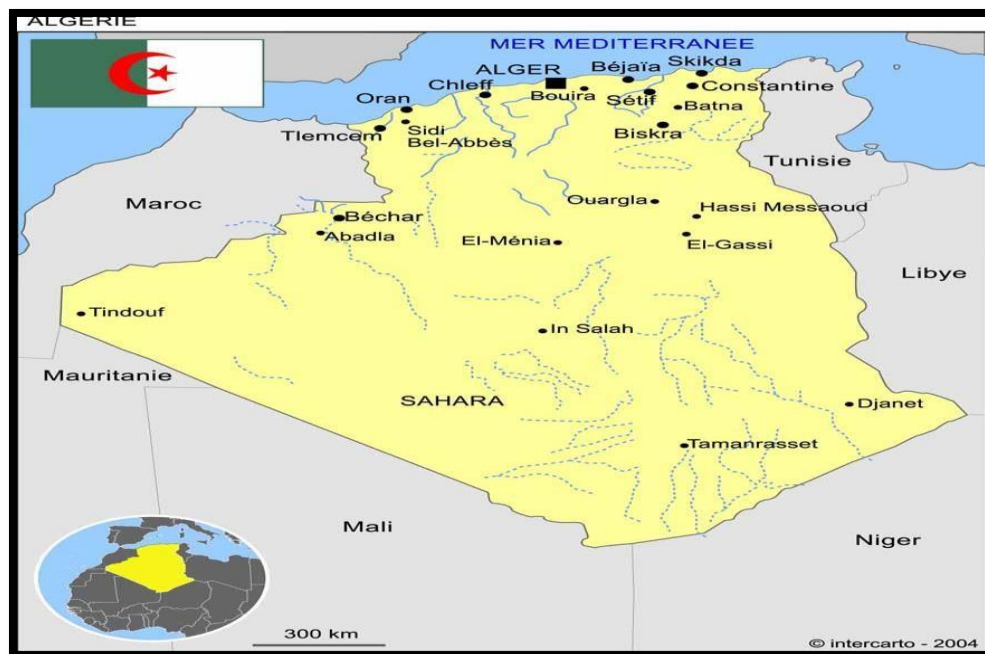


Figure 3.1 : Carte géographique de l'Algérie.

### 3.3 Consommation d'énergie électrique des communes par wilaya :

La consommation en énergie électrique des communes ne cesse d'augmenter d'année en année. En 2017, la consommation a atteint 4801 GWh, soit 8% de la consommation nationale en énergie électrique de 59 423,7 GWh, pour un montant correspondant à 27 milliards de dinars (tableau 3.1). [62]

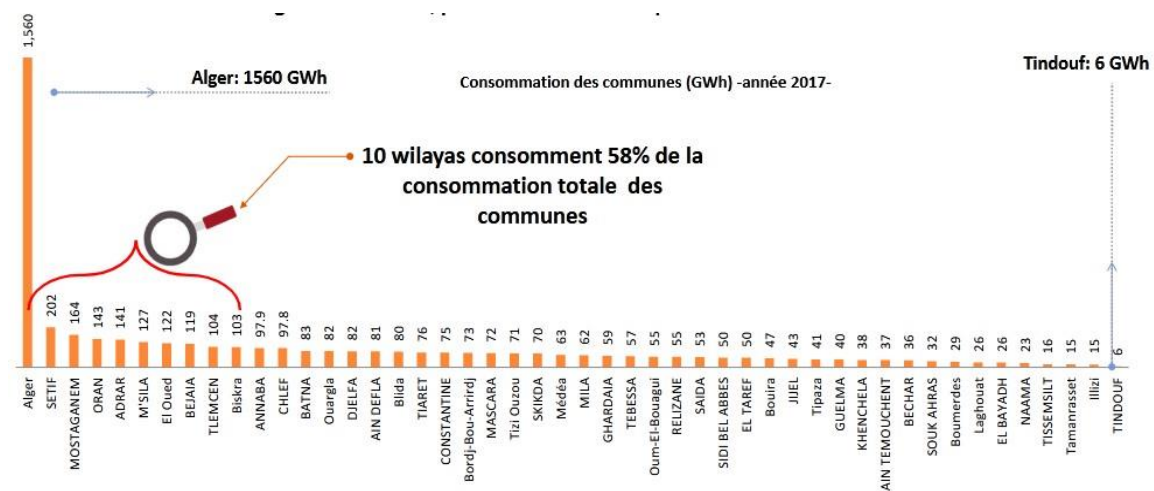
| Wilaya     | Consommation (GWh) | Montant TTC (MDA) |
|------------|--------------------|-------------------|
| Alger      | 1 5600.00          | 7 466.00          |
| Setif      | 202.00             | 1 288.00          |
| Mostaganem | 163.96             | 788.97            |
| Oran       | 143.38             | 781.73            |
| Adrar      | 141.18             | 787.51            |
| Msila      | 127.20             | 801.88            |
| El Oued    | 122.33             | 647.28            |
| Bejaia     | 119.22             | 713.51            |
| Tlemcen    | 104.21             | 669.59            |
| Biskra     | 102.70             | 603.41            |
| Annaba     | 97.94              | 446.11            |
| Chlef      | 97.75              | 541.44            |
| Batna      | 83.04              | 646.59            |

|                      |         |        |
|----------------------|---------|--------|
| <b>Ouargla</b>       | 82.18   | 514.19 |
| <b>Djelfa</b>        | 81.6    | 455.75 |
| <b>AinDefla</b>      | 81.05   | 486.76 |
| <b>Blida</b>         | 80.34   | 391.58 |
| <b>Tiaret</b>        | 75.89   | 468.13 |
| <b>Constantie</b>    | 74.77   | 442.40 |
| <b>Bba</b>           | 73.08   | 416.26 |
| <b>Mascara</b>       | 72.43   | 410.22 |
| <b>TiziOuzou</b>     | 70.86   | 460.66 |
| <b>Skikda</b>        | 70.14   | 445.60 |
| <b>Médéa</b>         | 63.25   | 397.85 |
| <b>Mila</b>          | 62.25   | 398.71 |
| <b>Ghardaia</b>      | 58.87   | 377.64 |
| <b>Tebessa</b>       | 56.50   | 315.14 |
| <b>Oeb</b>           | 54.85   | 365.03 |
| <b>Relizaine</b>     | 54.79   | 351.65 |
| <b>Saida</b>         | 52.98   | 346.62 |
| <b>SidiBel Abbes</b> | 50.00   | 315.40 |
| <b>El teref</b>      | 49.97   | 260.04 |
| <b>Bouira</b>        | 46.89   | 302.61 |
| <b>jijel</b>         | 43.29   | 286.65 |
| <b>Tipaza</b>        | 41.12   | 265.32 |
| <b>Guelma</b>        | 40.33   | 266.21 |
| <b>Khenchela</b>     | 38.12   | 284.32 |
| <b>AinTmouchent</b>  | 37.50   | 241.66 |
| <b>Bechar</b>        | 35.50   | 222.73 |
| <b>Souk Ahras</b>    | 32.20   | 223.20 |
| <b>Boumerdes</b>     | 28.88   | 175.16 |
| <b>Laghouat</b>      | 26.27   | 170.29 |
| <b>El Bayadh</b>     | 26      | 169.74 |
| <b>Naama</b>         | 22.74   | 134.04 |
| <b>Tissemsilt</b>    | 15.23   | 97.61  |
| <b>Ilizi</b>         | 14.89   | 89.94  |
| <b>Tindouf</b>       | 5.62    | 36.51  |
| <b>Total</b>         | 4800.82 | 816.59 |

**Tableau 3.1** : Consommation de l'énergie électrique des communes des 48 wilayas d'Algérie.

10 Wilayas consomment 2786 GWh, soit 58% de la consommation totale des communes, pour un montant de 14,5 milliards de dinars (54%). (Figure 3.2)

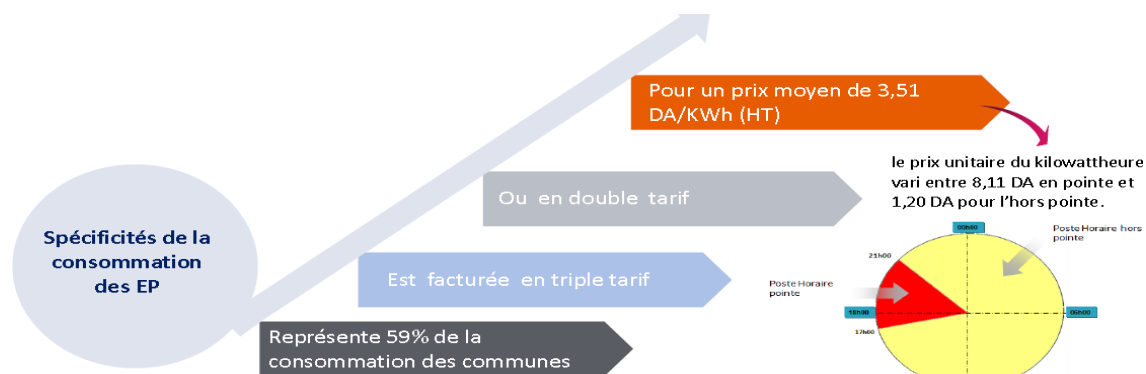




**Figure 3.2 :** Consommation des communes des 48 wilayas d'Algérie en GWh – année 2017.

### 3.4 L'éclairage public en Algérie :

L'éclairage public occupe la première position avec 2839 GWh. D'où la nécessité de mettre en place un plan d'action assurant une meilleure maîtrise de la consommation de l'énergie électrique de manière globale tout en axant les efforts sur la réduction de la consommation de l'éclairage. La figure ci-dessous illustre un zoom sur la consommation d'énergies électriques des éclairages publics : [62]



**Figure 3.3 :** Consommation de l'éclairage public de l'exerce 2017.

Dans cette optique et au regard de leur fonction centrale qu'est l'éclairage proprement dit, ils doivent entre autres générer un niveau suffisant de luminosité afin d'assurer convenablement la visibilité requise, selon les usagers des lieux (piétons, voitures...), sans pour autant verser dans l'excès qui peut être préjudiciable (éblouissement, pollution lumineuse...). C'est cette dernière exigence qui détermine en grande partie le type de lampes à utiliser selon la technologie appropriée, la puissance électrique nécessaire, ainsi que certaines fonctionnalités liées au mode



d'alimentation, généralement dédié à des objectifs d'économie d'énergie. Pour commencer dans ce sens, un inventaire aussi sommaire soit-il du parc d'éclairage public existant en Algérie, pourrait aider à y voir clair quant à son évolution vers des objectifs balisés par l'allègement des charges liées à sa gestion par les collectivités locales, notamment sa facture énergétique. [63]

### 3.4.1 Les sources lumineuses existantes dans l'éclairage public en Algérie :

Les résultats du dernier recensement de l'ensemble des points lumineux constituant le parc d'éclairage public en Algérie ainsi que la nature des sources lumineuses utilisées, ont été rendus par les services publics compétents du Ministère de l'Intérieur, des collectivités Locales et de l'Aménagement du Territoire (MICLAT) vers 2018 (tableau 3.2). [64]

| 3 134 824  |                       |           |       |
|--|-----------------------|-----------|-------|
| Nombre de points lumineux existant dans le parc d'éclairage public | <b>mercure</b>        | 1 122 589 | 36%   |
|  | <b>Sodium</b>         | 1 940 045 | 62%   |
|  | <b>LED</b>            | 59145     | 2%    |
|  | <b>Photovoltaïque</b> | 13045     | 0.42% |

**Tableau 3.2 :** Parc d'éclairage public et points lumineux en Algérie (2018).

D'après le tableau on remarque que la partie des lampes à mercure et sodium prend une grande partie des trois millions de lampe à décharge en cours d'utilisation et d'après la circulaire interministérielle n1 du 5 Février 2018 son remplacement pourrait prendre beaucoup de temps car les remplacer prématurément par des LED serait manifestement très coûteux et économiquement irrationnel. Face à cette réalité, il reste donc à s'attaquer à l'existant pour essayer de le rendre énergétiquement plus efficace pendant la durée de vie qui lui reste et engranger au final un gain énergétique significatif pouvant amplement justifier le coût de l'opération.

### 3.5 Moderniser l'éclairage public en Algérie :

« En Algérie, 26% du réseau d'éclairage public fonctionne avec des lampes électroluminescentes dites lampes LED » selon le directeur générale des collectivités locales au MICLAT M.Youcef Roumane.

M. Roumane a ajouté que depuis début 2019 jusqu'à décembre 2021, pas moins de 616.00 poteaux d'éclairage public ont été doté de lampes LED et 29.737 en plaques photovoltaïques et 231.287 équipés de lampes sodium et que plus de 600.000 lampes énergivores ont été remplacées par des lampes LED, qui offrent un meilleur éclairage avec une économie en matière de consommation d'énergie.

Dans le même sens, Nahla Kheddache, responsable au même ministère, a relevé dans son intervention que les efforts des collectivités locales en matière de généralisation de l'éclairage performant ont permis de réduire le taux des lampes mercure de 36 à 15% et d'augmenter le LED de 2 à 26%, tandis que lampadaires équipés de plaques photovoltaïque représentent un taux de 2% du parc, alors que le taux des lampes sodium est resté presque stable (62% en 2019 et 57% en 2021).

Ces réalisations ont permis de :

- Economiser 776 millions DA/an.
- Réduire les émissions en gaz à effet de serre de plus de 100 tonnes/an.
- Réduire la consommation en électricité de plus de 194.000 MW/an. [65]

### **3.5.1 L'éclairage public et intégration des LED :**

Si une Commune, ville ou wilaya envisage de remplacer les anciennes lampes avec des LED afin de réduire la consommation électrique, elle doit prendre en compte les aspects suivants :

La puissance des lampes à LED dépend de la distance entre chaque luminaire, la hauteur d'installation, le volume de trafic maximal ainsi que le type de revêtement de la route. La faisabilité du remplacement est largement due à la longévité des LED.

La durée de vie dépend à son tour des facteurs suivants :

- Qualité de la lampe à LED.
- Gestion de la chaleur / dissipation thermique qui dépend de la qualité d'installation de la lampe et de la confection du luminaire.
- Alimentation électrique / tension de service
- La température de couleur idéale de la lampe à LED est de 4000 Kelvin et l'indice de rendu des couleurs (IRC) doit être supérieur à 60.
- La modularité du système : Est-ce que la lampe à LED peut être remplacée séparément ou est-ce qu'elle est intégrée au luminaire sans possibilité de la retirer ?
- La disponibilité des pièces de rechange et existence d'un réseau de service après-vente local ou régional.
- La garantie sur le système du fabricant ainsi que du vendeur et de l'installateur
- La nécessité d'assurer la compatibilité de la lampe avec les régulateurs variateurs de puissance, le courant de démarrage et la tension d'alimentation (230V, 24V, 12V,)
- La nécessité de veiller à une protection de surtension (sensibilité  $\geq 4$  kV, 10 kA).

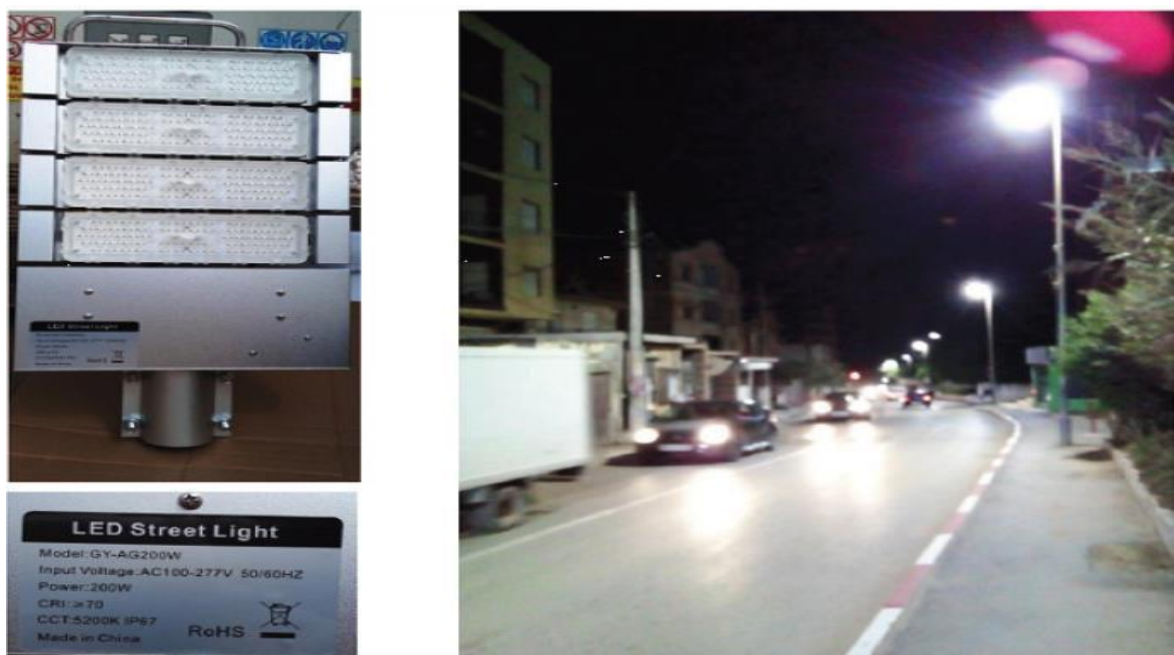
Dans les spécifications techniques, il faut mentionner au minimum :

- La puissance électrique.
- L'efficacité lumineuse.

- La température de couleur et l'indice de rendu des couleurs de la lampe à LED (normalement 3000 Kelvin ou 4000 Kelvin).
- La durée de vie minimale (pour les LED normalement 35.000 heures de fonctionnement).
- La substituabilité et contrôlabilité de l'installation.
- Les instructions de montage. [66]

Il y'a quelques années l'opération de l'adoption des LED comme source lumineuse principale dans l'éclairage public en Algérie a commencé et a pratiquement atteint son rythme de croisière, notamment au niveau de certaines grandes villes du pays. Ainsi, en prenant le cas de la Wilaya d'Alger, dont le parc d'éclairage public est majoritairement géré par l'Etablissement de Réalisation et de Maintenance de l'Eclairage Public d'Alger (ERMA), un cahier des charges type a bien été établi en 2019, fixant cinq paliers de puissance pour les LED (50 à 250W par pas de 50W) avec une efficacité lumineuse minimale de 120 lm/W.

Sachant que le contexte pour lequel ce cahier des charges a été élaboré a manifestement ses propres contraintes pratiques, que seuls les exécutants connaissent, il y a néanmoins deux points qui méritent d'être soulevés à propos de certains choix, jugés éminemment importants pour l'objectif d'efficacité énergétique.



**Figure 3.4:** Exemple d'un projet de remplacement des HPS par LED en Algérie.

### 3.5.2 Système de lampadaire solaire :

L'éclairage à l'aide de l'énergie solaire est une option économiquement fiable dans de nombreuses applications. Non seulement dans les zones où le coût de la fourniture d'électricité est trop cher, mais aussi dans des situations où la réduction des coûts de fonctionnement est une priorité. Le lampadaire solaire ou candélabre solaire est un type de lampadaire qui est alimenté par l'énergie solaire, c'est-à-dire qu'il est équipé de panneaux solaires qui captent la lumière du soleil pendant la journée, ce qui permet de produire de l'électricité, qui est stockée dans des batteries, puis restituée la nuit pour l'éclairage. Le lampadaire devient ainsi autonome en énergie.

L'enjeu d'économies d'énergie et d'émissions de gaz à effet de serre est important. Selon l'Agence Ecofin, « les Nations unies rappellent que l'éclairage public représente 5 % de l'électricité consommée dans le monde et que des techniques rentables existent pour économiser cette énorme manne énergétique qui correspond approximativement à la consommation électrique ».

Ce lampadaire Solaire a haute efficacité est munit d'un coffret contenant une batterie et un régulateur de charge placée sur le haut du mât a une hauteur de 4 mètres et cela pour une protection contre vol et vandalisme, et est indiqué pour l'éclairage solaire autonome de voies, parcs, parkings, zones industrielles, chemins pédestres, collectivités, campings, ou en éclairage solaire puissant de jardins, sans coût d'électricité et sans câble à tirer.

Par l'utilisation de luminaires LED, il devient plus facile d'éclairer "juste" ; la puissance lumineuse peut être plus facilement modulée durant la nuit suivant une programmation horaire. Ainsi, la consommation électrique est fortement diminuée et les fonctions de balisage et d'éclairage sont toujours remplies. [67]

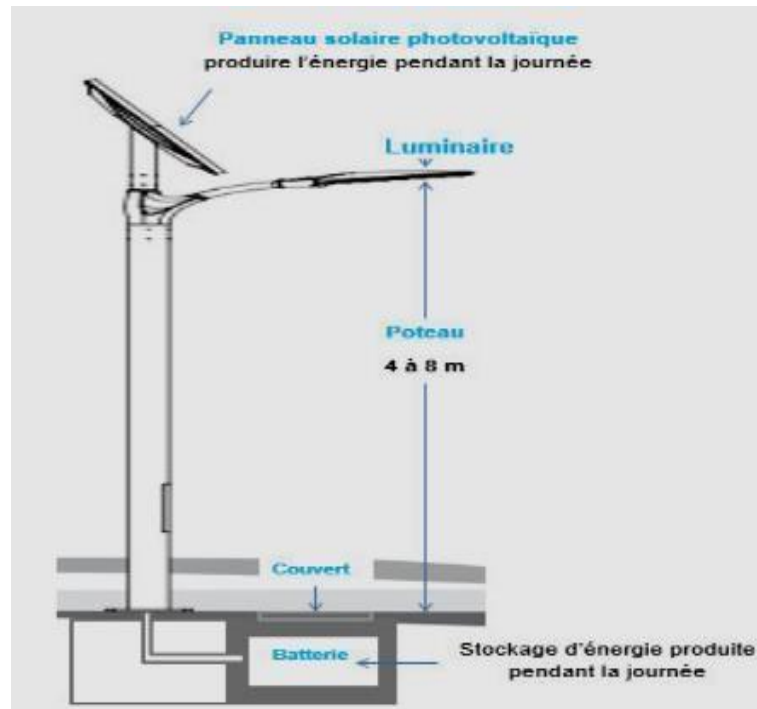


**Figure 3.5 :** Candélabre solaire à LED réalisé à l'UDES/ CDER- Centre de Développement des Energies Renouvelable-

Il existe trois types de lampadaire solaire :

### 3.5.2.1 Lampadaire à une seule crosse :

L'utilisation de ce type est principalement dans l'implantation unilatéral ou bilatérale vis-à-vis (figure 3.6) :



**Figure 3.6 :** Lampadaire solaire à une crosse.

### 3.5.2.2 Lampadaire à deux crosses :

L'utilisation de ce type est principalement dans l'implantation axiale (figure 3.7)



**Figure 3.7:** Lampadaire à deux crosses

### 3.5.2.3 Crosse fixée au mur :

L'utilisation de ce type est dans les espaces urbain (fixation aux murs des bâtiments) (figure 3.8). [68]

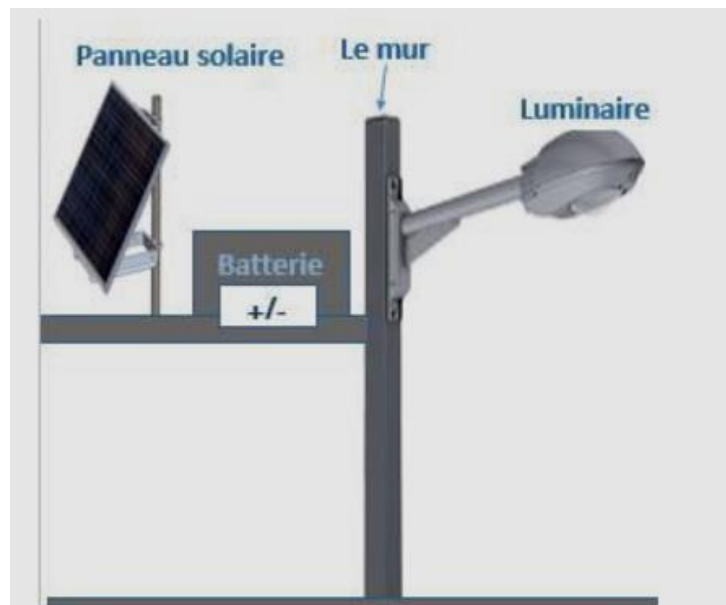


Figure 3.8 : Crosse fixé au mur.

## 3.6 L'éclairage public à Saïda :

### 3.6.1 Présentation de la wilaya de Saïda :

La Wilaya de Saïda est située dans le Nord-Ouest de l'Algérie. Elle est surnommée la ville des eaux, grâce à ses sources.

La ville est localisée dans l'Algérie du nord-ouest, à 800 mètres d'altitude, à la source des Oueds Oukrif et Saïda, sur les contreforts sud de la chaîne de montagne de l'Atlas située en bordure nord des Hauts Plateaux du Sud Oranais. La ville s'étire le long de la bordure juste du roulé en liasse Saïda, protégé par les montagnes boisées sur la rive opposée qui s'élève par escarpements du fonds de vallée à une élévation de quelque 1 200 mètres. [69]





**Figure 3.9 :** Site de la Wilaya de Saïda.

### **3.6.2 Inauguration d'une centrale solaire dans la Wilaya de Saïda :**

Le ministre de l'énergie, Salah Khebri, a inauguré, lors de la deuxième journée de sa visite à Saïda en 2016 une station d'électricité utilisant l'énergie solaire. Il s'agit d'une station d'une capacité de 30 mégawatts, réalisée dans un délai de 11 mois par une entreprise allemande spécialisée dans l'installation des plaques photovoltaïques sur une superficie de plus de 40 hectares dans la commune d'Ain Skhouana.

A cette occasion, le ministre de l'énergie a annoncé qu'un partenariat avec des investisseurs nationaux se prépare pour la création d'une base industrielle de production de plaques photovoltaïques et de supports. Lors d'un point de presse en marge de sa visite d'inspection entamée lundi soir dans la wilaya de Saïda, M. Khebria souligné que ce partenariat est destiné aux investisseurs nationaux publics et privés, ajoutant que la future base industrielle permettra de générer des emplois au profit des jeunes, de la formation et du recyclage.

Par ailleurs, M. Khebri a indiqué que le ministère a transmis, dans ce sens, des correspondances à toutes les wilayas du pays pour fournir des terres non agricoles répondant aux conditions d'attrait et de concrétisation de projets d'énergies renouvelables. Dans ce cadre, il sera procédé, en fin juillet prochain, à la mise en service de 343 mégawatts de générateurs d'électricité utilisant l'énergie solaire, a-t-il indiqué. Ces projets énergétiques inscrits dans le cadre du programme approuvé par le Conseil des ministres en mai 2015 visent la production de 27 pour cent des besoins énergétiques avec l'utilisation de l'énergie solaire, a ajouté le ministre, soulignant que ce programme comporte la création de 4.500 mégawatts à l'horizon 2020 et 22.000 mégawatts à l'horizon 2030 (APS).[70]

#### **3.6.2.1 Description de la centrale PV d'Ain Skhouana :**

La centrale solaire photovoltaïque d'Ain Skhouana a été mise en service en 2018, elle s'inscrit dans le cadre du programme national des énergies renouvelables et elle fait partie de

23 stations similaires construites à travers les hauts plateaux et le sud du pays pour produire 400 mégawatts. Elle se compose de deux champs (appelé aussi boucle) ; Saida 1(Boucle1) et Saida 2 (Boucle 2) avec une puissance de 15.936 MWc et 13.944MWc respectivement. Le champ Saida 1(Boucle 1) comporte 8 sous champ (Skide)et le champ Saida2 (Boucle 2) 7 sous champ photovoltaïques, ce qui fait un total de 15souschamp. On peut noter les constituants suivants dans cette centrale :

- Les champs solaire PV qui occupent une superficie de 42.3ha avec 119520 panneaux photovoltaïques.
- 60 boites centrales appelées aussi les boites de jonction qui sont placées à l'amont des onduleurs photovoltaïques.
- Les onduleurs photovoltaïques qui ont le rôle de transformer le courant continu délivré par les panneaux solaires photovoltaïques en un courant alternatif.
- La salle de contrôle.
- L'armoire de communication des charges qui assure la fonction de branchement dans chaque bâtiment alimenté et la fonction de commutation des sources énergétiques entre le réseau et l'installation photovoltaïque.
- Dispositifs de mesures environnementales comportant des instruments de mesures des rayonnements solaires (pyranomètre de typeISO9060), un capteur de mesure de température (de type DLE120), un capteur de mesure d'humidité (de type DMA672.1) et d'un anémomètre pour la mesure de la vitesse du vent (de type KIT 5.0).

### **3.6.2.2 Fonctionnement de la centrale PV d'Ain Skhouna :**

La centrale fonctionne suivant deux principaux modes : le mode connecté au réseau et le mode autonome. Dès le lever du soleil, les panneaux commencent à produire de l'électricité qui sera convertie à l'aide des onduleurs. Une partie de la production est utilisée pour alimenter la centrale et le reste est envoyé vers le poste d'évacuation puis vers le réseau. Lorsque la centrale PV est connecté au réseau on parle du « mode connecté ». En général, le système fonctionne sur ce mode, le surplus de l'énergie produite est injecté au réseau de distribution de l'GRTE (Gestion du Réseau de Transport de l'Electricité). Dans le cas où la centrale n'est pas connectée au réseau, on parle du mode autonome. Ces modes de fonctionnement de la centrale photovoltaïque d'Ain Skhouna sont gérés par le panneau de contrôle. [71]

### **3.6.3 Les différents types des lampes utilisées :**

Selon les statistiques de l'année 2017, il y'a 24400 lampes dans la ville de Saida utilisé dans l'éclairage public :

- Lampe à mercure
- Lampe mix
- Lampe SDH : (les plus utilisées)

250W    14000 lampes

150W    4000 lampes



- Lampe LED 40W/50W
- Luminaire LED : (les plus utilisées)

250W    3000 luminaire  
150W    2100 luminaire  
100W    900 luminaire

- Luminaire solaire 400 luminaire
- 60 lumens (résidentiels)  
100 lumens (autoroute)

### **3.6.4 Les poteaux utilisés :**

- Poteaux de hauteur de 6m.
- Poteaux de hauteur de 8m.
- Poteaux de hauteur de 10m.
- Poteaux de hauteur de 12m.
- Poteaux de hauteur de 1,5m.
- Poteaux de hauteur de 2m.

### **3.6.5 Le coût de l'éclairage public de la willaya de Saida :**

D'après la facture de Sonelgaz le coût annuel de l'éclairage public de la Willaya de Saida est estimée à 12-15 milliard de dinars Algérien.

#### **3.6.5.1 Le coût d'entretien :**

- Des lampes SDH est de 7000 à 13000 dinars Algérien.
- Des lampes LED est de 15000 à 28000 dinars Algérien.

#### **3.6.5.2 Le coût de poteaux :**

- Avec des lampes SDH est de 50000 à 80000dinars Algérien.
- Avec luminaire LED est de 110 000 à 160 000 dinars Algérien.
- Avec luminaire solaire est de 190 000 à 300 000 dinars Algérien.

### **3.7 Conclusion :**

Après l'étude de ce chapitre, il ressort que l'éclairage public constitue la niche de consommation la plus importante.

A ce titre le remplacement graduellement des lampes à incandescence par des lampes LED ce qui induira une réduction de la consommation d'au moins 30% et le remplacement graduel de l'alimentation classique des tronçons d'éclairages publics par une alimentation à

Partir de panneaux photovoltaïques assurent une meilleure maîtrise de la consommation de l'énergie électrique de manière global et ou tout en axant les efforts sur la réduction de la consommation de l'éclairage public.

L'objet du prochain chapitre c'est assurer une réduction de la consommation de l'éclairage public à travers la gestion de la charge.

# Chapitre 4



*Application de la gestion de la charge dans l'éclairage public de SAIDA*

## *Application de la gestion de la charge dans L'éclairage public de SAIDA*

### **4.1 Introduction :**

De par sa situation géographique, l'Algérie bénéficie de conditions favorables à l'utilisation des sources d'énergie renouvelables, notamment l'énergie solaire photovoltaïque, et il est facile d'introduire ces nouvelles sources d'énergie dans de nombreux endroits et willaya [72]. Parmi ces willayas, la willaya de Saida est une zone stratégiquement favorable à l'énergie solaire.

L'éclairage à l'aide de l'énergie solaire est une option économiquement fiable dans de nombreuses applications. Non seulement dans les zones où le coût de la fourniture d'électricité est trop cher, mais aussi dans des situations où la réduction des coûts de fonctionnement est une priorité.

D'après le communiqué de presse du Conseil des ministres, le président de la République, M. Abdelmadjid Tebboune a donné des instructions pour obliger toutes les communes du pays à utiliser l'énergie solaire dans l'éclairage public.

Dans ce Chapitre on présente l'analyse des performances de l'éclairages public Solaire dans la willaya de Saida « City Soummam » par simulation avec le logiciel HOMER en utilisant des données réelles du site.

### **4.2 Présentation de logiciel Homer :**

HOMER est un logiciel développé pour des systèmes de production d'énergie de petites puissances. Il permet de faire des simulations de systèmes avec des énergies renouvelables et avec des énergies fossiles. Un de ses grands atouts est la possibilité de pouvoir simuler des systèmes hybrides combinant différentes sources d'énergie qu'elle soit renouvelable ou fossile. La première version a été développée en 1992 pour NREL (US National Renewable Energy Laboratory), il a ensuite subi de nombreuses améliorations dans plus de 40 nouvelles versions. La version utilisée pour le présent projet est HOMER 2.68 beta version juillet 2009. Depuis, il y a eu 2 nouvelles versions disponibles pour 2.75 et 2.76 qui sont maintenant vendues pour un faible coût 99 \$US pour les nouveaux utilisateurs et pour 49 \$US pour les anciens utilisateurs. La 28<sup>ème</sup> version 2.68 beta est toujours disponible gratuitement. Ce logiciel est largement utilisé dans plus de 190 pays et par plus de 40 000 utilisateurs.

Le logiciel permet de faire la simulation d'un système selon des données de gisement (solaire, éolien, diesel, etc.) en fonction d'une demande énergétique (besoins en énergie). Par la suite, il est possible d'analyser plusieurs configurations différentes pour ce même système afin d'en obtenir un système optimisé au niveau du coût.

Le logiciel simule toutes les configurations demandées et donne la meilleure solution, la solution la moins chère, parmi celles-ci. Ensuite, il est finalement possible de faire des analyses de sensibilité afin de savoir si la solution trouvée reste la meilleure même s'il y a certains changements dans les différents paramètres entrés (variation du coût de la technologie, variation dans les données de gisement, etc.). Il est donc possible de faire bon nombre d'analyses avec de nombreuses configurations différentes en moins de quelques minutes de simulation.

Le logiciel permet de faire des simulations avec différents systèmes de production d'énergie :

- Panneaux solaires photovoltaïques,
- Éoliennes,
- Barrage hydroélectrique au fil de l'eau,
- Biomasse,
- Génératrices (diesel, essence, biogaz, combustibles alternatifs et combustibles personnalisés, Co alimentées),
- Réseau électrique,
- Micro turbines,
- Piles à combustible.

HOMER offre aussi une vaste gamme de dispositifs d'accumulation ou de récupération d'énergie :

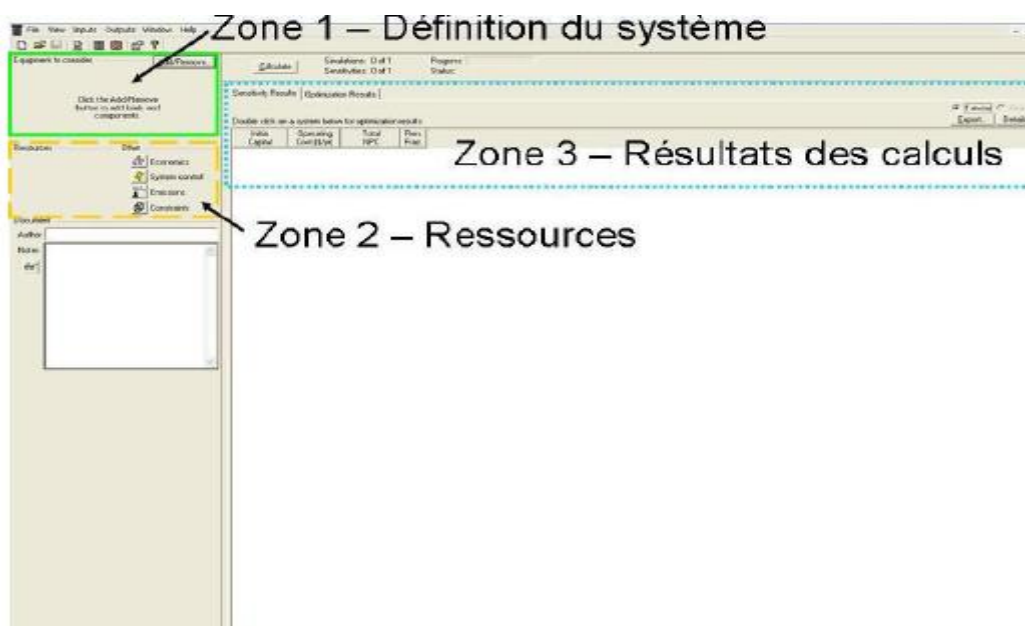
- Banque de batteries,
- Volants d'inertie,
- Flow batteries,
- Hydrogène,

On peut aussi entrer divers types de besoins énergétiques :

- Profils de consommation journaliers avec des variations selon les saisons,
- Charge différée pour le pompage d'eau ou pour la réfrigération,
- Charge thermique,
- Mesures d'efficacité énergétique.

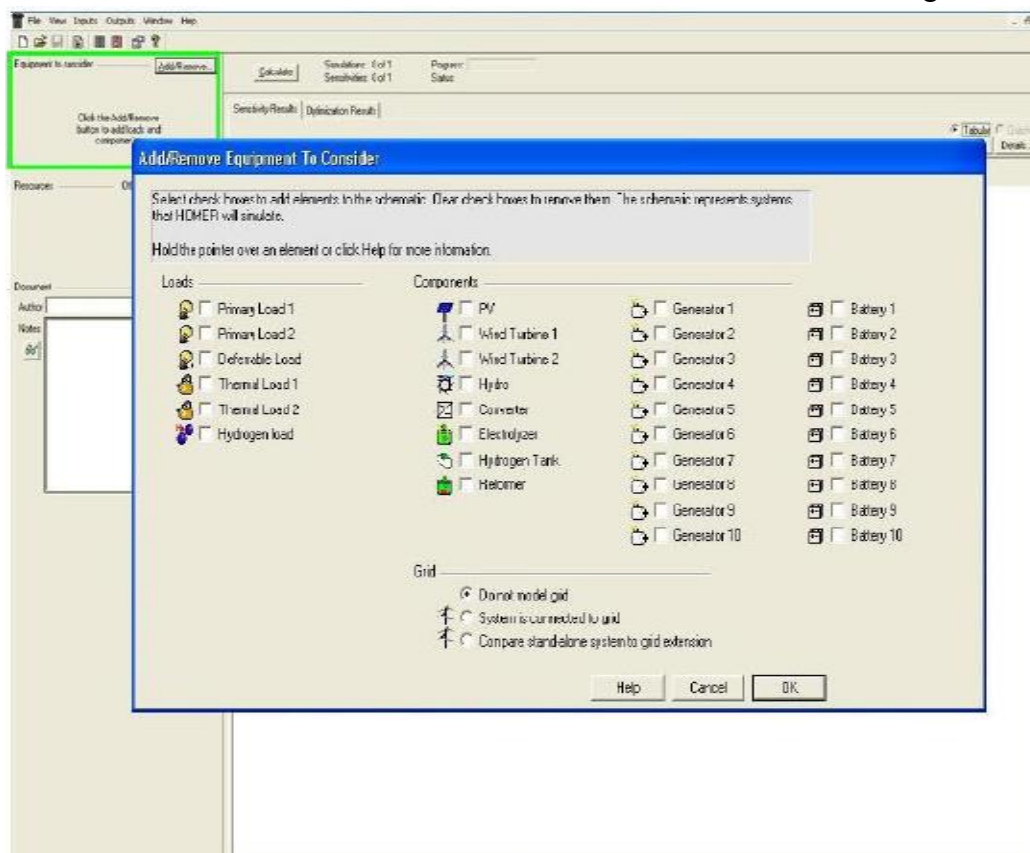
#### **4.2.1 Les interfaces de logiciel Homer :**

Nous pouvons considérer que l'interface d'HOMER a trois zones importantes comme indiqué sur la Figure 4.1: la zone de définition du système, zone des ressources et la zone des résultats.



**Figure 4.1:** Interface HOMER -fichier vierge

Dans la zone de définition, il est possible de choisir : de modéliser le réseau électrique, d'en faire la comparaison avec un système hors réseau ou simplement de ne pas modéliser le réseau. Il suffit de cocher les éléments à utiliser selon les choix illustrés à la Figure 4.2.



**Figure 4.2 :** Interface HOMER – Équipements à ajouter.

Une fois sélectionnés, les divers équipements apparaissent dans la zone 1 de définition du système comme à la Figure 4.3 et les ressources nécessaires aux équipements sélectionnés apparaissent, elles, dans la zone 2 de définition des ressources comme à la figure 4.4

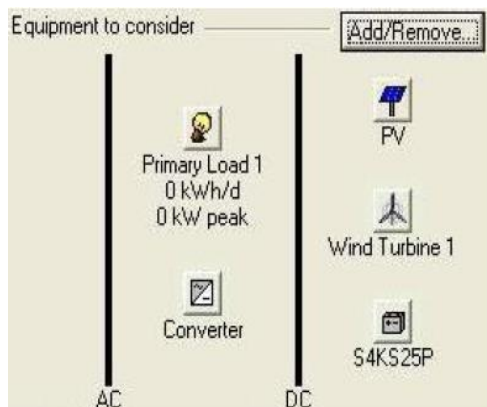


Figure 4.3 : Équipements sélectionnés.

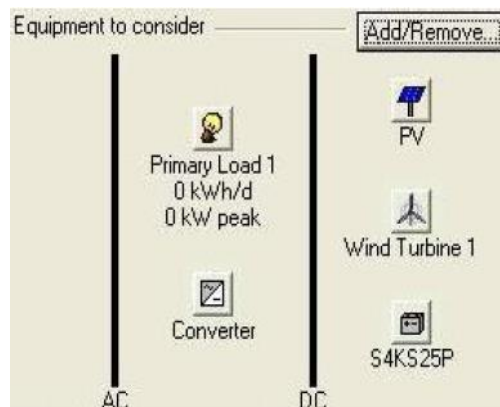


Figure 4.4 : Ressources

Dans ces deux zones, pour chaque icône, il y a une fenêtre à remplir ; ce sont les données à fournir pour faire une simulation. Les données d'entrée pour le présent projet seront définies dans la zone 4. Une fois ces données sont entrées, on peut faire calculer HOMER, en cliquant sur l'icône comme il est illustré dans la figure 4.5

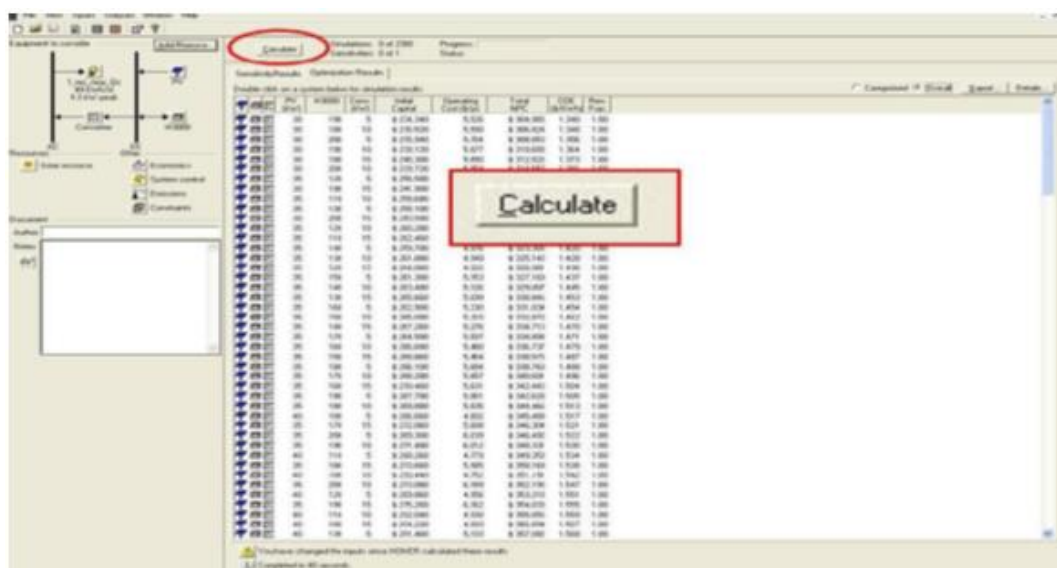


Figure 4.5 : Interface HOMER – Fichier complété

Lorsque le calcul est complété, les résultats apparaissent et la solution la plus économique est la première comme illustré à la figure 4.6. Un résumé du système et des coûts reliés sont affichés dans la zone des résultats.



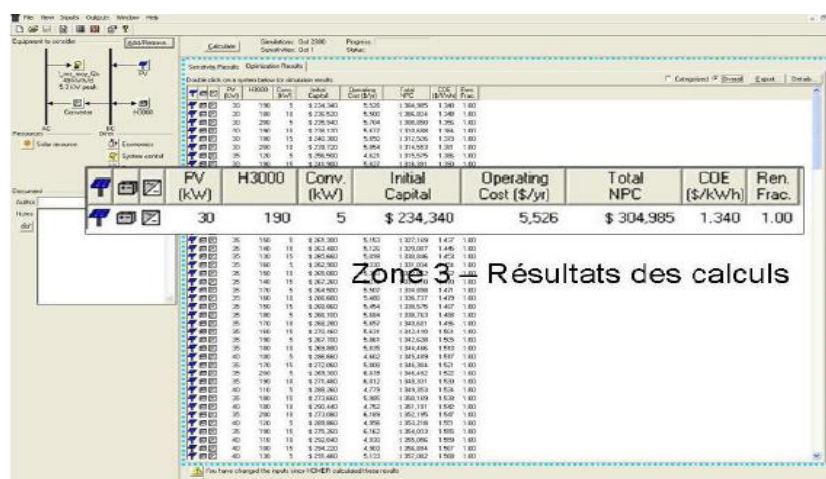


Figure 4.6 : Interface HOMER – Résultats des calculs

#### 4.2.2 Les données d'entrées et résultats :

Les données à faire entrer s'agit de données reliées à la consommation énergétique, aux équipements (panneaux solaires photovoltaïques, éoliennes, génératrices, onduleurs, batteries ou autres équipements) et aux ressources nécessaires comme les données de gisement solaire ou éolien, aussi bien que les données reliées au combustible utilisé par la génératrice. Dans la zone 2 des ressources, il y a aussi certains paramètres économiques que l'on peut modifier. D'autres paramètres permettent différents contrôles du système (surtout au niveau de la simulation des banques de batteries et des génératrices).

Dans la zone des ressources, on peut aussi mettre des pénalités monétaires pour les émissions émises ou bien un seuil limite d'émissions à ne pas dépasser lorsque la simulation sera effectuée. Finalement, certaines contraintes peuvent être exigées comme une fraction minimale d'énergie renouvelable à avoir dans le système ou encore accepter un certain pourcentage de déficits en énergie. Une fois toutes les sections remplies, Figure 4.7, on peut lancer la simulation en cliquant sur l'icône « calculer ».

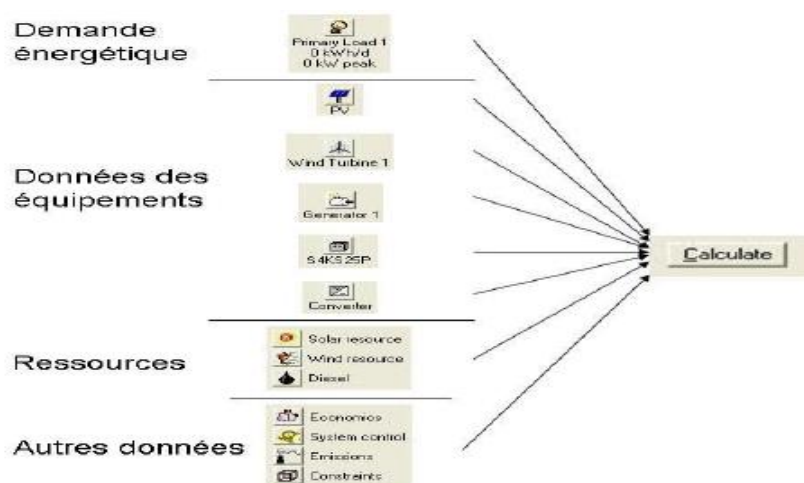


Figure 4.7: Données à fournir



Une fois toutes les données ont été entrées et la simulation lancée, on obtient de nombreux résultats comme illustré à la Figure 4.8.

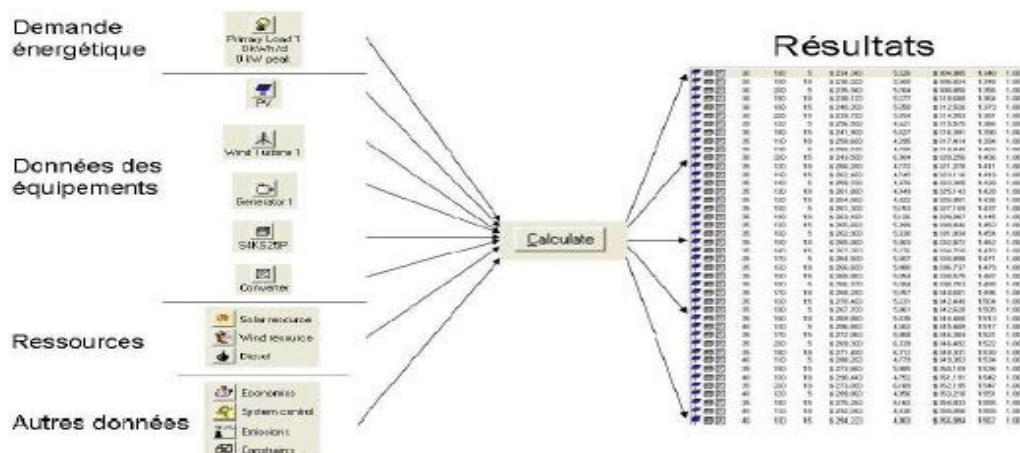


Figure 4.8: Résultats obtenus après simulation

Pour plus de détails sur les différents résultats obtenus dans HOMER, il faut cliquer sur le résultat désiré et une fenêtre s'ouvre avec plus d'informations (figure 4.9) [73].

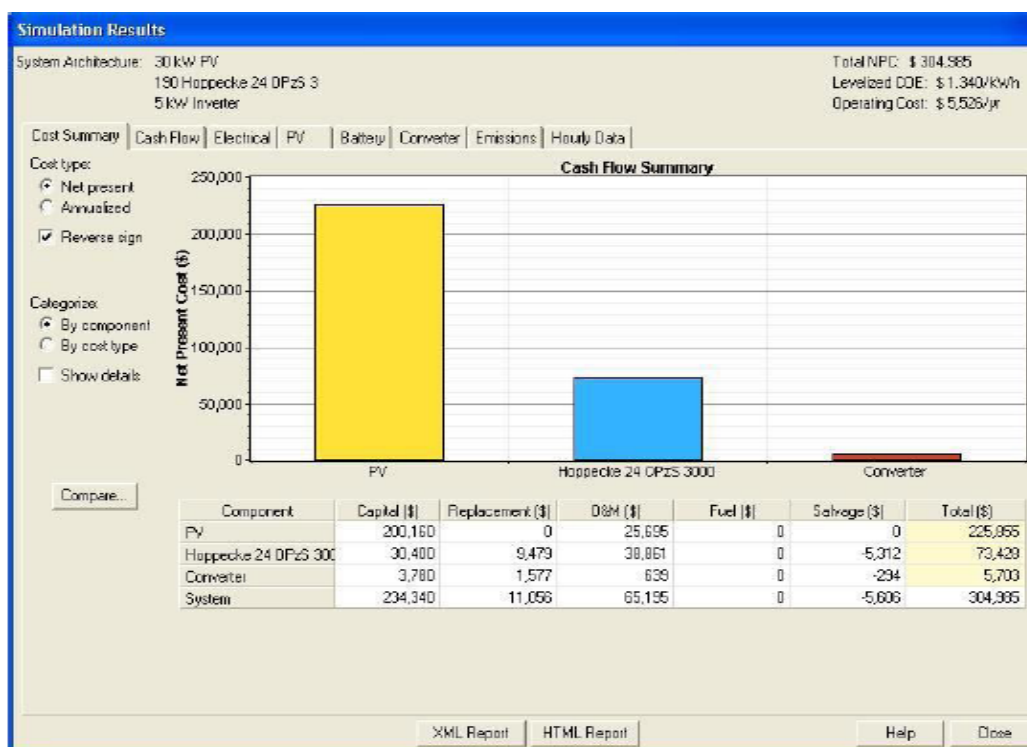


Figure 4.9 : Fenêtre des résultats détaillés.

### 4.3 Présentation de site d'expérimentation (Cité Soummam –Saida-) et les données solaires :

Le lieu sous l'étude c'est le quartier Soummam à Saida. Il est parti de la commune de Saida. Les coordonnées géographiques de notre localité sont : latitude (34°49'N), longitude (0°9'Est). L'emplacement du site choisi sur Google Earth est illustré à la figure (4.10)



**Figure 4.10 :** Situation de la cité Soummam sur Google Earth.

Les données sur le rayonnement solaire et l'indice de clarté sont résumés dans le Tableau 4.1

| Mois      | Indice de clarté | Rayonnement<br>(KWh/m <sup>2</sup> /j) |
|-----------|------------------|--|
| Janvier   | 0.528            | 2.702                                  |
| Février   | 0.570            | 3.671                                  |
| Mars      | 0.568            | 4.682                                  |
| Avril     | 0.578            | 5.761                                  |
| Mai       | 0.595            | 6.605                                  |
| Juin      | 0.632            | 7.289                                  |
| Juillet   | 0.648            | 7.316                                  |
| Aout      | 0.619            | 6.411                                  |
| Septembre | 0.578            | 5.092                                  |
| Octobre   | 0.560            | 3.897                                  |
| Novembre  | 0.533            | 2.880                                  |
| Décembre  | 0.514            | 2.419                                  |

**Tableau 4.1 :** Rayonnement solaire et l'indice de clarté.

#### 4.3.1 Les différents types de lampadaires utilisés à city Soummam –Saida- :

D'après le plan de la city Soummam illustré dans la figure4.11 il existe deux types de lampadaires :

- Candélabre simple crosses avec luminaire 150W (LED).

- Crosse murale avec luminaire 150W (LED).

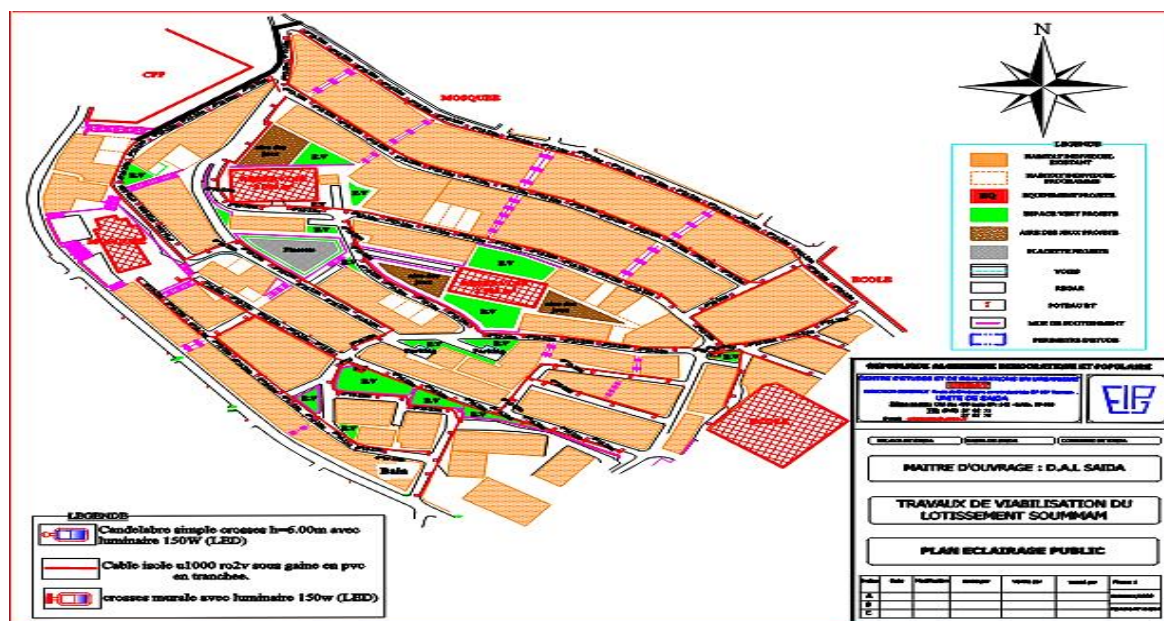


Figure 4.11 : Plan Soummam.

#### 4.4 Etude de cas :

Suite à notre visite au secteur de l'éclairage public au niveau de la commune de Saida nous avons obtenus des informations sur les différents types de luminaires utilisés à Saida.

Notre travail vise à calculer l'analyse technique et économique en utilisant logiciel HOMER. Ce dernier va nous permettre de calculer le cout total actuel net (NPC), le cout de l'énergie CoE et le cout de la facture d'électricité.

#### 4.5 La consommation d'énergie par jour de toutes les charges (en KWh) :

##### 4.5.1 Estimation des besoins énergétiques de système d'éclairage $E_j$ (en KWh/jr) en utilisant des lampes LED :

D'après le secteur de l'éclairage public de Saida, les luminaires utilisés au niveau de quartier Soummam sont de type LED 150W.

La méthode la plus utilisée pour l'estimation des besoins de puissance et d'énergie, consiste à recenser les différents appareils électriques et leurs durées d'utilisation. Pour mesurer la puissance totale maximale nécessaire pour le bon dimensionnement de l'installation photovoltaïque, nous avons fait en sorte que tous les lampes soient en plein fonctionnement

Les puissances de différentes lampes et l'estimation des durées de leur fonctionnement sont illustrées dans les tableaux, cité sous dessous :

| Saisons   | Nombres d'heures d'éclairage | Puissance de lampes en KW | Nombres de lampes | Energie $E_j$ en KWh/jr |
|-----------|------------------------------|---------------------------|-------------------|-------------------------|
| Hiver     | 14                           | 0.15                      | 158               | 331.800                 |
| Printemps | 11                           | 0.15                      | 158               | 260.700                 |
| Eté       | 9                            | 0.15                      | 158               | 213.300                 |
| Autons    | 12                           | 0.15                      | 158               | 284.400                 |

**Tableau 4.2:** Le besoin énergétiques de système d'éclairage en quatre saisons.

- Sachant que le besoin énergétique de système d'éclairage  $E_j$  est calculé de la façon suivante :

$$E_j = P_{lamps} \cdot N_{heures} \cdot N_{lamps} \dots \dots \dots (4.1)$$

D'où :

$E_j$ : Le besoin énergétiques.

$P_{lamps}$ : Puissance unitaire de lampe.

$N_{heures}$ : Nombre d'heure d'éclairé.

$N_{lamps}$ : Nombre de lampe utilise dans le système.

**Note :** Sachant qu'à titre d'information à l'annexe on cite la facture d'électricité du Janvier 2022.

#### 4.5.2 Estimation des besoins énergétiques de système d'éclairage $E_j$ (en KWh/jr) en utilisant des lampes de Sodium haut pression (HPS) :

Nous prendrons comme référence le cas précis luminaire HPS de 400W, dont la puissance de celui de remplacement à base de LED est fixée à une valeur moyenne de 150W[74].

Les puissances de différentes lampes et l'estimation des durées de leur fonctionnement sont illustrées dans le tableau, cité sous dessous :

| Saisons   | Nombres d'heures d'éclairage | Puissance de lampes en KW | Nombres de lampes | Energie $E_j$ en KWh/jr |
|-----------|------------------------------|---------------------------|-------------------|-------------------------|
| Hiver     | 14                           | 0.4                       | 158               | 884.800                 |
| Printemps | 11                           | 0.4                       | 158               | 695.200                 |
| Eté       | 9                            | 0.4                       | 158               | 568.800                 |
| Autons    | 12                           | 0.4                       | 158               | 758.400                 |

**Tableau 4.3:** Le besoin énergétiques de système d'éclairage en quatre saisons.

### 4.5.3 Analyse des résultats :

Après l'étude et les calculs de la consommation de l'énergie des différents types de lampadaire (LED et HPS) il s'est avéré que l'utilisation de luminaires LED 150W est avantageuse par rapport aux luminaires HPS 400W, car ces luminaires présentent une économie d'énergie environ 40%.

### 4.6 Modélisation du système :

Le schéma de configuration globale du système d'éclairage public solaire photovoltaïque adaptée sur le terrain (Cité Soummam) est représenté sur la figure 4.12, il se compose de trois éléments principaux :

- Un générateur d'énergie (panneau PV) comme source primaire.
- Un système de stockage de l'électricité (batterie).
- Un convertisseur de puissance pour la conversion de l'énergie du courant continu (bus DC) au courant alternatif (bus AC).

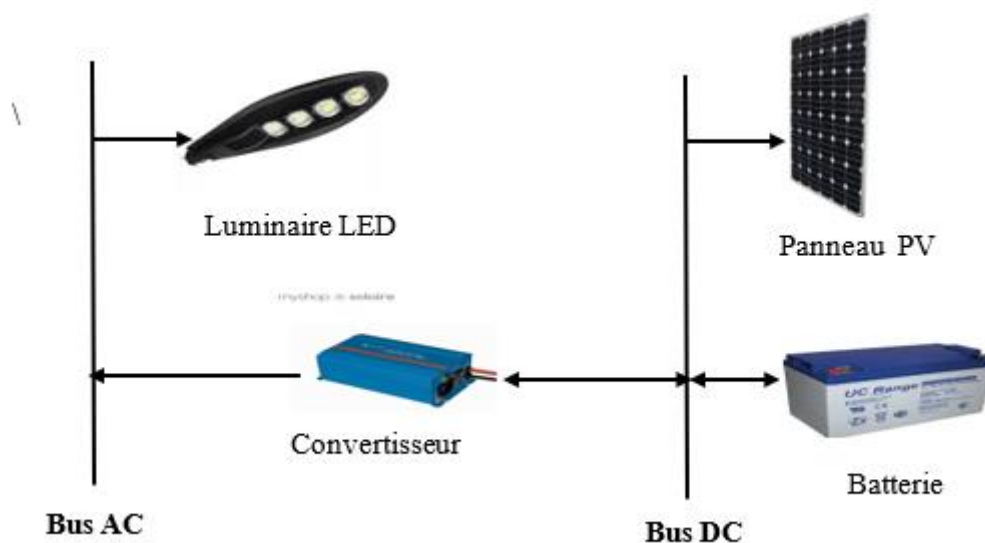


Figure 4.12: Schéma global d'un système d'éclairage public photovoltaïque.

Le système d'éclairage public nécessite une étape de conception pour chaque lampe à utiliser, en fonction des besoins de consommation d'énergie.

#### 4.6.1 Le fonctionnement de ce système :

La principale source d'énergie du système est constituée de panneaux photovoltaïques qui reçoivent le rayonnement solaire et le convertissent en électricité sous forme directe (DC). La puissance de sortie du générateur photovoltaïque dépend du profil de rayonnement solaire et de la température ambiante du site d'installation ainsi que des spécifications du module photovoltaïque.



La batterie est utilisée comme le système de stockage d'énergie (SSE) produite par le panneau solaire photovoltaïque pendant la journée et fourniront de l'énergie au luminaire en cas d'insuffisance et/ou d'absence d'énergie (exemple le nuage ou pendant la nuit).

Dans ce système un onduleur solaire, aussi appelé régulateur ou convertisseur solaire, est utilisé pour transformer le courant électrique continu du bus (DC) produit par les panneaux solaires en courant alternatif de bus (AC) pour permettre à l'électricité de circuler et d'être consommée par le luminaire LED.

#### 4.6.2 Coûts des composants des systèmes d'éclairage public utilisé :

Les détails économiques des composants du système en termes d'investissement, le coût de remplacement est le coût annuel de fonctionnement et de maintenance sont résumés dans le tableau 4.4 (notons que le taux de change est de 144 \$/DA, 155.68 €/DA.) (Source <https://www.bank-of-algeria.dz/>)[75].

| Panneau photovoltaïque                             |          |
|--|----------|
| Puissance PV nominale ( $P_{pv}$ )                 | 1 KW     |
| Coût des panneau photovoltaïques ( $C_{pv}$ )      | 300\$    |
| Coût de remplacement                               | 300\$    |
| Coût annuel de maintenance (Co&M)                  | 0\$/an   |
| Rendement du photovoltaïque ( $\eta_{pv}$ )        | 25%      |
| Durée de vie                                       | 20 ans   |
| Système de suivi                                   | No       |
| Batterie (Hoppecke 16OPzS2000)                     |          |
| Coût de la batterie ( $C_{Ba}$ )                   | 643\$    |
| Coût de remplacement                               | 643\$    |
| Capacité nominale                                  | 2150Ah   |
| Durée de vie                                       | 20ans    |
| Coût d'exploitation et de maintenance (Co&M)       | 20\$/ans |
| Convertisseur                                      |          |
| Puissance nominale du convertisseur ( $P_{conv}$ ) | 1kw      |
| Coût du convertisseur ( $C_{conv}$ )               | 149 \$   |
| Coût de remplacement                               | 149 \$   |
| Coût d'exploitation et de maintenance (Co&M)       | 2\$/an   |
| Durée de vie                                       | 10 ans   |
| Rendement ( $\eta_{Conv}$ )                        | 90 %     |

**Tableau 4.4 :** Coût des composants des systèmes d'éclairage public.

#### 4.7 Les critères d'évaluation économique :

L'évaluation économique complète et l'analyse de performance de la technologie d'éclairage public LED est effectuée sur la base de deux critères économiques différents.

##### 4.7.1 Coût total net actuel TNPC :

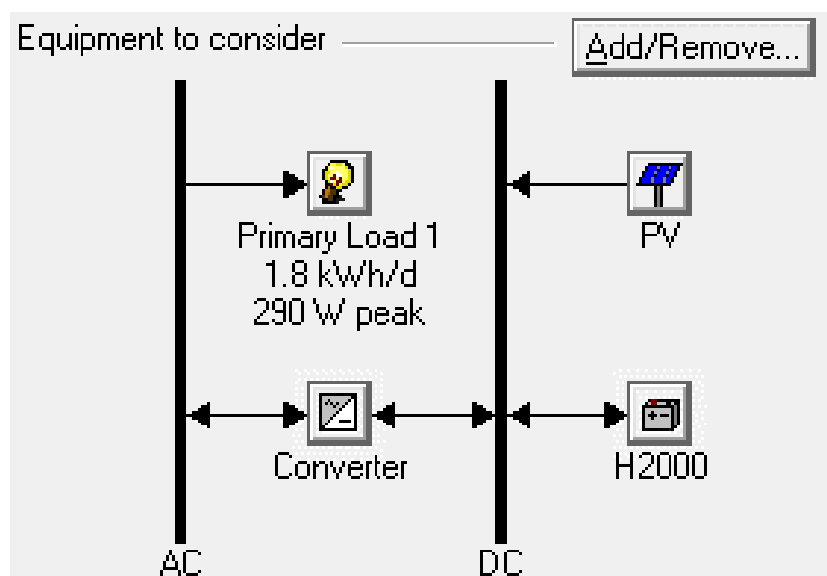
Dans notre étude, nous prenons le coût total net actuel (TNPC) comme facteur fondamental dans la phase d'optimisation du logiciel HOMER comme fonction objectif économique.

##### 4.7.2 Coût de l'énergie CoE :

Le coût de l'énergie CoE est le deuxième facteur d'optimisation utilisé dans notre étude, il est défini comme le coût du kilowattheure d'électricité produit par le système.

#### 4.8 Application de la gestion de la charge au niveau du Cité Soummam :

Notre lieu d'étude est la cité Soummam, elle est constituée d'un système d'éclairage public qui contient 158 des luminaires LED de 150W. Grâce à l'emplacement géographique favorable à la production de l'énergie solaire et la disponibilité des matériaux, Nous allons proposer d'intégrer l'énergie solaire photovoltaïque sur l'éclairage public au niveau de ce quartier. La figure ci-dessous représente le schéma global de notre système d'éclairage public solaire.



**Figure 4.13:** Le schéma global de système d'éclairage public solaire.

Pour cela nous allons tracer des scénarios en adoptons des valeurs réelles sur le terrain pour que nous puissions justifier l'efficacité de la gestion de la charge de l'éclairage public. Les scénarios sont cités ci-dessous :

### 4.8.1 Scénario 1 : système d'éclairage public solaire décentralisé avec un seul luminaire LED 150W

#### 4.8.1.1 Résultats de la simulation :

Les résultats du système d'éclairage public solaire décentraliser (LED 150 W) sont obtenu d'après logiciel HOMER dans le tableau suivant :

| Valeur  | LED 150W<br>(Équiv à HPS 400W) |
|---|--------------------------------|
| Système photovoltaïque (KW)                   | 1.3                            |
| Nombre de batterie                            | 2                              |
| Taille de convertisseur (KW)                  | 0.3                            |
| Coût actuel net (\$/an)                       | 2,056                          |
| Coût d'énergie (\$/KWh)                       | 0.245                          |
| Production d'énergie en fonctionnement annuel |                                |
| Charge primaire en CA (KWh/an)                | 656                            |
| Production PV (KWh/an)                        | 2,073                          |
| Fraction renouvelable (%)                     | 100                            |
| Charge non satisfaite (KWh/an)                | 0.535                          |
| Déficit de capacité (KWh/an)                  | 0.624                          |
| Excès d'électricité (KWh/an)                  | 1,233                          |

**Tableau 4.5** : Résultats technique et économique d'un seul luminaire 150W.



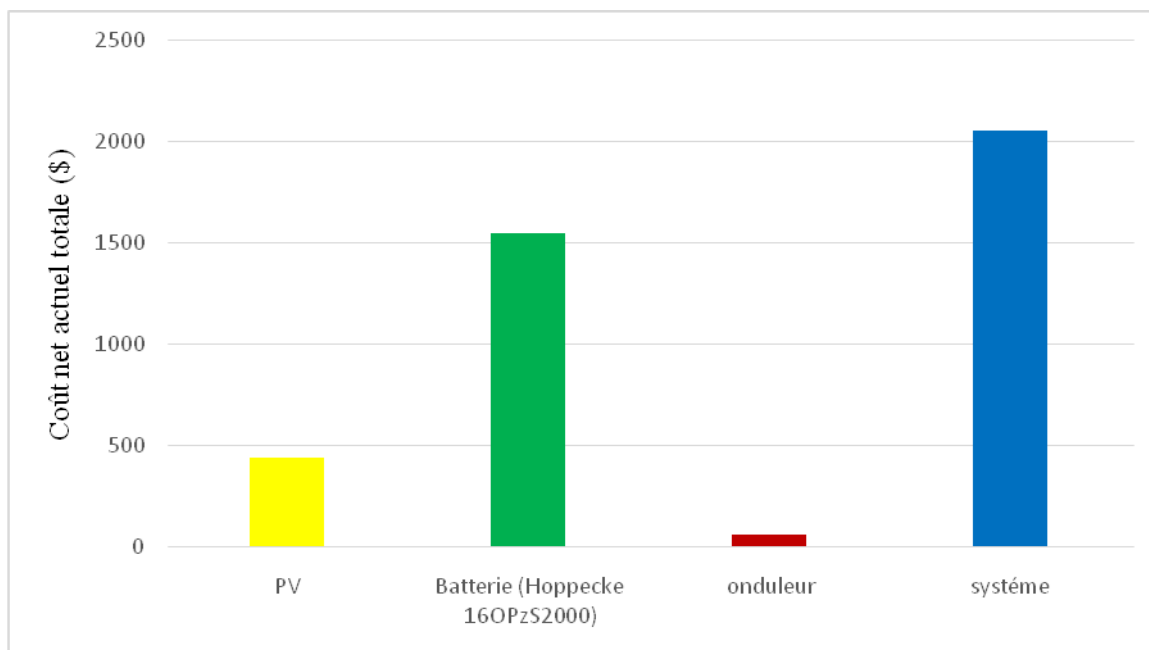


Figure 4.14 : Coût total actuel net pour LED de 150 W.

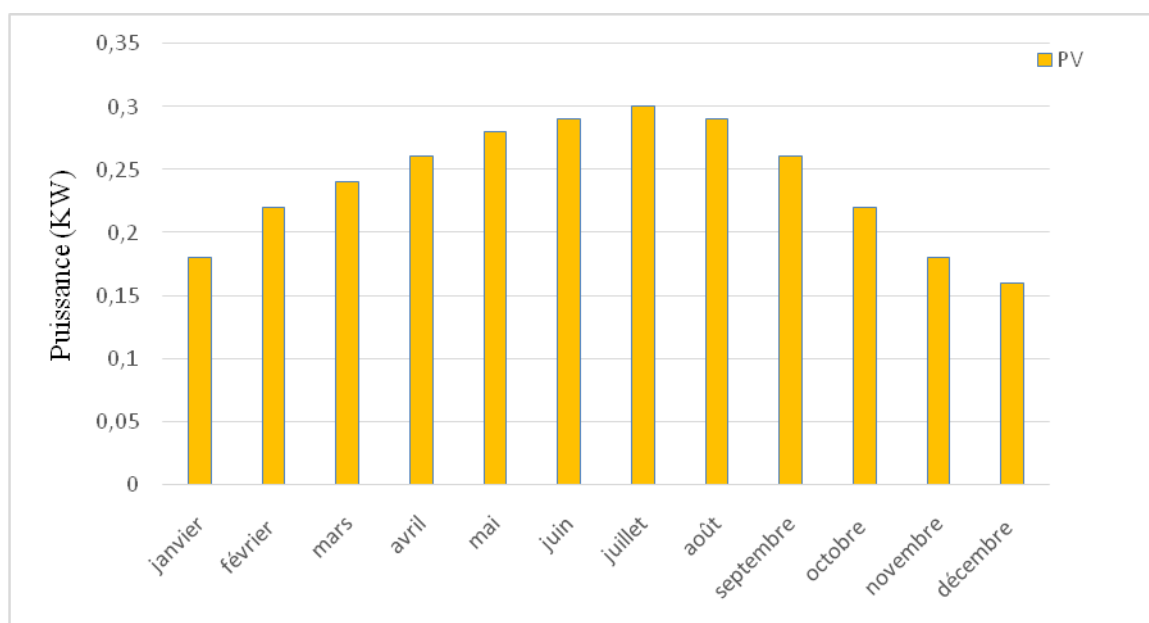


Figure 4.15 : Production électrique mensuelle moyenne.

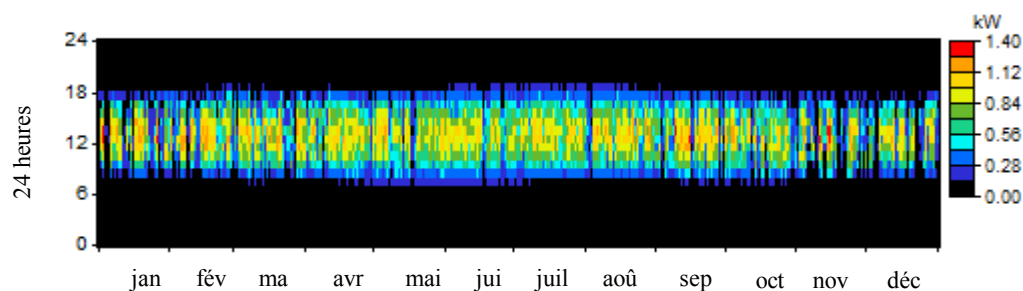


Figure 4.16: La production PV dans le cas de la configuration décentralisée (LED 150W)

#### 4.8.1.2 Analyse des résultats :

Chaque unité de systèmes d'éclairage public à LED 150 W nécessite un PV de 1,3 KW et deux batteries et un convertisseur d'une capacité 0.3 kW.

- Nous avons utilisé le tableau (4.5) pour visualiser et localiser le coût total actuel net (2,056\$/an) ; le coût unitaire de l'énergie est estimé à (0.245 \$/KWh)
- Pour estimer le coût de 158 luminaires nous allons multiplier le coût total actuel net par le nombre total de luminaire utilisé.

$$\text{cout}_{158\text{lampes}} = 2,056 \times 158 \dots\dots\dots (4.2)$$

$$\text{cout}_{158\text{lampes}} = 324,848 (\$/\text{an}) \dots\dots\dots (4.3)$$

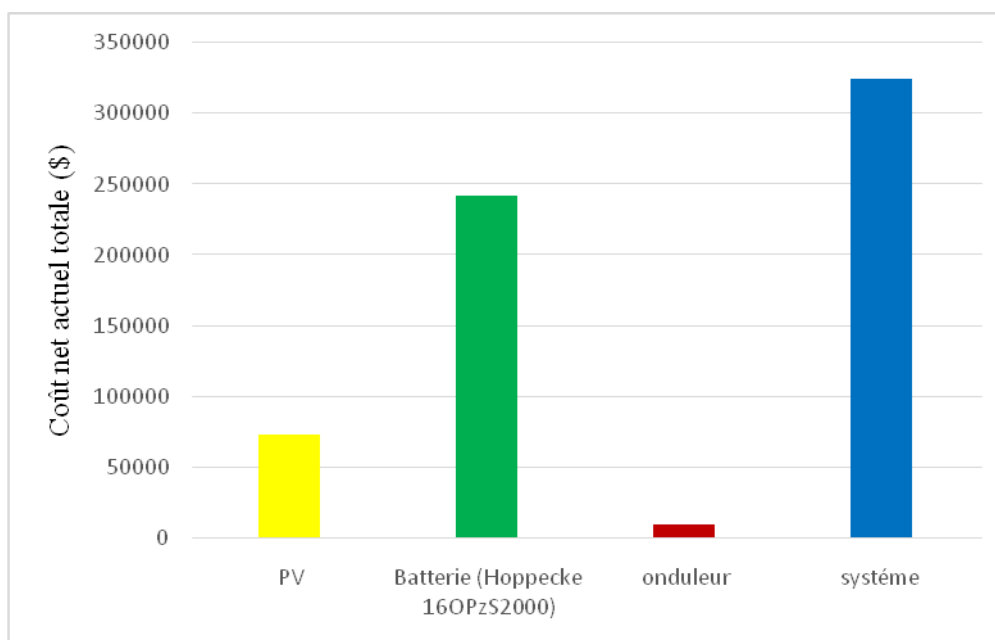
#### 4.8.2 Scénario 2 : Système d'éclairage public solaire centralisé (158 luminaires de type LED de 150 W).

##### 4.8.2.1 Résultats de la simulation :

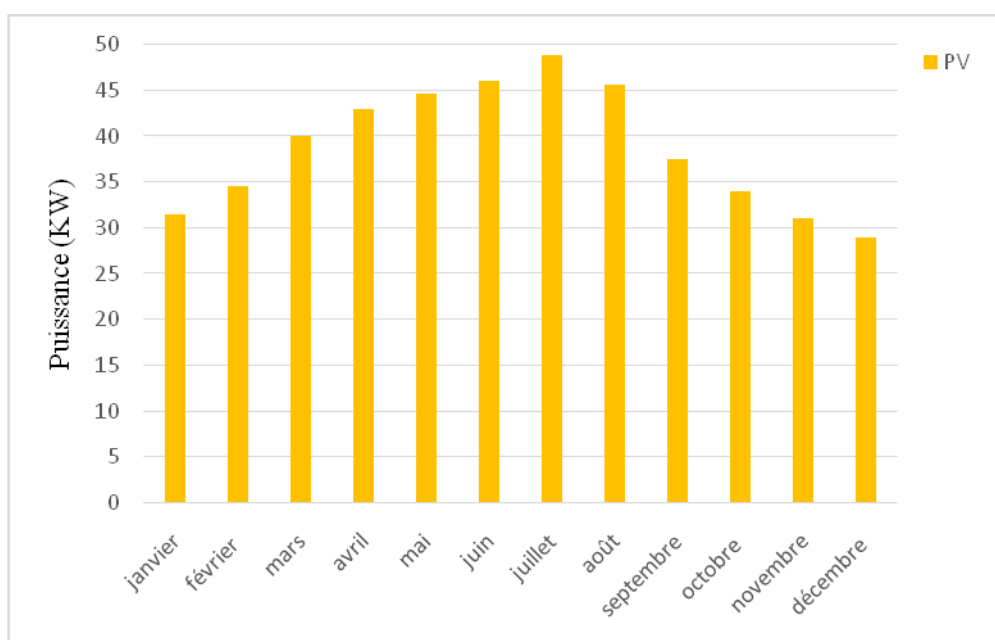
Le tableau qui suit montre les résultats du système d'éclairage public solaire centralisé de 158 luminaires (LED 150 W) :

| Valeur   | LED 150W<br>(Équiv à HPS 400W)<br>(158 luminaires) |
|--|--|
| Système photovoltaïque (KW)                          | 215  |
| Nombre de batterie                                   | 302  |
| Taille de convertisseur (KW)                         | 46   |
| Coût actuel net (\$/an)                              | 324,697  |
| Coût d'énergie (\$/KWh)                              | 0.242  |
| <b>Production d'énergie en fonctionnement annuel</b> |  |
| Charge primaire en CA (KWh/an)                       | 105,033  |
| Production PV (KWh/an)                               | 342,789  |
| Fraction renouvelable (%)                            | 100  |
| Charge non satisfaite (KWh/an)                       | 86,7   |
| Déficit de capacité (KWh/an)                         | 104  |
| Excès d'électricité (KWh/an)                         | 208,463  |

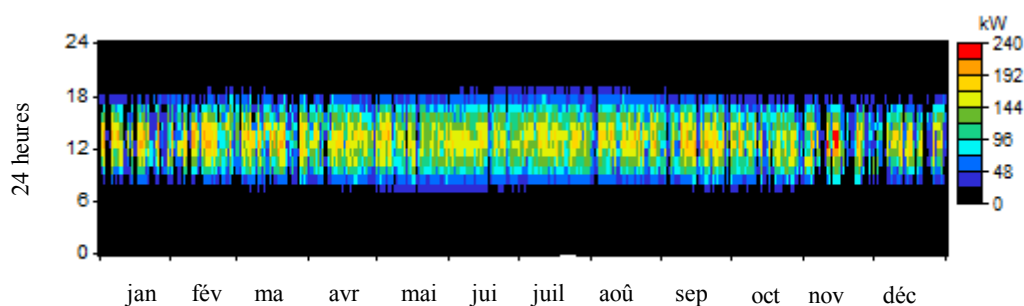
**Tableau 4.6 :** Résultats technique et économique pour 158 luminaires de 150W.



**Figure 4.17 :** Coût total actuel net pour 158 luminaires LED de 150



**Figure 4.18 :** Production électrique mensuelle moyenne des 158 luminaires LED de 150 W.



**Figure 4.19 :** La production PV dans le cas de la configuration centralisée (LED 150W).

#### 4.8.2.2 Analyse des résultats :

Dans cette partie, le système d'éclairage public centralisé de 158 luminaires LED (150 W) contient un PV de 215 KW et 302 batteries et un convertisseur d'une capacité 45 kW.

- Nous avons utilisé le tableau (4.6) pour obtenir le coût total actuel net (324,697\$/an) ; le coût unitaire de l'énergie est estimé à (0.242\$/KWh).

#### 4.8.2.3 Interprétation des résultats :

L'intérêt de l'investissement pour la wilaya de Saida 'cite Soummam' qui contient 158 luminaires dans le but d'avoir un meilleur rendement d'éclairage avec un coût minimaliser.

Après l'implantation de notre système nous constatons qu'il y'a une réduction dans le coût total actuel net de 158 luminaires LED de 150 W (324,697 \$/an) comparant au coût total actuel net d'un luminaire LED de 150W (2,056\$/an) multiplier par 158 luminaires avec un coût de (324,848 \$/an).

L'application de la gestion de la demande d'éclairage public par l'utilisation de la technologie LED permet de réaliser de grande économie à savoir (2,056\$/an) et (324,848 \$/an) en termes de cout totale actuel net.

A noter que l'utilisation de 158 luminaires LED par rapport à un seul luminaire de 150W, la gestion de la charge de ce système entraine une réduction de la consommation d'énergie et par conséquent une réduction significative du coût.

#### 4.9 Proposition avec un luminaire de 100 W :

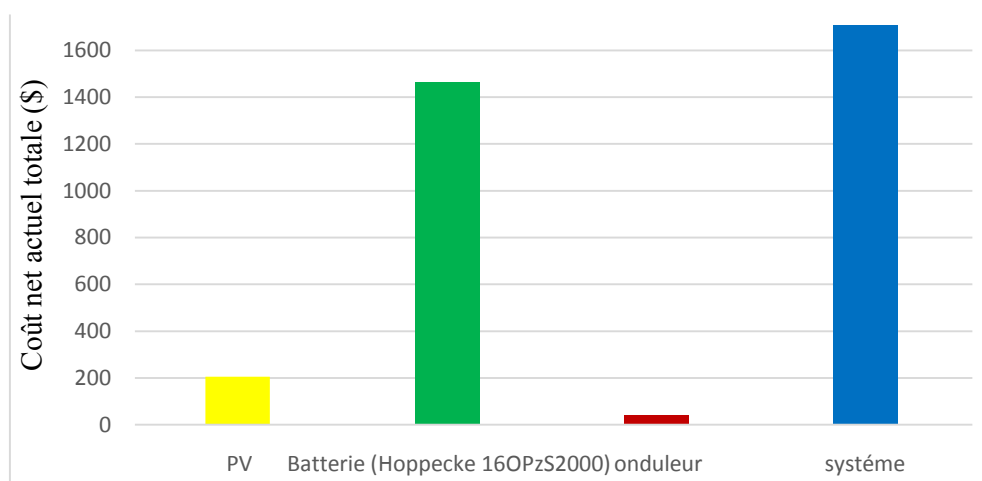
Nous avons proposé de remplacer des luminaires LED de 150 W avec des luminaires LED de 100W pour économiser le coût et atténuer la puissance, sachant que la cité Soummam est un quartier résidentiel qui ne nécessite pas un éclairage assez puissant. [76]

Dans le premier lieu nous avons simulé le cas décentraliser (un seul luminaire de 100W) ; les résultats calculer par le logiciel HOMER sont mentionnés dans le tableau suivant :

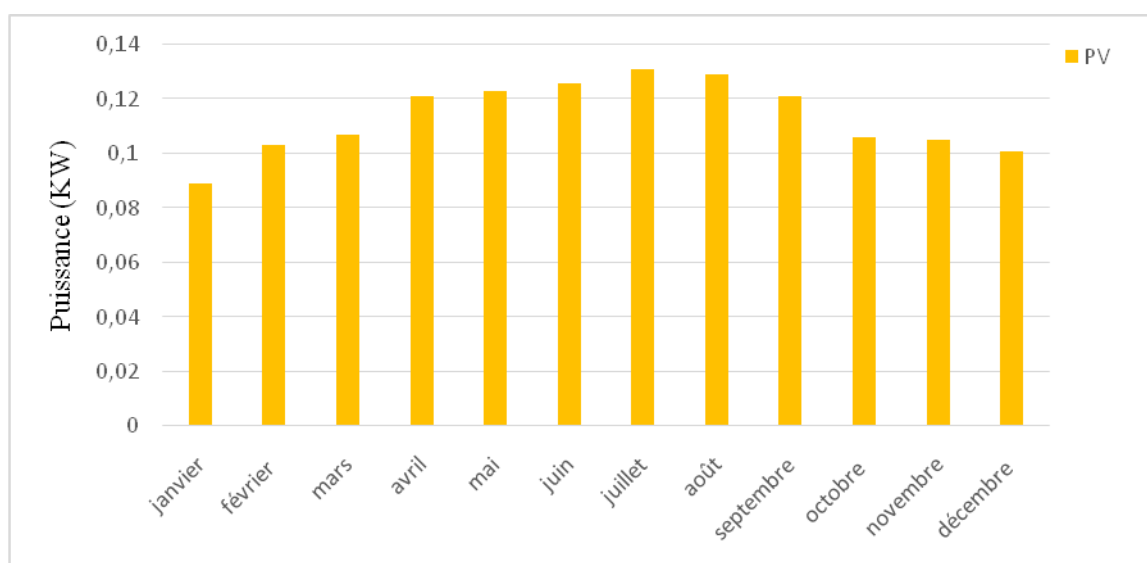
| Valeur                       | LED 100W<br>(Équiv à HPS 250W) |
|------------------------------|--------------------------------|
| Système photovoltaïque (KW)  | 0.6                            |
| Nombre de batterie           | 2                              |
| Taille de convertisseur (KW) | 0.2                            |
| Coût actuel net (\$)         | 1,711                          |
| Coût d'énergie (\$/KWh)      | 0.284                          |

| Production d'énergie en fonctionnement annuel |        |
|---|--------|
| Charge primaire en CA (KWh/an)                | 471    |
| Production PV (KWh/an)                        | 957    |
| Fraction renouvelable (%)                     | 100    |
| Charge non satisfaite (KWh/an)                | 0      |
| Déficit de capacité (KWh/an)                  | 0.0124 |
| Excès d'électricité (KWh/an)                  | 355    |

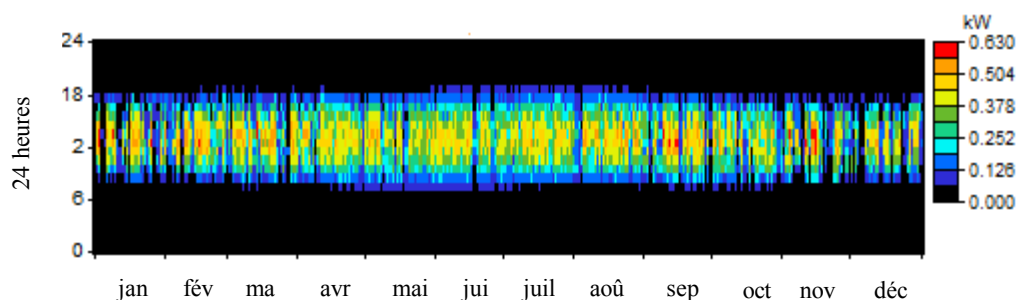
**Tableau 4.7:** Résultats technique et économique d'un seul luminaire de 100W.



**Figure 4.20 :** Coût total actuel net pour LED de 100 W.



**Figure 4.21:** Production électrique mensuelle moyenne du LED de 100 W.



**Figure 4.22** : La production PV dans le cas de la configuration décentralisée (LED 100W).

#### 4.9.1 Analyse des résultats :

Dans ce système nous avons remplacé les luminaires LED de 150 W par luminaire LED de 100W, nous avons commencé par le premier essai simulation décentraliser d'un seul luminaire LED de 100W. le système se compose d'un PV de 0.6 KW et de 2 batteries et un convertisseur d'une capacité de 0.2 kW.

Nous avons utilisé les résultats du tableau (4.7) calculer par le logiciel HOMER pour obtenir le coût total actuel net (1,711\$/an) ; le coût unitaire de l'énergie est estimé à (0.284\$/KWh).

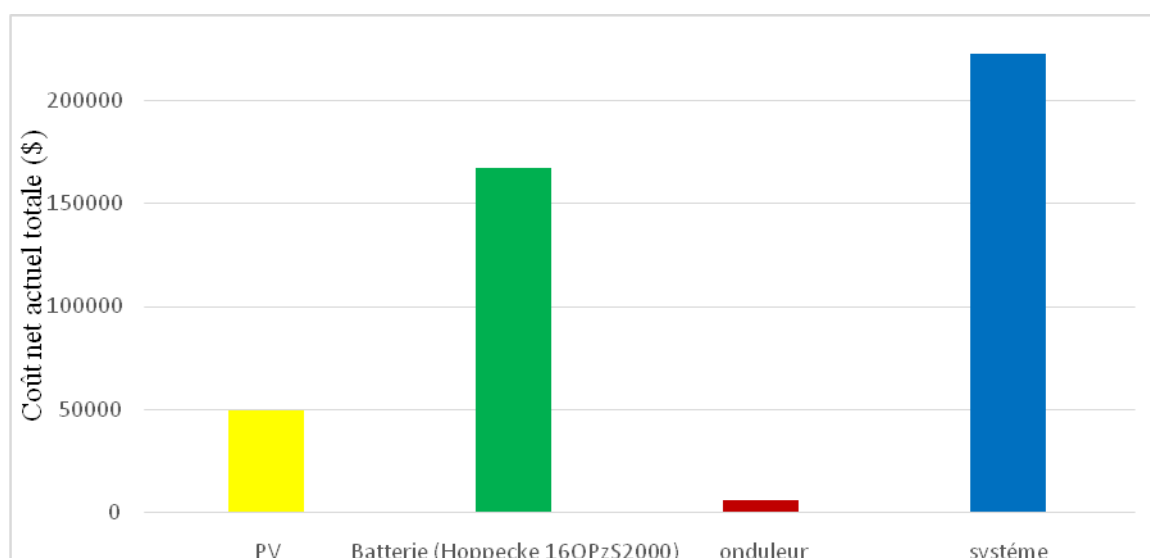
#### 4.9.2 Résultat de simulation Centralisé 100 W :

Le tableau qui suit montre les résultats calculer par le logiciel HOMER du système d'éclairage public solaire centralisé de 158 luminaires (LED 100 W) :

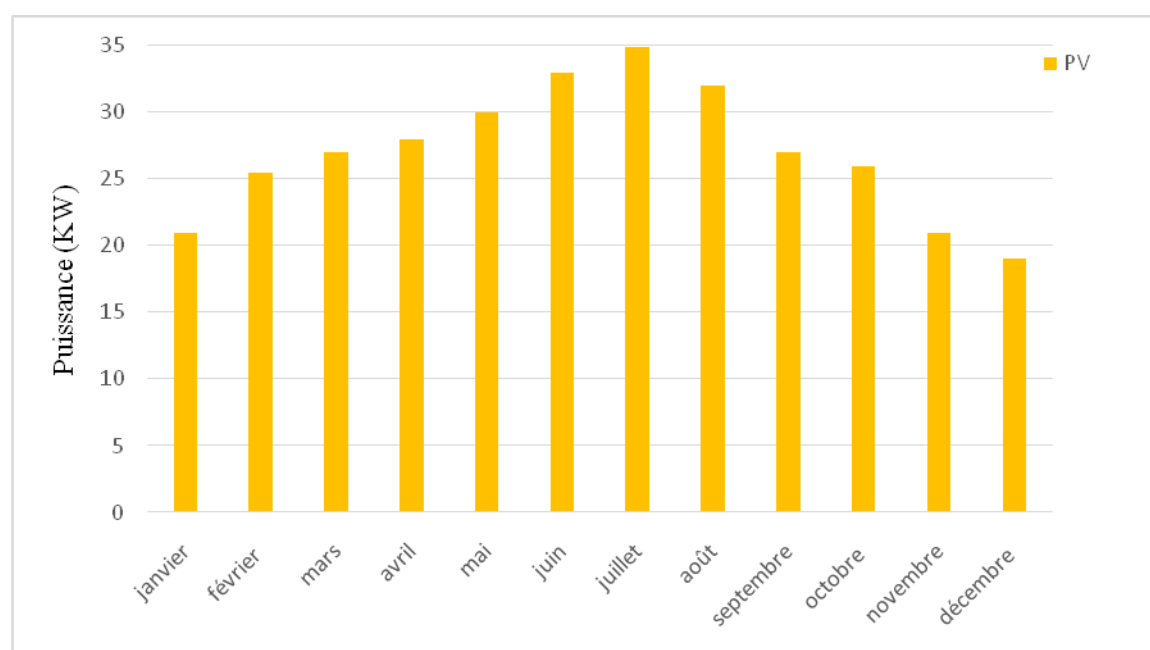
| Valeur   | LED 100W<br>(Équiv à HPS 250W)<br>(158 luminaires) |
|--|--|
| Système photovoltaïque (KW)                          | 145  |
| Nombre de batterie                                   | 200  |
| Taille de convertisseur (KW)                         | 30   |
| Coût actuel net (\$)                                 | 222,690  |
| Coût d'énergie (\$/KWh)                              | 0.234  |
| <b>Production d'énergie en fonctionnement annuel</b> |  |
| Charge primaire en CA (KWh/an)                       | 74,402   |
| Production PV (KWh/an)                               | 231,187  |
| Fraction renouvelable (%)                            | 100  |

|                                       |         |
|---------------------------------------|---------|
| <b>Charge non satisfaite (KWh/an)</b> | 58.4    |
| <b>Déficit de capacité (KWh/an)</b>   | 71.1    |
| <b>Excès d'électricité (KWh/an)</b>   | 135,992 |

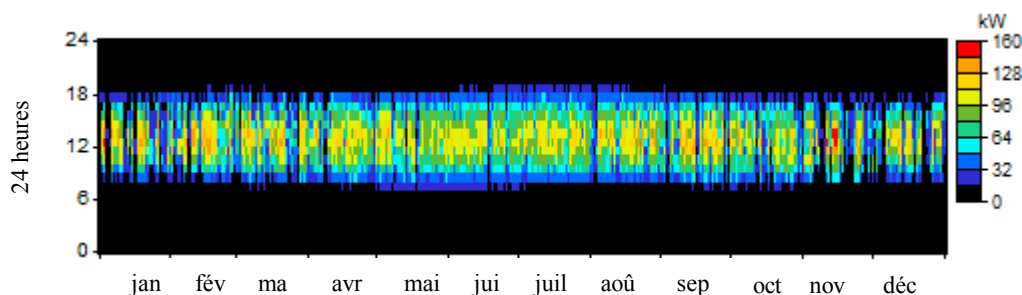
**Tableau 4.8 :** Résultats technique et économique pour 158 luminaires de 100W.



**Figure 4.23 :** Coût total actuel net pour LED de 100 W.



**Figure 4.24 :** Production électrique mensuelle moyenneCentralisé du LED de 100 W



**Figure 4.25 :** La production PV dans le cas de la configuration centralisée (LED 100W).

#### 4.9.3 Analyse des résultats :

Le système d'éclairage public centralisé de 158 luminaires (LED 100 W) se compose dans cette partie d'un PV de 145 KW et 200 batteries et un convertisseur d'une capacité de 30 kW.

A partir des résultats du tableau (4.8) calculer par le logiciel HOMER nous avons tiré le coût total actuel net (222,690\$/an) ; le coût unitaire de l'énergie est estimé à (0.234\$/KWh).

#### 4.9.4 Interprétation des résultats :

L'étude de notre système d'éclairage public avec l'intégration des énergies renouvelables (solaire) est réalisée dans le but d'améliorer le coût avec une meilleure gestion d'énergie.

- Nous constatons qu'il ya une nette amélioration concernant le coût total actuel net TNPC de le luminaire LED 100 W (222,690\$) par rapport au liminaire LED 150W(324,697\$/an) de Coût total actuel net TNPC.

L'application du luminaire LED 100W dans notre système a donnée dans un premier point un système fiable et dans un deuxième point une réduction du coût. Qui signifié que l'intérêt de la gestion de la demande dans l'éclairage public sur la wilaya de Saïda cité Soummam est un point technico-économique.

Notons que à cause de l'impossibilité d'accès de données réels, nous n'avons pas pu faire une estimation des couts de travaux de fondation et des équipements (câblage, poteaux ...etc.) concernant le système d'éclairage public photovoltaïque centralisée.

Pour la simulation de système d'éclairage public photovoltaïque centralisée ou décentralisée après les essais que nous avons faits, le choix revient en dernier lieu au consommateur et c'est par rapport à son emplacement et surtout aux prix existants.

#### 4.10 Conclusion :

En éclairage, la consommation d'énergie est très liée à la lampe utilisée, aussi il est important de bien choisir le luminaire à installer pour avoir le maximum d'éclairage possible.



Dans ce chapitre, nous avons présenté l'étude et la simulation du système d'éclairage public photovoltaïque centralisée et décentralisée en utilisant des luminaires LED au niveau de cité Soummam (Wilaya de Saida). La simulation est faite à travers le logiciel HOMER, qui nous a permis de traiter des résultats en utilisant des données réels, basés sur des contraintes de coût et de variations des données de réseau.

Comme conclusion, l'utilisation de la technologie LED comme moyen d'efficacité énergétique et de gestion de la charge réduira la consommation d'énergie, le total NPC et le coût de la facture. L'intégration des activités de la gestion de la charge, l'efficacité énergétique, la conservation de l'énergie par l'utilisation de la technologie LED combinée avec solaire PV sur les différents endroits est observée comme solution rentable, durable et respectueuse de l'environnement.

# Conclusion Générale

## *Conclusion Générale*

La croissance de la demande sur l'énergie électrique, a été toujours en évolution et une nécessité permanente des clients, qui rencontrent souvent en face l'incapacité des producteurs d'électricité à satisfaire cette exigence.

La gestion de la demande consiste à planifier et manager la consommation d'électricité côté consommateur. Aujourd'hui, la population augmente et la consommation d'électricité aussi. L'économie d'énergie électrique est donc l'un des facteurs les plus importants du système électrique.

Tout au long de l'année dans nos régions, la durée de la nuit varie de sept heures à seize heures. La vie moderne nous amène à parcourir fréquemment les paysages urbains, les abords de nos habitations à la nuit. Si nous sommes nés avec la lumière du jour, nous avons résolument au fil des âges aménagé et socialisé nos lieux de vie par la flamme, le feu, puis l'éclairage artificiel.

L'éclairage public regroupe les moyens utilisés pour éclairer les espaces publics et les voiries. Il existe plusieurs catégories d'éclairage à usage public, dont le choix dépendra des spécificités du lieu à éclairer. Pour les allées piétonnes, les rues, les avenues et les places publiques...etc.

L'impact environnemental des centrales électriques à base des fossiles qui se caractérise par le dégagement de la pollution et le réchauffement de la planète. Ces raisons ont incité les producteurs d'électricité à trouver une autre solution alternative qui est l'utilisation des EnR pour satisfaire le besoin tant en qualité qu'en quantité.

Les énergies renouvelables sont propres et constituent une solution alternative pour subvenir aux besoins de la société actuelle. Longtemps négligées ces énergies reprennent la place qui leurs est dûe, grâce aux recherches et études qui se font de plus en plus diversifiées et pluridisciplinaires

La production d'énergie est un défi très important dans les années à venir. En effet, les besoins énergétiques des pays continuent d'Augmenter. Le contrôle de la consommation d'énergie est sans aucun doute une préoccupation majeure pour de nombreux pays. De 2004 à 2030, la consommation mondiale d'énergie augmentera de 50%, Soutenir la croissance démographique et économique, L'éclairage public représente 40% de la consommation nationale en énergie, soit 6500 MW sur les 14500 MW consommés.

La politique Algérienne en matière de maîtrise d'énergie s'est renforcée ces dernières années par la mise en place d'un arsenal législatif conséquent. Elle opte pour la préservation des énergies non renouvelables qui peuvent éventuellement être remplacées par des énergies gratuites, comme l'énergie solaire. La capacité d'énergie solaire de l'Algérie est très importante. Une grande partie du territoire national est fortement exposée au soleil.

En plus des sources d'énergie renouvelables, des charges de consommation efficaces étaient nécessaires et, à cet égard, la technologie LED jouait un rôle important dans la réduction de la consommation d'énergie dans l'éclairage. L'un des principaux avantages de la technologie des cellules photovoltaïques et de la technologie LED est qu'elles pouvaient être facilement combinées, car les tensions produites par les cellules photovoltaïques et la tension de la charge LED peuvent correspondre. Ces systèmes étaient très efficaces sans étapes supplémentaires de transformation de la tension. Aujourd'hui, les systèmes solaires LED sont utilisés dans l'éclairage public, l'éclairage résidentiel où il n'y a pas ou peu de réseau, et dans les systèmes d'éclairage mobiles.

- Le premier chapitre définit la gestion de la demande en général. La demande d'énergie au niveau national augmente année après année en raison du développement démographique et urbain, en plus du développement économique en constante progression.
- Le deuxième chapitre ; nous avons parlé sur l'historique de l'éclairage public en général puis nous avons bien détaillé les types de lampes existants dans le monde et leur évolution dans le temps. Beaucoup de pays se sont fixés des objectifs stratégiques ambitieux et ont lancé des programmes intégrés sur l'éclairage public et dans cette optique, une politique et une stratégie internationale a été développée, et adoptée par plusieurs pays du monde dont l'Algérie, tend à l'utilisation des EnR dans la production d'électricité et leurs intégrations dans les réseaux électriques nous avons étudié l'éclairage solaire et leur développement dans le monde.
- Dans le troisième chapitre ; nous avons abordé une étude sur la consommation de l'énergie à travers une analyse de l'éclairage public en Algérie puis l'éclairage public dans la wilaya de Saida.
- Le quatrième chapitre était consacré à la réalisation de notre système avec des lampes HPS et LED et à la comparaison entre les deux lampes . Par la suite nous avons appliqué à notre système l'étude technico-économique en simulant sur logiciel Homer pour deux types de lampes LED 150 W et LED 100 W.

Dans notre travail, l'effet technico-économique des activités de gestion de la charge pour la transition de l'éclairage public dans la Wilaya de Saida (cite Soummam) a été présenté, en se concentrant sur l'étude de faisabilité économique de l'utilisation de la technologie LED en combinaison avec un petit générateur solaire photovoltaïque comme source d'énergie en utilisant le modèle d'optimisation HOMER.

## *Conclusion Générale*

Comme nous le savons, les lampes à mercure sont les types les plus utilisés dans le système d'éclairage public en Algérie, et c'est la raison pour laquelle ce mémoire vise à quantifier les économies réalisées en remplaçant les lampes conventionnelles à sodium haute pression HPS par la technologie LED en termes d'énergie consommée, le coût d'investissement du système d'éclairage et le coût de la facture d'électricité.

Nous avons constaté que le type d'éclairage LED-solaire est une alternative économique et écologique pour les deux raisons suivantes. D'une part, l'utilisation de lampes LED peut durer très longtemps et consomme également beaucoup moins d'énergie. D'autre part, la source d'énergie PV est respectueuse de l'environnement. En outre, l'éclairage solaire indépendant est une solution prometteuse dans certaines régions éloignées où le réseau électrique n'est pas disponible.

Après l'étude que nous avons faite concernant le thème du dit projet soit « l'activité de la gestion de la charge pour la transition d'éclairage public application (Wilaya de Saida)»; il s'avère qu'une fois appliquée sur le terrain cette étude nous permet de faire la synthèse suivante : l'application de la gestion de l'éclairage public entraîne automatiquement de bons résultats dont une économie de l'énergie qui suppose un excès dans la production qui est très lucratif ( excès qu'on peut vendre ou exporter ) et surtout à moindre couts pour le développement et l'émancipation de l'entreprise réalisatrice du projet .

Une conclusion générale clôt notre mémoire.

# **Références bibliographiques**

## Références bibliographiques

- [1] **Djodjo KALENGA et Michel OHUMI** « Détermination des profils de charges des consommateurs basse et moyenne tensions et sureté de fonctionnement du réseau de distribution de la ville de Lubumbashi », Mémoire online Université de Lubumbashi - Ingénieur civil en Electromécanique 2006.
- [2] <https://www.ree.es/en/activities/operation-of-the-electricity-system/demand-management>
- [3] **J.C.SABONNADAIERE, N. HADJSAID**, « Lignes et réseaux électriques 1(lignes d'énergieélectrique) », Livre, paris, Lavoisier 2007.
- [4] <https://etap.com/fr/product/load-management#features>
- [5] <http://jackadit.com/index.php?p=dem1>
- [6] **Ammar Hadj MESSAOUD**, « la gestion de la demande », Publié le 30 Avril 2019. <https://ideeforce.dz/blog/2019/04/30/la-gestion-de-la-demande-2/>
- [7] <https://slideplayer.fr/slide/10807544/38/images/10/Les+activit%C3%A9s+de+gestion+de+la+demande.jpg>
- [8] **PH-Marier**, "Prévision de la demande", Ingénieur MBA, Université Laval Québec
- [9] **Sara BENACEUR**, « Cour la gestion de la demande », ,13 Juillet 2017.
- [10] **Simon AYOUB**, « Technique distribué de gestion de la charge sur le réseau électrique et RING-TREE : un nouveau système de communication P2P », Thèse de doctorat en génie électrique, Université de Sherbrooke, Mars 2013.
- [11] **Luis FERNANDO Rueda VASQUEZ**, « Modélisation des comportements des occupants des applications de gestion de la demande d'électricité dans le secteur résidentiel », Thèse de doctorat en génie électrique, Université du Québec à TROIS-RIVIÈRE, Septembre 2021.
- [12] **Claire BERGAENTZLE**, « Smartgrids et efficacité des systèmes électriques : instruments de régulation et impacts de la gestion de la demande », Thèse de doctorat en science économique, Université Grenoble Alpes, 23 Juin 2015.
- [13] **Labo CHHUN**, « Modes d'alimentation et de commande des lampes sodium haute pression en vue d'éviter les résonances acoustiques », Thèse de Doctorat, Université de Toulouse,2010.

- [14] **Asset Management & Maintenance (AM)**, « Standardized Public Lighting Inventory Template User Manual», Standards and Research Section, Transport Infrastructure Ireland, December 2017
- [15] **La Fédération nationale des collectivités concédantes et régies (FNCCR)**, « Guide de l'ÉLU local et intercommunal »,2021.
- [16] **Cahier technique**, « Impact énergétique et environnemental de l'éclairage : un enjeu pour l'avenir »,2010
- [17] **Dictionnaire français la rousse**,  
<https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/lumi%C3%A8re/48043>
- [18] **Le Canada sous les étoiles**, « La découverte du spectre de la lumière blanche», [http://astro-canada.ca/la\\_decouverte\\_du\\_spectre\\_de\\_la\\_lumiere\\_blanche-the\\_white\\_light\\_spectrum-fra](http://astro-canada.ca/la_decouverte_du_spectre_de_la_lumiere_blanche-the_white_light_spectrum-fra)
- [19] **Article n° 04 924 111-F**, Zumtobel Lightning GmbH (Guide de l'éclairage, 2017)
- [20] **Aquaportail.com** <https://www.aquaportail.com/definition-8326-photometrie.html>
- [21] **Dictionnaire carnets2psycho** <https://carnets2psycho.net/dico/sens-de-photometrie.html>
- [22] **Standard Pro**, «Le rôle de la photométrie dans l'aménagement de l'éclairage » ,2018.  
<https://www.standardpro.com/fr/photometry-in-lighting-layout-2/#:~:text=La%20photom%C3%A9trie%20est%20l'art,per%C3%A7u%20par%20l'%C5%93il%20humain.&text=On%20emploie%20deux%20appareils%20pour,%C3%A9mis%20par%20une%20source%20lumineuse.>
- [23] **Silamp**, « Guide Utile- tout savoir sur l'éclairage LED : l'intensité lumineuse» ,<https://www.silamp.fr/intensite-lumineuse>
- [24] **Temperature\_de\_couleur.pdf**[http://photo-club-gien.weebly.com/uploads/2/3/9/5/23954789/la\\_temprature\\_de\\_couleur.pdf](http://photo-club-gien.weebly.com/uploads/2/3/9/5/23954789/la_temprature_de_couleur.pdf)
- [25] **Mehdi DAOUDI, ICP Performances**, « Fondamentaux de l'éclairage public », Coopération Municipale-CoMun Gouvernance locale et participative au Maghreb,2018.
- [26] **Standard Pro**, «Comment choisir la lumière qui fera ressortir les bonnes couleur des produits en magasins » ,2016 <https://www.standardpro.com/fr/comment-choisir-la-lumiere-qui-fera-ressortir-les-bonnes-couleurs-des-produits-en-magasins/>
- [27] **Standard Pro**, « Qu'est-ce que l'indice de rendu des couleurs » ,2017.<https://www.standardpro.com/fr/quest-ce-que-lindice-de-rendu-des-couleurs/>
- [28] **Dictionnaire français la rousse**,  
<https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/%C3%A9clairage/27537>



- [29] **DENEYER, P. D., B. ROISIN, M. B.** « Guide pratique et technique l'éclairage résidentiel ».Bruxelles. 2011
- [30] **ZAHER'ELBELLE, B.** « Éclairage publics-état des lieux et perspectives-cas d'étude la ville de Laghouat ». Biskra. 2016/2017.
- [31] **Shop luminaire**, « Évolution de l'éclairage dans le temps »,2020 <https://shop-luminaire.com/blogs/blog-la-lumiere-son-histoire/evolution-de-leclairage-historique>
- [32] **Playhookie**, « Évolution de l'éclairage »,2019 <https://www.playhooky.fr/retro/evolution-eclairage/>
- [33] **Amira BENMABROUK**, « L'éclairage public à Djamaa. État des lieux », Mémoire de Master, Université Mohamed Khider de Biskra, 2019.
- [34] **Écohabitation** ,« L'ampoule à incandescence classique »,2012. <https://www.ecohabitation.com/guides/2769/lampoule-a-incandescence-classique/>
- [35] **La gestion de l'éclairage.** [https://disciplines.ac-toulouse.fr/sii/sites/sii.disciplines.ac-toulouse.fr/files/ressources/ressources-eleves/thematique\\_eclairage/ressource-eclairage.pdf](https://disciplines.ac-toulouse.fr/sii/sites/sii.disciplines.ac-toulouse.fr/files/ressources/ressources-eleves/thematique_eclairage/ressource-eclairage.pdf)
- [36] **Conseil thermiques** , «Comparatif des différents types d'ampoules : à incandescence, fluocompactes (basse consommation), halogènes, led», [https://conseils-thermiques.org/contenu/comparatif\\_ampoule\\_incandescence\\_fluocompact\\_halogene\\_led.php](https://conseils-thermiques.org/contenu/comparatif_ampoule_incandescence_fluocompact_halogene_led.php)
- [37] **Conseil thermiques** , «Kits solaire », <https://conseils-thermiques.org/contenu/kit-panneau-solaire.php>
- [38] **Bernard Valeur**, «La genèse des couleurs, un dialogue entre lumière et matière»,2015<https://new.societechimiquedefrance.fr/wp-content/uploads/2019/12/2015-396-mai-p29-valeur-hd.pdf>
- [39] **Éric ROAUX**, « Les sources de lumière pour l'éclairage »,2007.<https://new.societechimiquedefrance.fr/wp-content/uploads/2019/12/2007-308-309-juin-juil-p.95-Roaux.pdf>
- [40] **P.PEER, Eric MOLDVAR**, «Principe d'éclairagisme », École polytechnique Montréal ,2021 <https://moodle.polymtl.ca/course/view.php?name=E-314>
- [41] **J. SCHONEK, M. VERNAY**, « Cahier technique n° 205 L'alimentation des circuits d'éclairage »,Schneider electric,2002. <https://eduscol.education.fr/sti/sites/eduscol.education.fr.sti/files/ressources/techniques/3862/3862-ct205.pdf>
- [42] **Lumhouse**, « Lampes à décharge »,<https://www.lumhouse.fr/tout-savoir-sur/lampe-a-decharge/>

- [43] **Ahmed Nour El Islam AYAD**, « Étude et analyse des interférences électromagnétiques dans les procédés à décharges électriques », mémoire de magister, Université Djillali Liabes De Sidi- Bel-Abbès ,2011.
- [44] **Universel LED**, « Fonctionnement d'une Ampoule LED », <https://universal-led.com/infosled/principe>
- [45] **Enertech**, « L'éclairage par LED »,2003. [eclairage\\_par\\_led.pdf](#)
- [46] **PboxLighting**, « Avantages et inconvénients de l'énergie solaire pour l'éclairage », <https://www.pboxlighting.com/fr/avantages-et-inconvenients-de-lenergie-solaire-pour-leclairage/>
- [47] **Tachyonlight**, « Avantages et inconvénients de lampadaires Solaires »,2021. <https://tachyonlight.com/avantages-et-inconvenients-du-lampadaire-solaire/>
- [48] **Hisour** , «Lampe solaire», <https://www.hisour.com/fr/solar-lamp-39464/>
- [49] **Luminaire solaire**, « Lampe solaire : quels inconvénients ? », <https://luminaire-solaire.com/lampe-solaire-inconvenients/>
- [50] **Cmimarseille** , «Guide fondamental de l'EP »,2018 <https://www.cmimarseille.org/sites/default/files/newsite/library/files/fr/Guide%20REMME%20FONDAMENTAUX%20web.pdf>(guide fondamental de l'EP, 2018) .
- [51] **Daniel SCHUMANN, Saber AFLI**, « Guide technique module 3 : éclairage public »,Caisse dePrêts et de Soutien des Collectivités Locales (CPSCL), Tunisie,2019.
- [52] **B.LOONEY**, «Full Report—BP Statistical Review of World Energy 2020», London UK, 2020. [[Google Scholar](#)]
- [53] **Zissis GEORGE**, « Energy Consumption and Environmental and Economic Impact of Lighting: The Current Situation», In Handbook of Advanced Lighting Technology, Springer: Cham, Switzerland, 2016; pp. 1–13. [[Google Scholar](#)]
- [54] **Rabe MARCIN, Dalia STREIMIKIENE, Yuriy BILAN**,« EU Carbon Emissions Market Development and Its Impact on Penetration of Renewables in the Power Sector». Energies 2019. [[Google Scholar](#)]
- [55] **World Energy Outlook** ,2020. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>
- [56] **The Climate Group**, « Annual Report and Accounts 2018/19», London UK, 2019. [[Google Scholar](#)]
- [57] **Lux cahier technique**, « Les normes de l'éclairages », [362-ext.pdf](#)

- [58] **Benjamin FRADELLE**, « Les enjeu de l'éclairage public intelligents »  
<https://www.tactis.fr/eclairage-public-intelligent/>
- [59] **Knud Lasse LUETH**, «The Top 10 Cities Implementing Connected Streetlights: Miami, Paris and Madrid on top», IOT analytics.<https://iot-analytics.com/top-10-cities-implementing-connected-streetlights/>
- [60] **Météorologie Algérie**, [Office national de météorologie Algérie](#)
- [61] [https://www.routard.com/guide/algerie/2116/geographie\\_et\\_climat.htm](https://www.routard.com/guide/algerie/2116/geographie_et_climat.htm)
- [62] **Société Algérienne de Distribution de l'Electricité et du Gaz**, « Présentation du modèle de consommation énergétique au niveau des communes de l'Algérie, Juin 2018 ».
- [63] **Prof. Noureddine YASSAA**, « Eclairage public en Algérie : Référentiel National pour une Lumière de Qualité et Eco énergétique, 2022 ».
- [64] **KHEDDACHE Nahla**, “La promotion territoriale des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique : Opportunité et défis pour les collectivités locales”, Rencontre Nationale 2018. <https://www.interieur.gov.dz/images/La-promotion-territoriale-des-nergies-renouvelables-et-de-lfficacit-nergitique-.pdf>
- [65] **Algérie presse service**.<https://www.aps.dz/economie/132811-eclairage-public-26-des-lampadaires-en-led-et-2-en-photovoltaïques>.
- [66] **CHAMBEL Lazaro Alberto et COSSA Claudio Marina**, « Eclairage Public des Routes et Trottoirs en Algérie », Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du grade Master 2 en Génie Electrique, Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem, 2021.
- [67] **Centre de développement des énergies renouvelables**, « Candélabre solaire a LED réalisée à L'UDES/CDER »<https://www.cder.dz/spip.php?article4041>
- [68] **Melles BOULHARES Khadidja et TRAKET Chahira**, « Etude Pratique et Dimensionnement d'un Système d'Eclairage Public Photovoltaïque Autonome Cas d'étude ; Unité de Recherche d'Adrar », Mémoire de Master Académique en physique énergétique et énergie renouvelables, Université Ahmed Draïa Adrar, le 13/06/2018.
- [69] **Wikipedia.org**. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Sa%C3%AFda\\_\(Alg%C3%A9rie\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Sa%C3%AFda_(Alg%C3%A9rie))
- [70] **Algérie solidaire magazine d'information et d'opinion**, « Inauguration d'une centrale solaire dans la wilaya de Saida », 2016.<https://algeriesolidaire.net/inauguration-dune-centrale-solaire-dans-la-wilaya-de-saida/>
- [71] **HNEINI Mema Babe**, « Etude de la centrale photovoltaïque de Skhouna (Saida) », Mémoire de Master, Université Mohamed Boudiaf Msila, 2019.

[72] **Centre de développement des énergies renouvelables**,« Activités de Développement, de Réalisation et d'Expérimentation dans le Domaine de l'Energie Solaire Photovoltaïque », <https://www.cder.dz/spip.php-article20>.

[73] **M. KARA Abdelfattah**, « Dimensionnement et analyse du coût d'un système hybride de production d'énergie renouvelable pour des sites isolés en Algérie », mémoire de master, Algérie.

[74] **Eclairage Public en Algérie** : Référentiel National pour une Lumière de Qualité et Eco énergétique. <https://www.cerefe.gov.dz/fr/2022/02/01/eclairage-public-en-algerie/>.

[75] **Bank of Algeria** <https://www.bank-of-algeria.dz>.

[76] **HAFFAF Aziz**, « Contribution à la gestion de la charge des réseaux électriques selon la production d'énergie », thèse de doctorat en électrotechnique, université de Saida Dr. Molay Tahar, 2021

# **Annexe**

**الشركة الجزائرية لتوزيع الكهرباء والغاز**  
Société Algérienne de Distribution de l'Electricité et du Gaz

**FOURNITURE D'ELECTRICITE HAUTE TENSION TYPE A**

Capital Social : 64 000 000 000 DA  
Direction de distribution : SAIDA  
Adresse: 05 Rue AV AHMED MEDEGHRI  
N° RC: 08B01/0108492

**FACTURE N°: 922201A00104**  
N° NIF : 00000900054509320046  
N° RIB : BNA 00100724030030146949  
N° RCP : 00799999000056018429

Janvier 2022  
N° NIS : 000831016002457  
N° Fax : (048) 43-02-22  
N° Tél : (048) 43-05-12

**Client**

Référence : 209014000630164  
N° Client : 9290042  
Nom Du Client : COMMUNE DE SAIDA  
Adresse lieux de consommation : EP ISSU SOFI POSTE N 2000  
Nom & adresse du destinataire de la facture : COMMUNE DE SAIDA SAIDA 20000

N° Contrat: 9220030E1981  
Poste N°: 2000  
N° IS :  
NIF : 066220019025632  
N° RC :  
Tél : 0 00 00 00  
Fax : 0 00 00 00

Type : Facture cyclique  
Taux: 42  
Période de consommation du : 01/01/2022 au 31/01/2022

**Consommation :**

| Compteurs       | N° série     | Coef. de Lecture | Index Premier Cadran |         | Index Second Cadran |         | Index Troisième Cadran |         |
|-----------------|--------------|------------------|----------------------|---------|---------------------|---------|------------------------|---------|
|                 |              |                  | Ancien               | Nouveau | Ancien              | Nouveau | Ancien                 | Nouveau |
| Actif-T-Tarif   | 031361322817 | 1.00             | 327 338              | 320 191 | 97 822              | 98 639  | 114 862                | 115 697 |
| Reactif-S-T     |              | 1.00             | 512 251              | 514 196 |                     |         |                        |         |
| Index Puissance |              | 1.00             |                      | 11      |                     |         |                        |         |

| Energies         | Consommations |          |          | Périodes Tarifaires |         |
|------------------|---------------|----------|----------|---------------------|---------|
|                  | Cadran 1      | Cadran 2 | Cadran 3 | H.Pointe            | Pointe  |
| Consom. Active   | 1 853,00      | 817,00   | 835,00   |                     |         |
| P.E.C. Active    | 29,56         | 73,57    | 13,36    | 3 220,02            | 928,03  |
| P.A.V. Active    | 183,55        | 57,36    | 306,13   |                     |         |
| Consom. Réactive | 1 935,00      |          |          |                     |         |
| P.E.C. Réactive  | 77,40         |          |          |                     | 4542,00 |
| P.A.V. Réactive  | 2 029,60      |          |          |                     |         |

**FACTURATION**

Veuillez régler par :

- Virement au compte CCP ou bancaire sus indiqué
- Chèque CCP ou bancaire adressé à notre unité

Contribution aux coûts permanents du système: 31.12 DA

**Avant:**  
Un délai de paiement de 15 jours à dater de la réception de la présente facture vous est accordé. Passé ce délai, nous serons dans l'obligation d'entamer la procédure de suspension de la fourniture d'énergie.

| Energie consommée                       | Quantité | P.U. (cDA) | A déduire | A ajouter (cDA)  |
|---|----------|------------|-----------|------------------|
| H.Pointe                                | 3 220,02 | 100,64     |           | 5 816,09         |
| Pointe                                  | 928,03   | 872,02     |           | 8 092,61         |
| Facteur de Puissance (EREA)             | 109,48 % |            |           |                  |
| Majorsation                             | 2 467,58 | 45,53      |           | 1 123,49         |
| Puissance Mise à Disposition            | 50       | 3 870,00   |           | 1 935,00         |
| Puissance Maximale stérile              | 11       | 18 058,00  |           | 1 985,38         |
| Primes Fixes (cDA)                      | 1        |            |           | 515,65           |
| Montant énergie HT                      |          |            |           | 19 471,22        |
| TVA énergie Taux 19%                    |          |            |           | 3 699,53         |
| Location (Comptage, Transformateur)     |          |            |           | 0,00             |
| Entretien du poste transformateur       |          |            |           | 0,00             |
| Frais de coupure et remise              |          |            |           | 0,00             |
| Montant prestation Hors Taxes           |          |            |           | 0,00             |
| TVA prestation Taux 19 %                |          |            |           | 0,00             |
| Taxe d'habitation                       |          |            | 0,00      | 0,00             |
| Soutien de l'état                       |          |            |           | 0,00             |
| Taxe sur vente de produits énergétiques |          |            |           | 0,00             |
| <b>TOTAL FACTURE:</b>                   |          |            |           | <b>23 170,75</b> |

SAIDA, le 03/02/2022  
Le Directeur de Distribution

La présente facture est annexée à la somme de :  
Vingt-trois mille cent soixante-dix Dinars et soixante-quinze centimes

Coupon détachable à joindre à votre correspondance

N° Client : 9290042  
Facture N°: 922201A00104  
Référence : 209014000630164  
Montant : 23 170,75 DA

CM EBP: 506

