

**République Algérienne Démocratique et Populaire Ministère de l'Enseignement
Supérieur et de la Recherche Scientifique**

UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI, TIZI-OUZOU

FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE

DÉPARTEMENT D'ELECTRONIQUE



Mémoire de Fin d'Etude de MASTER ACADEMIQUE

Spécialité : Microélectronique

Filière : Génie Electrique

Thème

**Etude Comparative entre l'Éclairage public
classique et l'Éclairage public solaire
photovoltaïque**

Présenté par: OUKACI Hana

Soutenu devant le jury composé de:

Mr. ZIRMI Rachid
Mme. CHIBANE Loundja
Mr. SEMAOUI Smail
Mlle. HOCINE Dalila

UMMTO
UMMTO
CDER
UMMTO

Président
Examinatrice
Encadrant
Co-encadrante

Année Universitaire : 2023/2024

Remerciements

Tout d'abord, je remercie Dieu le Tout puissant de m'avoir donné le courage, la volonté, la patience et la santé durant toute la période consacrée à la réalisation de ce travail.

Je tiens à exprimer mes plus sincères remerciements à mon encadrant Mr SEMAOUI Smail, Directeur de Recherche CDER, pour avoir accepté d'encadrer et de diriger ce Travail, je le remercie aussi pour ses précieux conseils qui m'ont permis une progression concrète dans ce projet, son aide et sa grande patience

Je tiens aussi à exprimer mes vifs remerciements à ma promotrice Mlle HOCINE Dalila pour m'avoir encadré durant mon projet de fin d'études et me conseiller tout le long de mon travail.

Mes remerciements s'adressent à tous les membres de jury pour l'honneur qu'ils me font en acceptant d'évaluer mon travail.

Mes sincères reconnaissances à l'égard de tous ceux qui ont contribué à mes études, particulièrement les enseignants de l'université Mouloud MAMMERRI.

Enfin, je tiens à remercier tous ceux qui ont prêté main forte dans l'élaboration de ce travail.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

Mes chers parents qui ont toujours été à mes côtés et m'ont toujours soutenu tout au long de ces longues années d'études. En signe de reconnaissance, ils trouvent ici, l'expression de ma profonde gratitude pour tout ce qu'ils ont consenti d'efforts et de moyens pour me voir réussir dans mes études.

Papa ... maman ...Puisse Dieu, le Très Haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie et faire en sorte que jamais je ne vous déçoive Soyez sûrs que je continuerai mon chemin.

Mes adorables sœurs FARAH et FERIEL que dieu vous accorde une vie pleine de réussite et de bonheur vous le méritez.

Mes chers amis et cousins qui étaient là pour moi.

Résumé:

Ce mémoire contient une étude comparative entre l'éclairage public classique et l'éclairage public solaire photovoltaïque, qui a pour objectif d'analyser en profondeur les différents aspects de l'éclairage public solaire, le document commence par des généralités sur l'éclairage et son impact énergétique, ensuite une recherche sur les technologies d'éclairage développée et les types de lampes révolutionnaires et les plus célèbres, pour en finir avec les calculs menée (dimensionnement du système photovoltaïque.) afin d'aboutir à une comparaison financière entre les deux systèmes d'éclairage public : conventionnel et photovoltaïque.. **Mots clés** : éclairage public, énergétique, photovoltaïques, conventionnel.

Summary:

This thesis contains a comparative study between conventional street lighting and solar photovoltaic street lighting, which aims to analyze in depth the different aspects of solar street lighting, the document begins with generalities on lighting and its energy impact, then research on lighting technologies developed and the revolutionary and most famous types of lamps, to finish with the calculations conducted (sizing of the photovoltaic system.) to lead to a financial comparison between the two public lighting systems: conventional and photovoltaic. **Keywords**: public lighting, energy, photovoltaic, conventional.

Sommaire

LISTE DES FIGURES.....	3
LISTE DES TABLEAUX.....	5
INTRODUCTION GENERALE.....	7
Chapitre 1.....	10
Chapitre 1 : Energie et éclairage public classique.....	11
1. Introduction :.....	11
2. Formes d'énergies :.....	11
4. Consommation mondiale de l'énergie :.....	15
5. Consommation énergétique en algérie :.....	17
6. Potentiel énergétique mondial de l'énergie solaire :.....	19
7. Potentiel énergétique en algérie de l'énergie solaire :.....	20
8. Historique de l'éclairage public :.....	22
9. But de l'éclairage public :.....	24
10. Sources lumineuses et définitions photométriques essentielles:.....	24
10.1. Flux lumineux:.....	24
10.2. Intensité lumineuse :.....	25
10.3. Éclairement:.....	26
10.4. Luminance :.....	26
10.5. Indice de rendu de couleurs (IRC):.....	27
10.6. Efficacité lumineuse:.....	28
11. Types d'éclairage :.....	28
12. Sources de lumière artificielle et évolutions technologiques:.....	29
12.1. Lampes à incandescence :.....	29
12.2. Lampes luminescence :.....	30
12.3. Lampes à Diodes Électroluminescentes ou LED:.....	31
12.4. Les caractéristiques des différents types des lampes :.....	32
13. Luminaire :.....	33
14. Types d'implantation des lampadaires :.....	35
15. Conclusion :.....	36
CHAPITRE 2.....	37
Chapitre 2 : Éclairage public solaire	38
1. Introduction :.....	38

2. Eclairage solaire :.....	38
3. Lampadaire solaire d'éclairage public:.....	39
5. Les différents composants du système d'éclairage solaire photovoltaïque :.....	42
5.1. Panneau photovoltaïque :.....	42
5.2. Batterie de stockage :.....	47
5.3 Régulateur de charge solair :.....	51
5.4 Luminaire LED :.....	54
5.5. Câbles :.....	54
5.6. Poteau et accessoires de montage :.....	55
6 Les types d'éclairage solaire :.....	56
7. Conclusion :.....	59
Chapitre 3.....	60
Chapitre 3:Etude de dimensionnement d'éclairage solaire.....	61
1. Introduction :.....	61
3. Systèmes d'éclairage public existant en Algérie:.....	62
4. Pré-dimensionnement de notre puissance PV:.....	64
5. Pré-dimensionnement de la capacité de batterie :.....	66
6. Économie à réaliser pour le remplacement des lampes :.....	67
7. Comparaison du coût entre l'éclairage public en photovoltaïque et le classique:..	67
8. Conclusion :.....	68
CONCLUSION GÉNÉRALE.....	69

LISTE DES FIGURES

Chapitre 1 :

Figure 1: 1. Les principales transformations des formes d'énergie libre

Figure 1 : 2. Changement de l'énergie primaire par combustible .

Figure 1: 3. les rebondissements de l'émission dans le monde de 2008- 2022 .

Figure 1: 4. électricité par carburant

Figure 1 : 5. Structure de la consommation nationale par forme d'énergie

Figure 1: 6. prix du carburant, prix de l'électricité, prix du gaz naturel en Algérie

Figure 1:7. Part de la production d'énergie primaire produite par le solaire (données BP 2018).

Figure 1: 8. Répartition mondiale du rayonnement solaire annuel en KWh/m²

Figure 1 : 9. flux lumineux

Figure 1 : 10. intensité lumineuse.

Figure 1: 11. Éclairement.

Figure 1 : 12. L'œil humain et sa perception des rayons lumineux.

Figure 1.13 Diverses technologies des lampes à décharge (HID).

Figure 1.14 Lampadaires d'éclairage public et composants intégrés dans les cas classiques et à LED.

Figure 1.15 les différents types d'implantation

Chapitre 2 :

Figure 2.1 Synoptique d'un système d'éclairage solaire non commandé et commandé.

Figure 2.2 Montage complet d'un système d'éclairage solaire avec contrôle de l'intensité lumineuse (Gradation) émis par la lampe LED

Figure 2.3 Montage complet d'un système d'éclairage solaire sans contrôle de l'intensité lumineuse émise par la lampe LED

Figure 2.4 Structure et agencement des divers composants d'un lampadaire solaire

Figure 2.5 données cartographiques par atlas solar mondial .

Figure 2.6 Illustration des trajectoires quotidiennes du soleil selon les saisons, vues notamment par un observateur localisé à l'hémisphère nord.

Figure 2.7 Configuration finale du lampadaire.

Figure 2.8 illustration du modèle all in on

Chapitre 3:

Figure 3.1 Consommation des communes par activité - année 2017- (GWH)

Figure 3.2 profil horaire moyen de l'irradiation.

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre 1 :

Tableau 1 .1 Les principales ressources énergétiques

Tableau 1.2 Lumière naturelle et luminances typiques.

Tableau 1.3 caractéristiques des différents types de lampes .

Chapitre 2 :

Tableau 2.1 Inclinaison annuelle optimale du champ PV pour chaque Wilaya

Tableau 2.2 Différents types de modules pv disponibles sur le marché national .

Tableau 2.3 Durée de vie en nombre de cycles de diverses batteries et énergie massique.

Tableau 2.4 Les principales différences des deux types de régulateurs.

Chapitre 3 :

Tableau 3.1 Parc d'éclairage public et points lumineux en Algérie (2018).

Tableau 3.2 simulation comparative du coût du photovoltaïque et du classique .

INTRODUCTION GENERALE

Introduction Générale

L'énergie électrique est véritablement l'épine dorsale invisible qui soutient notre mode de vie moderne. Depuis son introduction généralisée à la fin du XIXe siècle, elle a transformé radicalement la façon dont nous vivons, travaillons et interagissons avec notre environnement industriel et urbain. L'électricité joue un rôle crucial dans la transition vers une économie plus durable et à faibles émissions de carbone. L'adoption croissante de sources d'énergie renouvelables, telles que l'énergie solaire, démontre le potentiel de l'électricité pour réduire notre empreinte écologique tout en répondant aux besoins croissants en énergie d'une population mondiale en expansion.

L'éclairage public est un exemple frappant de l'impact quotidien de l'électricité dans nos villes et nos infrastructures publiques. Depuis les lampes à gaz et les premières ampoules

incandescentes jusqu'aux technologies modernes comme les LED haute efficacité, l'électricité permet d'illuminer nos rues, nos parcs et nos places. Cela garantit non seulement la sécurité des citoyens la nuit, mais améliore aussi l'attractivité esthétique et la convivialité de nos environnements urbains.

Dans le contexte de la politique énergétique algérienne, qui vise à atteindre une contribution de 40% des énergies renouvelables dans le bilan national à l'horizon 2030 [A₁] l'introduction de systèmes photovoltaïques (PV) représente une opportunité significative. Cette transition promet d'avoir un impact notable tant sur l'économie que sur l'environnement, en réduisant la dépendance aux énergies fossiles en voie d'épuisement et en favorisant une approche plus durable de la consommation énergétique [A₂].

Ce mémoire se propose de mener une étude comparative entre un système photovoltaïque autonome et un système classique pour l'éclairage public. L'objectif est d'analyser en profondeur les différents aspects de l'éclairage public solaire afin de le comparer au système conventionnel. Ce travail est structuré en trois chapitres.

Dans le premier chapitre, nous évoquons la consommation énergétique et le potentiel énergétique solaire aux niveaux national et international. Nous abordons également les caractéristiques photométriques de l'éclairage public et les différents types d'éclairage disponibles.

Le deuxième chapitre se concentre principalement sur l'éclairage public solaire : son fonctionnement, ses composants, les critères de choix de ces composants, ainsi que les différents modèles existants de ce système d'éclairage.

Enfin, dans le troisième chapitre, nous étudions le dimensionnement du système photovoltaïque. Nous procédons ensuite à une comparaison financière entre les deux systèmes d'éclairage public : conventionnel et photovoltaïque.

La dernière partie de ce mémoire consiste en une conclusion générale de l'étude réalisée, où nous présentons les principaux résultats obtenus et les perspectives de développement futur.

Chapitre 1

Énergie et éclairage public classique.

Chapitre 1 : Energie et éclairage public classique.

1. Introduction :

Dans ce chapitre nous présentons qu'est-ce que l'énergie, quelles sont ses sources et on vous explique comment nous les transformons afin de les utiliser .

L'énergie est définie en physique comme la capacité d'un système à produire un travail, entraînant un mouvement ou produisant par exemple de la lumière, de la chaleur ou de l'électricité. L'énergie ne disparaît jamais ; elle se transforme d'une forme en une ou plusieurs autres. Elle s'exprime en joules ou en kilowattheure (kWh).

2. Formes d'énergies :

On peut distinguer diverses formes d'énergie qui, peuvent se transformer l'une en l'autre; « forme d'énergie libre (manifeste)» et « formes d'énergie stockée (potentielle)» .

2.1. Formes d'énergie libre :

- **L'énergie rayonnante** est l'énergie qui est transférée à travers le rayonnement. Son signe principal est la lumière du soleil. Une partie de l'énergie rayonnante est imperceptible : c'est le rayonnement infrarouge. Avec des panneaux solaires, cette source d'énergie peut être convertie en électricité ou en chaleur et d'autant plus est totalement gratuite
- **L'énergie thermique**, c'est la chaleur.
Les molécules et les atomes bougent et nous ressentons la chaleur . Lorsqu'elle forme de la vapeur , l'eau bouillante crée une pression qui sert à l'époque au fonctionnement des locomotives (énergie mécanique). Actuellement , il peut également faire fonctionner des turbines dans des centrales thermiques pour produire de l'électricité,

qui est la chaleur stockée dans la terre et libérée par la radioactivité naturelle .

- **L'énergie cinétique** correspond au mouvement. En ce qui concerne l'énergie cinétique, le volant d'inertie d'un moteur représente un exemple de stockage d'énergie sous cette forme (en fournissant de l'énergie pendant les temps morts de la combustion, ce volant permet de compenser les à-coups). C'est cependant sous forme d'énergie potentielle qu'il est, en général, plus intéressant de stocker l'énergie.
- **L'électricité** , pour des raisons pratiques, cette forme a vu un développement industriel considérable. Ce n'est pas, à proprement parler, une énergie « visible » mais comme on sait qu'il s'agit du déplacement d'un courant électrique (en fait des électrons) dans des conducteurs, on peut qualifier de « libre » cette forme d'énergie.

Comme nous l'avons vu, les quatre formes d'énergie libre sont l'énergie rayonnante, l'énergie thermique (ou chaleur), l'énergie mécanique (ou cinétique) et l'énergie électrique. Cela fait douze transformations susceptibles d'être réalisées : toutes sauf deux ont des applications dans la vie courante ou dans l'industrie.

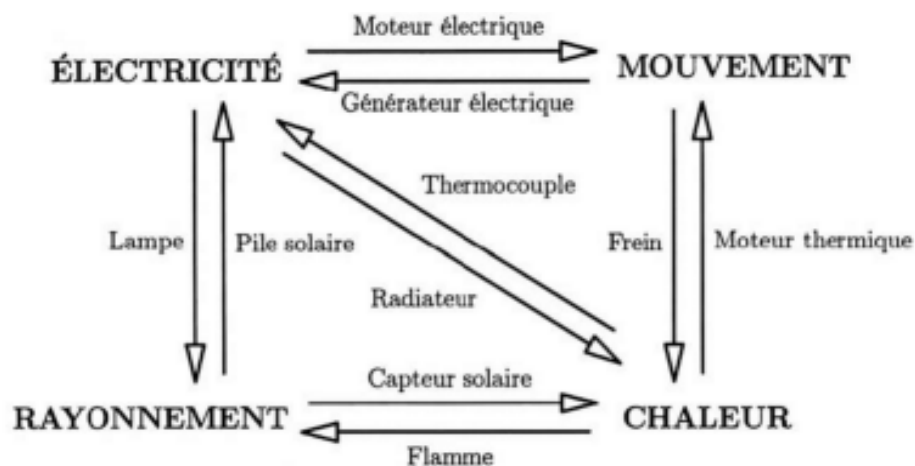


Figure 1.1 Les principales transformations des formes d'énergie libre

2.2. Les énergies stockées:

- **L'énergie chimique** contenue dans certaines matières, est générée par une transformation, en réarrangeant les atomes pour former de nouvelles molécules à partir des molécules initiales, on fait travailler, dans un sens ou dans l'autre, les forces de liaison entre les atomes, et on libère ou on stocke de l'énergie, Exemples: les stocks naturels que sont les réserves de charbon, pétrole et gaz qui se sont constitués à partir du rayonnement solaire; et, parmi les applications industrielles: l'essence utilisée par une voiture, la pile électrique ou la batterie, etc.
- **L'énergie gravitationnelle** (la force de la pesanteur) peut trouver davantage d'applications industrielles. Limitons-nous à deux exemples :
 - L'horloge à poids, à qui l'on fournit de l'énergie en remontant le poids et qui l'utilise ensuite au fil des jours pour vaincre les frottements des mécanismes;
 - Le barrage hydroélectrique, dont le lac constitue une réserve disponible pour compléter, si nécessaire, d'autres sources de production d'électricité
- **L'énergie nucléaire** utilise les forces agissant entre les nucléons (protons et neutrons) des noyaux atomiques. Là aussi, en réarrangeant différemment ces nucléons, on peut espérer faire travailler ces forces, changer ainsi l'énergie interne et stocker ou libérer de l'énergie. En pratique, seule une libération d'énergie nucléaire est réalisable industriellement, soit en cassant de gros noyaux (fission), soit en assemblant de petits noyaux (fusion). Dans les deux cas, l'énergie libérée est obtenue sous forme de chaleur. Seule l'énergie de fission a aujourd'hui une application industrielle; la matière à la base de cette source d'énergie est l'uranium (le thorium pourrait aussi être utilisé). L'énergie de fusion pourrait s'avérer prometteuse à long terme si les difficultés techniques de sa mise en œuvre sont surmontées; les

matières à la base de cette source sont le deutérium (l'isotope rare de l'hydrogène) et le lithium.

3. Sources d'énergie:

On désigne par énergies primaires les formes d'énergie telles qu'elles sont captées dans la nature. Les principales ressources énergétiques sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau 1.1 Les principales ressources énergétiques

sources d'énergie	avantages	inconvénients
Fossiles : - Pétrole - Gaz - charbon	– Faciles à exploiter	– Production De CO2 - Épuisable
Nucléaire	– Moins cher aujourd'hui. – Moins de CO2	– Épuisable –Déchets radioactifs –Risque d'accident nucléaire.
Renouvelables: - Eau -Solaire (thermique et photovoltaïque) - Vent. -biomasse (bois, plantes...). - Géothermie.	– Inépuisables à notre échelle. – Peu ou non polluantes.	– Ne peuvent être implantées de partout. – Coût plus élevé. – Faible puissance. – Fabrication Recyclage Des cellules photovoltaïque

4. Consommation mondiale de l'énergie :

La croissance de la demande d'énergie primaire a ralenti par rapport à 2021, augmentant de 1,1 % (6,6 EJ) en 2022 contre 5,5 % (31 EJ) en 2021. L'énergie primaire en 2022 était de 16 EJ au-dessus des niveaux d'avant la COVID-19 de 2019, la consommation augmentant dans toutes les régions, sauf Europe (-3,8%) et CEI (-5,8%).

Depuis 2019, la consommation d'énergie primaire dans les pays non membres de l'OCDE a augmenté d'un peu plus de 20 EJ, en grande partie grâce à la croissance en Chine (15 EJ), qui représente 72 % de l'augmentation. La demande énergétique dans les pays de l'OCDE reste aux niveaux de 2019, avec une demande de 234 EJ en 2022, contre 238 EJ en 2019. L'augmentation de l'offre d'énergie primaire entre 2019 et 2022 a été largement tirée par les sources d'énergie renouvelables (hors hydro) (13,5 EJ) et le charbon. (10,6 EJ), avec une production accrue de gaz (2,7 EJ) également évidente. [19]

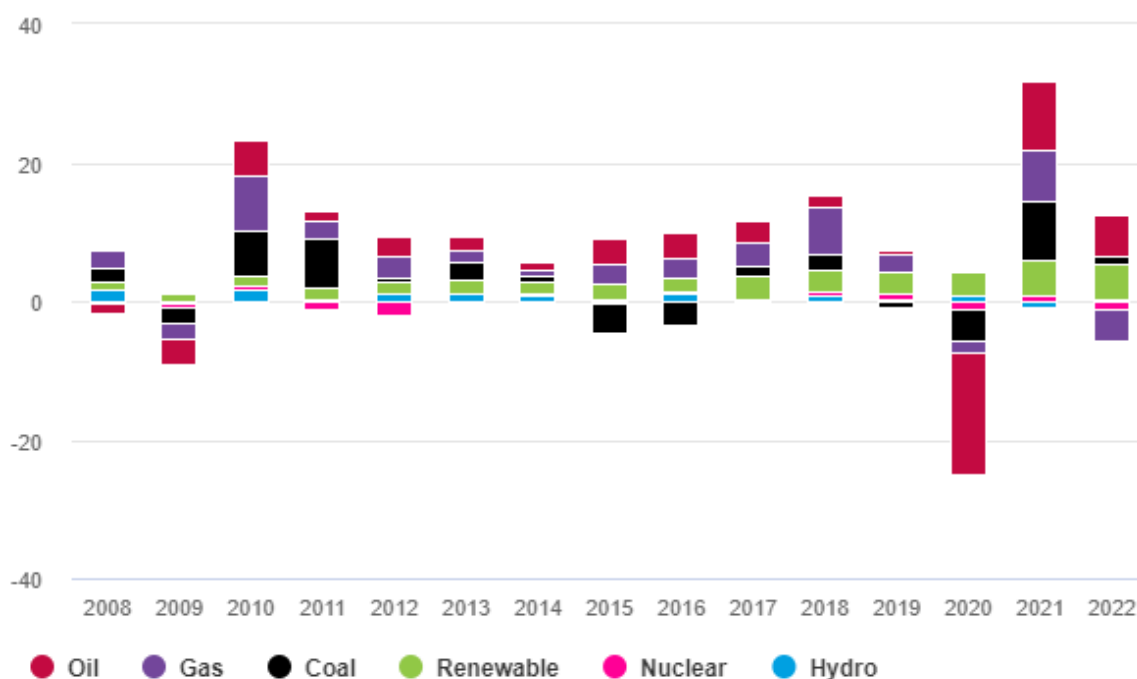


Figure 1.2 Changement de l'énergie primaire par combustible . [18]

Les émissions de dioxyde de carbone liées à l'énergie ont continué de rebondir fortement, atteignant un niveau record de 39,3 milliards de tonnes d'équivalent dioxyde de carbone, soit une augmentation de 0,8 % par rapport à 2021. Les émissions liées à la consommation d'énergie ont contribué à 87 % des émissions mondiales totales.

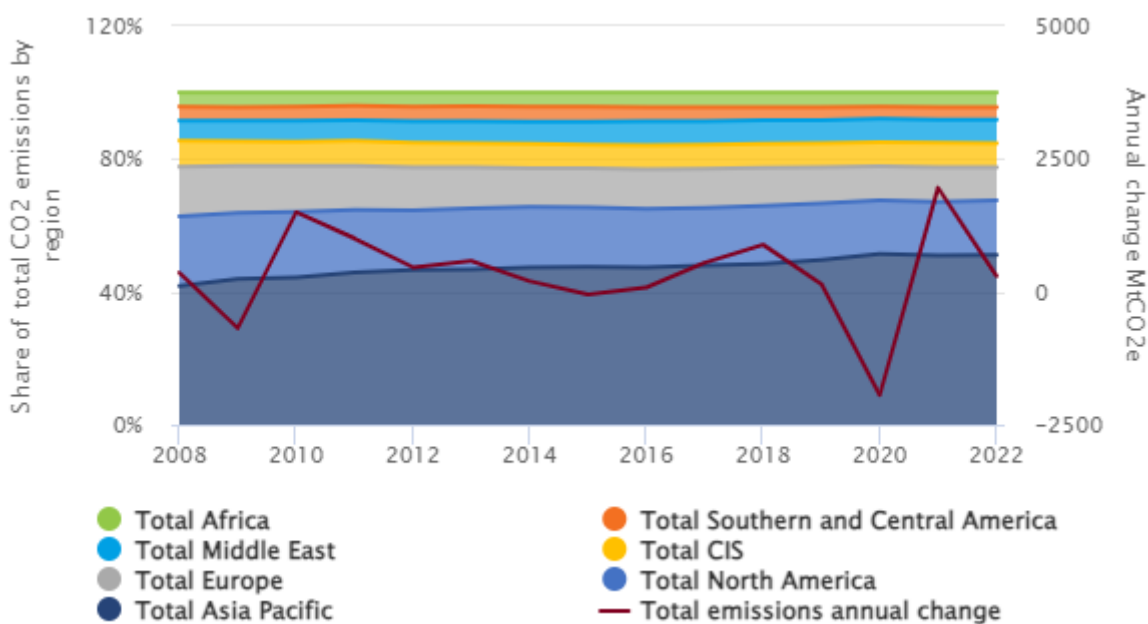


Figure 1.3 les rebondissement de l'émission dans le monde de 2008- 2022 [18]

Les prix mondiaux de l'énergie ont fortement augmenté en 2022 en raison des préoccupations liées à l'approvisionnement énergétique.

L'augmentation la plus prononcée a concerné le prix du carbonate de lithium, qui a augmenté de plus de 300 % en 2022.

Les prix du pétrole ont augmenté d'environ 40 %, le Brent terminant l'année en moyenne autour de 101 \$/baril. Les prix du gaz (TFF aux Pays-Bas) ont augmenté de plus de 130 % pour atteindre une moyenne d'environ 37 \$ mmBTU, tandis que les prix du charbon ont également connu une augmentation, le prix marqueur de l'Europe du Nord-Ouest augmentant de 142 % à 294 \$/tonne.[4]

La part des énergies renouvelables (hors hydraulique) dans la production mondiale d'électricité a poursuivi sa tendance à la hausse, portée par une nouvelle construction record d'énergie solaire et éolienne. Leur part dans la production mondiale totale d'électricité a atteint 14 % en 2022, supérieure à celle de l'énergie nucléaire (9 %). La part du charbon dans le secteur de l'électricité s'élevait à environ 35 %, tandis que la part de la production de gaz en 2022 restait proche de son niveau moyen sur 10 ans, soit 23 %.

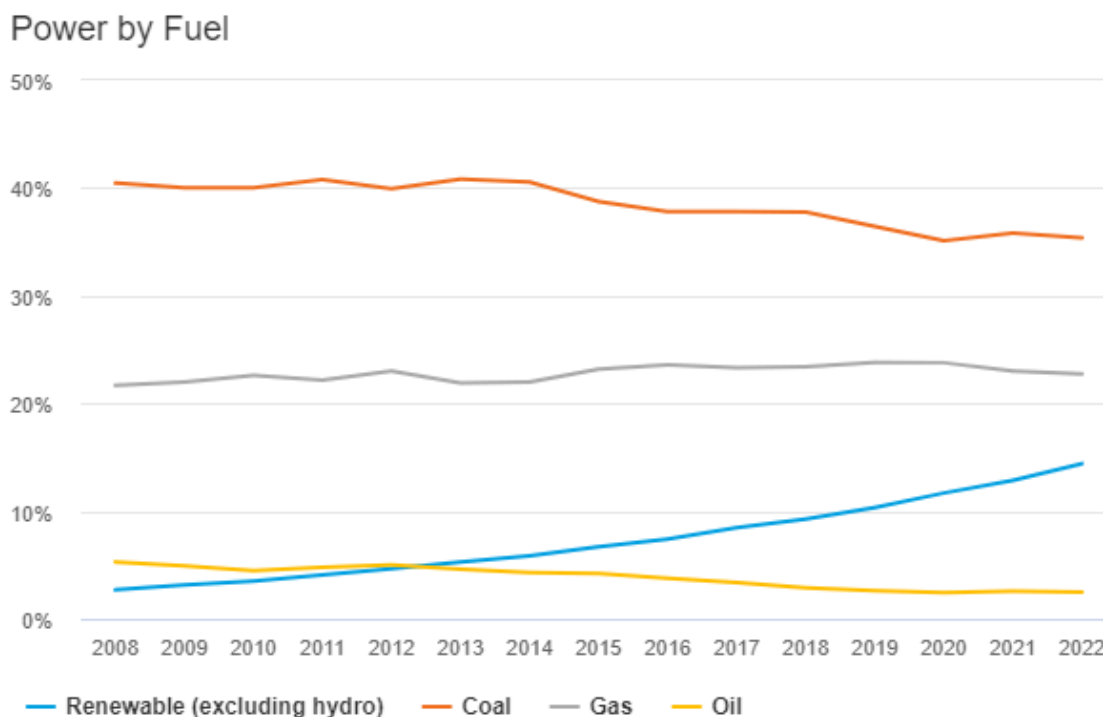


Figure 1.4 électricité par carburant[18]

5. Consommation énergétique en algérie :

La consommation nationale d'énergie (y compris les pertes) a atteint 67,2 M Tep en 2021, reflétant une hausse de 7,7% par rapport à 2020, tirée essentiellement par celle de la consommation finale (8,0%). La reprise de l'activité économique et la levée progressive des mesures sanitaires liées à l'épidémie de Covid-19 ont généré un rebond de la consommation nationale d'énergie. La consommation des industries énergétiques ainsi que celle des industries non énergétiques ont enregistré également des hausses respectives de 6,9% et 8,4%. [5]

La répartition de la consommation nationale par forme d'énergie reste dominée par le gaz naturel (38%), suivi par l'électricité (29%) et les produits liquides (27%), comme illustré ci-après :

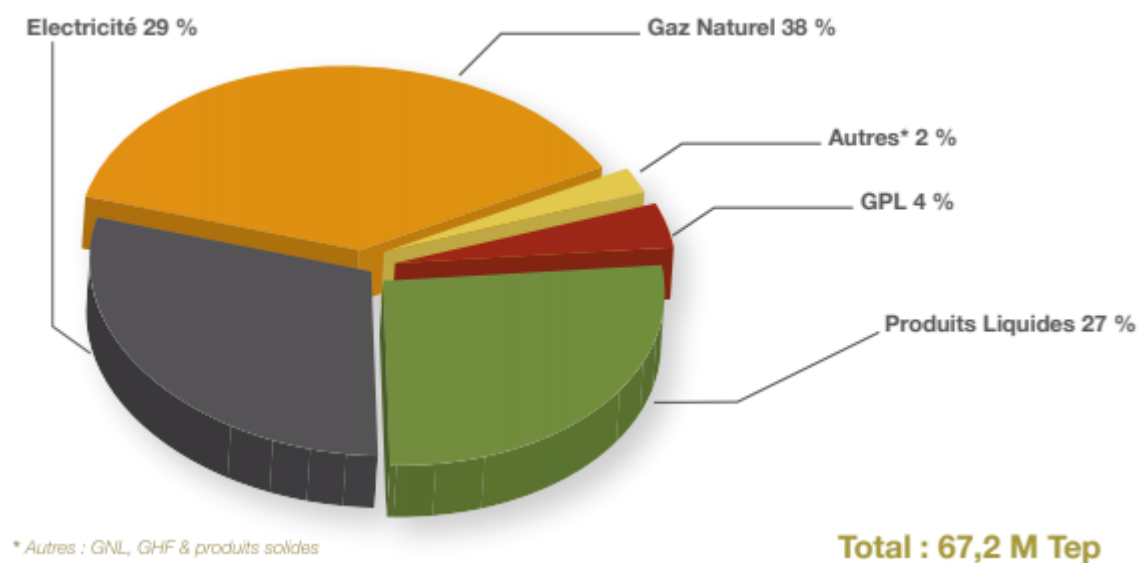


Figure 1.5 Structure de la consommation nationale par forme d'énergie [5]

voici les prix de l'énergie actuellement en Algérie :

Carburants, le prix par litre	Date	DZD	USD
<u>Prix de l'essence</u>	06.05.2024	45.97	0.342
<u>Les prix du diesel</u>	06.05.2024	29.01	0.216
<u>Les prix du GPL-c</u>	06.05.2024	9	0.067

Prix de l'électricité par kWh	Date	DZD	USD
<u>Ménages</u>	01.09.2023	5.34	0.04
<u>Entreprise</u>	01.09.2023	4.68	0.035

Les prix du gaz naturel par kWh	Date	DZD	USD
<u>Ménages</u>	01.09.2023	0.384	0.003 USD
<u>Entreprise</u>	01.09.2023	0.476	0.004 USD

Figure 1.6 prix du carburant, prix de l'électricité, prix du gaz naturel en Algérie . [6]

Les prévisions montrent que l'activité humaine aura en quelques centaines d'années épuisées les réserves constituées en des temps géologiques. À l'heure actuelle, pour des raisons techniques, uniquement, 35% du pétrole contenu d'un gisement peut en être extrait.

Parmi les types de sécurité dominants dans tout pays, la sécurité énergétique vient en 2ème position avant la sécurité alimentaire et la sécurité sanitaire .

Ceci dit qu'une transition énergétique est nécessaire et qui doit répondre aux exigences de la sécurité énergétique, à savoir : assurer les besoins énergétiques des populations actuelles et ceux des générations futures. (demandes nationales et étrangères) , On s'aperçoit alors que la solution la plus adaptée est une solution à 100% d'EnR. C'est la voie dont ont opté plusieurs pays. L'Algérie a également cette prétention, au regard de son potentiel . particulièrement dans le marché solaire photovoltaïque .

6. Potentiel énergétique mondial de l'énergie solaire :

En pratique inépuisable , l'énergie du soleil est une source abondante sur la planète terre et les procédés pour la récupérer sont bien connus .

La quantité d'énergie reçue par la Terre est considérable. Chaque année, ce sont 1.070.000 pétawatts-heures (PWh, soit 1015 Wh) que reçoit la Terre, soit plus de 8.000 fois la consommation énergétique mondiale annuelle (133 PWh en 2005).

Exploiter seulement 0,01% de cette énergie suffirait donc à couvrir les besoins énergétiques de la planète. Pourtant, l'énergie solaire au sens où on l'entend (photovoltaïque et thermique) ne représentait que 0,1% de la consommation énergétique mondiale en 2008. L'un des freins au développement de l'exploitation de cette énergie est sa production intermittente, en fonction de l'ensoleillement (nuage, nuit, saison), et la difficulté de son stockage, que ce soit sous forme de chaleur ou d'électricité.

Dans un sens plus large, l'énergie solaire comprend aussi l'énergie hydraulique, l'énergie éolienne, une part des énergies marine et la biomasse (bois-énergie, biogaz, biocarburant) car c'est le soleil, par les transferts de chaleur ou la photosynthèse, qui les génère. Dans ce cas, l'exploitation de l'énergie solaire est plus importante, surtout à travers la biomasse, qui est en outre facilement stockable.

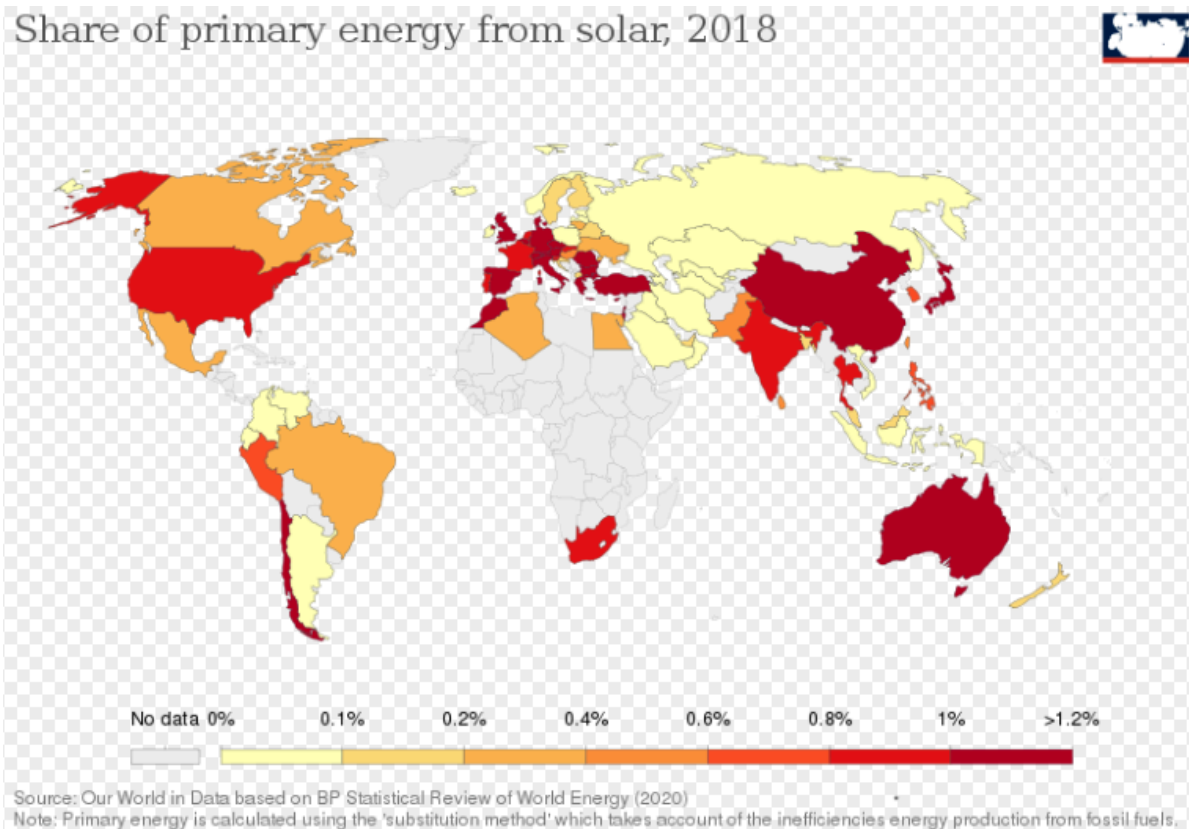


Figure 1.7 Part de la production d'énergie primaire produite par le solaire (données BP 2018).

7. Potentiel énergétique en algérie de l'énergie solaire :

L'Algérie possède un gisement solaire parmi les plus élevés dans le monde (couvre une superficie de 2.381.745 Km²), la durée moyenne d'ensoleillement dans le Sahara algérien est de 3500 heures, ce potentiel peut constituer un facteur important de développement durable dans cette région, s'il est exploité de manière économique. Les potentiels en éolien, en biomasse et en géothermie, comparés à celui du solaire, sont beaucoup moins importants, alors que le potentiel hydroélectrique est très faible. Face à la double contrainte de la raréfaction des énergies fossiles et du réchauffement climatique, les énergies renouvelables

représentent une alternative nouvelle et un avenir sûr pour la sécurité énergétique en Algérie.

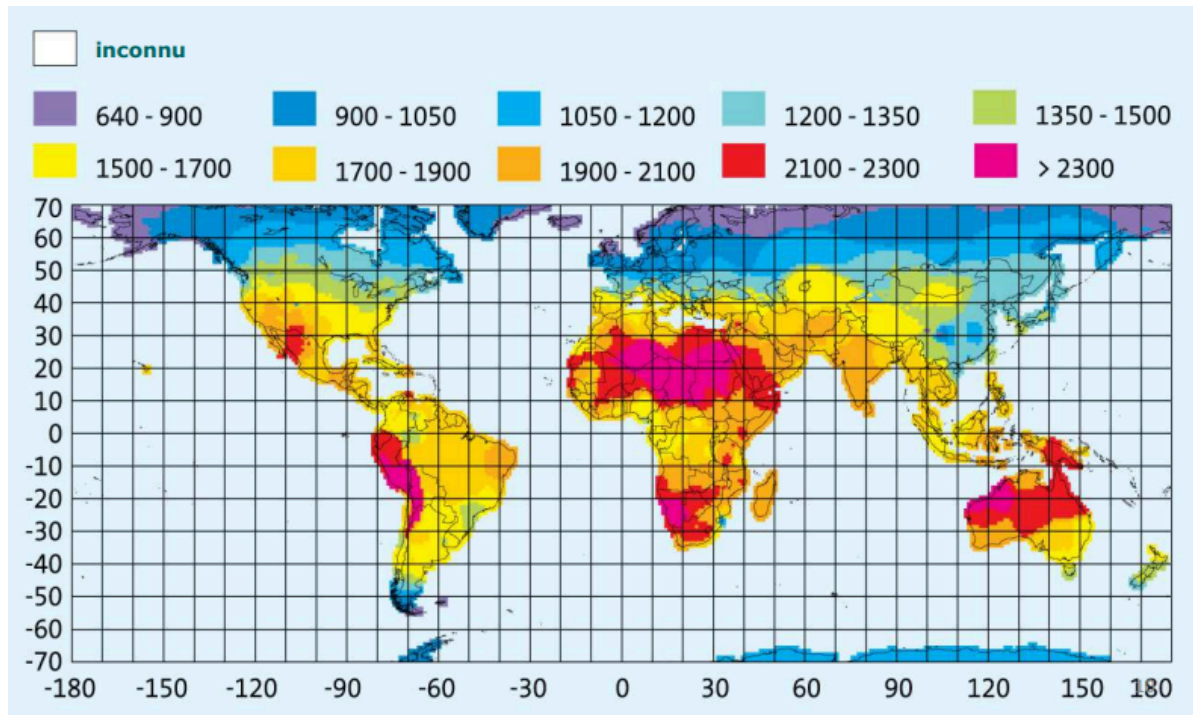


Figure 1.8 Répartition mondiale du rayonnement solaire annuel en KWh/m2 [8]

Le solaire est le potentiel le plus important en énergies renouvelables en Algérie. Il représente 169,44 Twh/an [7], soit 5000 fois la consommation algérienne en électricité. Ainsi, avec plus de 2 000 heures d'insolation par an et jusqu'à 3 900 heures sur les hauts plateaux et au Sahara, l'énergie solaire reçue quotidiennement sur le territoire algérien est de l'ordre de 1 700 KWh/m2/an au Nord et 2 263 KWh/m2/an au Sud. Soit une moyenne de plus de 2 200 KWh/m2/an.

Selon l'IRENA, la capacité totale installée de l'énergie solaire photovoltaïque en 2021 était de 423 MW. Pour exploiter le potentiel solaire du pays, le gouvernement a pris des initiatives, telles que le programme d'énergies renouvelables et d'efficacité énergétique (lancé en 2011), dans le cadre duquel le pays vise à atteindre une capacité photovoltaïque totale de 13575 MW d'ici 2030.[9]

En outre, le pays a également rejoint l'Initiative industrielle Desertec, qui vise à utiliser l'énergie solaire et éolienne du Sahara pour répondre à 15 % des besoins électriques de l'Europe d'ici 2050. Cela devrait augmenter les investissements dans les projets d'énergie solaire, stimulant ainsi le marché. pour l'énergie solaire photovoltaïque à l'avenir.[9]

9. L'utilisation de l'énergie dans l'éclairage :

L'utilisation de l'énergie dans l'éclairage est un aspect crucial de la conception et de la gestion des systèmes d'éclairage, que ce soit pour l'éclairage public classique ou l'éclairage solaire photovoltaïque.

10. L'éclairage public :

L'éclairage public est omniprésent dans nos villes et nos campagnes. Il éclaire les rues, les ruelles, les autoroutes et les places dès que la nuit tombe , et cela jusqu'au petit matin, permettant aux usagers de circuler avec une bonne visibilité, ce qui les sécurise.

Les moyens d'éclairage sont divers et différents(poteaux ,lanternes des lampes de maison ..) , tous ont pour objectif d'améliorer la visibilité et de créer un sentiment de sécurité. Il est donc nécessaire d'avoir un bon éclairage soit de façon que la lumière doit être confortable à l'œil humain, et en outre la facilité de maintenance des moyennes d'éclairage est importante. Bien que très pratique, l'éclairage public représente beaucoup d'enjeux, économiques, mais aussi écologiques.

8. Historique de l'éclairage public :

L'histoire de l'éclairage public remonte à l'Antiquité, bien que les premières formes d'éclairage urbain étaient souvent rudimentaires. Voici une brève chronologie de son évolution :

Antiquité : Les premières formes d'éclairage public consistaient en des torches, des lampes à huile et des braseros. Ces sources de lumière étaient principalement utilisées pour des raisons de sécurité et de symbolisme dans les grandes villes de l'Empire romain et de la Grèce antique.

Moyen Âge : Pendant cette période, l'éclairage public était limité et sporadique. Les villes européennes avaient généralement des rues sombres et peu sûres la nuit. Certaines villes ont commencé à installer des lanternes sur les principaux axes de circulation pour améliorer la sécurité.

17e siècle : L'introduction des lanternes à bougie en verre s'est produite dans certaines villes européennes, mais l'éclairage public était encore loin d'être généralisé. Les lanternes à huile étaient également couramment utilisées.

18e siècle: L'invention de la lanterne à gaz par le physicien britannique William Murdoch en 1792 a marqué une avancée significative dans l'éclairage public. Le gaz d'éclairage, produit à partir de la distillation du charbon, a été utilisé pour alimenter les réverbères à gaz dans les rues des grandes villes européennes et américaines.

19e siècle : L'éclairage au gaz s'est répandu à travers le monde au cours de ce siècle, offrant un éclairage plus lumineux et plus fiable que les précédentes sources de lumière. Les premières lampes à arc électrique ont également été développées dans les années 1800, mais elles étaient coûteuses et moins pratiques que le gaz.

Fin du 19e siècle et début du 20e siècle : L'invention de l'ampoule électrique par Thomas Edison en 1879 a radicalement transformé l'éclairage public. Les villes ont commencé à adopter l'électricité comme principale source d'éclairage, remplaçant progressivement le gaz. Les premiers réseaux d'électricité ont été construits pour alimenter les lampadaires.

20e siècle : Au fil des décennies, l'éclairage public électrique s'est amélioré grâce à des avancées technologiques telles que les lampes à vapeur de mercure, les lampes sodium à haute pression et les LED. Ces technologies offrent une meilleure efficacité énergétique, une durée de vie plus longue et une meilleure qualité de lumière.

21e siècle : L'éclairage public moderne intègre souvent des capteurs de mouvement, des systèmes de gestion intelligente et des luminaires à LED hautement efficaces. Ces avancées permettent une utilisation plus judicieuse de l'énergie et une meilleure adaptation aux besoins changeants des villes et de leurs habitants. De plus, certaines villes explorent des concepts d'éclairage public durable, tels que l'énergie solaire et l'éclairage intelligent basé sur des données.

9. But de l'éclairage public :

En effet, l'éclairage public permet de :

- Augmenter la sécurité, la fluidité de la circulation sur les chaussées et réduire la gravité et le nombre d'accidents de nuit.
- La recherche a montré que l'éclairage public peut réduire de 30% les accidents de la route pendant la nuit .
- Vital la nuit ce qui ravive l'économie et facilite la vie.
- Assurer le confort des conducteurs, des piétons et des riverains .
- Assurer une perspective du cadre de vie et valoriser la ville (décorer les espaces les plus prestigieux (avenues centrales, gares, parcs et espaces d'exploitations.)) [1]

10.Sources lumineuses et définitions photométriques essentielles:

Il n'y a pas si longtemps , la capacité d'une ampoule était mesurée , en particulier l'ampoule à incandescence , était mesurée presque exclusivement par la puissance électrique consommée en watt (W) .Cependant, avec l'avènement des nouvelles générations d'ampoules dites à faible consommation d'énergie (LBC), notamment celles dotées de technologies fluocompactes et LED nécessitent une analyse plus approfondie pour orienter correctement l'utilisateur dans son choix.

10.1. Flux lumineux:

Le flux lumineux (ϕ) quantifie la totalité de la lumière émise par une source dans toutes les directions. Il est exprimé en lumens (lm) selon le système international (SI) .il a été introduit pour évaluer la luminosité d'une ampoule, d'un luminaire ou d'une source de lumière.

Plus précisément, le flux lumineux mesure la puissance totale de la lumière visible émise par une source, quelle que soit la direction dans laquelle elle est émise. Cela signifie qu'il prend en compte la totalité de la lumière émise par la source, qu'elle soit dirigée vers le haut, vers le bas ou sur les côtés. (figure 1.9)

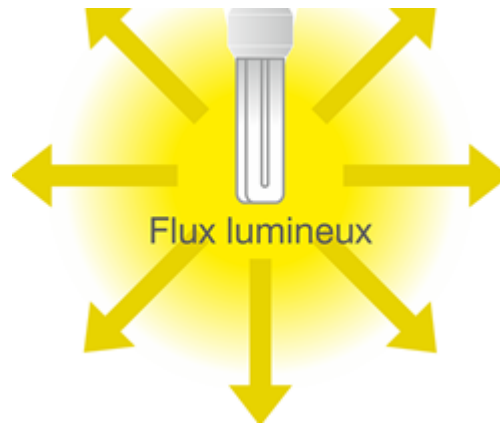


Figure 1.9 Flux lumineux

10.2. Intensité lumineuse :

L'intensité lumineuse est une mesure de la quantité de lumière émise dans une direction spécifique par une source lumineuse. Elle est exprimée en candelas (cd).

Cette dernière mesure finalement l'intensité lumineuse issue d'une source donnée, telle qu'elle est perçue par l'œil humain. C'est à ce titre que la candela (chandelle en latin), est considérée comme une des sept unités de base dans le Système International (SI) de mesure.[2]

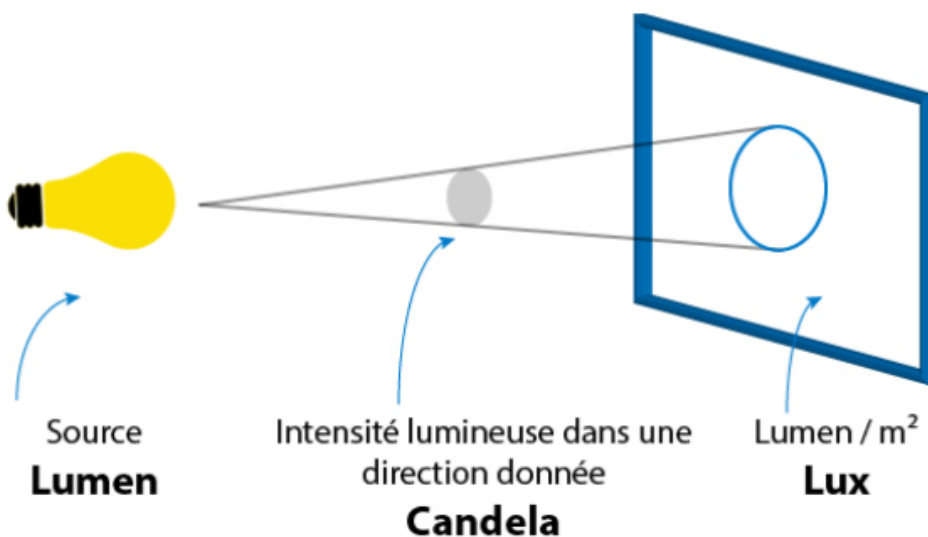


Figure 1.10 Intensité lumineuse.[2]

10.3. Éclairage:

L'éclairage (E) fait référence à la quantité de lumière reçue par une surface. Il correspond au rapport entre le flux lumineux incident (Φ) et la surface (A).

L'éclairage est mesuré en lux (lx). Cette unité est définie en lumens par mètre carré ($1 \text{ lx} = 1 \text{ lm/m}^2$).

L'éclairage diminue proportionnellement au carré de la distance par rapport à la source lumineuse.

Sa formule est $E = \varphi/S$

Où :

E : Est l'éclairage son unité est le LUX (L) .

φ : Est la valeur du flux lumineux atteignant la surface et l'aire de cette surface réceptrice.

LUX : 1 lm/m^2 .

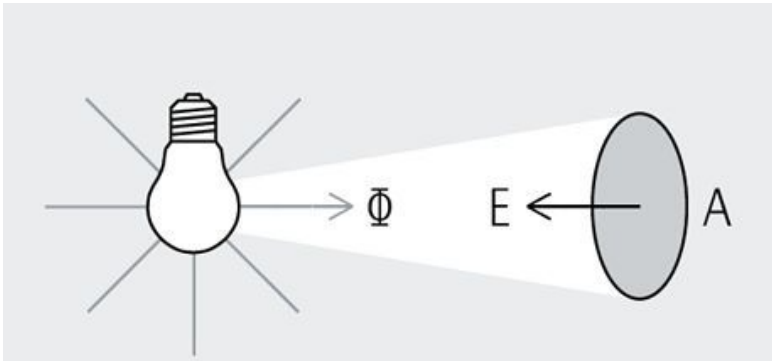


Figure 1.11 Éclairage. [2]

10.4. Luminance :

La luminance (L) se réfère à l'intensité lumineuse d'un point d'une surface donnée et dans une direction donnée. Elle peut provenir directement d'une source lumineuse (lampe) ou réfléchi par une surface éclairée (murs, meubles, d'autres objets). L'unité de mesure de la luminance est la candela par m² (cd/m^2) [3], elle se mesure avec un luminance-mètre. Il est possible de déterminer par exemple la luminance des chaussées, qui sert de base d'évaluation des projets d'Éclairage Public.

La luminance moyenne s'exprime par la loi de LAMBERT : $L = \frac{\rho \cdot E}{\pi}$ où ρ est le facteur de réflexion d'un objet plan et E son éclairage moyen

La luminance est également introduite pour exprimer la sensation visuelle que provoque cette dernière, sur les cellules de la membrane sensorielle qu'est la rétine de l'œil humain (figure 12).

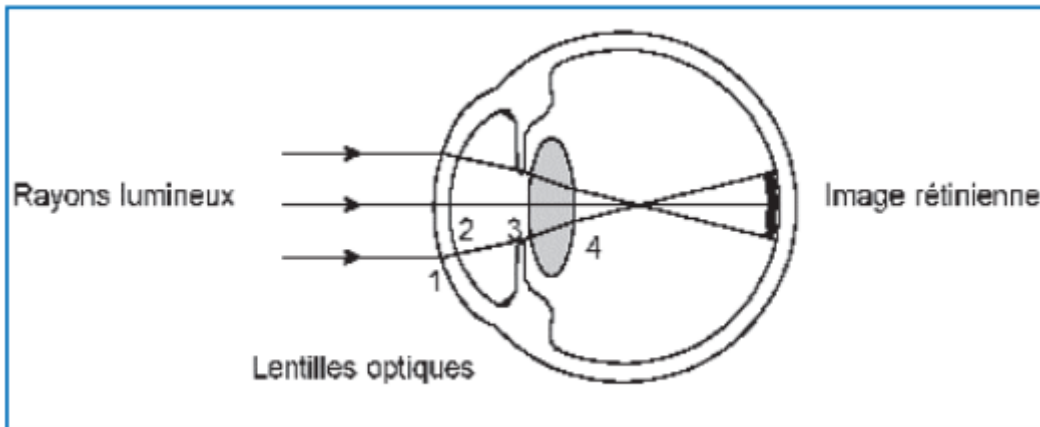


Figure 1.12 L'œil humain et sa perception des rayons lumineux. [2]

L'œil humain peut percevoir des valeurs allant de 0.001 à 100000 cd/m² . Une telle sensibilité peut être testée et validée à travers des situations représentatives connues (tableau 2) [2]

Tableau 1: 2. Lumière naturelle et luminances typiques. [2]

Paysage	Nocturne	Lune	Ciel couvert	Plein soleil
Luminance (Cd/m ²)	0.001	0.01 à 0.1	300 à 5000	1,5 x 10 ⁹

10.5. Indice de rendu de couleurs (IRC):

L'indice de rendu de couleur (IRC) est un indice compris entre 0 et 100 qui rend compte de la capacité d'une source de lumière artificielle à restituer les nuances d'une palette de couleurs telles qu'on peut les voir sous la lumière naturelle du soleil. Une palette de 15 couleurs est définie dans la norme CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) [3] .

Plus cet indice se rapproche de 100, plus la qualité de la lumière est excellente.

Pour l'éclairage des voies publiques on utilise souvent des lampes avec un IRC entre 70 et 80 Ra et avec un IRC entre 80 et 90 sont utilisés dans les applications générales telles que les locaux et les logements.

10.6. Efficacité lumineuse:

L'efficacité lumineuse est une mesure qui évalue l'efficacité avec laquelle une source de lumière convertit l'énergie électrique en lumière visible. Plus précisément, elle indique la quantité de lumière produite par unité d'énergie consommée. L'efficacité lumineuse est généralement exprimée en lumens par watt (lm/W).

11. Types d'éclairage :

L'éclairage joue un rôle crucial dans la création d'ambiances et la mise en valeur d'espaces. Le sujet « Éclairage intérieur vs éclairage extérieur » mérite une attention particulière. Ces deux types d'éclairage ont des fonctions similaires. Cependant, ils présentent des caractéristiques et des applications distinctes.

a) Eclairage intérieur :

L'éclairage intérieur est généralement conçu pour répondre aux besoins spécifiques des différentes pièces et activités à l'intérieur des bâtiments, comme les bureaux, les cuisines, les salles de séjour, etc.

On peut ajuster la température de couleur pour varier les ambiances ou imiter la luminosité naturelle diurne.

L'éclairage intérieur peut également être utilisé pour des raisons de sécurité, en éclairant les chemins, les escaliers et les zones potentiellement dangereuses.

b) Eclairage extérieur :

À l'extérieur, l'éclairage prend une dimension différente. Il sert principalement à garantir la sécurité en éclairant les allées, les entrées et les zones sombres. Mais il joue également un rôle esthétique, mettant en valeur les éléments architecturaux, les jardins et les paysages. L'éclairage extérieur doit être durable pour résister aux conditions climatiques et souvent utiliser des solutions écoénergétiques comme les LED en raison de leur fonctionnement prolongé.

Il est souvent soumis à des réglementations et à des normes spécifiques en matière de luminosité, de pollution lumineuse et de sécurité routière.

12. Sources de lumière artificielle et évolutions technologiques:

12.1. Lampes à incandescence :

Classique : La lampe à incandescence a été 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°C. Ce filament résiste donc au passage des électrons et chauffe jusqu'à devenir incandescent. Il produit ainsi de la lumière.



Figure 1.13. Lampe à incandescence classique. [2]

Halogène: 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.



Figure 12 : Lampe à incandescence halogène. [2]

12.2. Lampes luminescence :

a) à décharge:

La lampe à décharge est une lampe électrique constituée d'un tube ou d'une ampoule en verre remplie de gaz ou de vapeur métallique sous haute ou basse pression, travers duquel il fait passer un courant électrique il s'ensuit une conversion en photons donc de lumière [15]

- Lampe à décharge basse pression : Les lampes à décharge basse pression sont des lampes à décharge qui possèdent un gaz à basse pression et elles ont un fort encombrement et proposent des puissances faibles jusqu'à 180 W. Différentes vapeurs peuvent y être intégrées: sodium, mercure etc. En fonction des mélanges des couleurs différentes sont obtenues [1]
- Lampe à décharge haute pression : Les lampes à décharge haute pression ont des caractéristiques communes inverses aux lampes basse pression, elles ont un faible encombrement et proposent des puissances qui peuvent aller jusqu'à plus de 3000W, il existe trois différents types de lampes à décharge haute pression sont vapeur de sodium et vapeur de mercure et halogénure métalliques. [2] Et la couleur de la lumière émise par cette lampe dépend du gaz utilisé : Le néon donne une couleur rouge. Le mercure s'approche du bleu. Le sodium rayonne dans le jaune. Le xénon est le gaz qui permet s'approche le blanc pur.

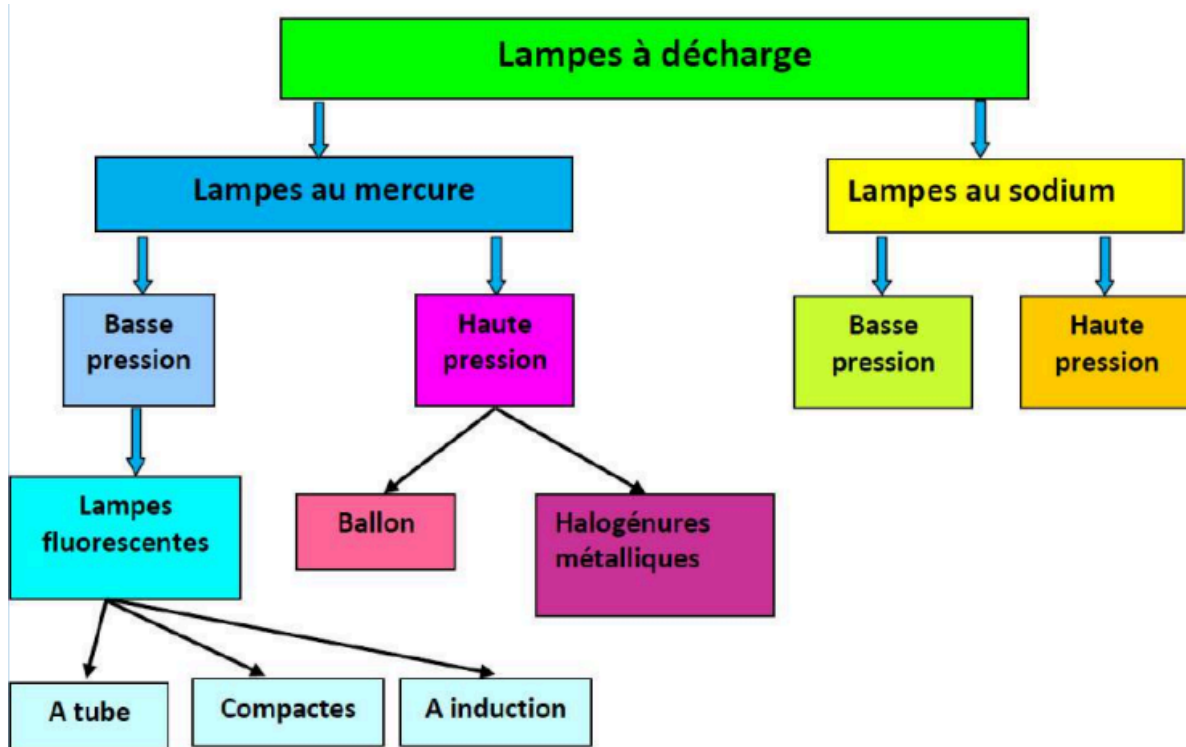


Figure 1.13 Diverses technologies des lampes à décharge (HID).

12.3. Lampes à Diodes Électroluminescentes ou LED:

Les lampes à diodes électroluminescentes (LED) sont des dispositifs d'éclairage de plus en plus populaires en raison de leur efficacité énergétique, de leur longue durée de vie et de leur faible production de chaleur. Voici quelques-uns des types de LED les plus courants :

1. LED de puissance standard : Elles sont souvent utilisées dans les applications d'éclairage général telles que les ampoules domestiques, les éclairages de bureau, etc. Elles offrent une luminosité élevée et une efficacité énergétique.
2. LED à faible puissance : Ces LED sont utilisées dans des applications nécessitant moins de luminosité, comme les indicateurs lumineux sur les appareils électroniques, les télécommandes, etc.
3. LED COB (Chip-on-Board) : Ces LED regroupent de multiples puces LED sur un seul substrat, offrant une source de lumière plus concentrée et plus puissante. Elles sont souvent utilisées dans les projecteurs, les éclairages de rue et les éclairages de scène.

4. LED SMD (Surface-Mount Device) : Elles sont conçues pour être montées en surface sur des cartes de circuits imprimés. Elles sont largement utilisées dans diverses applications d'éclairage intérieur et extérieur, y compris les bandes lumineuses, les écrans d'affichage, etc.
5. LED RGB (Red-Green-Blue) : Ces LED sont capables de produire une gamme complète de couleurs en mélangeant les trois couleurs primaires (rouge, vert et bleu). Elles sont utilisées dans les éclairages décoratifs, les écrans vidéo et d'autres applications nécessitant des effets d'éclairage dynamiques.
6. LED UV (Ultraviolet) : Ces LED émettent de la lumière ultraviolette et sont utilisées dans des applications telles que la polymérisation des matériaux, la détection de faux billets, la stérilisation, etc.

12.4. Les caractéristiques des différents types des lampes :

Le tableau suivant présente les caractéristiques des différents types des lampes:

Tableau 1.3 caractéristiques des différents types des lampes [12]

	Les lampes				
	Incandescence		Luminescence		
	classique	halogène	A décharge		LED
			Basse pression	Haute pression	
Durée de vie (H)	1 000	2 000	6000 à 16000	6000 à 22000	25000à 100000
Efficacité L (Lm/W)	3 à 17	12 à 25	30 à 180	40 à 130	80 à 100
Flux L(Lm)	21 à 4850	60 à 9900	120 à 32000	1300 à 225000	140 à 950
IRC	100	100	20 à 85	20 à 95	80 à 90
Puissance(w)	7 à 300	5 à 500	4 à 1000	20 à 2100	3 à 2000

13. Luminaire :

Un luminaire est destiné à accueillir la source dans un environnement contraignant. Placé sur le domaine de la voirie, il est composé d'un ensemble optique, mécanique et électrique.

Un appareillage de qualité se doit de :

- distribuer le flux lumineux uniquement sur la zone à éclairer (peu de pollution lumineuse, pas de lumière intrusive chez les riverains) .
- avoir de très bonnes performances photométriques (rendement, uniformité), sans gêner les usagers de la voirie .
- disposer de qualités électriques et mécaniques garantissant la sécurité des personnes (utilisateurs et personnel d'entretien) .
- protéger au mieux les lampes et les dispositifs optiques et électriques de la pluie et de la poussière, qui peuvent nuire à leur efficacité.

Il existe des luminaires adaptés aux espaces à éclairer :

- fonctionnelles : destinées aux voies routières ou urbaines .
- d'ambiance : plutôt utilisées pour les parcs, jardins, voies piétonnes, trottoirs, etc.
- spécifiques aux environnements fermés : ponts, tunnels, passages inférieurs, etc.
- spécifiques aux grands espaces et stades de sport : les projecteurs.

Principaux composants du luminaires:

-Les supports

Les luminaires sont fixés sur des consoles ou des candélabres. Le support permet de placer le luminaire dans la position désirée dans l'espace.

Il doit pouvoir :

- résister au vent, aux chocs et aux vibrations .
- résister aux intempéries (pluie, vents, températures , neige) et à la corrosion .
- être ancré solidement au sol (massif en béton) ou sur une façade d'immeuble .
- disposer d'une trappe de visite en pied de soutien pour recevoir un coupe-circuit électrique.

-Le système optique

Le système optique contribue au rendement du luminaire, donc à la performance énergétique de l'installation et améliore son entretien.

Il est constitué :

- d'une surface métallique concave qui renvoie le flux lumineux émis par la lampe vers la surface à éclairer .
- d'une vasque transparente qui assure l'étanchéité de l'optique contre l'eau la poussière.

-Le réseau

Le réseau desservant l'éclairage est raccordé au réseau de distribution électrique qui est composé de :

- câbles enterrés ou de câbles aériens .
- armoires électriques.

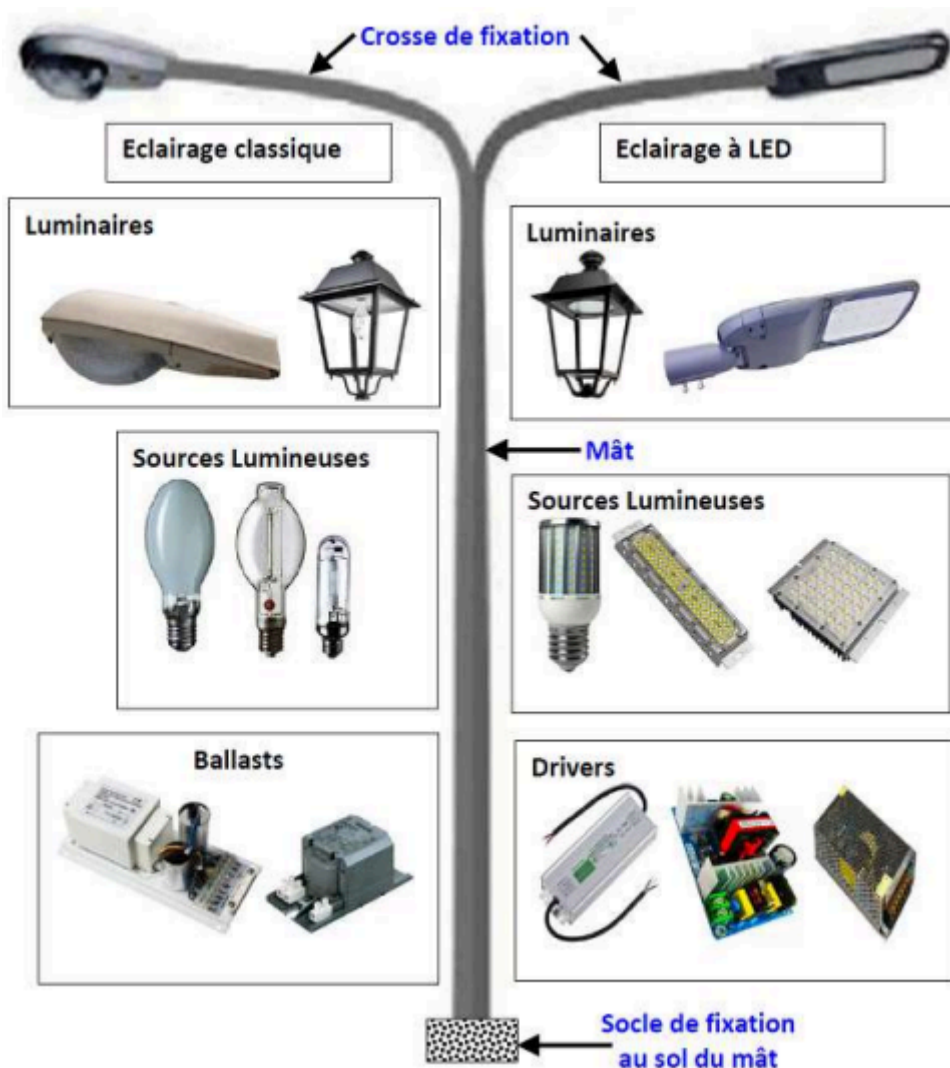


Figure 1.14 Lampadaires d'éclairage public et composants intégrés dans les cas classiques et à LED.

14. Types d'implantation des lampadaires :

Selon les différentes voiries et espaces publics, il y a différents types d'implantation des lampadaires. Dans ce qui suit la présentation de ces différents types :

-Implantation unilatérale : Ce type est constitué d'un seul rangé des lampadaires, dans le même côté de route. Avantageux par un investissement limité et l'encombrement limité d'un seul trottoir, mais il est adapté aux chaussées de largeur limitée (Voiries urbaines, Cheminements piétons...) [10]

-Implantation bilatérale en vis-à-vis : Ce type constitué de deux rangés des lampes vis-à-vis des deux côtés de route. Avantageux par son adaptation aux chaussées de largeur plus importante, et la limitation possible de la hauteur de feu ($H=L/2$), mais il est un Investissement plus important [10]

-Implantation bilatérale en quinconce : Ce type constitué de deux rangés dans les deux côtés de route, mais non vis-à-vis. Avantageux par son esthétique, mais il a un investissement plus important et l'uniformité de luminance plus complexes à obtenir, il peut utiliser pour les voiries de desserte et les parcs et les jardins [10]

-Implantation axiale : Ce type constitué d'un rangé des lampes au milieu de route (axe). Avantageux par un investissement limité (une seule rangée de mâts), mais l'uniformité de luminance réduite à le côté opposé et la maintenance est difficile. Elle est utilisée dans les grandes voiries mixtes. Ce type d'implantation peut également devenir la seule solution acceptable .

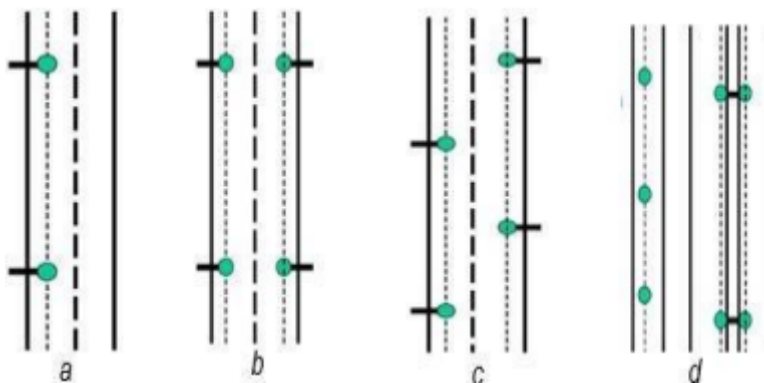


Figure 1.15 les différents types d'implantation [13]

15. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons étudié la consommation énergétique à l'échelle mondiale et nationale, ainsi que son lien avec l'éclairage public. Nous avons brièvement décrit la structure de l'éclairage public classique. Nos observations montrent que, d'un point de vue énergétique, environnemental et économique, l'utilisation de l'énergie solaire serait préférable dans ce domaine.

CHAPITRE 2

ECLAIRAGE PUBLIC SOLAIRE

Chapitre 2 : Éclairage public solaire .

1. Introduction :

Dans le premier chapitre nous avons vu l'importance de l'éclairage en général notamment l'éclairage public pour la vie . et comme nous l'avons énuméré précédemment l'éclairage public solaire est un moyen d'éclairage pratique et économique et l'énergie solaire est utilisée, en particulier dans les zones qui ne sont pas connectées à un réseau électrique, de sorte que l'énergie solaire surpasse l'énergie électrique en termes de meilleur éclairage. Quant à savoir comment obtenir cette énergie pour l'éclairage public, ses avantages et ses inconvénients, c'est ce que nous présenterons dans ce chapitre.

2. Eclairage solaire :

L'électricité a joué un rôle crucial dans le développement de l'éclairage artificiel, devenu indispensable à diverses activités humaines. Cependant, l'utilisation de l'énergie solaire photovoltaïque pour produire de l'électricité prend de l'ampleur et étend sa portée. Cette source d'énergie renouvelable a le potentiel de fournir de l'éclairage dans des zones reculées ou auparavant inaccessibles, où elle était rare, voire inexistante. Contrairement aux lampadaires traditionnels qui dépendent de l'énergie centralisée en courant alternatif (AC) provenant du réseau de distribution électrique basse tension (230 V, 50 Hz), l'éclairage solaire offre une solution décentralisée et autonome.

L'électricité solaire permet ainsi d'apporter un éclairage abordable et de qualité à divers endroits, notamment ceux reculés où cela était autrefois coûteux ou peu pratique. Plus encore, étant initialement produite sous forme de courant continu (DC), elle peut être directement utilisée sans aucune conversion intermédiaire (DC-AC), par de nombreux types de lampes, parfaitement adaptées à cet aspect d'alimentation et dont le principe même de génération de lumière, exige au final un courant continu. Parmi ces dernières, on y trouve justement les lampes à diodes électroluminescentes (LED).

Ainsi, l'utilisation de l'éclairage solaire fait désormais partie des options que les autorités locales algériennes envisagent lors du lancement de projets d'éclairage public. Cela inclut à la fois les nouveaux projets et ceux visant à remplacer des systèmes obsolètes, qui sont non

seulement hors d'usage mais également inefficaces en termes d'efficacité énergétique (une gravité majeure pour tous les pays du monde). Après avoir articulé ces besoins dans un tel contexte, il reste évidemment nécessaire de les traduire en spécifications techniques qui permettent une bonne caractérisation en fonction des ressources disponibles, tant matérielles que financières.

3. Lampadaire solaire d'éclairage public:

En termes d'apparence physique, le seul facteur qui distingue un lampadaire solaire de son homologue classique se résume aux composants liés à la production locale et indépendante d'énergie électrique adéquate à partir de l'énergie solaire photovoltaïque. Celle-ci sera convertie en lumière par la lampe elle-même, ce qui entraînera une production d'énergie autosuffisante avec des pertes minimales.

Lorsque l'énergie traditionnelle est utilisée, la structure générale de l'appareil – qui comprend la luminosité et le type de lumière produite, ainsi que la hauteur et les intervalles entre les lampadaires – reste cohérente avec ce qu'elle serait si l'énergie solaire était utilisée. Cela signifie qu'il n'y a pas de problèmes spécifiques à traiter.

Il n'y a donc pas lieu d'aborder de nouveau ce volet, car les mêmes règles déjà évoquées peuvent guider la sélection d'une source de lumière artificielle pour des besoins d'éclairage spécifiques.

En réalité, la mise en place du premier nécessite des modules de conversion du rayonnement solaire en électricité, produite uniquement pendant la journée et devant donc être stockée dans des batteries pour une utilisation ultérieure. Cela nécessite définitivement une composition de lampe attrayante et très économe en énergie en raison de problèmes d'autonomie, compte tenu des problèmes d'intervention d'espacement supplémentaires. Dans ces considérations, les lampes LED apparaissent comme l'option la plus appropriée.

Le candélabre solaire se compose de trois éléments de base : un panneau solaire, une batterie et une lampe LED. Cependant, un autre composant, "le Régulateur", est inclus pour garantir que la batterie reçoit une charge optimale grâce à l'énergie générée par le panneau solaire photovoltaïque.

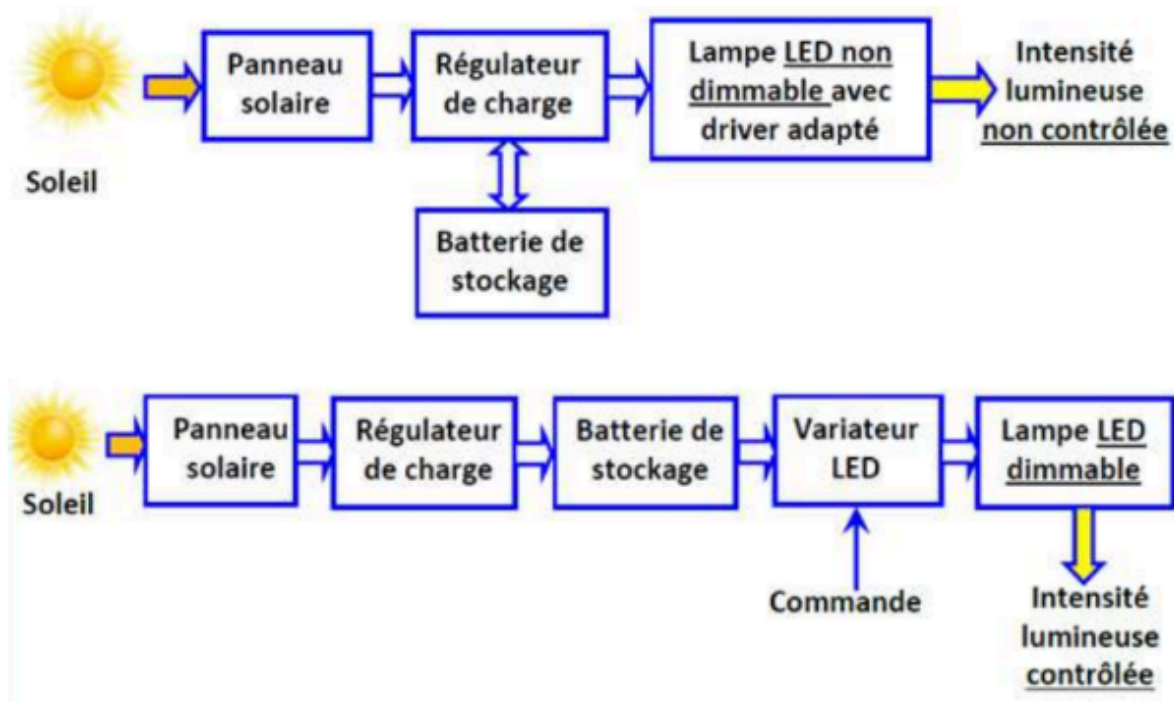


Figure 2.1 Synoptique d'un système d'éclairage solaire non commandé et commandé.[2]

4. Principe de fonctionnement :

Dans le but de fournir un éclairage public, un système photovoltaïque indépendant a été méticuleusement conçu et calibré pour fonctionner pendant une durée de 12 heures chaque nuit. Dans le cas où une diminution de la luminosité deviendrait impérative, le système est équipé pour s'adapter à de tels ajustements. De plus, en cas de périodes prolongées, le système bénéficie d'une autonomie d'environ 4 jours.

Le circuit électronique fonctionne à une tension standard de 12 V, même en l'absence de soleil prolongé

La lanterne fonctionne sur un système 24 V et dispose d'un régulateur de charge avec technologie MPPT, utilisant un type PWM. Ce régulateur comprend également un système innovant de gestion de l'énergie, utilisant un algorithme d'autogestion. Le but de cet algorithme est d'ajuster et de réguler dynamiquement l'intensité du flux lumineux de la lanterne en fonction du programme souhaité et de la quantité d'énergie générée tout au long de la journée. Cet ajustement prend en compte l'évolution du coefficient d'irradiation solaire au cours des différentes saisons ainsi que les différentes durées des jours et des nuits.[11]



Figure 2.2 Montage complet d'un système d'éclairage solaire avec contrôle de l'intensité lumineuse (Gradation) émis par la lampe LED.[2]



Figure 2.3 Montage complet d'un système d'éclairage solaire sans contrôle de l'intensité lumineuse émise par la lampe LED. [2]

5. Les différents composants du système d'éclairage solaire photovoltaïque :

Le système comprend généralement les constituants de base comme illustré sur la figure [4] ci dessous :



Figure 2.4 Structure et agencement des divers composants d'un lampadaire solaire. [2]

5.1. Panneau photovoltaïque :

Le panneau pv est un générateur électrique de courant continu. Il utilise une photopile pour transformer directement l'énergie solaire en électricité. Autrement dit, c'est un appareil qui crée de l'électricité lorsqu'il est exposé à la lumière du soleil ce générateur a des

caractéristiques électriques désirées tels que la puissance, le courant de court-circuit et la tension en circuit ouvert. Il est calculé spécifiquement en fonction de:

-L'irradiation solaire.

-Le nombre d'heures de fonctionnement.

- Le mode de fonctionnement (automatique, pleine puissance, réduction de flux, etc.)

Il est porté au sommet du poteau s'il est indépendant, et ses supports métalliques sont fabriqués de manière à pouvoir être tournés (dans le cas all in two) dans le plan horizontal pour répondre à la direction du sud et dans le plan vertical pour s'adapter à l'angle d'inclinaison du soleil. Pour son travail par temps nuageux.

- **Dimensionnement :**

Afin de déterminer la configuration du lampadaire solaire, il est nécessaire d'effectuer son dimensionnement . Pour cela un certain nombre de paramètres doivent être déterminés ou fixes, à savoir :

- L'irradiation solaire et la température prévalant au niveau du site,
- La consommation énergétique pour l'application considérée,
- L'inclinaison optimal pour le panneau pv ,
- Le nombre de jours d'autonomie durant lesquels l'installation pv à elle seule doit pouvoir satisfaire les besoins électriques de l'éclairage périphérique du site .

Tableau 2.1 Inclinaison annuelle optimale du champ PV pour chaque Wilaya.[15]

Wilaya	Inclinaison annuelle optimale ($\pm 5^\circ$)	Wilaya	Inclinaison annuelle optimale ($\pm 5^\circ$)
1-Adrar	29	30-Ouargla	31
2-Chlef	33	31-Oran	33
3-Laghouat	33	32-El-Bayadh	32
4-Oum El Bouaghi	32	33-Illizi	28
5-Batna	32	34-Bordj Bou-Arredj	33
6-Béjaïa	32	35-Boumerdès	32
7-Biskra	34	36-El Tarf	31
8-Béchar	33	37-Tindouf	28
9-Blida	30	38-Tissemsilt	33
10-Bouira	32	39-El Oued	33
11-Tamanrasset	25	40-Khenchela	32
12-Tébessa	32	41-Souk Ahras	31
13-Tlemcen	32	42-Tipaza	33
14-Tiaret	32	43-Mila	32
15-Tizi-ouzou	32	44-Ain-Defla	31
16-Alger	32	45-Naâma	33
17-Djelfa	33	46-Aïn Témouchent	33
18-Jijel	32	47-Ghardaïa	33
19-Sétif	33	48-Relizane	33
20-Saïda	32	49-Timimoune	30
21-Skikda	31	50-Bordj Badji Mokhtar	25
22-Sidi Bel Abbès	33	51-Ouled Djellal	34
23-Annaba	31	52-Béni Abbès	32
24-Guelma	31	53-In Salah	29
25-Constantine	30	54-In Guezzam	22
26-Médéa	32	55-Touggourt	33
27-Mostaganem	33	56-Djanet	25
28-M'sila	34	57-El M'Ghair	33
29-Mascara	33	58-El Meniaa	31

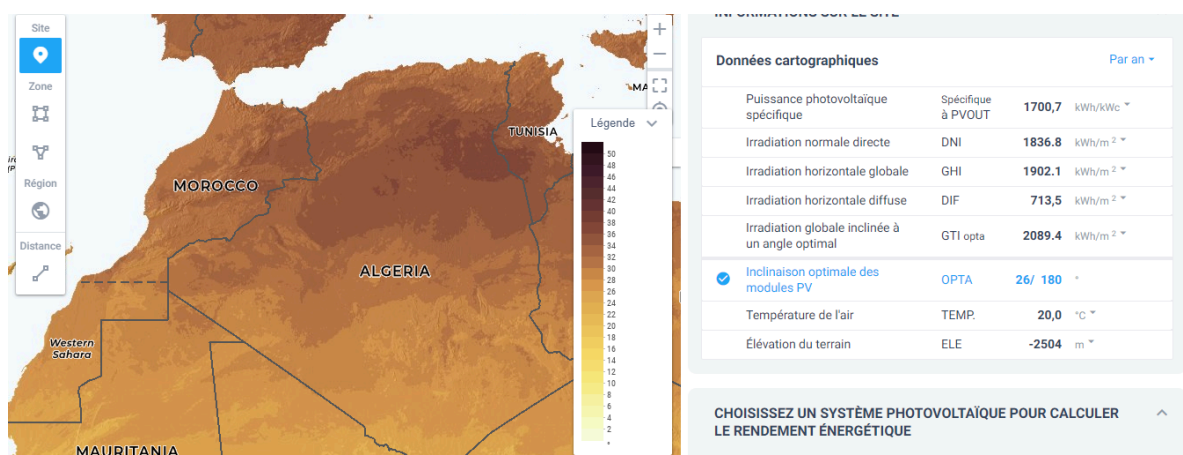


Figure 2.5 données cartographiques par atlas solar mondial .

Pour optimiser la production d'électricité à partir d'un système photovoltaïque, il est conseillé d'aligner les modules de manière à permettre une absorption maximale de l'énergie solaire tout au long de la journée. Il est important de considérer que la position du soleil change non seulement au cours de la journée, mais aussi au cours de l'année.

L'orientation du panneau doit être choisie en fonction des saisons (Figure 6).

En supposant une position et une direction fixes tout au long de l'année, les panneaux photovoltaïques sont conçus pour maximiser la production d'énergie et répondre aux besoins énergétiques quotidiens, même dans des conditions défavorables. Compte tenu de son emplacement dans l'hémisphère nord, la direction optimale pour le placement des panneaux est déterminée en conséquence.

En Algérie, le panneau photovoltaïque doit être positionné face au sud et incliné selon un angle allant de 55° en hiver à 10° en été, avec une inclinaison d'environ 32° lors des équinoxes d'automne et de printemps. Ceci est principalement applicable au cours des dernières saisons.

Le choix optimal de l'inclinaison des capteurs solaires fixes déployés à cet endroit, assurant une orientation sud, est la valeur qui représente effectivement le meilleur compromis.

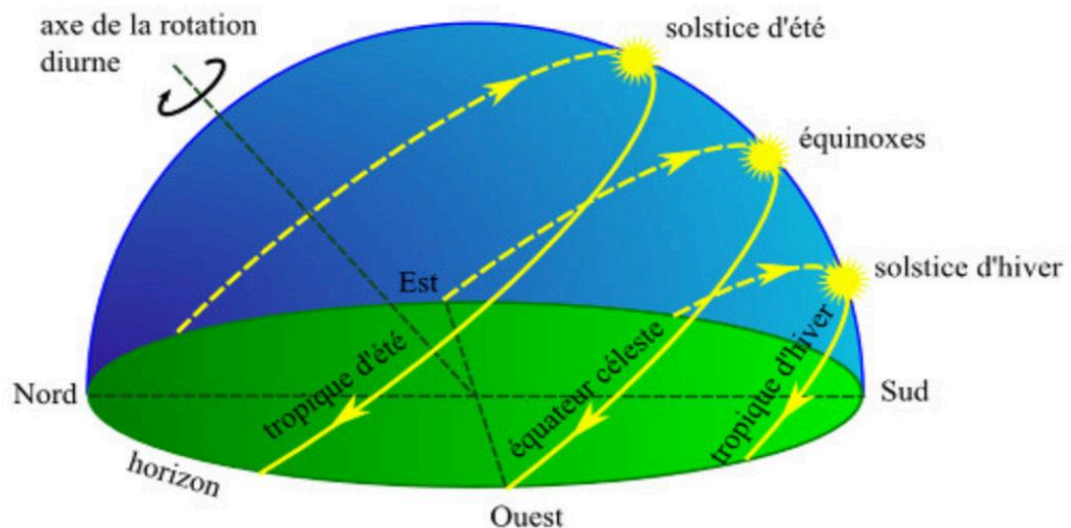


Figure 2.6 Illustration des trajectoires quotidiennes du soleil selon les saisons, vues notamment par un observateur localisé à l'hémisphère nord.

Le dimensionnement du module ou du site photovoltaïque détermine la taille de la production d'énergie photovoltaïque utilisée dans les composants ou les champs photovoltaïques. Cela équivaut à calculer la puissance crête P_c (We) situation dans le

secteur photovoltaïque dépend de la consommation (demande en énergie), de l'irradiation globale quotidienne moyenne du site et rapports de performances ou Performance Ratio (PR) du système. La puissance crête du générateur photovoltaïque est donnée par l'expression suivante :

$$P_c = \frac{DE}{PR \times Ne} \quad (2.1)$$

DE : Demande énergétique par jour (Wh/j)

PR : Indice de performance du système PV

Ne : Nombre d'heure équivalent à un éclairage de 1000w/m^2 .

Par ailleurs, la qualité d'une installation pv est évaluée par le biais par l'indice de performance ratio (PR) qui est indépendant du lieu ,il est indiqué en pourcentage et tient compte implicitement des différentes pertes d'une installation pv (pertes thermiques, pertes par captation,...)

Le PR est donc un nombre compromis entre 0 et 100% ; plus il est proche du 100% plus l'installation est performante d'un point de vue électrique .

Le choix de notre dispositif est basé sur les résultats du dimensionnement (puissance crête, inclinaison, irradiation ...) et Vu la nature de l'application et pour des raisons évidentes liées à l'installation du panneau solaire (fixation au mât...) et les contraintes mécaniques qu'il doit supporter (résistance au vent...), il y a manifestement intérêt à réduire au maximum la surface du champ photovoltaïque répondant à la puissance crête qui a été déterminé et ensuite selon la disponibilité des équipements sur le marché algerien. Il faut aussi tenir compte des aspects de fonctionnalité et de fiabilité sans pour autant négliger l'esthétique, l'encombrement et le coût .Pour cela, l'option pour un module à base de silicium monocristallin, dont le rendement se situe entre 17 et 19 % ou plus actuellement, est toute indiquée en premier comme pour la plupart des installations de cette nature. Cela étant, avant de se tourner exceptionnellement vers le poly-cristallin un peu moins cher, mais avec

un rendement plus faible (entre 14 et 16 %). De plus, nous privilégions, lorsque cela est possible, les équipements produits localement .

Dans le tableau suivant nous présentons les caractéristique de quelques modules solaires qui existent sur le marché national :

Tableau 2.2 Différents types de modules pv disponibles sur le marché national .[12]

Modèle	ENIE	CONDOR			AURES
	ENIESOLAR-100-36-M	CEM90M-36	CEM100M-36	CEM145P-36	AS R04-270P
Puissance (W _c)	100	90	100	145	270
Type de cellule	Monocristallin			Polycristallin	
Tension circuit ouvert V _{co}	22.7	22.3	22.3	22.6	37.72
Courant court-circuit I _{sc}	6.8	5.84	5.84	8.75	9.04
Dimensions (mm)	1196 x546 x35	1200x553x35	1200x553x35	1482x674x45	1675x996x40
Poids (Kg)	9	8	8	12	25
Prix DA	12 400.00	10.003,50	11.115,00	15.268,50	22 015.00

5.2. Batterie de stockage :

Les batteries de stockage pour systèmes solaires sont essentielles pour maximiser l'efficacité et l'utilisation des systèmes d'énergie solaire. Elles permettent de stocker l'électricité produite par les panneaux solaires pendant les périodes de lumière du jour pour une utilisation ultérieure lorsque le soleil n'est pas disponible, comme la nuit ou par temps nuageux.

La batterie étant un élément essentiel du système d'éclairage public à énergie solaire, dont dépendent de manière significative le coût, la fiabilité et la durée de vie de l'ensemble, il y a lieu de cerner dès le début les critères essentiels qui permettent de converger vers le meilleur compromis possible quant à son choix final. Sur ce plan, il convient de rappeler les paramètres caractéristiques essentiels des batteries en général :

- La capacité électrique d'une batterie, souvent désignée par la lettre C, représente la quantité d'électricité qu'elle peut stocker ou fournir. Cette capacité est généralement mesurée en ampères-heures (Ah) ou en milliampères-heures (mAh). Par exemple, une batterie avec une capacité de 100 Ah peut fournir un courant de 100 ampères pendant une heure, ou 1 ampère pendant 100 heures.
- L'état de charge (SoC pour State of Charge) est une mesure de la quantité d'énergie restante dans une batterie par rapport à sa capacité maximale. Il est souvent exprimé en pourcentage. Par exemple, un SoC de 50% signifie que la batterie est à moitié chargée.
- La profondeur de décharge (DoD pour Depth of Discharge) indique la quantité d'énergie qui a été retirée d'une batterie par rapport à sa capacité totale. Elle est également exprimée en pourcentage. Par exemple, une DoD de 80% signifie que 80% de la capacité de la batterie a été utilisée.
-

Il existe plusieurs types de batteries utilisées dans les systèmes solaires, notamment :

- Batterie plomb ouverte : Aussi connue sous le nom de batterie plomb-acide inondée, c'est la forme traditionnelle de batterie au plomb. Elle contient de l'électrolyte liquide et nécessite un entretien régulier pour vérifier et remplir le niveau d'électrolyte. Elles sont généralement moins chères mais moins durables que d'autres types de batteries au plomb.
- Batterie plomb AGM (Absorbent Glass Mat) : Ces batteries plomb-acide sont scellées et ne nécessitent pas d'entretien car l'électrolyte est absorbé dans des tapis en fibre de verre. Elles offrent une meilleure résistance aux vibrations et peuvent être montées dans différentes positions. Elles sont couramment utilisées dans les applications où la maintenance est difficile.
- Batterie plomb GEL : Les batteries plomb-acide gel utilisent un électrolyte gélifié, ce qui les rend étanches et exemptes d'entretien. Elles sont résistantes aux

températures extrêmes et offrent une meilleure durée de vie par rapport aux batteries plomb-acide classiques. Elles sont souvent utilisées dans les applications où la sécurité et la fiabilité sont essentielles.

- Batterie Plomb-carbone : Ces batteries combinent la technologie des batteries plomb-acide avec des additifs de carbone pour améliorer les performances et la durée de vie. Elles offrent une meilleure capacité de charge et de décharge, une plus longue durée de vie et une meilleure résistance à l'auto-décharge. Elles sont utilisées dans diverses applications, y compris les véhicules électriques.
- Batteries au Lithium : Les batteries au lithium sont devenues populaires en raison de leur densité énergétique élevée, de leur poids léger, de leur faible taux d'autodécharge et de leur longue durée de vie. Elles sont utilisées dans une grande variété d'applications, y compris les appareils électroniques, les véhicules électriques et le stockage d'énergie renouvelable. Les technologies au lithium comprennent le lithium-ion, le lithium-polymère, et d'autres variantes plus récentes telles que les batteries lithium-soufre et lithium-air, qui sont en développement pour offrir des performances encore meilleures.

Tableau 2.3 Durée de vie en nombre de cycles de diverses batteries et énergie massique. [2]

Type de batterie	Nombre de cycles (T=25°C)/Profondeur de décharge DoD			Energie massique (Wh/Kg)	Rendement charge/décharge
	30 %	50 %	80 %		
Plomb ouvert	?	?	?	?	?
Batterie AGM	1500	600	400	20-40 (40-100 Wh/l)	50-92%
Batterie AGM Plomb-Carbone	1500	1000	?	?	?
Batterie GEL	1900	750	500	?	?
Batterie GEL Plomb-Carbone	2500	1750	?	?	?
Batteries Lithium LiFePO	6000	5000	2500	120-140	?

→Le développement de la recherche dans le domaine du stockage de l'énergie solaire national connaît un début de concrétisation. Il a fait l'objet d'un accord conclu, le 13 février 2023 – en application d'une décision du Conseil des ministres prise une semaine avant -, entre la Direction Centrale de recherche et développement de Sonelgaz, d'une part,

et le Centre de Recherche en Technologie des Semi-conducteurs pour l'Energétique (CRTSE) ainsi que le CDER, d'autre part. Cela s'est déroulé au siège de l'annexe du CRTSE, en présence des ministres de l'Energie et des Mines, Mohamed Arkab, de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique, Kamel Baddari, de l'Économie de la connaissance, des Start-up et des Microentreprises, Yacine El-Mahdi Oualid, ainsi que du Président-Directeur Général de Sonelgaz, Mourad Adjal. A cette occasion, le ministre de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique a exposé un prototype d'une batterie lithium, qui avait alors atteint 70 % d'avancement, et qui devait être présentée à Sonelgaz ces jours-ci. C'est la première batterie 100 % algérienne pour le stockage de l'énergie solaire, d'après les indications données sur le site de Sonelgaz.[13]

- **Dimensionnement de la batterie:**

Le dimensionnement de la batterie de stockage peut être entamé en tenant compte, en premier lieu à l'autonomie désirée quant au nombre D de jours sans soleil (temps couvert...), où la capacité de la batterie doit être dimensionnée pour pouvoir assurer la continuité de service en alimentant normalement le luminaire à LED sur D+1 jours et cela, en fixant au préalable sa profondeur de décharge maximale DoD.[2]

- Profondeur de décharge (DoD) : La profondeur de décharge d'une batterie indique la quantité d'énergie qui a été retirée de la batterie par rapport à sa capacité totale. Elle est généralement exprimée en pourcentage. Par exemple, une batterie avec une DoD de 50% signifie que la moitié de sa capacité a été utilisée. Plus la DoD est élevée, plus la batterie est déchargée.
- Autonomie de la batterie : L'autonomie d'une batterie fait référence à la durée pendant laquelle elle peut fournir de l'énergie à une charge spécifique avant d'être complètement déchargée. Elle dépend de la capacité de la batterie (exprimée en ampères-heures ou en kilowattheures), de la consommation d'énergie de la charge connectée et de la profondeur de décharge autorisée. Par exemple, si vous avez une batterie de 100 Ah et que votre charge consomme 10 A, l'autonomie de la batterie serait de 10 heures si elle est déchargée complètement.

Pour le choix final des batteries, il faut prendre en compte les conditions climatiques de l'Algérie, notamment les températures élevées, l'ensoleillement intense et les variations saisonnières. Il est impératif de s'orienter vers des batteries qui fonctionnent même au delà du seuil des 50 °C, et ce sans excessivement affecter les performances habituelles pour des températures moins plus basses, il y a lieu de considérer également les effets amplificateurs liés au fait que la batterie peut être directement exposée au soleil, sans même l'aération adéquate (configurations all in one et all in two). Dans le cas où l'encombrement et le poids du pack de batteries le justifient, la solution d'une trappe souterraine comme abri, pourrait éventuellement apporter également une solution acceptable au problème que posent les températures ambiantes élevées en surface.

Armoire de batterie

Dans le cas où les batteries sont installées dans une armoire, cette dernière doit :

- Assurer un accès facile pour la manœuvre et l'entretien des batteries ;
- Supporter le poids des batteries ;
- Être étanche aux dégagements gazeux ;
- Être dotée d'une ventilation vers l'extérieur du bâtiment ;
- Résister à l'électrolyte et avoir un dispositif de rétention dans le cas de batteries ouvertes;
- Autoriser l'accès uniquement aux personnels habilités ;
- Porter les signalisations suivantes :
 - Accès interdit sauf au personnel habilité.
 - Risque de chocs électriques.
 - Interdiction de fumer.
 - Danger d'explosion.
 - Risque de brûlure. [15]

5.3 Régulateur de charge solaire :

Le régulateur de charge/décharge est associé à un générateur photovoltaïque, il a pour rôle, entre autres, de contrôler la charge de la batterie et de limiter sa décharge. Sa fonction est primordiale, car elle a un impact direct sur la durée de vie de la batterie.

Il y a deux types de régulateurs proposés sur le marché pour une gamme de puissance compatible avec celle des lampadaires solaires, il est essentiel d'éclairer au mieux les

éléments clés qui distinguent clairement chacun des deux types de régulateurs, afin d'orienter le choix au plus juste.

Régulation PWM (Pulse Width Modulation)

Le régulateur est inséré entre le champ photovoltaïque et la batterie. Il est composé d'un interrupteur électronique fonctionnant en MLI (Modulation de Largeur d'Impulsion) et d'un dispositif anti-retour (diode).

L'ouverture et la fermeture de l'interrupteur électronique s'effectuent à une certaine fréquence, ce qui permet de réguler le courant de charge en fonction de l'état de charge avec précision.

Quand la tension de la batterie descend en dessous de la limite fixée par le régulateur, l'interrupteur se ferme. La batterie se charge alors avec le courant correspondant à l'ensoleillement. On est en phase "Bulk".

Lorsque la tension batterie atteint un seuil de régulation prédéterminé, l'interrupteur s'ouvre et se ferme à une fréquence fixe pour maintenir un courant moyen injecté dans la batterie. La batterie est chargée, on est en phase "Floating".[14]

Régulateur MPPT (Maximum Power Point Tracking)

Le régulateur de charge est composé d'un convertisseur DC/DC à découpage de haut rendement qui assure trois fonctions :

- Détection de la puissance maximale du champ photovoltaïque tant que la batterie n'est pas chargée.
- Conversion DC/DC.
- Régulation de la tension de sortie en fonction de la phase de charge (Bulk, Absorption et Floating).

Le champ solaire est connecté à l'entrée du régulateur et la batterie à sa sortie. Lorsque la tension batterie est inférieure à la tension de régulation, le régulateur fait fonctionner le générateur photovoltaïque à puissance maximale P_{mpp} et transfère cette puissance à la sortie.

Par conception, le régulateur MPPT permet un gain de production de **5 à 30%** par rapport à un régulateur PWM. Ce gain augmentera en hiver et pendant les périodes de faible ensoleillement.

Le régulateur de charge MPPT permet une plus grande souplesse au niveau du choix des panneaux. En effet, tous les types de module photovoltaïque peuvent être utilisés du moment que l'on reste dans les tolérances de tension (V) et de courant (A) du régulateur. [14]

Tableau 2.4 Les principales différences des deux types de régulateurs.

Contrôleur de charge PWM	Contrôleur de charge MPPT
Couplage direct du champ PV sur la batterie	Charge de la batterie via un convertisseur abaisseur de tension
La tension nominale de la chaîne PV doit être compatible avec la tension batterie	La tension nominale de la chaîne PV peut être supérieur à la tension batterie
Optimisation énergétique lorsque la température des modules est élevée et que la batterie est presque chargée	Gain énergétique maximal lorsque la température des modules est basse et que la batterie est faiblement chargée
typiquement adaptée pour les petits systèmes PV < 200 Wc	Plus adapté pour des puissance PV > 20 Wc
Nécessite l'utilisation de modules de 37 ou 72 cellules	Possibilité d'utiliser des modules quel que soit le nombre de cellules
Champ PV dimensionné en courant (basé sur le courant de charge de batterie)	Champ PV dimensionné en puissance (basé sur le courant max de charge x la tension de batterie
Câble PV de grosse section et nécessite une boîte de jonction quand la puissance le justifie	Possibilité de s'affranchir de boîte de jonction dans certain cas et de réduire la section de câble

Le choix du régulateur parmi les deux possibles (MPPT ou PWM), ne pose pratiquement plus de problèmes aujourd'hui, puisque l'ensemble des critères les plus significatifs, notamment ceux liés à l'efficacité énergétique, déterminants à plusieurs égards lorsqu'il s'agit d'applications autonomes d'éclairage solaire comme c'est le cas ici, penchent tous vers un régulateur de charge à base de MPPT.

5.4 Luminaire LED :

Un luminaire LED économe en énergie qui utilise l'électricité stockée dans la batterie pour fournir de la lumière pendant la nuit. Les lampes LED sont préférées car elles sont plus efficaces et durent plus longtemps que les lampes à incandescence ou à fluorescence.

5.5. Câbles :

Toute installation solaire photovoltaïque comporte des câbles permettant le passage de l'électricité du module ou du champ PV à la batterie puis aux charges .

La section du câble qui relie le module ou champ PV au régulateur est différente de la section du câble qui relie le régulateur et la batterie et celle de la charge , par ce qu'il faut prendre en considération :

- La longueur du câble (pour déterminer la longueur totale et le type de câble requis).
- Le courant qui passe dans le câble .

Le calcul de la section de câble se fait selon la formule suivante :

$$S = \frac{\rho \times L \times I \times 2}{\varepsilon} \quad (2.2)$$

Avec :

ε : chute de tension dans les câbles (V)

S : section de câble (mm²)

L : longueur de câble(m)

I : courant max utilisé(A)

ρ : résistivité du cuivre (Ω^2/m)

Pour conserver une efficacité optimale de l'installation , il faut limiter la chute de tension dans les câbles électriques , nous pouvons calculer la chute de tension ε tel que :

$$\varepsilon = \frac{\rho \times L \times I \times 2}{S} \quad (2.3)$$

Si le câblage est réalisé en respectant les règles de l'art, il ne devrait poser absolument aucun problème pendant toute la durée de l'installation. La vérification de l'installation est à réaliser une fois par mois.

5.6. Poteau et accessoires de montage :

Un poteau pour monter le panneau solaire et le luminaire LED, ainsi que tous les accessoires nécessaires pour l'installation, tels que les supports de fixation, les vis, etc.

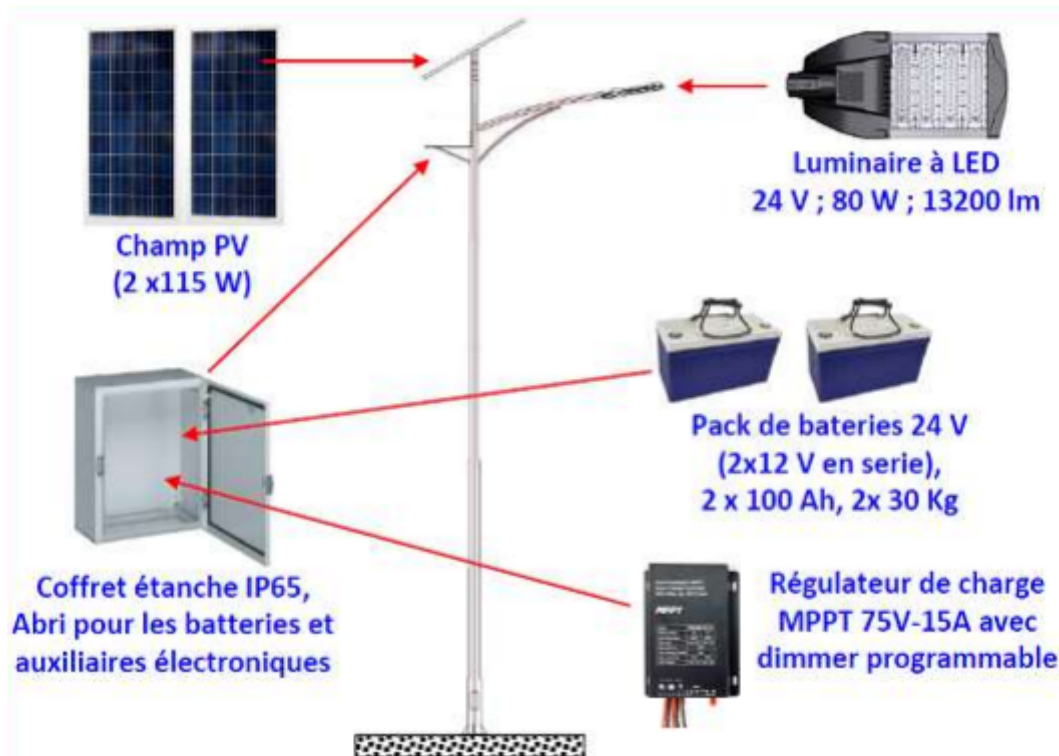


Figure 2.7 Configuration finale du lampadaire. [4]

6 Les types d'éclairage solaire :

Les termes "All-in-One" (tout-en-un) et "All-in-Two" (tout-en-deux) font référence à deux types de systèmes d'éclairage solaire, principalement pour les lampadaires solaires. Voici ce que chacun de ces termes signifie et comment ils diffèrent :

Luminaire solaire All-In-One :

Il adopte une conception entièrement intégrée qui intègre le panneau solaire, la lampe LED et la batterie au lithium dans son ensemble. C'est la lampe solaire la plus simple à installer, mais limitée par la taille du panneau. Généralement, il est nécessaire d'installer un détecteur de mouvement supplémentaire pour s'assurer que l'ensemble du système fonctionne avec des puissances de lampe élevées toute la nuit.

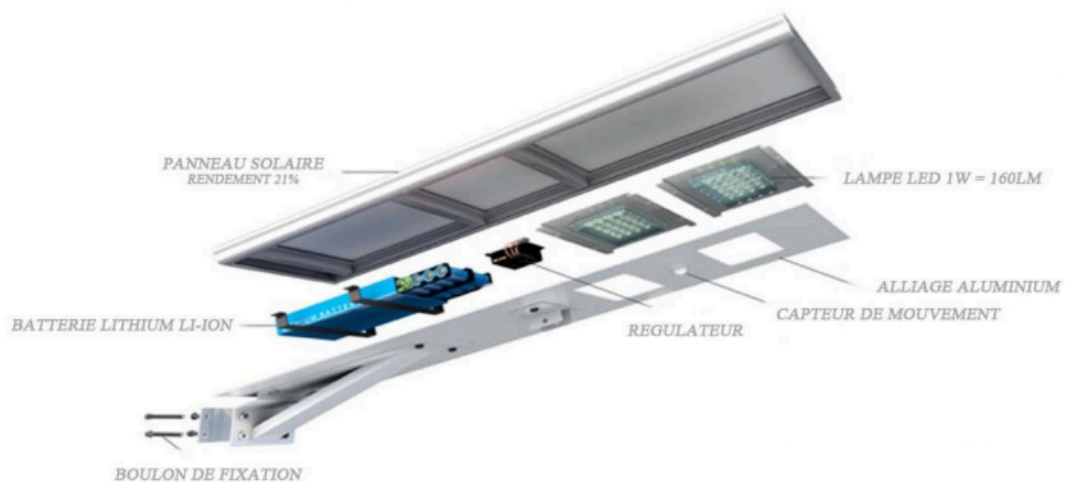


Figure 2.8 Illustration du modèle all in one

Fiche technique all- in-one :

CARACTERISTIQUE DU PRODUIT	
Référence	IL AIO 40W
LED Lampe	Haute performance
Puissance	40W
Voltage	12V
Lumen	6000-6400LM (150-160LM/W)
Degré kelvin	2700-6500 K
Angle du faisceau lumineux	120°
Durée de vie	50 000 Heures
Panneau Solaire	Haute performance Monocristallin
Efficacité	20,8%
Puissance	70W
Voltage	18V
Duré de vie	25 ans
Batterie	Lithium LIFE PO4
Voltage	12V
Ampères à l'heure	30,8 Ah
Durée de vie	5-7 ans
Temps de charge par jour	6 Heures (Suffisamment de luminosité solaire)
Autonomie	Sans capteur > 20hrs Avec capteur > 50hrs
Contrôleur	Intelligent
Programme	12h (5 Hrs 100% , 5 Hrs 50%, 2 Hrs 70%)
Capteur de mouvement	Disponible
Interrupteur Manuel	Disponible
Température idéale	-30°C~+70°C
Matière de la lampe	Alliage Aluminium
Etanchéité	IP65
Hauteur d'installation	7-8 m
Distance entre luminaire	18-20 m Installation Poteau, Mural, Potence
Taille	1210 × 325 × 45 mm
Poids	19 KG
Certificat	CE / ISO / ROHS
GARANTIE	3 ans

Luminaire solaire All-In-Two :

Lampadaire All In Two est une intégration de la lampe LED, batterie lithium, contrôleur de courant constant, tant dit que le panneau solaire est séparé de l'ensemble du luminaire pour assurer un meilleur temps de stockage pour la batterie ce qui assure en retour une meilleure autonomie. Lorsque le panneau est bien incliné et orienté plein sud, nous aurons le maximum de rendement et le minimum de temps de charge .



Figure 8 : Illustration du modèle all in two

Fiche technique all-in-two:

SPECIFICATIONS OF DSL-T SERIES			
Model	DSL-T40	DSL-T60	DSL-T80
Power	40W	60W	80W
LED chip / 3030	96PCS	144PCS	192PCS
Color Temperature	2700K-6500K		
Luminous Flux	180-200 LM/W		
Brightness-Lumens	8000LM	11000LM	14000LM
LiFePO4 Battery	12.8v 32AH	12.8v 47AH	12.8V 63AH
Mono Solar Panel	18V/80W	18V/100W	18V/150W
Solar charging time	5-6 hours		
Autonomy time in rainy day	3-5 days		
Working Mode	1hrs-50%, 5hrs-100%, 6hrs-30%, 1hrs-50% Can be customized + Remote control		
Mounting Height	6-8M	7-9M	8-10M
Mounting Space	25-30M	30-35M	35-40M
Material	Aluminum Alloy		
Work temperature	-25°C to 75°C		
Certificates	CE/ROHS		
IP rating	IP66		
Warranty	2 Years		

7. Conclusion :

Dans ce chapitre nous concluons, dans ce chapitre que l'éclairage solaire est la solution idéale pour éclairer les villes et les routes, surtout dans les endroits isolés de l'électricité, d'autant plus qu'il est facile à installer et à utiliser, qu'il est respectueux de l'environnement et que nous avons pu exploiter l'énergie solaire.

Chapitre 3

Etude de

dimensionnement d'éclairage solaire

Chapitre 3: Etude de dimensionnement d'éclairage solaire

1. Introduction :

L'ensemble des éléments constituant les installations PV doivent être dimensionnés de manière optimale, ni trop surdimensionnés ni trop sous-dimensionnés, et ce pour permettre à la fois de satisfaire les besoins énergétiques et de réduire les coûts d'investissements. A cet effet, lors du dimensionnement et la conception des installations PV, il est primordial de tenir compte des paramètres suivants :

- Le site d'implantation de l'installation PV (localisation géographique, rayonnement global moyen, par jour et par mois, pour un plan d'inclinaison donné, températures, nombre de jour sans ensoleillement, ombrage,...) ;
- Les besoins énergétiques ;
 - Les caractéristiques des équipements existants : modules PV, batteries, régulateur de charge

Nous allons utiliser la méthode empirique qui permet de dimensionner les systèmes PV , en tenant compte du mois le plus défavorable en ensoleillement , pour assurer une autonomie de stockage pour une consommation de plusieurs jours consécutifs de faible ensoleillement . Il s'agit alors d'un surdimensionnement du couple : générateur PV / capacité de stockage, pour fournir l'énergie au consommateur pendant cette période critique .

2. Collectivités locales et éclairage public en Algérie:

Afin de réduire la facture d'électricité des collectivités locales, qui s'élevait à 27 milliards de dinars en 2017 pour une consommation totale de 4 801 GWh, soit 8 % de la consommation nationale avoisinant les 60 000 GWh, les autorités publiques ont décidé de privilégier un éclairage public moins énergivore. En effet, ce secteur consomme à lui seul

2839 GWh, représentant environ 60 % de la consommation totale d'électricité des communes, avec un budget annuel de près de 15 milliards de DA.

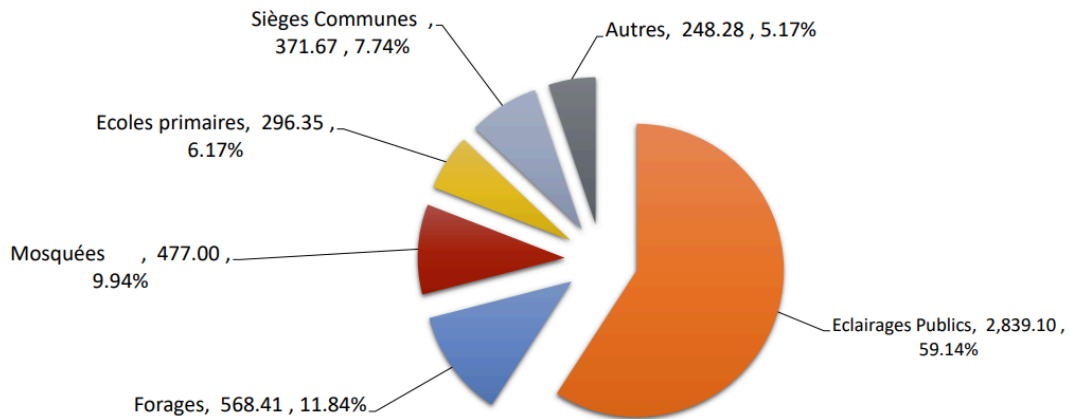


Figure 3.1 Consommation des communes par activité - année 2017- (GWH) [2]

Pour remédier à cette situation, il est nécessaire de suivre les évolutions technologiques dans le domaine de l'éclairage, où l'efficacité énergétique a été un des principaux axes de recherche et développement. Les progrès réalisés dans le domaine des diodes électroluminescentes (LED) en sont la meilleure illustration, ces sources de lumière étant extrêmement efficaces et permettant une adaptation précise de l'éclairage aux besoins spécifiques. Par conséquent, l'activité économique autour des LED et de leurs composants associés (ballasts électroniques, drivers, etc.) domine actuellement le marché mondial de l'éclairage dans presque tous les segments (résidentiel, public, commercial, industriel, récréatif), représentant environ 60 % du marché global.

3. Systèmes d'éclairage public existant en Algérie:

L'éclairage public, essentiellement destiné à équiper des espaces ouverts (routes, ruelles, places publiques, lieux de récréation...), fait appel à des luminaires répondant à des critères assez bien définis, que ce soit en termes de robustesse vis-à-vis des divers aléas inhérents à leur déploiement à l'extérieur (étanchéité, rigidité...), ou leurs performances lumineuses intrinsèques (efficacité lumineuse, qualité de la lumière...). 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, 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.

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 [17] et font état d'un parc assez développé (Tableau 1).

Tableau 3.1 Parc d'éclairage public et points lumineux en Algérie (2018). [15]

Nombre de points lumineux existant dans le parc d'éclairage public	3 134 824		
	Mercure	1 122 589	36 %
	Sodium	1 940 045	62 %
	LED	59 145	2 %
	Photovoltaïque	13 045	0,42 %

De toute façon, une grande partie des trois millions de lampes à décharge (mercure et sodium) actuellement en usage continuera de l'être pendant plusieurs années encore, car les remplacer prématurément par des LED serait manifestement très coûteux et économiquement irrationnel. Face à cette réalité, il est donc nécessaire d'améliorer l'efficacité énergétique de l'éclairage existant pendant sa durée de vie restante, afin de réaliser des gains énergétiques significatifs justifiant le coût de l'opération.

Pour ce qui est du remplacement des anciennes lampes à base de mercure et sodium, arrivées en fin de cycle et jusqu'à épuisement des stocks de rechange standard, il est recommandé de passer aux LED après une réflexion approfondie sur le choix du modèle à adopter. Cela doit se faire selon plusieurs critères à long terme, tels que la puissance, le ballast électronique gradable ou non, la qualité de la lumière, l'IRC, et la température de couleur. En plus de l'option évidente de l'interchangeabilité physique de la lampe LED avec l'ancienne à mercure ou au sodium (en utilisant le même luminaire et le maximum des anciens circuits auxiliaires), il est important d'affiner au mieux le choix de la puissance et

des qualités photométriques de la nouvelle source, dont dépendent en grande partie les économies futures d'énergie.

4. Pré-dimensionnement de notre puissance PV:

Pour faire l'étude du dimensionnement du générateur PV nous avons pris le site de 36.681618°, 004.237186° Tizi Ouzou, Algeria , on a deux paramètres à prendre en compte : la consommation moyenne journalière et l'irradiation incidente moyenne journalière reçue sur le panneau.

Nous avons introduit sur l'application en ligne the Global Solar Atlas les coordonnées de notre site et elle nous a généré un rapport contenant un profil horaire moyen de l'irradiation.

Average hourly profiles

Direct normal irradiation [Wh/m²]

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0 - 1												
1 - 2												
2 - 3												
3 - 4												
4 - 5						3						
5 - 6				25	146	172	135	49	5			
6 - 7			86	236	306	340	316	273	199	100		
7 - 8		211	328	366	400	452	439	406	361	359	214	
8 - 9	341	377	415	445	478	541	540	513	455	457	370	344
9 - 10	408	435	467	485	530	604	612	586	515	513	417	401
10 - 11	457	479	503	508	555	636	656	626	553	543	452	444
11 - 12	475	503	521	514	554	644	668	640	550	542	463	466
12 - 13	457	496	511	497	532	631	667	624	522	504	436	448
13 - 14	429	456	475	473	492	602	633	586	476	458	390	406
14 - 15	380	411	433	434	453	554	579	527	428	403	336	351
15 - 16	243	362	382	382	401	482	502	452	360	320	142	77
16 - 17		77	271	303	326	388	397	346	238	54		
17 - 18			30	106	201	269	264	161	22			
18 - 19					15	58	45					
19 - 20												
20 - 21												
21 - 22												
22 - 23												
23 - 24												
Sum	3,192	3,806	4,422	4,774	5,388	6,377	6,455	5,788	4,685	4,252	3,221	2,936

Figure 3.2 profil horaire moyen de l'irradiation. [20]

La puissance PV (P_{pv}) permettant de satisfaire les besoins énergétiques est donnée par l'expression suivante :

$$P_{pv} = \frac{E_c \cdot 1000}{I_{RR} \cdot F_{CG}} \quad \dots (1)$$

avec :

E_c : Consommation énergétique journalière

I_{RR} : Irradiation solaire globale quotidienne moyenne

F_{CG} : Facteur de correction global ,contenant les divers rendement ainsi qu'un coefficient de sécurité (%).

dans le cas de notre exemple d'après l'entreprise "Epic tafat n tizi" tizi ouzou avec des données telles que :

La puissance de notre charge d'un lampadaire rurale de six mètre est de 80 watts ce qui donne une consommation journalière durant le mois le plus défavorable de :

$$E_c = 80w \times 12h (\text{jours d'hiver}) = 960 \text{ Wh / j}$$

et on retient du bilan généré par global atlas solar on a un I_{RR} de

$$I_{RR} = 2936 \text{ wh/m}^2$$

et un facteur de correction pour la région de tizi ouzou de

$$F_{CG} = 0,7$$

donc on obtient une puissance de :

$$P_{pv} = \frac{960 \cdot 1000}{2936 \cdot 0,7} = 467,10 \text{ w}_c$$

5. Pré-dimensionnement de la capacité de batterie :

La capacité du parc de batteries est dimensionnée de telle sorte à pouvoir assurer suffisamment d'énergie aux différents équipements pendant toute la durée de l'autonomie prévue (Nj) et ce sans franchir la profondeur de décharge maximale des batteries (D).

La capacité du parc de batteries, exprimée en Ampère-heure (Ah), est donnée par :

$$C_{STO} = \frac{E_c \cdot AUT}{DOD \cdot U_{BAT} \cdot \eta_{BAT}} \quad \dots (2)$$

AUT : nombre de jours d'autonomie .

DOD : profondeur de décharge de la batterie .

η_{BAT} : rendement de batterie .

U_{BAT} : tension de batterie

Le choix de la tension de batteries est effectué selon la puissance (PN) des charges, comme suit :

- PN \leq 500W : 12V

- PN \leq 2000W : 24V

- PN > 2000W: 48V

Ce choix de tension est valable pour des faibles longueurs de câbles reliant le régulateur et le parc de batteries.

Ce qui fait que la capacité qu'on obtient est :

$$C_{STO} = \frac{960 \cdot 4}{0.7 \cdot 12 \cdot 0.8} = 571,42 \text{ Ah}$$

Donc pour une capacité de cette valeur nous aurons besoin de trois batteries de 200Ah ou bien de deux batteries de 300 Ah en parallèle pour satisfaire nos besoins .

$$200 \times 3 = 600 > 571,42$$

$$300 \times 2 = 600 > 571,42$$

6. Économie à réaliser pour le remplacement des lampes :

Selon le ministère de l'Intérieur, des Collectivités Locales et de l'aménagement du Territoire, la facture actuelle s'élève à 14,9 milliards DA. Il est estimé que remplacer les lampes à mercure par des lampes à sodium réduirait cette facture à 9,8 milliards DA, permettant ainsi d'économiser près de 4,2 milliards DA, soit 30% d'économies. En comparaison, le remplacement des lampes à mercure et à sodium par des lampes LED pourrait générer jusqu'à 60% d'économies, ramenant la facture à 5,6 milliards DA et permettant d'économiser 8,4 milliards DA.

7. Comparaison du coût entre l'éclairage public en photovoltaïque et le classique:

Simulation sur le coût d'investissement en matière d'éclairage public en photovoltaïque sur 20 ans pour une route de 1 kilomètre, largeur de 4 mètres, on a besoin de 50 unités .

Tableau 3.2 simulation comparative du coût du photovoltaïque et du classique .

Consistance	Éclairage public en photovoltaïque	Éclairage public classique
Coût du système	$120000 \times 50 = 6.000.000 \text{ DA}$	$70000 \times 50 = 3.500.000 \text{ DA}$
Coût de l'installation	$4000 \times 50 = 200.000 \text{ DA}$	$17.500.000 \times 15\% = 2.625.000 \text{ DA}$
Coût de construction	Juste la base : $7500 \times 50 \text{ unités} = 375.000 \text{ DA}$	Câble: $450 \text{ DA} \times 8 \text{ mètres} \times 50 \text{ unités} = 180.000 \text{ DA}$ Tranchées: $450 \text{ DA} \times 8 \text{ mètres} \times 50 \text{ unités} = 180.000 \text{ DA}$ Tube plastique: $50 \text{ DA} \times 8 \text{ mètres} \times 50 \text{ unités} = 20.000 \text{ DA}$ TOTAL: 380.000 DA
Maintenance (sur 20 ans)	Changement de batterie: $10.000 \text{ DA} \times 50 \text{ unités} * 4 \text{ fois} = 7.500.000 \text{ DA}$ $2.000.000 \text{ DA}$ Changement de lampe LED $15.000 \times 2 \text{ fois} \times 50 = 1.500.000 \text{ DA}$ TOTAL: 3.500.000 DA	Consommation d'électricité $50 \text{ DA} \times 50 \text{ unités} \times 365 \text{ jrs} \times 20 \text{ ans} = 18.250.000 \text{ DA}$ Changement de lampes: $200 \text{ DA} \times 12 \text{ fois} \times 50 \text{ unités} = 120.000 \text{ DA}$ TOTAL: 18.370.000 DA
COÛT GLOBAL SUR 20 ANS	10.075.000 DA	22.250.000 DA

Dans le tableau (3.2), il est démontré que l'installation d'un système photovoltaïque peut être plus coûteuse que celle d'un système classique. Cependant, ce qui nous importe réellement, c'est la longévité du système. Sur une période de 20 ans, on observe une différence significative entre les coûts de maintenance des systèmes photovoltaïques et conventionnels, avec le photovoltaïque étant beaucoup plus avantageux à long terme. Les résultats montrent que, malgré un coût initial plus élevé, le photovoltaïque offre des avantages économiques à long terme.

8. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons tout d'abord abordé le budget annuel des consommations d'électricité ainsi que les différents systèmes d'éclairage public pour souligner les avantages de la transition vers des solutions photovoltaïques, qui sont nettement moins énergivores. Ensuite, nous avons détaillé le processus de dimensionnement du système, expliquant les choix d'équipements et leurs justifications. Nous avons utilisé une méthodologie solide et bien adaptée aux objectifs du dimensionnement d'un système d'éclairage solaire public.

Enfin, en comparant les aspects financiers des systèmes d'éclairage public traditionnels et photovoltaïques, nous avons conclu que l'éclairage public photovoltaïque représente la meilleure solution tant sur le plan financier qu'énergétique pour le pays.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion Générale

L'homme a développé l'éclairage public solaire autonome pour répondre aux besoins quotidiens en illuminant les rues, les ruelles et les places du coucher de soleil jusqu'au petit Matin. Les autoroutes et les ponts sont également éclairés, offrant aux usagers une bonne visibilité et une sécurité accrue, tout en répondant aux défis économiques et environnementaux de l'éclairage public classique.

Le système d'éclairage photovoltaïque autonome est conçu pour accomplir des tâches spécifiques en utilisant l'énergie solaire comme source primaire. Ce système se compose de plusieurs éléments clés : les modules photovoltaïques (PV) qui captent les rayons solaires, les batteries qui stockent l'énergie, le régulateur qui protège la batterie contre la surcharge et règle la tension nominale, ainsi que le câblage reliant tous les composants.

Ce mémoire présente une étude approfondie du système d'éclairage public solaire autonome.

La méthodologie utilisée pour le dimensionnement est essentielle pour garantir l'efficacité et la fiabilité de l'installation. Pour illustrer cela, nous avons effectué un dimensionnement précis sur le site de Tizi Ouzou, Algérie (coordonnées : 36.681618°, 004.237186°).

Dans le cadre de notre étude comparative entre les systèmes d'éclairage public traditionnels et solaires, nous avons effectué une comparaison financière sur 20 ans pour un kilomètre de route. Nous avons utilisé une méthodologie solide et bien adaptée aux objectifs du dimensionnement d'un système d'éclairage solaire public.

Les résultats obtenus montrent que, sur le long terme, l'éclairage public photovoltaïque représente un meilleur investissement tant sur le plan financier qu'énergétique.

Cette conclusion met en évidence l'importance des systèmes solaires pour une économie durable et une réduction de notre empreinte écologique.

Perspectives

À la lumière des résultats obtenus et de l'importance croissante des énergies renouvelables, plusieurs perspectives peuvent être envisagées pour approfondir et élargir cette étude comparative sur les systèmes d'éclairage public autonomes et classiques :

1. Amélioration Technologique :

- **Innovation des Matériaux :** Explorer de nouveaux matériaux pour les panneaux photovoltaïques et les batteries afin d'améliorer l'efficacité énergétique et la durée de vie du système.
- **Smart Grid Integration :** Intégrer des technologies de réseau intelligent (smart grid) pour optimiser la gestion de l'énergie produite et consommée par les systèmes d'éclairage public.

2. Évaluation Environnementale Plus Approfondie :

- **Analyse du Cycle de Vie (ACV) :** Effectuer une analyse du cycle de vie complète pour évaluer les impacts environnementaux des systèmes d'éclairage public solaire, de la production des composants à leur fin de vie.
- **Réduction de l'Empreinte Carbone :** Étudier les moyens de réduire davantage l'empreinte carbone des systèmes PV, notamment par l'utilisation de matériaux recyclables et la mise en place de programmes de recyclage des composants.

3. Expansion Géographique et Climatique :

- **Études Régionales :** Étendre les études à d'autres régions et climats pour évaluer la performance des systèmes PV sous différentes conditions météorologiques et géographiques.

- **Adaptabilité Climatique** : Développer des solutions adaptées à des environnements spécifiques, comme les zones à faible ensoleillement ou les régions sujettes à des conditions météorologiques extrêmes.

4. Aspect Socio-Économique :

- **Impacts Sociaux** : Évaluer les impacts sociaux de l'adoption des systèmes d'éclairage public solaire, tels que la création d'emplois locaux, l'amélioration de la qualité de vie et de la sécurité des habitants.
- **Modèles de Financement Innovants** : Explorer des modèles de financement innovants, comme le financement participatif ou les partenariats public-privé, pour faciliter l'adoption à grande échelle des systèmes d'éclairage PV.

5. Optimisation de la Maintenance et de la Durabilité :

- **Programmes de Maintenance Préventive** : Développer des programmes de maintenance préventive pour garantir la durabilité et l'efficacité continue des systèmes d'éclairage solaire.
- **Technologies de Surveillance** : Utiliser des technologies de surveillance à distance pour diagnostiquer et résoudre rapidement les problèmes techniques.

6. Comparaisons Fonctionnelles :

- **Études Comparatives en Temps Réel** : Mettre en place des projets pilotes pour comparer en temps réel les performances et les coûts des systèmes d'éclairage public solaire et classiques dans des contextes variés.
- **Indicateurs de Performance Clé (KPI)** : Définir et suivre des indicateurs de performance clé pour évaluer l'efficacité, la fiabilité et les bénéfices économiques des systèmes.

En développant ces perspectives, l'étude pourrait non seulement contribuer à une meilleure compréhension et optimisation des systèmes d'éclairage public autonomes, mais aussi soutenir une transition plus rapide et efficace vers des infrastructures urbaines durables et résilients.

Référence :

Références :

[A₁]AKSAS M., GAMA A. Assessment of wind and solar energy resources in Batna. Energy Procedia, 2011, 6, p. 459-466

[A₂]Agence internationale pour les énergies renouvelables , IRENA

[1] BOULHARES Khadidja et TRAKET Chahira “Etude Pratique et Dimensionnement d’un Système d’Éclairage Public Photovoltaïque Autonome” Université Ahmed draia adrar.

[2] “éclairage public en algérie” référentiel national pour une lumière de qualité et éco énergétique , CERFEE 2021

[3] <https://lumeninside.fr/indice-de-rendu-de-couleur/>

[4] S&P Global Platts, ©2023, S&P Global Inc

[5] [Bilan énergétique national 2021](#)

[6] <https://fr.globalpetrolprices.com/>

[7] Sicard C. Les énergies solaire et éolienne en Algérie. 2011. tome III – OCS 81 DZ 232.

[8] office national de l'assainissement Algérie 2020

[9]<https://www.mordorintelligence.com/fr/industry-reports/algeria-renewable-energy-market>

[10] CETE, formation "éclairage public",^a DIR centre Est, France, 2007.

[11] “Système d’éclairage public photovoltaïque autonome ; Hauteur 7m - Régulation MPPT - Batteries en tête de mât - Éclairage LED” www.neo-energy.eu.

[12] Etude et Conception d'un Éclairage Périphérique Photovoltaïque à LED pour le Site de l'UDES ARBANE, Ouadie; KHIAT, Riadh **ARBANE, Ouadie; KHIAT, Riadh**

[13]<https://www.jne-asso.org/2023/06/24/transition-energetique-en-algerie-les-energies-fossiles-ont-toujours-lavantage/>

14 solaris store

[15] Guide-PV-CEREFEE

[16] Présentation du modèle de consommation énergétique au niveau des communes <https://www.interieur.gov.dz/images/Prsentation-du-modle-de-consommation-nergétique-au-niveau-des-communes.pdf>

[17] Nahla Kheddache, “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-nergétique-.pdf>

[18] 2023 | 72nd edition Statistical Review of World Energy

[19] Bilan énergétique 2.0.indd

[20] *Globale solar atlas*

[21] Contribution à l'étude des systèmes photovoltaïques utilisés pour l'alimentation des maisons individuelles, SMAIL SEMAOUI , Doctorat en Science Électrotechnique, 2014

