

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la recherche scientifique

Université Blida 1 (ex :Saad DAHLEB)



Faculté de Technologie

Département Des Énergies Renouvelables

OPTION : Conversion Photovoltaïque

Mémoire de fin d'études pour obtenir le diplôme de master

Thème :

De la théorie à la pratique : les techniques de dimensionnement de l'éclairage publique

Présenter par : Soufyane LAFER

Soutenu devant le jury composé de :

Mr, DOUMAZ Toufik	MAA	Univ, Blida1	Président
Mr, MAHDAOUI Ahmed	MAA	Univ,Blida1	Examineur
Mr,BOUZAKI Med Moustafa	MCB	Univ,Blida1	Encadreur

Année Universitaire :
2024/2025

المخلص

يقدم هذا البحث طريقة مبسطة لتصميم نظام كهروضوئي مستقل مخصص لإنارة الطرقات العمومية. يهدف هذا العمل إلى اقتراح منهج عملي وسهل التطبيق يُمكن من تصميم نظام إنارة بالطاقة الشمسية يتلاءم مع احتياجات المناطق الحضرية والريفية، لا سيما تلك غير المرتبطة بشبكة الكهرباء الوطنية.

تم تطبيق هذه المنهجية على حالة واقعية، حيث تم دراسة عدة أنواع من المصابيح الشمسية، خاصة النماذج من نوع

، مع التركيز على خصائصها التقنية، وطريقة تركيبها، وآلية عملها، إضافة إلى كيفية حساب احتياجاتها من All-In-One و All-In-Two الطاقة (الألواح، البطاريات، مدة الحياة، تباعد الأعمدة، وغيرها).

كما تطرق هذا البحث إلى المبادئ الأساسية للإنارة العمومية، والمقاييس الضوئية المستعملة، وأنواع المصابيح وأعمدة الإنارة، إلى جانب المعايير المعتمدة في اختيار المكونات. وتم إجراء دراسة تجريبية لقياس شدة الإضاءة، وزاوية التوزيع، وغيرها من الخصائص التقنية للمصابيح المستخدمة.

يسعى هذا العمل إلى توفير مرجعية تقنية واضحة لكل من يرغب في إنشاء نظام إنارة عمومية يعمل بالطاقة الشمسية، مع دمج الجوانب النظرية والتطبيقية بما يتلاءم مع ظروف الواقع الميداني.

Résumé :

Ce mémoire présente une méthode simplifiée de dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome destiné à l'éclairage public. L'objectif est de proposer une démarche pratique et accessible permettant de concevoir un système d'éclairage solaire adapté aux besoins des zones urbaines ou rurales, en particulier celles non raccordées au réseau électrique.

Le travail s'appuie sur une application réelle concernant la route nationale reliant Tlemcen à Maghnia, choisie comme site d'étude. Plusieurs types de luminaires solaires ont été étudiés, notamment les modèles All-In-One et All-In-Two, en mettant l'accent sur leurs caractéristiques techniques, leur installation, leur fonctionnement ainsi que leur dimensionnement énergétique (panneaux, batteries, durée de vie, la hauteur et l'espacement des poteaux, etc.).

Le mémoire aborde également les principes de base de l'éclairage public, les grandeurs photométriques, les types de lampes et candélabres utilisés, ainsi que les critères de choix des composants. Une étude expérimentale a été réalisée afin de mesurer la luminosité, l'angle d'ouverture et d'autres performances techniques des systèmes installés.

Ce travail vise à fournir une base technique claire pour toute personne souhaitant mettre en place un système d'éclairage solaire public, en intégrant à la fois les aspects théoriques et les conditions réelles de terrain.

REMERCIEMENTS

Louange à Dieu, le Tout-Puissant, qui m'a donné la force, la patience et la volonté d'aller jusqu'au bout de ce travail.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à *Messieurs BOUZAKI Moustafa, DOUMAZ Toufik, BENCHNINA Yacine* et *CHARANE Hamid* pour leur disponibilité, leurs conseils avisés, leur accompagnement rigoureux et leur confiance tout au long de ce mémoire. Leur encadrement a été pour moi une véritable source d'inspiration et de motivation.

Je remercie le président Mr, DOUMAZ Toufik et les membres du jury, pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail, ainsi qu'à leur pertinentes remarques et suggestions.

Je remercie tout mes amis de la promotion ainsi que toute personne qui a contribué de près ou de loin pour finaliser ce modeste travail .

DÉDICACES

Je remercie du fond du cœur ma *famille* pour son amour, son soutien inconditionnel et ses encouragements constants, sans lesquels je n'aurais pu mener à bien ce parcours.

Je pense tout particulièrement à ma chère *maman Lalia*, à mon *papa Djilali*, à mes frères *Fayssal, Ibrahim* et *Hichame*, ainsi qu'à ma sœur *Houria*, qui ont toujours été à mes côtés, avec patience, confiance et bienveillance.

Je n'oublie pas mes **amis de l'houma mahfoud, hamid, hamouda, lahcen**, pour leur présence, leur énergie positive et leur encouragement dans les moments les plus difficiles.

Merci aussi à mes **amis de l'université chouib, assil, hasni, djalil, mohamed maazouzi, idir**, pour les moments de partage, d'entraide et de camaraderie, qui ont grandement enrichi mon expérience étudiante.

Enfin, je remercie chaleureusement tous les *membres de l'équipe de travail GUSTA* pour leur collaboration, leur esprit d'équipe et leur soutien tout au long de cette aventure.

Je tiens à adresser une pensée particulière à *Zaki, Saïd, Yazid, Jugurta, Djaloul* et *Bilal*, pour leur implication, leur bonne humeur et leur présence constante.

À chacun de vous : *merci du fond du cœur.*

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE	18
Introduction Générale.....	19
Chapitre 1 : Connaissances préliminaires sur l'éclairage public	20
1.Introduction Générale à l'Éclairage Public	21
1. Le rôle de l'éclairage dans les villes et les routes.....	21
2. Bénéfices de l'éclairage public en termes de sécurité, d'économie et d'environnement	21
2.1. Sécurité publique et routière	21
2.2. Économie et gestion énergétique.....	21
2.3. Impact environnemental et durabilité	22
Conclusion	22
II. La Lampe.....	22
1. Définition et composants de base.....	22
2. Caractéristiques des lampes	23
2.1. Flux lumineux (Lumen - lm)	23
2.1.2. Comparaison des éclairages LED avec les lampes et appareils traditionnels.....	23
2.1.3. Importance du flux lumineux dans l'éclairage public	24
2.2. Intensité lumineuse (Candela - cd).....	25
2.2.1. Différence entre flux lumineux et intensité lumineuse	25
2.2.2. Importance de l'intensité lumineuse dans l'éclairage public	26
2.3. Éclairement lumineux (Lux - lx).....	27
2.3.1. Facteurs influençant l'éclairement lumineux en éclairage public	27
2.4. Efficacité lumineuse (lm/W).....	28
2.4.1. Facteurs influençant l'efficacité lumineuse	28
2.5. Efficacité énergétique et impact environnemental	29
2.6. Luminance.....	29
2.6.1. Différence avec d'autres grandeurs lumineuses.....	30
2.6.2. Importance en éclairage public	30
Conclusion	30
III. Le Candélabre	31
1. Définition	31
2. Types de candélabres	31

2.1. Candélabres classiques	31
2.2. Candélabres décoratifs	32
2.3. Candélabres solaires	32
2.4. Candélabres intelligents.....	33
3.Critères de choix d'un candélabre.....	34
3.1. Hauteur du candélabre	34
3.2. Matériaux de fabrication.....	34
3.3. Design et esthétique.....	34
Conclusion	35
IV. La Résistance Mécanique (Socle)	36
4.1. Introduction	36
4.2. Matériaux utilisés pour la fabrication du socle	36
4.3. Résistance aux conditions climatiques	36
4.3.1. Résistance au vent	36
4.3.1.1. Vitesses extrêmes du vent en Algérie	36
4.3.2. Résistance à la pluie et à l'humidité	36
4.3.3. Résistance aux vibrations et aux chocs	37
4.4. Considérations techniques pour assurer la stabilité	37
4.4.1. Calcul des fondations.....	37
4.4.2. Ancrage et fixation.....	37
4.4.3. Maintenance et durabilité.....	37
4.5. Critères de dimensionnement d'un socle de candélabre	37
4.5.1. Hauteur et poids du candélabre	37
4.5.2. Conditions climatiques locales	38
4.5.3. Nature du sol.....	38
4.5.4. Méthode d'ancrage du candélabre.....	38
4.6. Méthodes d'installation des candélabres	39
4.6.1. Fixation par ancrage (avec platine).....	39
4.6.2. Fixation directe (en scellement direct)	40
4.7. Type de socle.....	40
4.7.1. Socle en Béton Coulé sur Place	40
4.7.2. Socle Préfabriqué en Béton.....	41
4.7.3. Socle Métallique Ancré au Sol	42
4.7.4. Socle à Visser (ou Hélicoïdal).....	43

4.7.5. Socle Enterré (Massif d’Ancrage Profond)	43
4.8. Critères de Choix d’un Socle pour l’Éclairage Public Solaire	44
Conclusion	44
V. Types de Technologies LED	44
Introduction	44
5.1. LED classiques	44
5.1.1. Définition et caractéristiques	44
5.1.2. Applications	45
5.2. LED SMD (Surface Mounted Device)	46
5.2.1. Définition et caractéristiques	46
5.2.2. Applications	46
5.3. LED COB (Chip on Board)	48
5.3.1. Définition et caractéristiques	48
5.3.2. Applications	48
Conclusion	50
VI. Confort Photométrique	50
6.1. Introduction	50
6.2. Importance d’une répartition homogène de la lumière	50
6.3. Influence de la température de couleur sur le confort visuel	51
6.4. Réduction des ombres et de l’éblouissement souhaitable	52
6.4.1. Ombres indésirables	52
6.4.2. Éblouissement et solutions de réduction	52
6.4.3. Solutions pour réduire l’éblouissement :	52
Conclusion	53
VII. Éléments de photométrie et structure appropriée du point lumineux	53
7.1. Élément de base d’un dispositif d’éclairage public	53
7.2. calculer Éclairement lumineux (Lux – lx)	53
7.2.1 Facteurs influençant l’éclairement	54
7.2.2. Méthodes de mesure du lux	55
7.3. Influence de la hauteur du luminaire sur la zone éclairée	56
Conclusion	57
7.4. Les cinq principaux types de distribution pour l’éclairage extérieur	57
1. Type I	57
2. Type II	57

3. Type III.....	57
4. Type IV	57
5. Type V	57
Conclusion	58
7.5. Type de rayon lumineux.....	58
1. Rayonne Direct	58
2. Rayonne semi-directe	58
3. Rayonne indirecte.....	58
4. Rayonne semi-indirecte	59
5. Rayonne diffuse.....	59
Conclusion	59
7.6. Le diagramme photométrique	59
Conclusion	60
VIII. Structure finale d'un dispositif d'éclairage publique.....	60
8.1. Normes et distances d'implantation des points lumineux	60
8.2. Normes d'implantation des points lumineux.....	60
8.3. Principaux paramètres réglementés :	60
8.4. Distances d'implantation des points lumineux	60
8.5. Schémas d'implantation courants :	60
Conclusion	61
8.6. Normes d'Implantation des Lampadaires selon le Type de Voie et la Méthode de Distribution.....	62
Conclusion	63
8.7. Normes d'éclairement selon la norme européenne EN 13201	64
Conclusion	66
Conclusion	67
Chapitre 2: Technologies de l'éclairage public solaire photovoltaïque.	68
1. Introduction générale.....	69
2. Principe de fonctionnement de l'éclairage public solaire	69
2.1. Fonctionnement général d'un système solaire autonome	69
2.1.1. Principe de fonctionnement.....	69
2.2. Composants d'un candélabre solaire	70
2.3. Comparaison avec l'éclairage conventionnel (réseau électrique).....	73
2.4. Avantages.....	75
2.5. Contraintes.....	75

3. Typologies des systèmes solaires d'éclairage publique	76
3.1. Système classique.....	76
3.2. Système All-in-One (Tout-en-un)	77
3.3. Système All-in-Two (Tout-en-deux).....	79
4. Comparaison technique et fonctionnelle	81
5. Applications selon le contexte	82
6. Avantages et limites de l'éclairage solaire	84
6.1. Avantages.....	84
Sur le plan environnemental :.....	84
Sur le plan économique :	85
6.2. Limites.....	85
Sur le plan environnemental et technique :	85
Sur le plan économique :	85
6.3. Nécessité d'une étude préalable.....	85
6.4. Impact de la maintenance des batteries sur le coût réel à long terme	86
7. Partie pratique : Étude technique sur les lampadaires solaires disponibles en Algérie	86
7.1. Objectif de l'étude	86
7.2. Méthodologie.....	86
7.2.1 Modèles testés	86
7.3. Résultats et interprétations.....	87
7.4. Présentation de l'appareil ZKE Tech EBC	94
7.4.4. Les principales versions de l'appareil :.....	96
7.4.5. Importance pour l'éclairage public solaire :	96
7.4.6. Constats techniques.....	97
7.4.7. Recommandations concrètes	97
Conclusion	97
Conclusion	97
Chapitre 3 : dimensionnement du luminaire d'éclairage public.	98
1. Introduction	99
2. Dimensionnement du luminaire	100
2.1. 1 ^{er} route autoroute 3 voies par sens)	100
2.2. Partie théorique du dimensionnement	100
2.2.1. Calcul de la largeur totale de la route.....	100
2.2.2. Détermination de la largeur éclairée	100

2.2.3. Choix de la hauteur du mât d'éclairage	101
2.2.4. la distance entre les luminaires	101
2.2.5. Calcul du flux lumineux requis	102
2.2.6. Estimation de la puissance	103
2.2.7. Choix de la température de couleur	103
2.2.8. Choix de la typologie du luminaire solaire	104
2.2.9. Choix du type de candélabre	104
2.2.10. Conclusion de la partie théorique	104
2.3. Partie pratique avec le logiciel DIALux	104
2.3.1. Introduction à DIALux	104
2.3.2. Modélisation de la route dans DIALux	104
2.3.3. Sélection d'un luminaire avec DIALux Finder	105
2.3.4. Entrée des paramètres de l'installation	105
2.3.5. Simulation et résultats	106
2.3.6. Analyse des résultats	107
Remarque: Après.....	108
2.3.7. Conclusion de la partie pratique.....	109
2.4. 2 ^{eme} route voie en milieu urbaine	109
2.4. Partie théorique du dimensionnement	109
2.4.1. Calcul de la largeur totale de la route	109
2.4.2. Détermination de la largeur éclairée	109
2.3. Choix de la hauteur du mât d'éclairage	110
2.4.3. la distance entre les luminaires	110
2.4.5. Calcul du flux lumineux requis	110
2.4.6. Estimation de la puissance	111
2.4.7. Choix de la température de couleur	111
2.4.8. Choix du type de candélabre.....	112
2.4.9. Conclusion de la partie théorique	112
2.5. Partie pratique avec le logiciel DIALux.....	112
2.5.1. Modélisation de la route dans DIALux.....	112
2.5.2. Sélection d'un luminaire avec DIALux Finder	112
2.5.3. Entrée des paramètres de l'installation	113
2.5.4. Simulation et résultats	113
2.5.5. Analyse et conclusion	114

Conclusion	114
Conclusion générale.....	115
Références :	117

Liste des figures :

Figure 1: Lampe incandescence Classique.	23
Figure 2: comparaison des lampes à incandescence utilisées dans des hublots, bornes ou appliques lumineuses avec réflecteur par rapport au système LED SMD ou COB avec faisceau 120° [5]	24
Figure 3 comparaison de la diffusion lumineuse entre LED et lampe incandescence	25
Figure 4 : le flux lumineux	25
Figure 5 : Illustre visuellement la différence entre Candela (cd) et Lumen (lm) et lux (lx).[8]	26
Figure 6: L'intensité lumineuse.	26
Figure 7: L'éclairage lumineux.	27
Figure 8: L'efficacité lumineuse de différents types de lampes.	29
Figure 9: Luminance et Illustration unifiée des données	30
Figure 10 : candélabre classique.....	31
Figure 11: candélabres décoratifs.	32
Figure 12: un groupe de candélabres solaire dans lieux publics.	32
Figure 13: candélabre intelligent.	33
Figure 14: Capteur de mouvement.	33
Figure 15: Un diagramme montrant la différence entre Fixation directe dans le béton et par platine et tiges d'ancrage. ...	39
Figure 16 : Socle en Béton Coulé sur Place.....	41
Figure 17: Socle Préfabriqué en Béton.....	42
Figure 18: structure métallique fixée au sol	42
Figure 19: Conception et installation d'une manière.[26].....	43
Figure 20: module LED Classique.	45
Figure 21: Lampe à LED SMD et divers modèles de circuits pour différentes puissances.....	47
Figure 22: Lampe à LED SMD de 60 W (160 LED SMD 5630) adaptée au système d'éclairage public.	47
Figure 23: module LED COB.	49
Figure 24: illustrations qui expriment les types d'éblouissement dans le contexte de l'éclairage public.....	52
Figure 25: illustration montrant la relation entre la hauteur, la surface et l'éclairage.[33]	55
Figure 26: Distribution de la lumière diffusée par un luminaire.[9]	56
Figure 27: Les cinq principaux types de distribution pour l'éclairage extérieur.[9]	58
Figure 28: Les cinq principaux types de distribution pour l'éclairage extérieur.[9]	59
Figure 29: Divers modes de déploiement des lampadaires.[9]	61
Figure 30: Cas de distribution unilatérale des points lumineux.[9]	62
Figure 31: Panneaux photovoltaïques de deux luminaires solaires : → À gauche : panneau du modèle All-in-One ; à droite : panneau du modèle All-in-Two.....	70
Figure 32: Deux régulateurs de charge extraits de luminaires différents → Chaque régulateur provient d'un système solaire distinct (All-in-One et All-in-Two)	71
Figure 33: Batterie extraite d'un luminaire solaire → Vue réelle de la batterie après démontage du boîtier du luminaire	71
Figure 34: un luminaire solaire montrant les LED de type SMD → Focus sur le système d'éclairage intégré au luminaire. .	72
Figure 35 : Deux boîtiers de protection pour composants électroniques → Comparaison de boîtiers issus de luminaires solaires différents.....	72
Figure 36: Luminaire solaire avec indication du capteur crépusculaire → Le capteur permet l'allumage automatique en fonction de la lumière ambiante.....	73
Figure 37 : Luminaire solaire classique d'éclairage public → Système de type traditionnel avec panneau et batterie séparés	77

Figure 38: Luminaire solaire de type All-in-One → Tous les composants intégrés dans un seul bloc compact	78
Figure 39: Luminaire solaire de type All-in-Two → Panneau solaire séparé du bloc LED/batterie.....	80
Figure 40: 1re étape : démonter le luminaire solaire.....	87
Figure 41: fiche technique de panneau.....	88
Figure 42: Mesurer la tension (Vco) des panneaux solaires avec un multimètre.	88
Figure 43: mesurée la tension de la batterie avec un multimètre.	89
Figure 44: mesurée la Tension (Vco) des panneaux solaires avec un multimètre.	90
Figure 45: démonter le luminaire solaire	90
Figure 46: fiche technique de panneau solaire all in one.....	91
Figure 47 : mesurée la tension de la batterie avec un multimètre.	91
Figure 48: démonter la batterie pour la tester.	92
Figure 49: tester une seule cellule de batterie avec ZKE Tech EBC.	92
Figure 50: une cellule de la batterie avec sa fiche technique.....	93
Figure 51: la corrosion que nous avons trouvée sur la batterie.	93
Figure 52 : testeur des batteries ZKE Tech version EBC.....	94
Figure 53: un logiciel spécial de testeur à installer sur ordinateur ZKE Tech.....	95
Figure 54 : représentation de la route dans dialux	105
Figure 55: fiche technique pour un luminaire que on a choisie.	105
Figure 56: saisie des paramètres de l'installation dans dialux	106
Figure 57: les résultats photométriques que dialux nous a donné.....	107
Figure 58: interface dialux en planification et lampe.....	109
Figure 59: fiche technique pour un luminaire que on a choisie.	112
Figure 60: les paramètres de l'installation d'une voie en milieu urbaine.	113
Figure 61: les resultat de la voie en milieu urbaine que dialux nous a fourni.	113
Figure 62: simulation d'éclairage de voie urbaine dans dialux	114

La liste des tableaux

Tableau 2 : Comparaison des technologies d'éclairage en termes de flux lumineux.....	24
Tableau 3: Exemples d'intensités lumineuses selon les sources	26
Tableau 4: Type de lampe et l'efficacité lumineuse	28
Tableau 5: tableau comparant les différents types de candélabres selon la hauteur, l'usage, le coût et l'entretien	35
Tableau 6: Caractéristiques techniques typiques de LED classique	46
Tableau 7: Caractéristiques techniques typiques de LED SMD	48
Tableau 8: Caractéristiques techniques typiques de LED SMD	50
Tableau 9: Température de couleur (K0) et Type de lumière	51
Tableau 10: Hauteur du luminaire et étendue de la zone éclairée au sol.....	56
Tableau 11: Voies de circulation et éléments d'implantation des lampadaires.	63
Tableau 12: Voies urbaines et ordre de grandeur du niveau d'éclairage moyen en lux selon la norme Européenne 13201[9]	64
Tableau 13: Voies rurales et ordre de grandeur du niveau d'éclairage moyen en lux selon la norme Européenne 13201[9]	65
Tableau 14 : comparaison entre l'éclairage solaire et conventionnel	74
Tableau 15: tableau comparatif technique et fonctionnel des systèmes solaires d'éclairage public avec les applications idéales	81
Tableau 16 : un tableau synthétique présentant les applications recommandées selon différents contextes d'utilisation.	83
Tableau 17: tableau de comparaison entre les version.....	96
Tableau 18: dimension typique d'une Autoroute (3 voies par sens).....	99
Tableau 19: dimension typique d'une Voie urbaine à double sens (1 voies par sens).	100

Nomenclature – Symboles – Acronymes

All-in-One : Système d'éclairage solaire intégré, où le panneau, la batterie, le contrôleur et les LED sont regroupés dans un seul boîtier.

All-in-Two : Système solaire composé d'un panneau photovoltaïque séparé du bloc batterie/luminaire.

BMS (Battery Management System) : Système de gestion électronique des batteries permettant d'optimiser leur fonctionnement et de les protéger.

CD (Candela) : Unité d'intensité lumineuse, exprimant la lumière émise dans une direction précise.

COB (Chip On Board) : Technologie LED à haute densité lumineuse regroupant plusieurs puces sur un seul substrat.

DIALux : Logiciel professionnel de simulation et de conception d'éclairage public et architectural.

Éclairement (E) : Quantité de lumière reçue sur une surface, mesurée en lux (lx).

EN 13201 : Norme européenne relative à l'éclairage public des routes.

Efficacité lumineuse (lm/W) : Rapport entre le flux lumineux émis et la puissance électrique consommée.

Flux lumineux (Φ) : Quantité totale de lumière émise par une source, mesurée en lumens (lm).

Intensité lumineuse (I) : Puissance lumineuse dans une direction donnée, exprimée en candelas (cd).

Kelvin (K) : Unité de température de couleur (blanc chaud, neutre ou froid).

LED (Light Emitting Diode) : Diode électroluminescente utilisée comme source lumineuse.

Luminance (L) : Quantité de lumière perçue par l'œil à partir d'une surface, exprimée en cd/m².

Lux (lx) : Unité d'éclairement lumineux (1 lux = 1 lumen/m²).

Puissance (P) : Énergie électrique consommée par le système d'éclairage, exprimée en watts (W).

Rendement lumineux : Synonyme d'efficacité lumineuse (lm/W).

SMD (Surface Mounted Device) : Type de LED monté en surface, utilisé dans l'éclairage public.

Température de couleur : Mesurée en kelvin (K), elle indique la teinte de la lumière (chaude, neutre, froide).

Tension (V_{co}) : Tension à vide d'un panneau solaire, mesurée sans charge connectée.

Uniformité : Rapport entre les zones les plus sombres et les plus éclairées ; mesure la régularité de l'éclairage.

V_{co} (Voltage en circuit ouvert) : Tension mesurée aux bornes d'un panneau solaire sans charge.

ZKE Tech EBC : Appareil de mesure électronique utilisé pour tester les batteries (tension, capacité, etc.).

INTRODUCTION GENERALE

Introduction Générale

L'éclairage public est un service indispensable pour la sécurité, la mobilité et le confort dans les espaces urbains. Cependant, il engendre une consommation énergétique importante (40% du budget des A, P, C vont pour l'éclairage public), ce qui pousse aujourd'hui à rechercher des solutions plus durables (éclairage solaire). En Algérie, le fort potentiel solaire offre une réelle opportunité pour adopter l'éclairage public à énergie photovoltaïque.

Ce mémoire a pour objectif d'étudier le dimensionnement des luminaires d'éclairage public, en allant de la théorie à la pratique, en lien avec les exigences techniques et les réalités locales.

Le premier chapitre présente les bases de l'éclairage public, les différents composants, ainsi que les normes et paramètres techniques nécessaires pour concevoir un système conforme (choix des luminaires, des candélabres, hauteur, espacement...).

Le deuxième chapitre aborde les technologies solaires photovoltaïques appliquées à l'éclairage. Il propose une comparaison avec l'éclairage conventionnel, et intègre une étude pratique sur des lampadaires solaires disponibles en Algérie.

Enfin, le troisième chapitre est consacré au dimensionnement des luminaires, réalisé selon les méthodes théoriques, puis validé à travers des simulations sur le logiciel Dialux.

Ce travail vise à fournir une démarche claire pour concevoir un éclairage public efficace, durable et adapté au contexte algérien.

Chapitre 1 : Connaissances préliminaires sur l'éclairage publique

1.Introduction Générale à l'Éclairage Public

Ce chapitre présente les éléments de base d'un système d'éclairage public : les lampes, les candélabres, les socles, ainsi que les technologies LED utilisées. On y explique aussi les critères de choix, la résistance mécanique, le confort photométrique, et les normes européennes et algériennes à respecter.

1.Le rôle de l'éclairage dans les villes et les routes

L'éclairage public est un élément fondamental de l'aménagement urbain et des infrastructures routières. Il assure plusieurs fonctions essentielles, notamment la visibilité nocturne, la fluidité du trafic, la sécurité des piétons et des conducteurs, ainsi que l'embellissement des espaces publics. Dans un contexte de développement urbain croissant, la gestion efficace de l'éclairage public devient un enjeu majeur pour les collectivités locales.

Historiquement, l'éclairage public a évolué depuis l'utilisation des lampes à huile jusqu'aux technologies modernes telles que les lampes à décharge (sodium haute pression, iodures métalliques) et, plus récemment, les diodes électroluminescentes (LED). Avec les avancées technologiques et la nécessité d'optimiser la consommation d'énergie, l'intégration de systèmes d'éclairage intelligents et autonomes, notamment alimentés par l'énergie solaire photovoltaïque, est en plein essor.[1]

2.Bénéfices de l'éclairage public en termes de sécurité, d'économie et d'environnement

2.1. Sécurité publique et routière

L'un des premiers objectifs de l'éclairage public est d'assurer la sécurité des citoyens. Une bonne visibilité réduit le risque d'accidents de la route en améliorant la perception des obstacles et en facilitant l'orientation des usagers. De plus, un éclairage adéquat permet de diminuer le sentiment d'insécurité et de réduire les actes de vandalisme et de criminalité urbaine.[1]

2.2. Économie et gestion énergétique

L'éclairage public représente une part significative des dépenses énergétiques des collectivités. En Algérie, il constitue une charge financière importante, en raison de la forte consommation électrique des infrastructures existantes. L'intégration de nouvelles technologies, notamment les LED et l'énergie solaire, permet de réduire ces coûts grâce à une meilleure efficacité énergétique et une diminution des opérations de maintenance.[1]

L'adoption de l'éclairage public solaire photovoltaïque offre un double avantage économique :

Réduction des coûts d'électricité : En exploitant une source d'énergie renouvelable, les municipalités peuvent alléger leur dépendance aux fournisseurs d'énergie et stabiliser leurs dépenses.

Diminution des coûts d'entretien : Contrairement aux lampes traditionnelles, les solutions LED et solaires nécessitent moins de maintenance et ont une durée de vie plus longue.[1]

2.3. Impact environnemental et durabilité

L'éclairage public joue un rôle clé dans la transition énergétique et la réduction des émissions de gaz à effet de serre. L'utilisation des énergies fossiles pour alimenter l'éclairage urbain contribue à l'empreinte carbone des villes. La mise en place de solutions photovoltaïques réduit cette dépendance en exploitant une source d'énergie propre et renouvelable.[2]

De plus, la pollution lumineuse est une problématique grandissante, affectant la biodiversité et la qualité du ciel nocturne. Des solutions d'éclairage adaptées, avec des spectres lumineux mieux

contrôlés et une gestion optimisée de l'intensité lumineuse, permettent de minimiser ces effets négatifs.[3]

Conclusion

L'éclairage public est un élément clé de la gestion urbaine, apportant des bénéfices en matière de sécurité, d'économie et d'environnement. Toutefois, les défis liés à sa consommation énergétique et à son impact écologique nécessitent une modernisation progressive vers des solutions plus durables, notamment l'éclairage public solaire. Cette transition constitue une étape importante vers une gestion plus efficace et plus verte des infrastructures urbaines en Algérie.

II. La Lampe

1. Définition et composants de base

Une lampe est un dispositif d'éclairage qui convertit l'énergie électrique en lumière visible. Elle est composée de plusieurs éléments essentiels :

Une source lumineuse : Selon la technologie, il peut s'agir d'un filament (lampe à incandescence), d'un gaz ionisé (lampes à décharge) ou d'un semi-conducteur (LED).

Un support et un culot : Ils permettent de fixer la lampe et d'assurer son contact électrique avec le circuit d'alimentation.

Un système de protection : Souvent sous forme de verre ou de polymère, il protège les composants internes et peut influencer la diffusion de la lumière.

Un appareillage électrique : Certaines lampes nécessitent des composants supplémentaires comme des ballasts ou des amorces pour fonctionner correctement.[4]

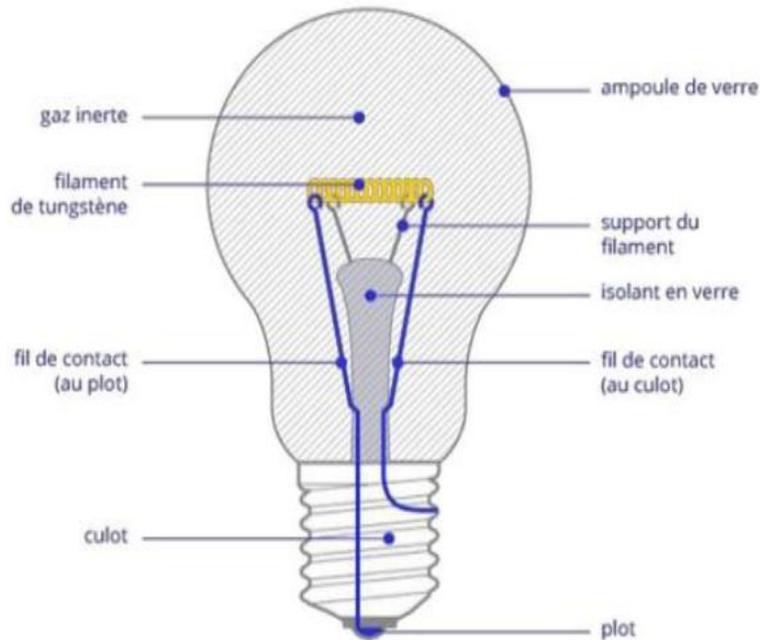


Figure 1: Lampe incandescence Classique.

2.Caractéristiques des lampes

2.1. Flux lumineux (Lumen- lm)

Le flux lumineux représente la quantité totale de lumière émise par une lampe dans toutes les directions. Il est mesuré en lumens (lm) et indique la puissance lumineuse perçue par l'œil humain. Plus le flux lumineux est élevé, plus la lampe produit de lumière. Par exemple, une ampoule LED de 10 W peut produire environ **800 lumens**, tandis qu'une ampoule à incandescence de 60 W offre un flux similaire mais avec une consommation énergétique bien plus élevée.[4]

2.1.2. Comparaison des éclairages LED avec les lampes et appareils traditionnels

Tout d'abord ce qu'il faut bien comprendre lorsque l'on parle d'éclairage à LED c'est que la puissance consommée exprimée en watt est complètement obsolète pour comparer 2 lampes ou appareils LED. En effet il faut comparer la puissance lumineuse, exprimée en lumens et le rendement exprimé en lumens/watts.[5]

Tableau 1 : Comparaison des technologies d'éclairage en termes de flux lumineux [6]

Type de source	Flux lumineux (lm) par watt (lm/W)	Durée de vie moyenne
Lampe à incandescence	10 - 15 lm/W	~1 000 h
Lampe halogène	15 - 25 lm/W	~2 000 - 4 000 h
Lampe fluorescente	50 - 100 lm/W	~10 000 - 20 000 h
LED	80 - 200 lm/W	~25 000 - 50 000 h
Lampe sodium haute pression	100 - 150 lm/W	~24 000 h

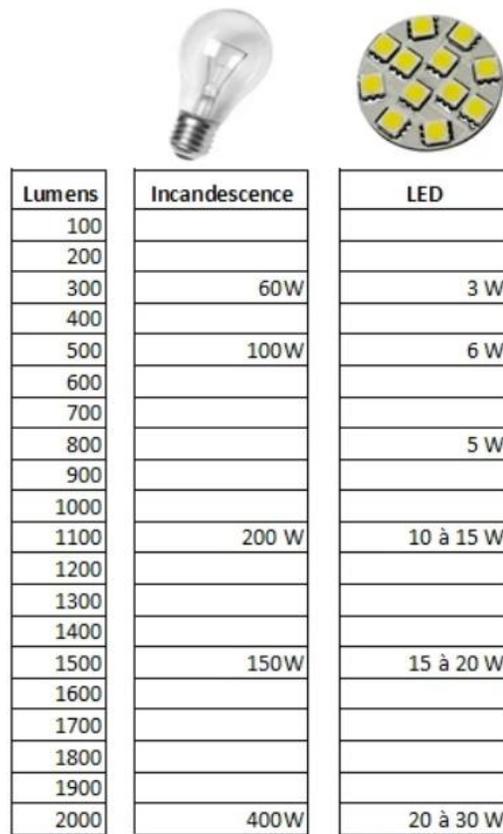


Figure 2: comparaison des lampes à incandescence utilisées dans des hublots, bornes ou appliques lumineuses avec réflecteur par rapport au système LED SMD ou COB avec faisceau 120° [5]

2.1.3. Importance du flux lumineux dans l'éclairage public

Un haut flux lumineux garantit un bon éclairage des routes et espaces publics.

Une meilleure efficacité lumineuse réduit la consommation d'énergie.

L'utilisation de LED à haut rendement permet d'optimiser le flux lumineux tout en diminuant les coûts d'exploitation.[6]

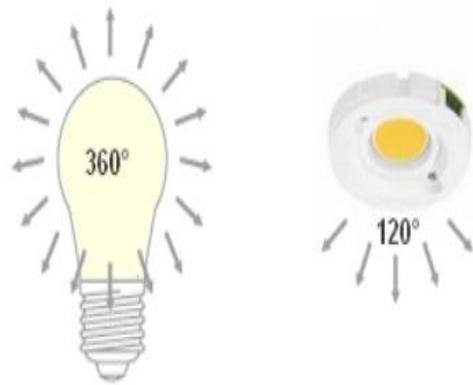


Figure 4 comparaison de la diffusion lumineuse entre

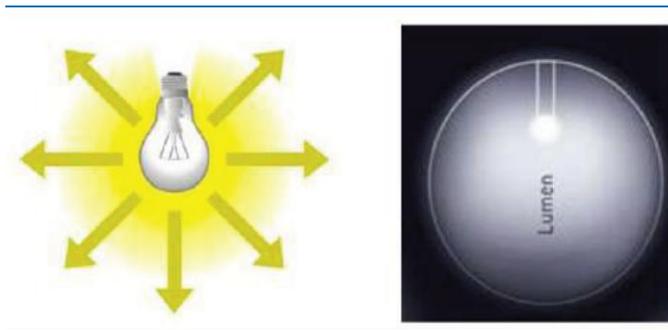


Figure 3 : le flux lumineux

2.2. Intensité lumineuse (Candela- cd)

L'intensité lumineuse mesure la quantité de lumière émise dans une direction donnée. Elle est exprimée en **candelas (cd)** et est particulièrement importante pour les applications où la lumière doit être concentrée dans une direction spécifique, comme les projecteurs ou l'éclairage routier.[4]

2.2.1 Différence entre flux lumineux et intensité lumineuse

Flux lumineux (lm) : Quantité totale de lumière émise par une source dans toutes les directions.

Intensité lumineuse (cd) : Quantité de lumière émise dans une direction précise.

Par exemple, une ampoule qui diffuse la lumière uniformément dans toutes les directions a un flux lumineux élevé mais une intensité lumineuse faible dans une direction spécifique. En revanche, un projecteur LED qui concentre la lumière dans un faisceau étroit aura une intensité lumineuse élevée dans cette direction.[7]

Tableau 2: Exemples d'intensités lumineuses selon les sources [7]

Source lumineuse	Intensité lumineuse typique
Bougie standard	~1 cd
Lampe LED domestique	~100 - 1 500 cd
Phares de voiture	~20 000 - 50 000 cd
Projecteur de stade	~100 000 - 1 000 000 cd
Lampadaire LED (éclairage public)	~5 000 - 50 000 cd

2.2.2. Importance de l'intensité lumineuse dans l'éclairage public

Détermine la répartition de la lumière sur la chaussée et les trottoirs.

Influence la visibilité et la sécurité routière.

Permet de choisir des optiques adaptées pour diriger la lumière efficacement et éviter la pollution lumineuse.[7]

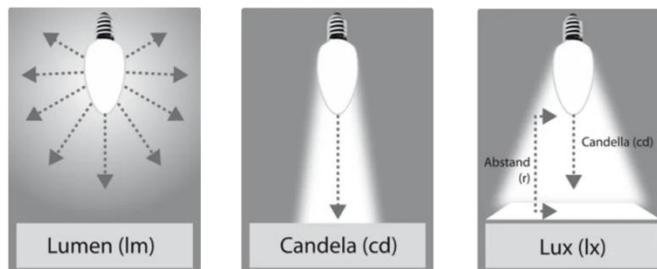


Figure 5 : Illustre visuellement la différence entre Candela (cd) et Lumen (lm) et lux (lx).[8]

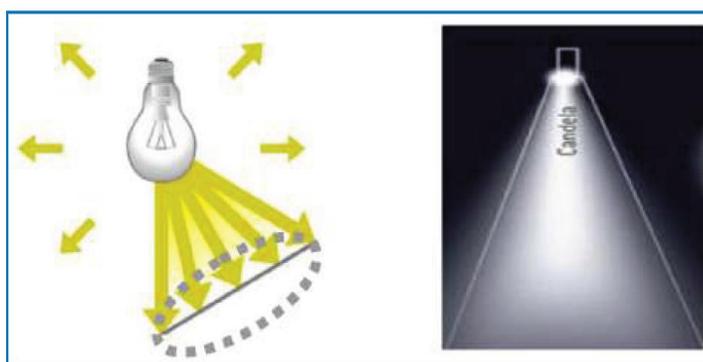


Figure 6: L'intensité lumineuse.

2.3. Éclairage lumineux (Lux- lx)

L'éclairage lumineux correspond à la quantité de lumière reçue sur une surface donnée. Il est mesuré en lux (lx), défini comme **1 lumen par mètre carré**. L'éclairage dépend à la fois de l'intensité lumineuse de la source et de la distance entre la source et la surface éclairée.

Exemples d'éclairage recommandé :

Éclairage urbain : 10 à 50 lux.

Bureaux et espaces de travail : 300 à 500 lux.

Stades et grands espaces extérieurs : 1000 lux et plus.[4]

2.3.1. Facteurs influençant l'éclairage lumineux en éclairage public

Puissance et type de lampe :

Une LED haute performance de 150 lm/W éclaire mieux qu'une lampe sodium à 100 lm/W.

Hauteur et espacement des lampadaires :

Une hauteur trop élevée réduit l'éclairage au sol.

Un espacement mal calculé crée des zones d'ombre.

Distribution de la lumière (optique du luminaire) :

Les optiques asymétriques permettent d'éclairer plus efficacement les routes.

Facteurs environnementaux :

La pollution lumineuse et la réflexion du sol influencent la répartition de l'éclairage.[8]

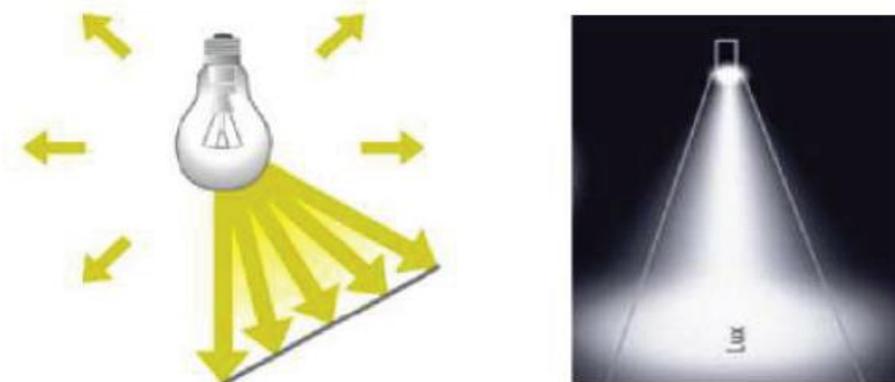


Figure 7: L'éclairage lumineux.

2.4. Efficacité lumineuse (lm/W)

L'efficacité lumineuse est le rapport entre le flux lumineux produit et la puissance électrique consommée. Elle est exprimée en **lumens par watt (lm/W)**. Cette caractéristique est cruciale pour comparer différentes technologies d'éclairage.

Tableau 3: Type de lampe et l'Efficacité lumineuse

Type de lampe	Efficacité lumineuse (lm/W)
Incandescence	10-15 lm/w
Fluorescence compacte	40-70 lm/w
LED	220-230 lm/W
Lampe à décharge (sodium haute pression)	100-150 lm/w

Les LED offrent une meilleure efficacité lumineuse, consommant moins d'énergie pour produire une même quantité de lumière, ce qui justifie leur adoption croissante dans l'éclairage publique. [9]

2.4.1. Facteurs influençant l'efficacité lumineuse

Technologie de la source lumineuse

Les LED sont les plus performantes car elles convertissent un maximum d'énergie en lumière visible.

Qualité des composants électroniques

Une alimentation LED bien optimisée réduit les pertes énergétiques.

Température de fonctionnement

Une chaleur excessive diminue l'efficacité des LEDs.

L'ajout de dissipateurs thermiques améliore leur rendement.

Optique et diffusion de la lumière

Un bon réflecteur ou diffuseur optimise la distribution lumineuse sans pertes inutiles.[10]

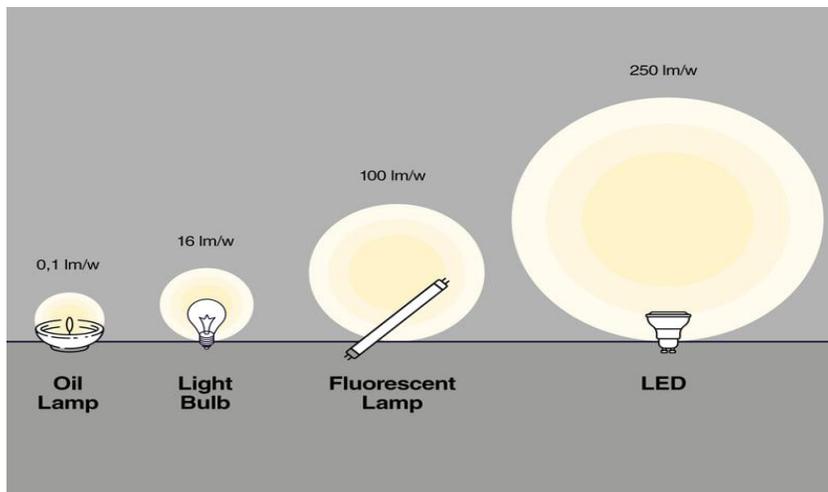


Figure 8: L'efficacité lumineuse de différents types de lampes.

2.5. Efficacité énergétique et impact environnemental

L'efficacité énergétique d'une lampe ne se limite pas à son efficacité lumineuse. Elle prend en compte :

La durée de vie : Une lampe LED peut durer entre **30 000 et 50 000 heures**, contre seulement **1 000 heures pour une ampoule à incandescence**.

La consommation d'énergie : Un éclairage plus efficace réduit la demande en électricité, contribuant ainsi à la transition énergétique et à la réduction des émissions de CO₂.

Le recyclage et la gestion des déchets : Contrairement aux lampes fluorescentes, les LED ne contiennent pas de mercure, ce qui facilite leur recyclage et réduit leur impact environnemental.[9]

L'absence de mercure : L'absence de mercure dans les ampoules LED constitue un avantage environnemental majeur. Contrairement aux lampes fluorescentes compactes ou aux lampes à vapeur de mercure, qui contiennent ce métal toxique, les LED ne renferment pas de mercure, ce qui facilite leur utilisation, leur recyclage et réduit les risques de pollution pour l'environnement et la santé humaine.[11]

2.6. Luminance

La luminance est une grandeur photométrique qui mesure la quantité de lumière émise, transmise ou réfléchiée par une surface dans une direction donnée, par unité de surface apparente et par unité d'angle solide. Elle s'exprime en candelas par mètre carré (cd/m²) et correspond à la sensation visuelle de luminosité d'une surface, c'est-à-dire la "brillance" perçue par l'œil humain[12]

2.6.1. Différence avec d'autres grandeurs lumineuses

Éclairement (lux, lx) : mesure la quantité de lumière qui arrive sur une surface.

Intensité lumineuse (candela, cd) : mesure la puissance de la lumière émise dans une direction spécifique.

Luminance (cd/m²) : mesure la lumière qui atteint nos yeux depuis une surface, et dépend donc à la fois de la source, de la surface et de la direction d'observation.[12]

2.6.2. Importance en éclairage public

En éclairage routier, la luminance de la chaussée est le paramètre clé pour évaluer la qualité de l'éclairage, car elle reflète la visibilité réelle pour les usagers, notamment les conducteurs. Trois critères principaux sont utilisés :

La luminance moyenne de la chaussée

L'uniformité de luminance

La limitation de l'éblouissement

Une luminance moyenne plus élevée permet une meilleure perception visuelle, notamment en termes de contraste et d'acuité visuelle. L'uniformité de luminance est également essentielle : une mauvaise uniformité réduit la capacité à détecter les obstacles dans les zones moins éclairées.[13]

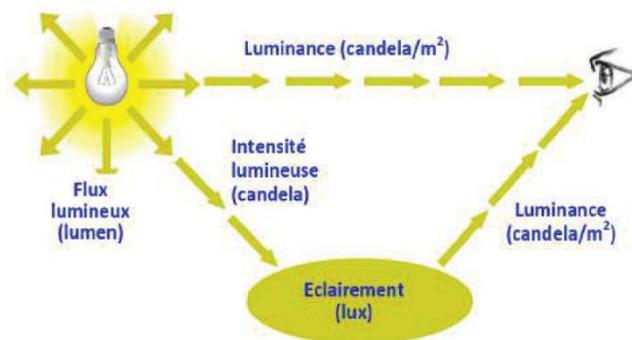


Figure 9: Luminance et Illustration unifiée des données

Conclusion

La compréhension des caractéristiques des lampes est essentielle pour choisir des solutions d'éclairage adaptées aux besoins spécifiques des villes et des routes. Avec l'essor des technologies LED et photovoltaïques, il devient possible d'optimiser l'efficacité énergétique tout en réduisant les coûts et l'impact environnemental de l'éclairage public.

III. Le Candélabre

1. Définition

Un **candélabre** est un mât ou un poteau utilisé pour supporter un luminaire destiné à l'éclairage public. Il joue un rôle fondamental dans la diffusion uniforme de la lumière sur les routes, les espaces publics et les zones résidentielles. En plus de sa fonction d'éclairage, le candélabre contribue également à l'esthétique urbaine et à la sécurité des citoyens.[2]

Les candélabres sont conçus pour résister aux conditions climatiques extérieures (vent, pluie, variations de température) et peuvent être équipés de différentes technologies d'éclairage, y compris les lampes LED et les systèmes solaires photovoltaïques.[14]

2. Types de candélabres

Il existe plusieurs types de candélabres, différenciés en fonction de leur usage, de leur conception et des matériaux utilisés.

2.1. Candélabres classiques

Ces modèles traditionnels sont généralement en acier galvanisé, en aluminium ou en fonte. Ils sont souvent utilisés pour l'éclairage routier et les espaces urbains. Leur hauteur varie de 4 à 12 mètres, selon la largeur de la voie à éclairer et l'intensité lumineuse requise.[2]



Figure 10 : candélabre classique

2.2. Candélabres décoratifs

Utilisés principalement pour l'éclairage des places publiques, des parcs et des zones piétonnes, ces candélabres ont un design travaillé avec des ornements et des finitions élégantes. Ils s'intègrent dans l'architecture urbaine et sont parfois inspirés de styles historiques.[4]



Figure 11: candélabres décoratifs.

2.3. Candélabres solaires

Équipés de panneaux photovoltaïques, ces candélabres sont autonomes et ne nécessitent pas de raccordement au réseau électrique. Ils sont particulièrement adaptés aux zones éloignées ou aux projets d'efficacité énergétique. Leur conception inclut généralement une batterie intégrée pour stocker l'énergie et assurer l'éclairage nocturne.[14]



Figure 12: un groupe de candélabres solaire dans lieux publics.

2.4. Candélabres intelligents

Ces modèles sont connectés à un système de gestion centralisé permettant d'adapter l'intensité lumineuse en fonction de la présence de piétons ou de véhicules. Ils peuvent également intégrer des capteurs de pollution, des caméras de surveillance et des bornes Wi-Fi.[9]



Figure 13: candélabre intelligent.

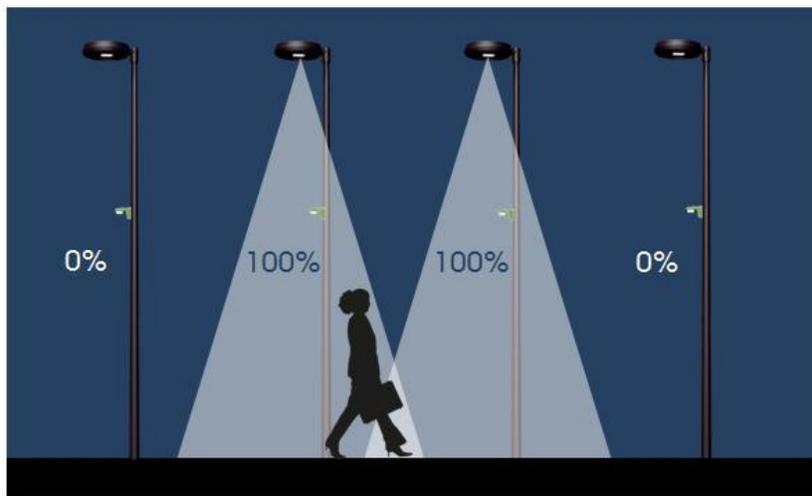


Figure 14: Capteur de mouvement.

3. Critères de choix d'un candélabre

Le choix d'un candélabre dépend de plusieurs facteurs techniques et esthétiques.

3.1. Hauteur du candélabre

4 à 6 mètres : pour l'éclairage des zones piétonnes et des petites rues.

6 à 10 mètres : pour les routes secondaires et les parkings.

10 à 12 mètres et plus : pour les autoroutes et les grands axes routiers.[2]

3.2. Matériaux de fabrication

Acier galvanisé : robuste et résistant aux intempéries, mais sujet à la corrosion sans traitement adapté.

Aluminium : léger et anticorrosion, idéal pour les environnements marins.

Fonte : principalement utilisée pour les candélabres décoratifs en raison de son aspect esthétique.[4]

3.3. Design et esthétique

Un candélabre doit s'harmoniser avec l'architecture environnante.

Le choix des couleurs et des finitions (peinture thermolaquée, patine décorative) joue un rôle dans son intégration urbaine.

Certains modèles sont équipés de bras multiples pour supporter plusieurs luminaires.[9]

Tableau 4: tableau comparant les différents types de candélabres selon la hauteur, l'usage, le coût et l'entretien :[15][2], [16], [17]

Type de candélabre	Hauteur typique	Usage principal	Coût relatif	Entretien
Classique	3 à 14 mètres	Routes, boulevards, espaces publics	Faible à moyen	Entretien standard (remplacement ampoules, nettoyage)
Décoratif	3 à 10 mètres	Zones piétonnes, places, quartiers historiques	Moyen à élevé	Plus fréquent (peinture, réparations esthétiques)
Solaire	3,5 à 6 mètres	Zones isolées, parcs, chemins piétons	Moyen à élevé (investissement initial)	Faible (pas de câblage, maintenance batterie et panneau solaire)
Intelligent (connecté)	4 à 14 mètres	Villes intelligentes, zones à gestion dynamique	Élevé	Maintenance technique (capteurs, gestion à distance)

Conclusion

Le candélabre est un élément clé de l'éclairage public, combinant fonctionnalité et esthétique. Son choix dépend de plusieurs critères, dont la hauteur, les matériaux et l'usage prévu. Avec le développement des **candélabres solaires et intelligents**, l'éclairage urbain évolue vers des solutions plus durables et économes en énergie, contribuant ainsi à la transition énergétique en Algérie.[9]

IV. La Résistance Mécanique (Socle)

4.1. Introduction

Le socle d'un candélabre est un élément essentiel de sa stabilité et de sa durabilité. Il assure l'ancrage du mât et garantit la résistance aux diverses contraintes mécaniques et climatiques. Un socle bien conçu permet d'éviter le basculement du candélabre sous l'effet du vent, des vibrations ou des chocs accidentels.[2]

4.2. Matériaux utilisés pour la fabrication du socle

Le choix des matériaux de la base du candélabre dépend de plusieurs critères : **résistance mécanique, durabilité, protection contre la corrosion et facilité d'installation**. Les principaux matériaux utilisés sont :

Béton armé : Très robuste, il est souvent utilisé pour les fondations fixes des candélabres. Il assure une excellente stabilité, même sous des charges élevées.

Acier galvanisé : Utilisé pour les platines de fixation, il offre une résistance mécanique élevée et une bonne protection contre la corrosion.

Fonte ductile : Ce matériau est apprécié pour sa durabilité et sa capacité à absorber les chocs et les vibrations.

Polyester renforcé de fibres de verre : Matériau plus léger et résistant à la corrosion, utilisé dans certaines applications spécifiques.[4]

4.3. Résistance aux conditions climatiques

Le socle du candélabre doit être conçu pour résister aux conditions environnementales suivantes :

4.3.1. Résistance au vent

Les candélabres doivent supporter des vents forts, notamment dans les zones côtières et désertiques. **La norme NF EN 40** définit les charges maximales admissibles en fonction de la hauteur du mât et de l'exposition au vent.

Pour un candélabre de **6 à 8 mètres**, la base doit résister à des vents de **120 à 150 km/h**.

Pour des mâts de **10 à 12 mètres**, une résistance à des vents allant jusqu'à **180 km/h** est nécessaire.[4]

4.3.1.1. Vitesses extrêmes du vent en Algérie

Rafales maximales : Des rafales dépassant les 90 km/h (environ 25 m/s) ont été enregistrées dans plusieurs wilayas, notamment Bouira, Médéa, Aïn Defla, Tissemsilt, Relizane, Mascara, Saïda, Sidi Bel Abbès et Mostaganem. [15]

Vitesse verticale extrême : Dans des conditions météorologiques particulières, comme les supercellules, la vitesse verticale du vent peut atteindre jusqu'à 40 m/s

4.3.2. Résistance à la pluie et à l'humidité

Le matériau du socle doit être **hydrofuge et anticorrosion** pour éviter la dégradation prématurée.

L'utilisation de **béton hydrofuge** et d'acier galvanisé permet de prolonger la durée de vie des installations.

Un bon drainage est nécessaire pour éviter l'accumulation d'eau autour de la base du candélabre.[9]

4.3.3. Résistance aux vibrations et aux chocs

Les vibrations peuvent être causées par le trafic routier, les intempéries ou les mouvements du sol. Pour limiter ces effets :

Des **fixations robustes** (ancrages en acier inoxydable, boulons de classe 8.8 ou 10.9) sont recommandées.

Des amortisseurs ou joints en caoutchouc peuvent être utilisés pour absorber les vibrations.[14]

4.4. Considérations techniques pour assurer la stabilité

Un bon dimensionnement du socle est indispensable pour garantir la sécurité du candélabre.

4.4.1. Calcul des fondations

Les dimensions du socle dépendent de la hauteur et du poids du candélabre, ainsi que des charges climatiques.

Pour un mât de **6 à 8 mètres**, un socle en béton de **50 × 50 × 80 cm** est souvent recommandé.

Pour un mât de **10 à 12 mètres**, une base de **80 × 80 × 120 cm** peut être nécessaire.[9]

4.4.2. Ancrage et fixation

Le candélabre est fixé au socle par des tiges d'ancrage métalliques scellées dans le béton.

L'utilisation de boulons à expansion permet un serrage optimal et une réduction des mouvements sous contrainte.

Un traitement anticorrosion des boulons et platines prolonge la durée de vie des ancrages.[9]

4.4.3. Maintenance et durabilité

Un contrôle régulier de la base permet d'identifier d'éventuelles fissures ou signes de corrosion.

Un **revêtement protecteur** peut être appliqué sur les parties métalliques exposées aux intempéries.

4.5. Critères de dimensionnement d'un socle de candélabre

4.5.1. Hauteur et poids du candélabre

La hauteur et le poids du candélabre influencent directement la taille et la solidité de la base pour assurer **la stabilité** de l'ensemble.

- **Hauteur standard** : Les candélabres d'éclairage public mesurent généralement entre 4 et 12 mètres.
- **Moment de renversement** : Plus le candélabre est haut, plus il crée un bras de levier important sous l'effet du vent. Cela nécessite une **base plus large et/ou plus profonde**.
- **Poids du système** : Intégrer le poids du poteau, du luminaire, du panneau photovoltaïque (dans le cas d'un candélabre solaire), de la batterie, etc.[16]

4.5.2. Conditions climatiques locales

Les **charges de vent** sont souvent le facteur dominant pour la conception.

- **Vitesse du vent** : Plus la zone est exposée (plaine, bord de mer, montagne), plus la vitesse du vent de calcul est élevée.
- **Normes** : Se référer aux normes locales de construction (ex : Eurocode EN 1991-1-4 pour l'Europe) qui donnent les vitesses de vent selon les zones géographiques.
- **Effet dynamique** : Le vent exerce une force horizontale qui peut causer le basculement ou la rupture du candélabre si la base est mal conçue.[16]

4.5.3. Nature du sol

Le type de sol détermine la méthode de fixation et la profondeur des fondations :

- **Sol rocheux** :
 - Bonne résistance à l'arrachement.
 - Fondation souvent plus petite, mais fixation par **chevillage ou ancrage chimique**.
- **Sol sablonneux** :
 - Moins porteur, risque d'érosion.
 - Fondation plus profonde avec **semelle élargie**.
- **Sol argileux** :
 - Sujet au retrait/gonflement.
 - Risque de soulèvement ou de déformation.
 - Nécessite **étude géotechnique** et parfois radier ou micropieux.[17]

4.5.4. Méthode d'ancrage du candélabre

Deux méthodes principales :

- **Fixation directe dans le béton** (candélabre inséré dans la fondation avant le coulage) :
 - Moins coûteuse, mais difficile à remplacer.[18]
 -
- **Fixation par platine et tiges d'ancrage** :
 - Plus professionnelle.
 - Permet un **réglage vertical**, un **remplacement facile** en cas de panne ou de choc.[19]

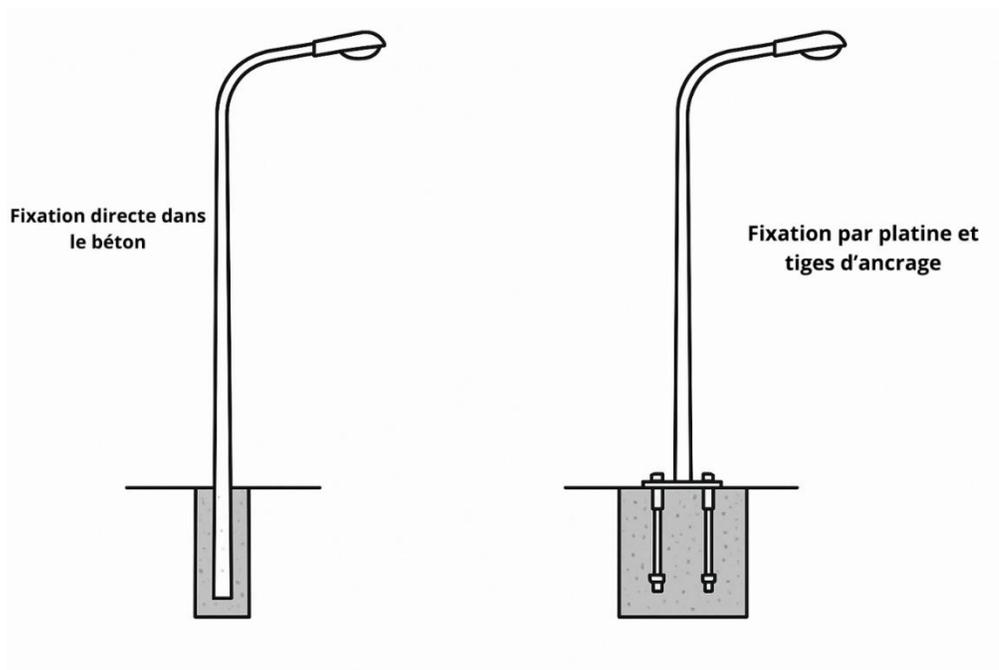


Figure 15: Un diagramme montrant la différence entre Fixation directe dans le béton et par platine et tiges d'ancrage.

4.6. Méthodes d'installation des candélabres

L'installation d'un candélabre dépend de plusieurs facteurs : type de mât, conditions climatiques, méthode de maintenance envisagée, nature du sol, etc. On distingue principalement deux grandes méthodes :

4.6.1. Fixation par ancrage (avec platine)

Principe :

Des **tiges d'ancrage** (ou boulons d'ancrage) sont insérées verticalement dans une fondation en béton **avant le séchage**. Le candélabre est ensuite fixé via une **platine métallique** au sommet du socle, à l'aide d'écrous.

Avantages :

- **Maintenance facile** : démontage ou remplacement rapide du mât sans casser la base.
- **Alignement précis** grâce aux écrous de réglage.
- **Plus professionnel** : standard utilisé dans les installations publiques durables.
- Permet l'installation de mâts **préfabriqués** et même le **pré-câblage**.

Inconvénients :

- Nécessite une **mise en place précise des ancrages** (gabarit obligatoire).

- Plus coûteux en termes de matériel (platine, boulons, etc.).

Détails techniques :

- Nombre de tiges : généralement 4, en acier galvanisé.
- Diamètre : entre M16 et M24 selon la taille du candélabre.
- Longueur d'ancrage : 40 à 60 cm dans le béton.
- Platine équipée de **trous oblongs** pour ajuster la verticalité du mât. [19]

4.6.2. Fixation directe (en scellement direct)

Principe :

Le candélabre est directement **enfoncé dans la fondation en béton frais**. Une partie du mât (30 à 60 cm) est enterrée et scellée directement dans le socle.

Avantages :

- **Méthode économique** : pas besoin de platine ou de boulons.
- **Installation simple et rapide**, adaptée aux projets à petit budget.
- Moins de risque de vol ou de desserrage d'écrous.

Inconvénients :

- **Maintenance difficile** : il faut casser la base pour remplacer le mât.
- Pas d'ajustement possible en cas de pose inclinée.
- Moins de **modularité**, peu utilisé dans les projets professionnels.[18]

Utilisations typiques :

- Projets ruraux ou temporaires.
- Mâts légers (4–6 m) sans équipements lourds en tête.

4.7. Type de socle

4.7.1. Socle en Béton Coulé sur Place

- **Description** : Réalisé directement sur le chantier en coulant du béton dans un coffrage.
- **Avantages** :
 - Très résistant aux intempéries et charges mécaniques.
 - Adaptable aux différentes hauteurs et poids des candélabres.
- **Inconvénients** :
 - Temps de séchage long.

- Besoin de coffrage et de main-d'œuvre qualifiée.[20]



Figure 16 : Socle en Béton Coulé sur Place.

4.7.2. Socle Préfabriqué en Béton

- **Description** : Blocs de béton préfabriqués en usine et transportés sur site.
- **Avantages** :
 - Installation rapide.
 - Qualité et résistance contrôlées en usine.
- **Inconvénients** :
 - Poids élevé, nécessitant des moyens de levage pour la pose.
 - Moins flexible pour les ajustements sur site.[21]

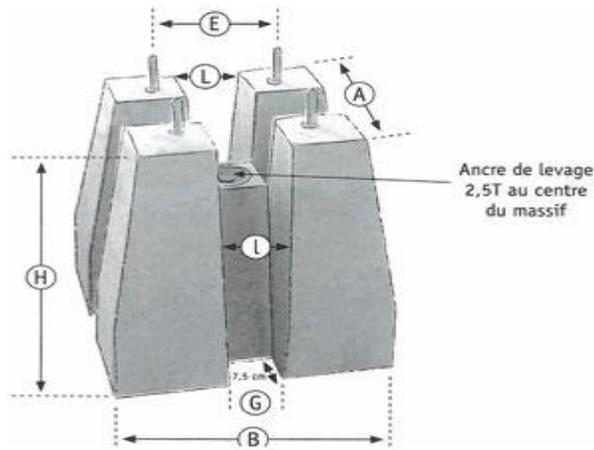


Figure 17: Socle Préfabriqué en Béton.

4.7.3. Socle Métallique Ancré au Sol

- **Description** : Socle constitué d'une structure métallique fixée au sol à l'aide de boulons d'ancrage.
- **Avantages** :
 - Léger et rapide à installer.
 - Possible démontage et réutilisation.
- **Inconvénients** :
 - Moins durable que le béton (risques de corrosion si non protégé).
 - Nécessite un entretien régulier.[22]



Figure 18: structure métallique fixée au sol

4.7.4. Socle à Visser (ou Hélicoïdal)

- **Description** : Utilise des pieux vissés dans le sol au lieu de creuser et couler du béton.
- **Avantages** :
 - Installation rapide sans temps de séchage.
 - Moins d'impact environnemental.
- **Inconvénients** :
 - Adapté uniquement aux sols meubles.
 - Moins de résistance aux forces latérales par rapport au béton.[23]

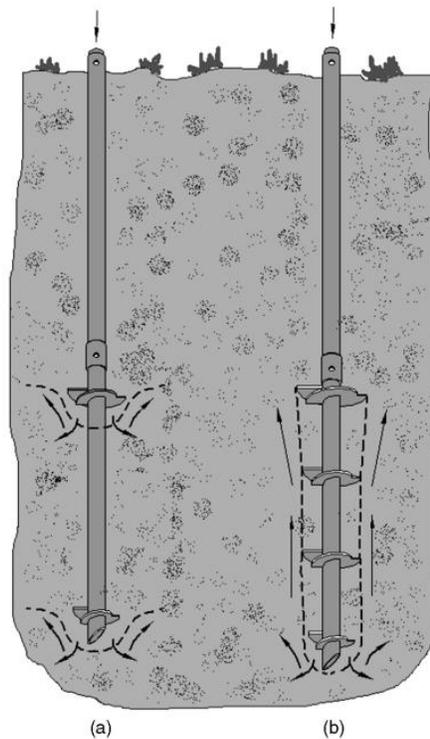


Figure 19: Conception et installation d'une manière.[26]

4.7.5. Socle Enterré (Massif d'Ancrage Profond)

- **Description** : Socle enterré profondément pour assurer la stabilité des candélabres très hauts ou dans les zones venteuses.
- **Avantages** :
 - Excellente résistance aux vents violents et vibrations.
 - Moins visible, donc plus esthétique.
- **Inconvénients** :

- Nécessite un creusement important.
- Difficulté d'entretien et de réparation.[24]

4.8. Critères de Choix d'un Socle pour l'Éclairage Public Solaire

Pour un projet d'éclairage solaire photovoltaïque, les facteurs clés dans le choix du socle incluent :

Poids du candélabre et du panneau solaire installé.

Conditions climatiques (vents forts, risques sismiques).

Nature du sol (argileux, rocheux, meuble).

Facilité d'installation et de maintenance.

Coût et durabilité.

Conclusion

La résistance mécanique du socle est un élément clé dans la durabilité et la fiabilité des candélabres d'éclairage public. Le choix des matériaux, le dimensionnement adéquat et une bonne installation permettent d'assurer une **stabilité optimale face aux conditions climatiques et aux contraintes mécaniques**. Avec l'évolution des technologies, notamment pour les **candélabres solaires**, les bases doivent être adaptées pour intégrer **les batteries et les panneaux solaires** sans compromettre la robustesse de l'ensemble.[9]

V. Types de Technologies LED

Introduction

Les diodes électroluminescentes (**LED - Light Emitting Diodes**) sont devenues la technologie dominante dans l'éclairage public en raison de leur **faible consommation énergétique, longue durée de vie et haute efficacité lumineuse**. Il existe plusieurs types de LED, chacune ayant des applications spécifiques en fonction des besoins d'éclairage.[9]

5.1. LED classiques

5.1.1. Définition et caractéristiques

Les **LED classiques** sont les premières générations de LED, souvent encapsulées dans un boîtier plastique. Bien qu'elles aient une **efficacité plus faible** par rapport aux LED SMD et COB, elles restent utilisées dans de nombreuses applications.

5.1.2. Applications

Éclairage décoratif et signalisation.

Lampes domestiques et veilleuses.

Indicateurs lumineux sur appareils électroniques.[9]



Figure 20: module LED Classique.

Tableau 5: Caractéristiques techniques typiques de LED classique.[25][26][27]

Caractéristique	Valeur typique
Puissance	0,1 W à environ 1,5 W
Flux lumineux	30 à 136 lumens selon modèle
Efficacité lumineuse	60 à 110 lm/W
Durée de vie	Environ 15 000 heures
Température de couleur	2000 K (lumière chaude) à 6000 K (blanc froid)

5.2. LED SMD (Surface Mounted Device)

5.2.1. Définition et caractéristiques

Les **LED SMD** sont des diodes montées en surface sur un circuit imprimé. Cette technologie est très utilisée dans l'éclairage urbain grâce à ses nombreux avantages :

Bonne efficacité lumineuse : entre 80 et 200 lm/W.

Dissipation thermique efficace : réduit la surchauffe et prolonge la durée de vie.

Modularité et flexibilité : permet une répartition homogène de la lumière sur de grandes surfaces.

5.2.2. Applications

Éclairage public (routes, parkings, places publiques).

Luminaire urbains intelligents avec gradation et capteurs de présence.

Éclairage résidentiel et industriel.[4]

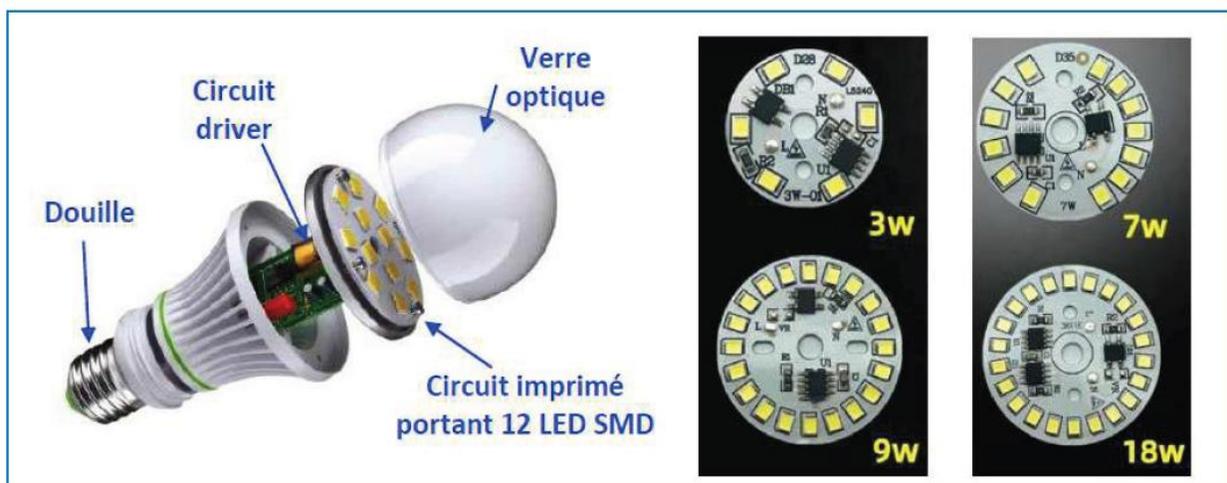


Figure 21: Lampe à LED SMD et divers modèles de circuits pour différentes puissances.



Figure 22: Lampe à LED SMD de 60 W (160 LED SMD 5630) adaptée au système d'éclairage publique.

Tableau 6: Caractéristiques techniques typiques de LED SMD.[28]

Caractéristique	Valeur typique
Puissance	0,2 W à plusieurs dizaines de watts
Flux lumineux	80 à 200 lm/W (selon modèle)
Efficacité lumineuse	80 à 200 lm/W
Durée de vie	25 000 à 50 000 heures
Température de couleur	2700 K (blanc chaud) à 6500 K (blanc froid)

5.3. LED COB (Chip on Board)

5.3.1. Définition et caractéristiques

Les **LED COB** regroupent plusieurs puces LED sur une même surface, formant une source lumineuse unifiée. Elles offrent :

Une haute densité lumineuse : puissance lumineuse plus élevée qu'une LED SMD.

Une lumière plus homogène : réduction des ombres multiples et meilleure uniformité d'éclairage.

Un meilleur rendement thermique : dissipation améliorée pour les applications à forte puissance.

5.3.2. Applications

Éclairage de haute intensité (stades, grandes avenues, tunnels).

Projecteurs et luminaires nécessitant une forte puissance lumineuse.

Éclairage architectural et industriel.[4]



Figure 23: module LED COB.

Tableau 7: Caractéristiques techniques typiques de LED SMD .[28]

Caractéristique	Valeur typique
Puissance	10 W à 100 W et plus
Flux lumineux	80 à 150 lm/W
Efficacité lumineuse	80 à 150 lm/W
Durée de vie	30 000 à 50 000 heures (voire plus)
Température de couleur	2700 K à 6500 K

Conclusion

Le choix de la technologie LED dépend des besoins spécifiques d'éclairage. Les **LED SMD** sont privilégiées pour l'éclairage public grâce à leur efficacité et leur fiabilité. Les **LED COB**, avec leur forte densité lumineuse et homogénéité, sont adaptées aux **applications nécessitant une puissance élevée**. Les **LED classiques** restent utilisées pour des besoins **moins exigeants en termes de performance**. Avec l'avancée des **technologies LED intelligentes**, l'éclairage public en Algérie évolue vers des solutions plus durables et performantes.[9]

VI. Confort Photométrique

6.1. Introduction

Le confort photométrique est un élément essentiel de l'éclairage public, influençant directement la visibilité, la perception des couleurs et le bien-être des usagers. Un éclairage bien conçu doit garantir une **répartition homogène de la lumière**, une **température de couleur adaptée** et une **réduction efficace des ombres et de l'éblouissement**.[4]

6.2. Importance d'une répartition homogène de la lumière

Une bonne répartition de la lumière permet d'éviter les **zones trop sombres ou trop lumineuses**, qui peuvent altérer la vision et provoquer de la fatigue visuelle. L'objectif est d'assurer une **uniformité d'éclairage** en respectant les normes en vigueur :

Réduction des contrastes : Un éclairage trop hétérogène entraîne des variations de luminosité perturbantes pour les piétons et conducteurs.

Optimisation de l'orientation des luminaires : L'angle d'éclairage et la disposition des candélabres doivent être étudiés pour minimiser les zones d'ombre.[9]

Utilisation de réflecteurs et de lentilles optiques : Ces dispositifs permettent de diriger la lumière de manière uniforme sur la chaussée et les trottoirs.[4]

6.3. Influence de la température de couleur sur le confort visuel

La température de couleur, exprimée en **Kelvin (K)**, joue un rôle fondamental dans le confort visuel et la perception de l'espace nocturne.

Tableau 8: Température de couleur (K) et Type de lumière.[3]

Température de couleur (K)	Type de lumière	Application
2200k-3000k	Blanc chaud	Éclairage résidentiel et zones piétonnes (confort visuel agréable)
4000-5000k	Blanc neutre	Éclairage urbain et routier (bon équilibre entre confort performance)
6000k et plus	Blanc froid	Zones nécessitant une visibilité accrue (parkings, zones industrielles)

Effets sur le confort visuel

Blanc chaud (2200K - 3000K) : Favorise une ambiance accueillante et réduit la fatigue oculaire.

Blanc neutre (4000K - 5000K) : Offre une bonne perception des détails et un équilibre entre confort et performance.

Blanc froid (>6000K) : Améliore la visibilité mais peut être inconfortable et provoquer un éblouissement excessif.[3]

Recommandation : Un éclairage public optimal se situe généralement entre 3000K et 4000K pour garantir un bon compromis entre confort visuel et efficacité lumineuse.[9]

6.4. Réduction des ombres et de l'éblouissement souhaitable

6.4.1. Ombres indésirables

Un éclairage mal positionné peut créer des **ombres portées gênantes**, réduisant la visibilité des obstacles et augmentant les risques d'accident.

Espacement optimal des candélabres : Éviter les trop grandes distances entre les points lumineux pour minimiser les zones d'ombre.

Hauteur adéquate des luminaires : Un candélabre trop bas peut accentuer les ombres, tandis qu'un candélabre trop haut peut disperser excessivement la lumière.[2]

6.4.2. Éblouissement et solutions de réduction

L'éblouissement est une gêne visuelle causée par une **lumière excessive ou mal dirigée**. Il peut être :

Direct : Lorsqu'une source lumineuse est trop intense et en ligne directe avec les yeux.

Indirect : Lorsqu'une lumière est réfléchi sur des surfaces brillantes (chaussée humide, panneaux métalliques).

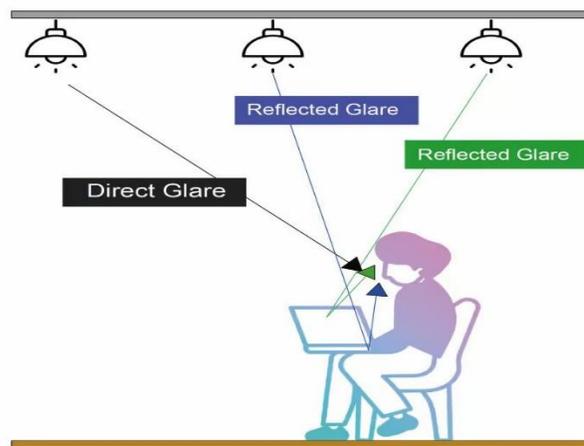


Figure 24: illustrations qui expriment les types d'éblouissement dans le contexte de l'éclairage public.

6.4.3. Solutions pour réduire l'éblouissement :

Utilisation de **luminaires avec optiques anti-éblouissement**.

Orientation précise des sources lumineuses pour éviter la lumière intrusive.

Diminution de la puissance lumineuse dans les zones peu fréquentées grâce à des **systèmes de gradation intelligente**.[9]

Conclusion

Un **bon confort photométrique** est essentiel pour assurer la sécurité et le bien-être des usagers. Une **répartition homogène de la lumière**, une **température de couleur adaptée (3000K-4000K)** et une **réduction efficace des ombres et de l'éblouissement** permettent d'améliorer la qualité de l'éclairage public et de minimiser l'impact sur l'environnement et la biodiversité nocturne.[3]

VII. Éléments de photométrie et structure appropriée du point lumineux

L'éclairage public repose sur des principes photométriques permettant de garantir une répartition optimale de la lumière et une efficacité énergétique élevée. La structure du point lumineux est un élément clé dans la conception d'un système d'éclairage performant.[9]

7.1. Élément de base d'un dispositif d'éclairage public

Un système d'éclairage public est défini par plusieurs paramètres :

Le flux lumineux (en lumens) : Il représente la quantité totale de lumière émise par la lampe.

L'angle d'ouverture du faisceau lumineux (en degrés) : Il influence la répartition de la lumière sur le sol.

L'éclairement (en lux) : Il est calculé en fonction de la hauteur du mât et de l'intensité lumineuse.[9]

7.2. calculer Éclairement lumineux (Lux – lx)

Le lux (lx) est l'unité d'éclairement lumineux, qui mesure la quantité de lumière reçue par une surface donnée. Il est défini par la formule :

$$E = \frac{\Phi}{UN} [4]$$

E : Éclairement lumineux (lux, lx)

Φ: Flux lumineux (lumens, lm)

UN : Surface éclairée (m²)

Explication des paramètres

Flux lumineux (Φ) → Il représente la quantité totale de lumière émise par une source lumineuse. Par exemple, une ampoule LED de 10W produit environ 800 lumens.

Surface (

UN) → C'est la zone sur laquelle la lumière se répartit. Plus la surface est grande, plus l'éclairement diminue.

7.2.1 Facteurs influençant l'éclairement

1. Distance de la source lumineuse

Plus la distance entre la lumière et la surface augmente, plus l'éclairement diminue.

La relation suit la loi de l'inverse du carré de la distance :

$$E = \frac{I}{d^2} [4]$$

Où :

I est l'intensité lumineuse (candela, cd)

d est la distance en mètres

2. Angle d'émission de la lumière

Un faisceau concentré éclaire une petite zone avec une intensité élevée.

Un faisceau large (lampadaire diffus) répartit la lumière sur une plus grande surface, donc l'éclairement est plus faible.

3. Réflectance des surfaces

Une surface blanche réfléchit plus de lumière qu'une surface sombre.

L'éclairement réel dépend de la répartition et de la réflexion de la lumière dans l'environnement.

$$E = \frac{\phi}{A} \quad E = \frac{I}{r^2}$$

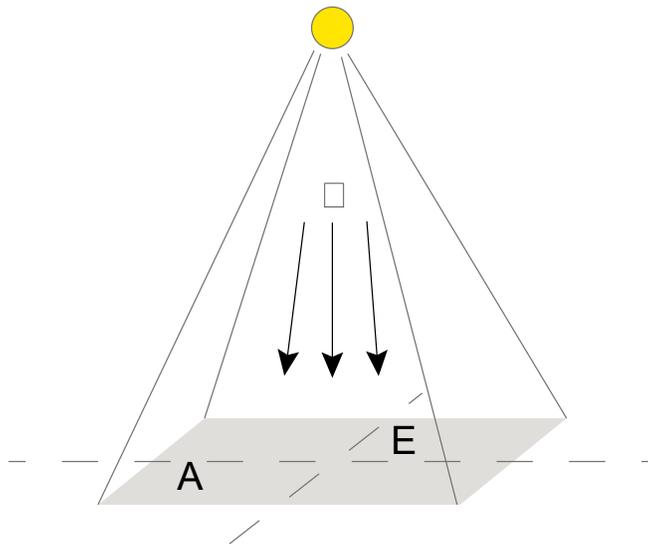


Figure 25: illustration montrant la relation entre la hauteur, la surface et l'éclairement.[33]

7.2.2. Méthodes de mesure du lux

1. Utilisation d'un luxmètre

C'est l'outil le plus précis pour mesurer l'éclairement en un point donné.

Il se place à la hauteur de travail ou de circulation pour mesurer la lumière réellement reçue.

2. Calcul théorique avec le flux lumineux et la distance

Pour une lampe LED de 1600 lumens située à 3 mètres, sur applique :

$$E = \frac{1600}{4\pi(3^2)}$$

$$E = \frac{1600}{113} \approx 14 \text{ lux}$$

3. Logiciels de simulation

Pour les projets d'éclairage public, des logiciels comme **DIALux** ou **Relux** permettent de simuler et d'optimiser l'éclairage.[4]

7.3. Influence de la hauteur du luminaire sur la zone éclairée

A titre d'exemple, en prenant la configuration de l'éclairage illustrée à la Figure 19 comme modèle et en supposant que le luminaire utilisé délivre un flux lumineux net de 10000 lm avec un angle de 120°, une évaluation de la surface éclairée (circulaire de rayon R) pour divers paliers de hauteurs H, peut être menée.[9]

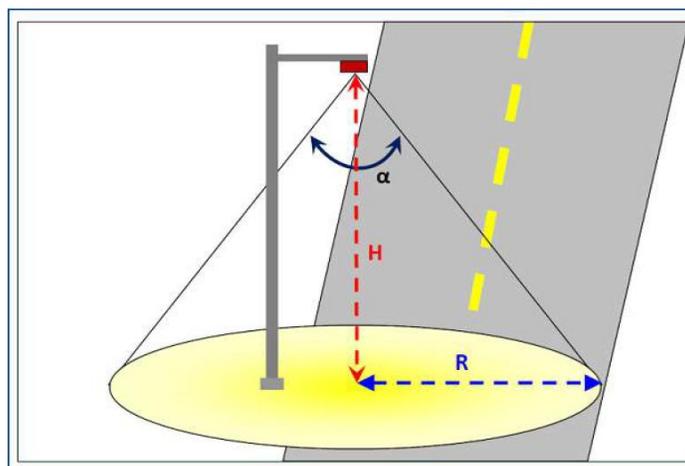


Figure 26: Distribution de la lumière diffusée par un luminaire.[9]

Tableau 9: Hauteur du luminaire et étendue de la zone éclairée au sol.[9]

Hauteur H du luminaire (flux 10000 lm)	Zone éclairée		Intensité lumineuse (Candela)	Eclairage lumineux de surface (Lux)
	Rayon (m)	Surface (m ²)		
6	10.39	339.29	3183.10	88.42
7	12.12	461.81	//	64.96
8	13.86	603.19	//	49.74
9	15.59	763.41	//	39.30
10	17.32	942.48	//	31.83
11	19.05	1140.40	//	26.31
12	20.78	1357.17	//	22.10

Ce tableau montre que plus la hauteur du luminaire augmente, plus la surface éclairée est grande, mais l'éclairage lumineux diminue.

Conclusion

L'augmentation de la hauteur du luminaire élargit la zone éclairée au sol, mais réduit l'intensité de l'éclairage lumineux. Il faut donc trouver un équilibre entre la surface couverte et la luminosité nécessaire pour assurer une visibilité optimale.

7.4. Les cinq principaux types de distribution pour l'éclairage extérieur

La répartition de la lumière dépend du type de réflecteur et de la position de la lampe dans le luminaire. Il existe cinq principales distributions photométriques adaptées à différents besoins d'éclairage public : [9]

1. Type I

Adapté aux chemins, allées, sentiers et routes étroites.

Répartition longitudinale de la lumière pour éviter le gaspillage latéral.

2. Type II

Convient aux routes où la lumière doit être projetée assez loin sur les côtés mais pas trop vers l'avant.

Typiquement utilisé pour les lampadaires d'éclairage latéral de route.

3. Type III

Fournit une distribution plus avancée vers l'avant et un éclairage réduit sur les côtés.

Utilisé pour les rues résidentielles et les zones urbaines à trafic modéré.

4. Type IV

Dirige la lumière vers l'avant du lampadaire, idéal pour les grands espaces ouverts comme les parkings et les places publiques.

Moins de lumière sur les côtés, concentration sur une large zone devant le luminaire.

5. Type V

Offre une distribution ronde ou rectangulaire, assurant un éclairage uniforme dans toutes les directions.

Approprié pour les grands espaces publics, parkings, et larges artères.

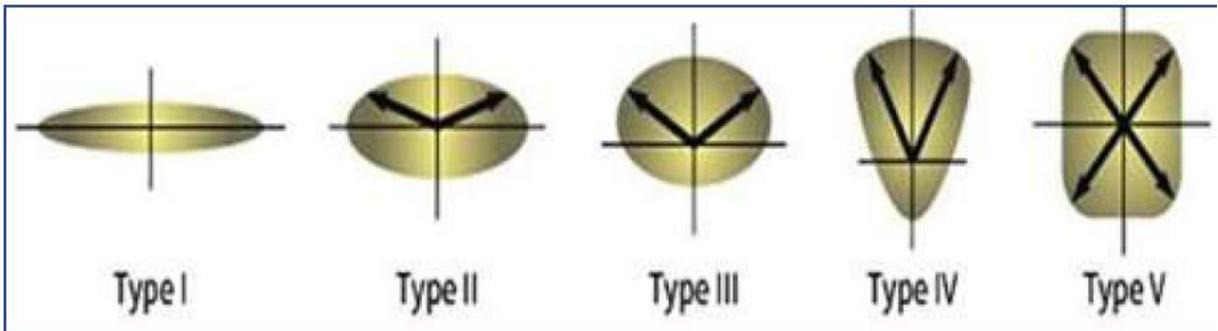


Figure 27: Les cinq principaux types de distribution pour l'éclairage extérieur.[9]

Conclusion

Les cinq principaux types de distribution lumineuse pour l'éclairage extérieur répondent à des besoins spécifiques selon la largeur et la fonction des voies ou espaces éclairés. Du Type I pour chemins étroits au Type V pour grandes surfaces, chaque distribution optimise la couverture lumineuse et la sécurité tout en limitant le gaspillage d'énergie. Leur choix garantit un éclairage adapté et efficace des espaces publics.

7.5. Type de rayon lumineux

Le **type de rayon lumineux** désigne la manière dont la lumière est diffusée par un luminaire. Il dépend du type de réflecteur, de la source lumineuse et de l'angle d'ouverture du faisceau. Voici les principaux **types de rayons** utilisés en éclairage publique :

1. Rayonne Direct

La lumière est projetée directement vers le sol sans diffusion excessive.

Utilisé pour un éclairage puissant et concentré (ex. : projecteurs, spots).

2. Rayonne semi-directe

Une partie de la lumière est diffusée, mais la majorité est dirigée vers le bas.

Fréquent dans l'éclairage urbain pour assurer un bon équilibre entre **visibilité et confort visuel**.

3. Rayonne indirecte

La lumière est projetée vers le haut ou réfléchi par une surface avant d'éclairer la zone souhaitée.

Permet un **éclairage doux et diffus**, idéal pour réduire l'éblouissement.

4. Rayonne semi-indirecte

Une grande partie de la lumière est projetée vers le haut, mais une fraction éclairée directement le sol.

Utilisé dans certaines conceptions architecturales et décoratives.

5. Rayonne diffuse

La lumière est dispersée dans toutes les directions.

Utile pour créer un **éclairage homogène sans ombres marquées**.

Ces types de rayonnement sont choisis en fonction de l'application spécifique de l'éclairage public et des **besoins en visibilité, en confort visuel et en efficacité énergétique**[9]

Conclusion

Le choix du type de rayon lumineux permet d'adapter l'éclairage public aux besoins de chaque espace, en optimisant la visibilité, le confort visuel et l'efficacité énergétique. Chaque type de diffusion répond à des usages précis pour garantir sécurité et ambiance adaptée.

7.6. Le diagramme photométrique

Concrètement, étant donnée l'importance de la répartition spatiale de la lumière artificielle dans la conception d'un système d'éclairage précis, où les prescriptions insistent sur l'efficacité énergétique et lumineuse avec une pollution nulle du ciel

(ULOR=0), tout luminaire impliqué est généralement accompagné dès l'acquisition ou achat par son diagramme photométrique qui en spécifie les détails (Figure 28) [9]

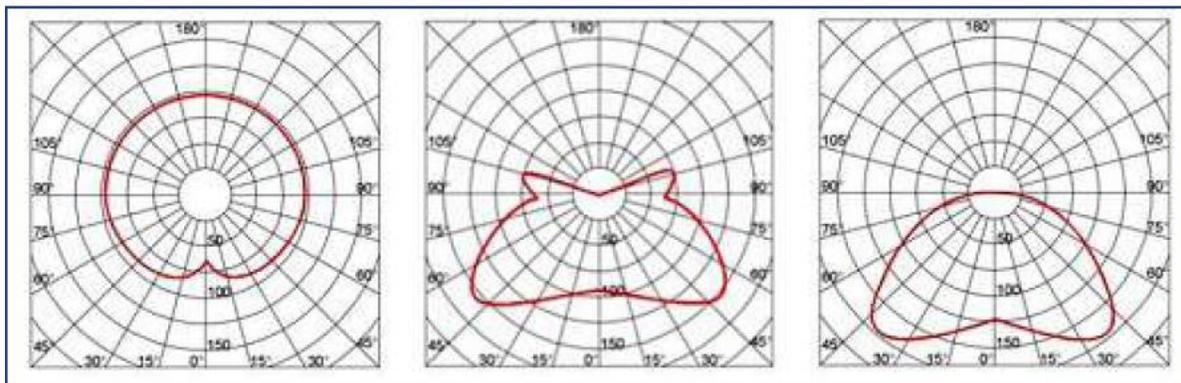


Figure 28: Les cinq principaux types de distribution pour l'éclairage extérieur.[9]

Une première interprétation des diagrammes photométriques donnés ci-dessus, permet de dire que le premier (à gauche) représente un luminaire sphérique (ballon) qui émet pratiquement dans toutes les directions, donc très peu efficace (beaucoup de lumière inutile) et fortement pollueur du ciel. Le second diagramme correspond à un luminaire dont le gros de la lumière est orienté vers le bas et très peu vers le ciel alors que le dernier indique que l'ensemble de son énergie lumineuse est dirigé vers le sol.[9]

Conclusion

L'optimisation de l'éclairage public repose sur une répartition adéquate de la lumière et une conception intelligente du point lumineux. Le choix de la hauteur du mât, de l'angle d'ouverture et du type de distribution lumineuse est essentiel pour assurer une efficacité énergétique maximale et un confort visuel optimal.[9]

VIII. Structure finale d'un dispositif d'éclairage public

L'éclairage public est conçu pour assurer une visibilité optimale des espaces extérieurs la nuit. Pour cela, un dispositif d'éclairage est mis en place, composé de plusieurs points lumineux (lampadaires, bornes lumineuses, colonnes lumineuses, etc.), ayant des caractéristiques photométriques adaptées aux exigences de chaque espace.

L'objectif est de garantir un éclairage conforme aux normes tout en limitant les nuisances comme l'éblouissement ou la pollution lumineuse.[9]

8.1. Normes et distances d'implantation des points lumineux

8.2. Normes d'implantation des points lumineux

L'implantation des luminaires dans l'éclairage public doit respecter plusieurs critères liés à :

La sécurité routière : Assurer une visibilité adéquate pour les usagers (piétons, cyclistes, automobilistes).

L'efficacité énergétique : Minimiser la consommation d'énergie en optimisant la répartition de la lumière.

Le confort visuel : Éviter l'éblouissement et les zones d'ombre excessives.

8.3. Principaux paramètres réglementés :

Hauteur des luminaires : Généralement comprise entre 4 et 12 mètres, selon le type de voie.

Répartition lumineuse : La lumière doit être uniforme pour éviter les contrastes excessifs.

Niveaux d'éclairement : Défini en lux, selon la catégorie de la route (voir tableaux 11 et 12 du document).

8.4. Distances d'implantation des points lumineux

La distance entre deux lampadaires dépend de plusieurs facteurs :

La hauteur du mât : Plus il est haut, plus la distance entre les points lumineux peut être grande.

Le type de route : Voies urbaines, autoroutes, pistes cyclables, etc.

Le type de luminaire : LED, sodium haute pression, etc.

8.5. Schémas d'implantation courants :

Implantation unilatérale : Sur un seul côté de la route (voie étroite).

Implantation bilatérale en quinconce : Lampadaires alternés sur chaque côté (routes moyennes).

Implantation bilatérale en vis-à-vis : Lampadaires face à face sur chaque côté (grandes routes).

Implantation axiale : Lampadaires au centre de la chaussée (autoroutes, grands boulevards).

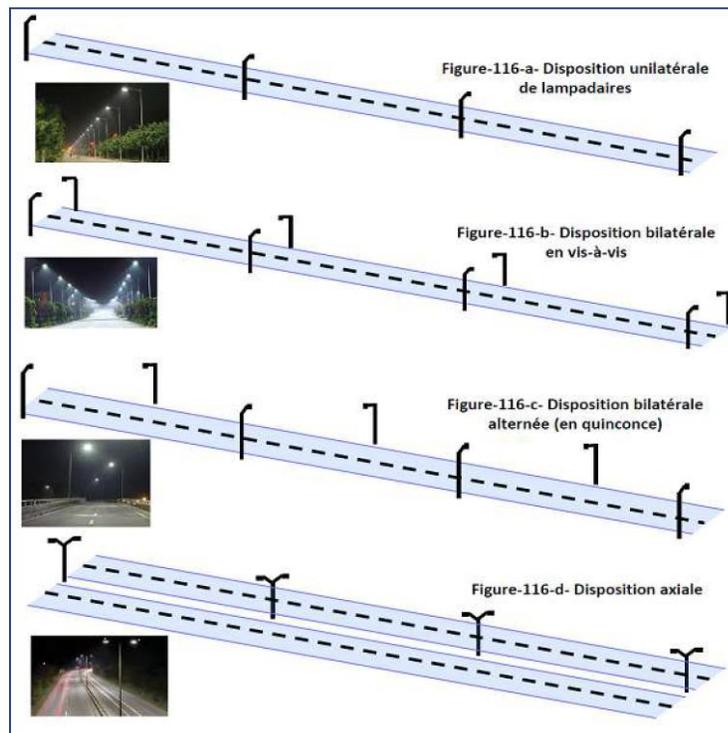


Figure 29: Divers modes de déploiement des lampadaires.[9]

Cette figure présente plusieurs configurations d'implantation des lampadaires sur une route :

Disposition unilatérale : Les lampadaires sont placés d'un seul côté de la route.

Disposition bilatérale en vis-à-vis : Les lampadaires sont positionnés de part et d'autre de la chaussée, alignés en face les uns des autres.

Disposition bilatérale en quinconce : Les lampadaires sont décalés de part et d'autre de la chaussée pour une meilleure couverture lumineuse.

Disposition axiale : Les lampadaires sont placés au centre de la chaussée.

Chaque configuration a ses avantages et dépend de la largeur de la voie, du trafic et des contraintes d'urbanisme.

Conclusion

Les schémas d'implantation des lampadaires varient selon la largeur de la route et les besoins d'éclairage. Chaque configuration offre un compromis entre couverture lumineuse, coût et contraintes urbaines. Leur choix optimise la sécurité et le confort des usagers.

8.6. Normes d'Implantation des Lampadaires selon le Type de Voie et la Méthode de Distribution

L'implantation des lampadaires dépend du type de voie, de la hauteur des mâts (H), de la largeur de la route (L) et de la distance entre les points lumineux (d). Les normes recommandent des rapports spécifiques entre ces paramètres pour garantir un éclairage efficace et uniforme. Le schéma et le tableau suivants résument ces configurations selon les différents types de routes.

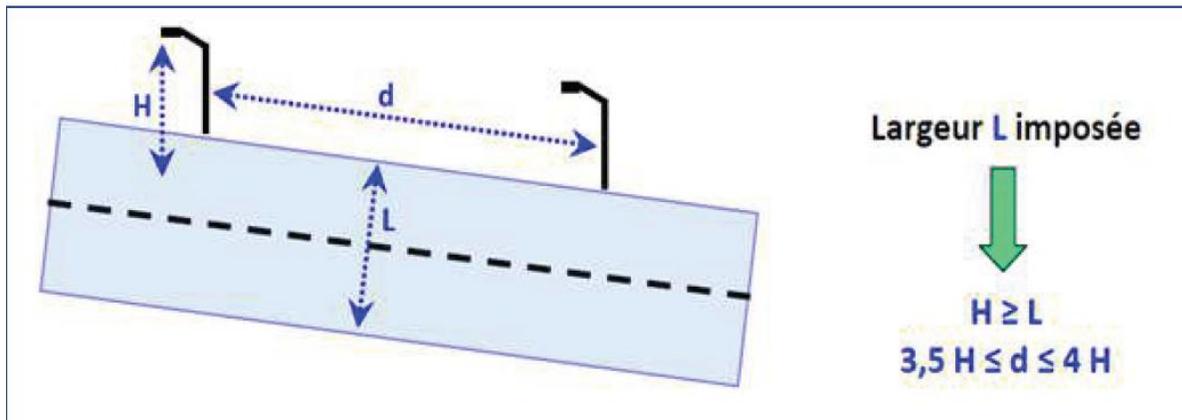


Figure 30: Cas de distribution unilatérale des points lumineux.[9]

Cette figure montre un schéma de répartition des lampadaires dans le cas d'une installation unilatérale. On y observe que :

La hauteur du luminaire (H) est liée à la largeur de la voie (L).

La distance entre deux lampadaires (d) est généralement comprise entre 3,5 et 4 fois la hauteur (H).

Par exemple, pour une route de 9 mètres de large, la hauteur des lampadaires peut être de 10 mètres, ce qui donne un espacement de 37 mètres environ (entre 35 et 40 mètres).

Tableau 10: Voies de circulation et éléments d'implantation des lampadaires.[9]

Implantation	Application	Rapport H/L	Inter-distance (d)
Unilatérale	Rues latérales, allées	$L \leq H$	$d = 3,5 \text{ à } 4 H$
Bilatérale en quinconce	Rue simple à double sens	$H < L \leq 1,5 H$	$d = 2,5 \text{ à } 3 H$
Bilatérale en vis-à-vis	Larges voies à double sens	$1,5 H \leq L \leq 2 H$	$d = 3,5 \text{ à } 4 H$
Axiale	Grandes voies doubles	$L > 2 H$	$d = 3,5 \text{ à } 4 H$

Ce tableau présente les recommandations normatives concernant les rapports entre la hauteur des lampadaires (H), la largeur de la voie (L) et leur espacement (d), en fonction du type d'implantation.

L'objectif est d'assurer un éclairage suffisant tout en optimisant l'espacement pour réduire les coûts d'installation et de maintenance.

Conclusion

Les normes d'implantation des lampadaires assurent un éclairage homogène et adapté à chaque type de voie, tout en optimisant l'espacement pour limiter les coûts. Le choix du schéma dépend de la largeur de la route et de la hauteur des mâts. Ces recommandations garantissent à la fois sécurité et efficacité économique.

8.7. Normes d'éclairage selon la norme européenne EN 13201

L'éclairage des voies publiques est soumis à des niveaux d'intensité précis en fonction de leur type et de leur usage.

Tableau 11: Voies urbaines et ordre de grandeur du niveau d'éclairage moyen en lux selon la norme Européenne 13201[9]

Type de voies de circulation urbaine	Moyen (lux)	Elevé (lux)	Maximal (lux)
Voies à grande circulation (Avenue, boulevards...) (Vitesse < 50 Km/h)		20	20
Voies urbaines secondaires (Vitesse < 50 Km/h)	10	15	20
Voie de desserte (Rues...) (Vitesse < 30 Km/h)	10	15	15
Voie commerçante (Vitesse < 30 Km/h)		20	20
Voie exclusivement piétonne	7,5 à 10	10 à 15	20
Trottoir piéton et piste cyclable adjacents à la route	7,5 à 10	10 à 15	15
Place, giratoire	Voie d'accès la plus éclairée	Place ou giratoire correspondant	
	20	30	
	15	20	
	10	15	
	7,5	10	

***Remarque : 1Lux = 0.00146 W/m².**

Interprétation du tableau

Ce tableau définit les niveaux d'éclairage recommandés pour les différents types de routes en milieu urbain. Voici ce qu'il faut comprendre :

1. Voies à grande circulation (boulevards, avenues, > 50 km/h)

Ces voies nécessitent un éclairage uniforme de 20 lux, quel que soit le niveau de référence (moyen, élevé ou maximal).

La vitesse des véhicules étant supérieure à 50 km/h, un bon éclairage est essentiel pour réduire les risques d'accidents et améliorer la visibilité.

2. Voies urbaines secondaires (< 50 km/h)

Ces routes nécessitent entre 10 et 20 lux, selon l'importance de la circulation.

Elles sont souvent empruntées par des voitures et des piétons, donc un éclairage modéré est requis.

3. Voies de desserte (< 30 km/h)

Niveau d'éclairage de 7,5 à 15 lux.

Ce sont des rues résidentielles ou de faible trafic, où l'éclairage est ajusté pour éviter la pollution lumineuse tout en assurant la sécurité.

4. Voies commerçantes

Un bon éclairage (10 à 20 lux) est nécessaire pour assurer le confort visuel des clients et sécuriser l'environnement.

Un éclairage insuffisant peut décourager les passants et nuire à l'activité économique.

5. Voies piétonnes & pistes cyclables

Ces espaces ont besoin de 7,5 à 15 lux pour garantir une bonne visibilité aux usagers et prévenir les chutes ou collisions.

6. Places & giratoires

Les entrées des giratoires nécessitent un éclairage maximal de 20 lux pour assurer une visibilité parfaite.

Les autres zones des giratoires peuvent être moins éclairées (10 à 15 lux) pour limiter la consommation énergétique.

Tableau 12: Voies rurales et ordre de grandeur du niveau d'éclairage moyen en lux selon la norme Européenne 13201[9]

Type de voies de circulation urbaine	Moyen (lux)	Elevé (lux)	Maximal (lux)
Voie d'accès à un village (Vitesse < 70 Km/h)	15	-	20
Traversée rue principale (Vitesse < 50 Km/h)	-	15	20
Voie transversale (Vitesse < 50 Km/h)	7,5	10	10
Lotissement (Vitesse < 30 Km/h)	10	15	15
Place, giratoire	Voie d'accès la plus éclairée	Place ou giratoire correspondant	
	20	30	
	15	20	
	10	15	
	7,5	10	

Interpretation du tableau

Ce tableau donne les recommandations d'éclairage pour les voies rurales où la visibilité nocturne est essentielle en raison du manque de repères visuels naturels (bâtiments, enseignes lumineuses, etc.).

1. Voies d'accès à un village (< 50 km/h)

Un éclairage de 15 à 20 lux est recommandé.

Ces routes servent à connecter des zones rurales aux centres urbains, et l'éclairage doit permettre une bonne perception des obstacles.

2. Traversée d'un village - rue principale (< 50 km/h)

Besoin de 10 à 20 lux selon la circulation.

Éclairage suffisant pour assurer la visibilité des piétons, cyclistes et véhicules.

3. Voies transversales (< 50 km/h)

Elles nécessitent 7,5 à 15 lux selon leur utilisation.

Généralement, ces routes sont moins fréquentées, donc un éclairage modéré est suffisant.

4. Lotissements (< 30 km/h)

Ces zones nécessitent entre 10 et 20 lux, car elles sont principalement résidentielles.

L'éclairage permet de sécuriser les allées piétonnes, les zones de stationnement et les espaces verts.

5. Places et giratoires

Les entrées des giratoires doivent être fortement éclairées (20 à 30 lux) pour éviter les accidents.

Les autres zones peuvent être moins éclairées (10 à 20 lux) pour éviter la surconsommation d'énergie.

Remarque

L'uniformité de l'éclairage est également un critère clé, mesurée comme le rapport entre l'éclairage minimum et maximum. Un rapport de **0,4 à 1** est généralement admis comme optimal.

Conclusion

La norme EN 13201 établit des niveaux d'éclairage précis adaptés aux différents types de voies urbaines et rurales, afin d'assurer une visibilité optimale et la sécurité des usagers tout en maîtrisant la consommation énergétique. Elle recommande des valeurs spécifiques en lux selon la vitesse, la fonction et l'environnement de chaque voie, ainsi qu'une uniformité d'éclairage garantissant un confort visuel et une prévention efficace des accidents. Cette norme, bien que volontaire, est un référentiel essentiel pour concevoir un éclairage public performant et durable.[25], [26][27]

Conclusion

Ce chapitre a permis de comprendre la structure d'un point lumineux et ses composants essentiels. Ces connaissances sont importantes pour bien choisir et dimensionner un système d'éclairage public conforme aux exigences techniques et normatives.

Chapitre 2 : Technologies de l'éclairage public solaire photovoltaïque.

1. Introduction générale

L'Algérie, riche en ensoleillement, dispose d'un potentiel solaire important qui en fait une solution clé dans le cadre de la transition énergétique. L'éclairage public solaire permet de réduire la consommation d'énergie, de diminuer la facture publique, et de répondre efficacement aux besoins des zones isolées où le raccordement au réseau électrique est difficile. Facile à installer et à entretenir, ce type d'éclairage offre une alternative durable et économique, contribuant ainsi à la sécurité énergétique, à la protection de l'environnement et au développement local. [28]

2. Principe de fonctionnement de l'éclairage public solaire

2.1. Fonctionnement général d'un système solaire autonome

Fonctionnement général d'un système solaire autonome Un système solaire autonome destiné à l'éclairage public ou à d'autres usages se compose principalement de quatre éléments essentiels : le panneau solaire, le contrôleur (ou régulateur) de charge, la batterie, et la lampe LED.

2.1.1. Principe de fonctionnement

Panneau solaire : Il capte la lumière du soleil et la convertit en électricité sous forme de courant continu (DC). Cette énergie est produite durant la journée en fonction de l'ensoleillement.[29]

Contrôleur de charge : Il régule le courant produit par le panneau pour protéger la batterie contre la surcharge et la décharge profonde. Il optimise également la charge en fonction de l'état de la batterie et des conditions d'ensoleillement, garantissant ainsi la longévité du système.[29], [30]

Batterie : Elle stocke l'énergie électrique produite pendant la journée pour la restituer la nuit ou lors des périodes sans soleil. La capacité de la batterie détermine l'autonomie du système.[29], [30], [31]

LED (lampe) : Alimentée par la batterie via le contrôleur, la lampe LED fournit un éclairage efficace, durable et à faible consommation énergétique, idéal pour l'éclairage public solaire.

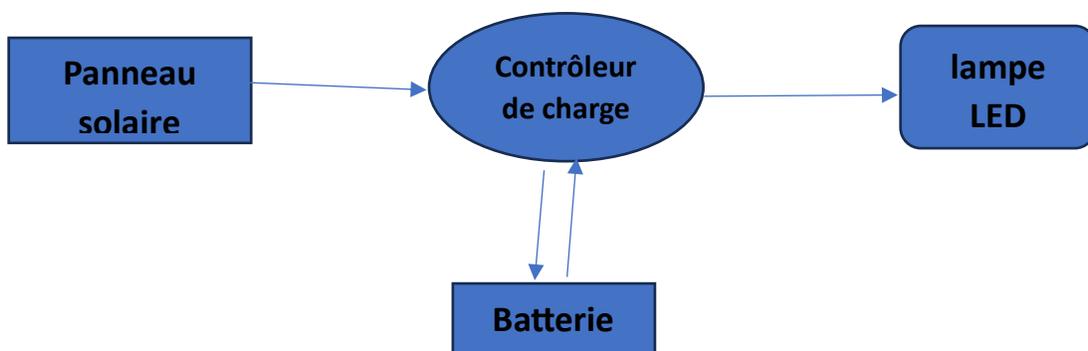


Figure 1 : Schéma simplifié du fonctionnement.

Ce schéma illustre le flux d'énergie : le panneau produit l'électricité, le contrôleur gère la charge et protège la batterie, la batterie stocke l'énergie, et la LED utilise cette énergie pour l'éclairage.

2.2. Composants d'un candélabre solaire

Un candélabre solaire est un système autonome d'éclairage public qui intègre plusieurs composants clés, chacun jouant un rôle essentiel pour assurer un fonctionnement efficace et durable.

1. Panneau photovoltaïque : Le panneau solaire est constitué de cellules photovoltaïques en silicium monocristallin ou polycristallin, qui convertissent la lumière solaire en électricité. Il doit avoir un rendement élevé ($\geq 22\%$) pour maximiser la production d'énergie, surtout dans des conditions d'ensoleillement variables.[32][33]



Figure 31: Panneaux photovoltaïques de deux luminaires solaires : → À gauche : panneau du modèle All-in-One ; à droite : panneau du modèle All-in-Two.

2. Régulateur de charge : Le régulateur (ou contrôleur) de charge protège la batterie contre la surcharge et la décharge excessive. Il gère aussi la distribution de l'énergie, optimise la charge via des technologies comme le MPPT, et peut intégrer des fonctions intelligentes telles que le contrôle horaire et la détection crépusculaire.[32], [34]



Figure 32: Deux régulateurs de charge extraits de luminaires différents → Chaque régulateur provient d'un système solaire distinct (All-in-One et All-in-Two)

3. Batterie : La batterie stocke l'énergie produite par le panneau pendant la journée pour alimenter la lampe la nuit. Les types courants sont la batterie gel (plomb-acide sans entretien) et la batterie lithium-ion (LiFePO₄), cette dernière offrant une meilleure densité énergétique, une durée de vie plus longue et une meilleure performance cyclique.[34][35][33]



Figure 33: Batterie extraite d'un luminaire solaire → Vue réelle de la batterie après démontage du boîtier du luminaire

4. Bloc LED : Le luminaire LED est la source lumineuse du candélabre. Il utilise des puces LED haute efficacité (≥ 150 lm/W, souvent jusqu'à 200 lm/W) avec une bonne température de couleur (4000-5000K) et un indice de rendu des couleurs adapté pour un éclairage public efficace et confortable.[32], [33], [36]



Figure 34: un luminaire solaire montrant les LED de type SMD → Focus sur le système d'éclairage intégré au luminaire.

5. Mât, boîtier et capteur crépusculaire : Le mât supporte l'ensemble du système et est généralement en acier ou aluminium avec un traitement anticorrosion. Le boîtier protège les composants électroniques. Le capteur crépusculaire détecte la luminosité ambiante pour allumer ou éteindre automatiquement la lampe au coucher et au lever du soleil, optimisant ainsi la consommation d'énergie.[34]



Figure 35 : Deux boîtiers de protection pour composants électroniques → Comparaison de boîtiers issus de luminaires solaires différents

capteur crépusculaire



Figure 36: Luminaire solaire avec indication du capteur crépusculaire → Le capteur permet l'allumage automatique en fonction de la lumière ambiante

2.3. Comparaison avec l'éclairage conventionnel (réseau électrique)

Voici une comparaison des systèmes d'éclairage public solaire autonome et conventionnel en termes de structure, efficacité, coût, couverture et indépendance énergétique.

Tableau 13 : comparaison entre l'éclairage solaire et conventionnel.[37], [38], [39], [40]

Critères	Éclairage solaire photovoltaïque	Éclairage conventionnel (réseau électrique)
Bâtiment infrastructure	Installation simple, pas de câblage réseau nécessaire.	Nécessite un réseau électrique, câblage et travaux lourds.
Efficacité énergétique	Utilise des LED basse consommation, alimentation en courant continu.	Utilise souvent des lampes sodium ou halogène, moins efficaces.
Coût initial	Plus élevé (investissement panneaux, batteries), mais coûts d'installation réduits.	Moins cher à l'achat, mais coûts élevés de câblage et d'infrastructure.
Coût global (cycle de vie)	Moins coûteux sur le long terme grâce à l'absence de facture d'électricité et faible maintenance.	Coûts élevés d'électricité et de maintenance sur la durée.
Couverture	Adapté aux zones isolées ou sans réseau, installation flexible.	Dépend du réseau électrique, difficile dans les zones isolées.
Indépendance énergétique	Complètement autonome, fonctionne même en cas de coupure de réseau.	Totalement dépendant du réseau électrique, sensible aux coupures.
Maintenance	Faible, nettoyage périodique et remplacement batterie tous 5-10 ans.	Maintenance régulière, réparation du réseau, remplacement plus fréquent des lampes.
Sécurité	Faible tension (12-36 V), risque électrique réduit.	Haute tension, risques d'électrocution et d'incendie plus élevés.

Impact environnemental	Énergie propre, pas d'émissions, faible pollution sonore.	Dépend des énergies fossiles, émissions de CO2 et pollution associées.
-------------------------------	--	---

Synthèse

L'éclairage solaire photovoltaïque offre une solution plus durable, économique sur le long terme, et adaptée aux zones isolées, avec une installation plus simple et une meilleure autonomie. En revanche, l'éclairage conventionnel reste limité par sa dépendance au réseau électrique, ses coûts énergétiques élevés, et ses contraintes d'installation.

2.4. Avantages

L'éclairage solaire photovoltaïque présente de nombreux avantages qui en font une solution de plus en plus privilégiée, notamment dans le contexte de la transition énergétique :

Énergie renouvelable et propre : L'éclairage solaire utilise l'énergie du soleil, une source inépuisable et non polluante. Cela permet de réduire significativement les émissions de gaz à effet de serre et l'empreinte carbone par rapport aux systèmes alimentés par des énergies fossiles.

Autonomie complète : Ces systèmes fonctionnent de manière autonome, sans dépendre du réseau électrique. Ils sont donc particulièrement adaptés aux zones isolées ou rurales où le raccordement au réseau est difficile ou coûteux.

Installation simplifiée, sans câblage : L'absence de câblage électrique réduit les coûts d'infrastructure, les risques liés aux travaux de génie civil, et accélère la mise en place des équipements.

Entretien réduit : Grâce à l'utilisation de LED à haute efficacité et de batteries modernes (comme les batteries lithium-ion), les besoins en maintenance sont limités. Le nettoyage périodique des panneaux et le contrôle des batteries suffisent généralement.

Flexibilité et modularité : Les systèmes peuvent être dimensionnés et adaptés facilement selon les besoins spécifiques (puissance, autonomie, durée d'éclairage), ce qui permet une grande souplesse d'utilisation. [37], [38], [39], [40]

2.5. Contraintes

Malgré ses nombreux avantages, l'éclairage solaire photovoltaïque présente aussi certaines contraintes qu'il convient de prendre en compte :

Coût initial élevé : L'investissement de départ est souvent plus important que pour un éclairage conventionnel, notamment en raison du prix des panneaux solaires, des batteries et des contrôleurs de qualité. Cependant, ce coût est compensé sur le long terme par les économies d'énergie et de maintenance.

Performance dépendante du climat : La production d'énergie solaire est directement liée à l'ensoleillement. Dans les régions où le climat est nuageux, pluvieux ou durant les périodes hivernales, la performance peut être réduite, ce qui nécessite un dimensionnement adapté et parfois une autonomie accrue via des batteries plus volumineuses.

Durée de vie et recyclage des batteries : Les batteries, élément clé du stockage, ont une durée de vie limitée (en général 5 à 10 ans selon la technologie). Leur remplacement représente un coût et pose des questions environnementales liées au recyclage des matériaux (plomb, lithium, etc.).

Gestion de l'énergie et contrôle : Une mauvaise gestion de la charge et de la décharge peut réduire la durée de vie des batteries et affecter la fiabilité du système. L'intégration de régulateurs performants et de systèmes intelligents est donc indispensable.

Vandalisme et sécurité : Dans certains contextes, les équipements peuvent être vulnérables au vol ou au vandalisme, ce qui nécessite des dispositifs de protection et une implantation réfléchie.[37], [38], [39], [40]

3. Typologies des systèmes solaires d'éclairage public

Typologies des systèmes solaires d'éclairage public Les systèmes solaires d'éclairage public se déclinent en plusieurs typologies selon leur architecture et la manière dont leurs composants sont intégrés. On distingue principalement trois types : le système classique, le système All-in-One et le système All-in-Two. Chaque typologie présente ses spécificités, avantages et inconvénients.

3.1. Système classique

Définition : Le système classique d'éclairage public solaire est constitué de composants séparés et distincts, où le panneau solaire, la batterie, le contrôleur et le luminaire sont montés séparément sur le mât ou à proximité.

Composants :

Panneau solaire photovoltaïque (convertit l'énergie solaire en électricité)

Batterie de stockage (stocke l'électricité produite)

Contrôleur de charge (gère la charge et la décharge de la batterie)

Lampe LED (source lumineuse)

Mât ou poteau (support physique)

Câblage de connexion entre les composants



Figure 37 : Luminaire solaire classique d'éclairage public → Système de type traditionnel avec panneau et batterie séparés

Avantages :

Flexibilité dans le choix et la taille des composants (batterie, panneau)

Facilité de maintenance, car chaque composant est accessible séparément

Adaptabilité à différentes configurations et besoins énergétiques

Inconvénients :

Installation plus complexe et longue

Plus d'espace nécessaire pour installer les différents éléments

Coût potentiellement plus élevé dû à la multiplicité des composants et câblages[14], [41], [42]

3.2. Système All-in-One (Tout-en-un)

Définition : Le système All-in-One intègre tous les composants essentiels (panneau solaire, batterie, contrôleur, lampe LED) dans une seule unité compacte montée sur le mât.

Composants :

Un seul boîtier intégrant le panneau solaire, la batterie, le contrôleur et la lampe LED

Mât ou poteau supportant l'unité intégrée



Figure 38: Luminaire solaire de type All-in-One → Tous les composants intégrés dans un seul bloc compact

Avantages :

Installation très simple et rapide (un seul élément à fixer)

Design compact et esthétique

Réduction des risques de vol ou de vandalisme grâce à l'intégration des composants

Moins de câblage externe, donc moins de maintenance liée aux connexions

Inconvénients :

Moins de flexibilité pour dimensionner ou remplacer un composant spécifique

Capacité limitée du panneau et de la batterie, difficile à adapter aux besoins très élevés

En cas de panne, toute l'unité doit souvent être remplacée ou réparée [14], [41], [42]

3.3. Système All-in-Two (Tout-en-deux)

Définition : Le système All-in-Two combine certains composants dans deux unités distinctes, généralement une unité pour le panneau solaire et la batterie, et une autre pour la lampe LED et le contrôleur.

Composants :

Un boîtier combinant panneau solaire et batterie (souvent monté en haut du mât)

Un boîtier séparé pour la lampe LED et le contrôleur

Mât ou poteau supportant les deux unités

Avantages :

Compromis entre la simplicité du All-in-One et la flexibilité du système classique

Panneau solaire et batterie peuvent être dimensionnés indépendamment du luminaire

Installation plus facile que le système classique, tout en offrant une meilleure capacité que le All-in-One

Meilleure dissipation thermique et accessibilité pour la maintenance

Inconvénients :

Installation plus complexe que le All-in-One

Nécessite plus d'espace que le All-in-One

Coût intermédiaire entre classique et All-in-One[14], [41], [42]

Ces typologies permettent de choisir le système solaire d'éclairage public adapté selon les contraintes d'installation, la capacité énergétique souhaitée, le budget et la facilité de maintenance. [41], [42]



Figure 39: Luminaire solaire de type All-in-Two → Panneau solaire séparé du bloc LED/batterie

4. Comparaison technique et fonctionnelle

Tableau 14: tableau comparatif technique et fonctionnel des systèmes solaires d'éclairage public avec les applications idéales[43], [44] , [41], [42]

Type	Définition	Composants principaux	Avantages principaux	Inconvénients principaux	Applications idéales
Classique	Composants séparés montés individuellement	Panneau, batterie, contrôleur, lampe, câbles	Flexibilité, maintenance facile	Installation complexe, encombrant	Zones rurales, grands espaces, projets personnalisés avec besoins énergétiques élevés
All-in-One	Tous composants intégrés en une seule unité	Unité intégrée avec panneau, batterie, lampe	Installation rapide, compact, sécurisé	Moins flexible, capacité limitée	Centres urbains, zones résidentielles, projets à faible consommation et installation rapide
All-in-Two	Deux unités : panneau+batterie + lampe+contrôleur	Deux boîtiers distincts	Bon compromis, meilleure capacité	Installation plus complexe que All-in-One	Zones périurbaines, petites villes, endroits avec contraintes d'espace mais besoins moyens

Explications complémentaires :

Classique : idéal pour des installations sur mesure où la puissance et la capacité doivent être élevées, souvent dans des zones rurales ou industrielles où l'espace n'est pas un problème.

All-in-One : parfait pour des projets standardisés avec des besoins énergétiques modestes, où la rapidité d'installation et l'esthétique sont prioritaires, typiquement en milieu urbain.

All-in-Two : solution intermédiaire adaptée à des environnements mixtes, combinant une capacité plus élevée que le All-in-One tout en gardant une installation plus simple que le classique.

5. Applications selon le contexte

Les systèmes d'éclairage solaire se déclinent en plusieurs typologies adaptées à des contextes variés, en fonction des contraintes techniques, environnementales et des besoins spécifiques des zones à éclairer. Le choix de la solution la plus appropriée dépend notamment de la disponibilité du réseau électrique, de la taille de la zone urbaine ou rurale, des conditions climatiques, ainsi que des exigences en termes de maintenance et de gestion.

Tableau 15 : un tableau synthétique présentant les applications recommandées selon différents contextes d'utilisation.[43], [44], [45], [46]

Contexte d'application	Typologie recommandée	Détail technique et fonctionnel
Zones isolées (sans réseau)	All-in-One (tout-en-un)	Les lampadaires solaires tout-en-un sont idéaux pour les zones sans accès au réseau électrique. Leur installation est rapide, sans besoin de câblage ou de gros travaux d'infrastructure. Ils intègrent panneau, batterie et LED dans un seul boîtier, assurant une autonomie complète et une maintenance réduite. Leur conception robuste les rend adaptés aux environnements difficiles et leur autonomie dépend du bon ensoleillement du site
Villes de taille moyenne	All-in-Two (tout-en-deux)	Pour les villes de taille moyenne, les systèmes tout-en-deux offrent une capacité supérieure (batterie et panneau) et une flexibilité d'installation. La séparation du panneau et du bloc batterie/LED permet une orientation optimale et une adaptation aux besoins urbains (routes principales, parkings, espaces publics), tout en restant plus simples à installer que les systèmes classiques
Villes de grande taille	Systèmes classiques (split) avec surveillance intelligente	Les grandes villes privilégient les systèmes classiques (composants séparés) couplés à une gestion intelligente (IoT, capteurs, contrôle à distance). Cette configuration permet une personnalisation maximale (puissance, autonomie), une gestion centralisée, un diagnostic à distance et une optimisation de la consommation énergétique. Les solutions intelligentes sont adaptées pour la gestion de milliers de points lumineux, la sécurité et la maintenance proactive
Zones à forte température	Éviter All-in-One à batterie intégrée	Dans les régions à très forte température, il est conseillé d'éviter les systèmes tout-en-un avec batterie intégrée, car la chaleur excessive réduit la durée de vie des batteries lithium. Privilégier les systèmes où la batterie est séparée (all-in-two ou split), permettant de placer la batterie dans un endroit moins exposé à la chaleur, prolongeant ainsi sa durée de vie et la fiabilité du système

Zones isolées : All-in-One

Les lampadaires solaires isolés représentent une solution moderne et efficace pour éclairer des zones éloignées tout en respectant l'environnement... Leur design autonome en énergie tire avantage du soleil, captant l'électricité via un panneau photovoltaïque placé sur le luminaire... Ces dispositifs nécessitent uniquement un ancrage au sol, sans génie civil complexe. [43]

Facile à installer... Grandes applications telles que routes urbaines, routes rurales, places, parcs, zones de villas. [44]

Villes de taille moyenne : All-in-Two

Les lampadaires solaires tout-en-un sont l'intermédiaire entre les lampadaires solaires traditionnels... la batterie, la source lumineuse LED et le contrôleur sont ensemble, et le panneau solaire est une partie séparée... Orientation du panneau optimisée, capacité supérieure. [44]

Villes de grande taille : classiques avec monitoring intelligent

La combinaison de capacités de communication réseau et de détection intelligente permet à l'utilisateur de surveiller et de contrôler le système d'éclairage... Améliore la sécurité grâce à une détection rapide des pannes... Les systèmes d'éclairage public solaires intelligents qui incluent des capacités vidéo et d'autres capacités de détection peuvent aider à définir les modèles de trafic routier, à surveiller la qualité de l'air et à assurer la vidéosurveillance à des fins de sécurité. [45]

La capacité du panneau solaire et la capacité de la batterie peuvent être personnalisées... Avec une puissance plus élevée pour répondre aux exigences du projet. [44]

Zones à forte température : éviter All-in-One à batterie intégrée

La capacité de la batterie est relativement faible, ce qui ne convient pas aux zones avec de longues journées pluvieuses... Les conditions, comme la température ambiante la plus élevée ou la plus basse, influencent le choix du système... il est conseillé de privilégier les systèmes où la batterie est séparée, permettant de placer la batterie dans un endroit moins exposé à la chaleur.[44], [46]

6. Avantages et limites de l'éclairage solaire

6.1. Avantages

Sur le plan environnemental :

L'éclairage solaire utilise une énergie renouvelable, propre et inépuisable, ce qui réduit les émissions de gaz à effet de serre et la pollution liée aux énergies fossiles.[40], [47], [48]

Il contribue à la réduction des nuisances lumineuses et ne génère pas de pollution sonore.[49], [50]

Les panneaux solaires sont en grande partie recyclables, ce qui renforce leur impact environnemental positif sur le long terme.[40], [48]

Sur le plan économique :

Après un investissement initial, les coûts d'exploitation sont faibles car l'énergie solaire est gratuite.[47], [49], [51]

L'éclairage solaire évite les coûts liés au câblage électrique et aux infrastructures de réseau, ce qui est particulièrement avantageux dans les zones isolées ou rurales.[49], [51]

Le rendement lumineux des systèmes solaires est souvent meilleur que celui des systèmes classiques, ce qui améliore l'efficacité énergétique.[37]

La maintenance est généralement réduite, avec un simple contrôle périodique suffisant dans la plupart des cas.[37], [49], [51]

6.2. Limites

Sur le plan environnemental et technique :

La performance dépend fortement de l'irradiation solaire locale, qui varie selon la latitude, la saison et les conditions météorologiques.[47], [49], [50]

L'orientation et l'inclinaison des panneaux doivent être optimisées pour maximiser la captation solaire ; une mauvaise installation impacte négativement la production d'énergie.[47]

Les basses températures et un ensoleillement réduit en hiver diminuent la capacité des batteries et l'efficacité globale du système.[50]

Sur le plan économique :

L'investissement initial est souvent élevé, notamment à cause du coût des panneaux et des batteries.[48], [49], [51]

La durée de vie limitée des batteries impose un remplacement périodique, ce qui augmente le coût réel à long terme.[48], [49], [51]

Le risque de vandalisme et le besoin d'entretien peuvent aussi engendrer des coûts additionnels.[49]

6.3. Nécessité d'une étude préalable

Pour garantir la performance et la rentabilité d'un système d'éclairage solaire, il est indispensable d'étudier précisément :

- L'irradiation solaire locale (quantité d'énergie solaire disponible).[47]

- L'orientation (direction des panneaux) et l'inclinaison (angle par rapport à l'horizontale) pour optimiser la captation.[47]
- Le dimensionnement adapté des batteries en tenant compte des conditions climatiques locales.[49]

6.4. Impact de la maintenance des batteries sur le coût réel à long terme

La maintenance, notamment le remplacement des batteries, est un facteur déterminant du coût total sur la durée de vie du système. Une mauvaise gestion ou un choix de batteries inadaptées

peut considérablement augmenter les dépenses, réduisant ainsi la rentabilité économique initiale de l'éclairage solaire.[48], [49], [51]

En résumé, l'éclairage solaire présente des avantages environnementaux et économiques importants, mais sa réussite dépend d'une bonne étude du site (irradiation, orientation, inclinaison) et d'une gestion rigoureuse de la maintenance, en particulier des batteries, pour maîtriser les coûts à long terme.[47], [48], [49], [51]

7. Partie pratique : Étude technique sur les lampadaires solaires disponibles en Algérie

7.1. Objectif de l'étude

Cette étude a pour but de vérifier la qualité réelle de plusieurs modèles de lampadaires solaires (de types All-in-One et All-in-Two) actuellement commercialisés sur le marché algérien. Nous avons procédé à des tests pratiques pour évaluer la performance des modules photovoltaïques et des batteries internes, et diagnostiquer les principales causes de dysfonctionnement.

7.2. Méthodologie

7.2.1 Modèles testés

Modèle A : Lampadaire solaire de type All-in-Two

Modèle B : Lampadaire solaire de type All-in-One

Modèle C : Lampadaire All-in-Two (prévu pour un test ultérieur)

7.2.2 Outils et étapes de test

Ouverture complète des lampadaires

Mesures de la tension à vide des panneaux solaires à l'aide d'un multimètre

Vérification de la tension des batteries internes

Utilisation de l'appareil ZKE Tech EBC connecté à un ordinateur pour évaluer l'état de santé des batteries

Comparaison avec les fiches techniques (lorsqu'elles sont disponibles)

7.3. Résultats et interprétations

7.3.1 Modèle A – Type All-in-Two :



Figure 40: 1re étape : démonter le luminaire solaire.



Figure 41: Mesurer la tension (V_{oc}) des panneaux solaires avec un multimètre.

Tension mesurée (V_{oc}) : 18,55 V.

Mono Crystalline Solar Module	
Model : YF-PL-120W	Maxpower(P_{max}): 120W
Maximum power voltage (V_{mp}) : 18.0V	Open circuit voltage(V_{oc}) : 21.24V
Maximum power current(I_{mp}): 6.66A	Short circuit current(I_{sc}) : 7.33A
Dimension : 1000*670*30mm	Maximum system voltage 1000V
TEST CONDITION AM1.5 1000W/m ² 25°C	
CE RoHS IEC61215-2005	

Figure 42: fiche technique de panneau.

Tension mentionnée dans la fiche technique : 21,24 V.

Analyse : On observe une baisse significative de la tension par rapport à la fiche technique. Les causes possibles sont :

Une dégradation du module avec le temps (vieillesse des cellules)

Une saleté ou opacité sur le panneau affectant la performance

Des conditions de mesure différentes de celles utilisées dans la fiche technique

Une exagération ou erreur dans les données de la fiche technique.

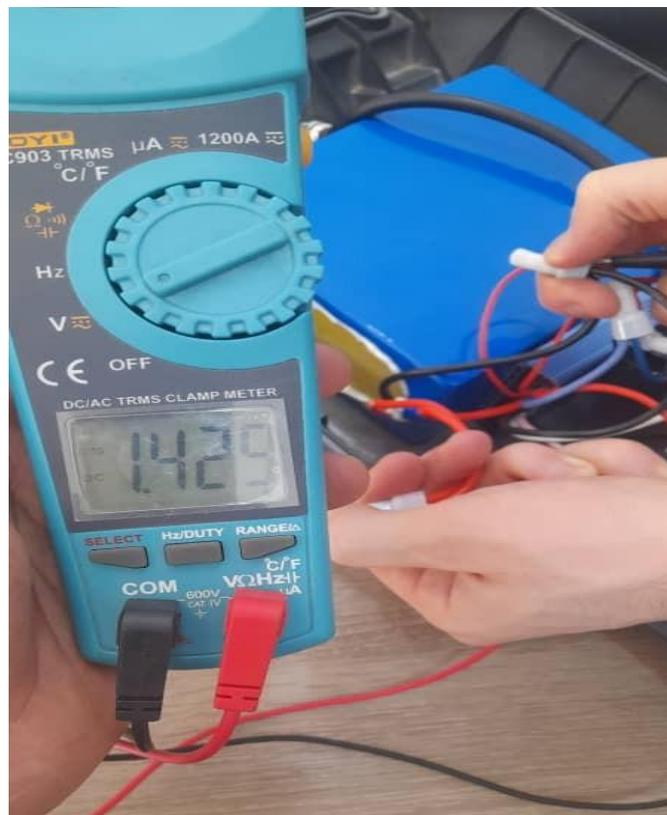


Figure 43: mesurée la tension de la batterie avec un multimètre.

Tension mesurée de la batterie : 1,426 V

Fiche technique non disponible

Analyse : Une tension aussi basse indique une batterie profondément déchargée, probablement endommagée ou inutilisable. Cela peut être causé par :

Une durée de vie dépassée

Une absence prolongée de recharge

Une défaillance interne (sulfatation, court-circuit, etc.)

7.3.2 Modèle B – Type All-in-One



Figure 45: démonter le luminaire solaire



Figure 44: mesurée la Tension (V_{oc}) des panneaux solaires avec un multimètre.

Tension mesurée (V_{oc}) : entre 20,92 V et 21 V.



Figure 46: fiche technique de panneau solaire all in one.

Fiche technique : 21 V, Conforme.

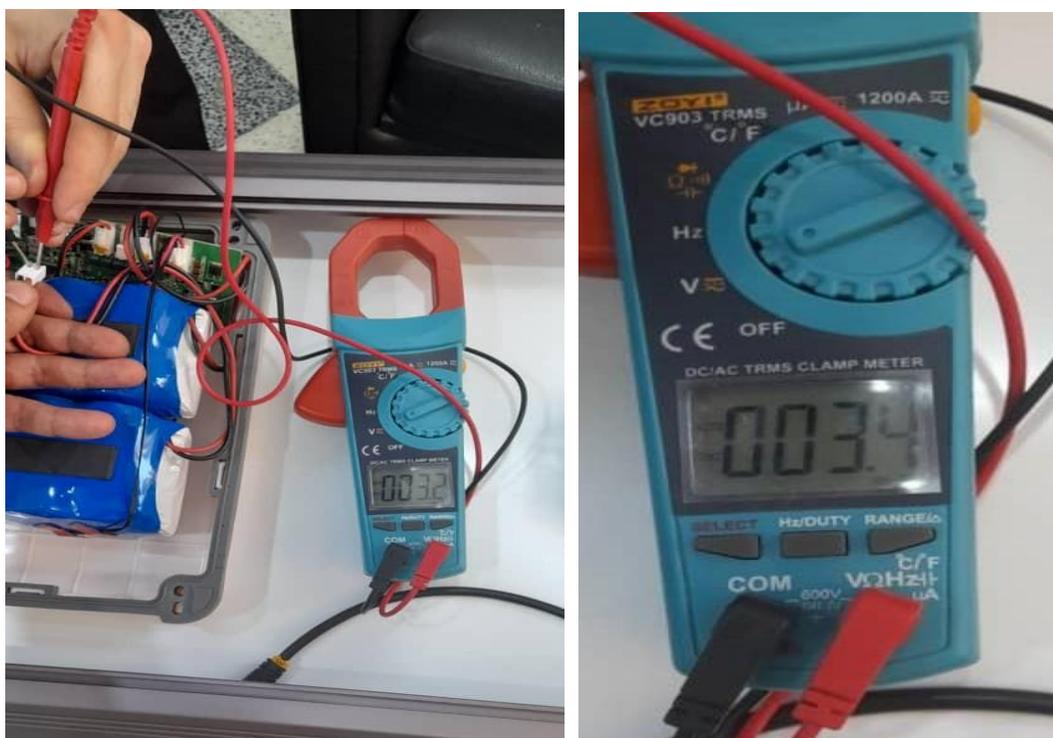


Figure 47 : mesurée la tension de la batterie avec un multimètre.

Tension globale mesurée : 3,4 mV → Tension extrêmement basse, proche de zéro.

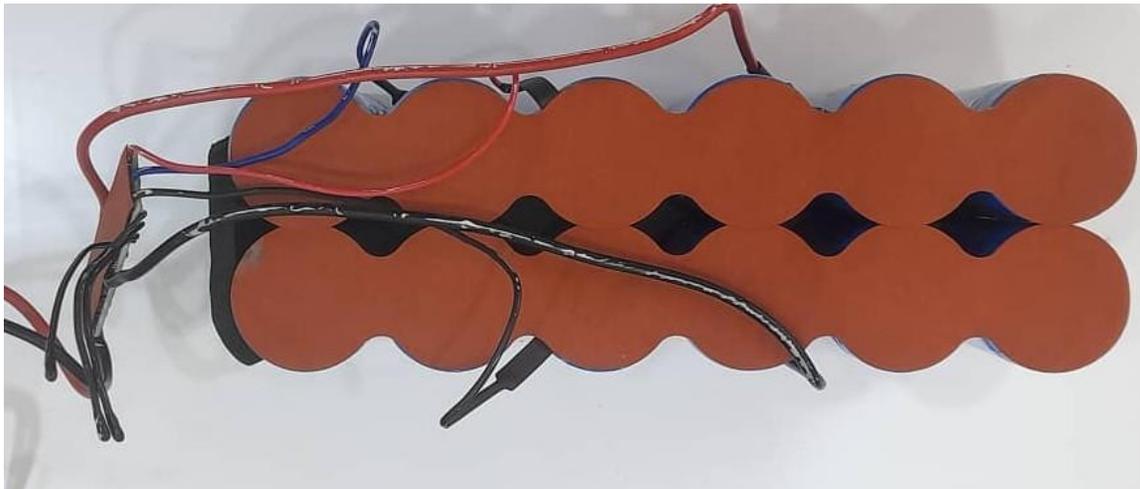


Figure 48: démonter la batterie pour la tester.



Figure 49: tester une seule cellule de batterie avec ZKE Tech EBC.

Données affichées par le ZKE Tech EBC :

Tension : 3,316 V

Courant : 0 A

Puissance : 0 W.

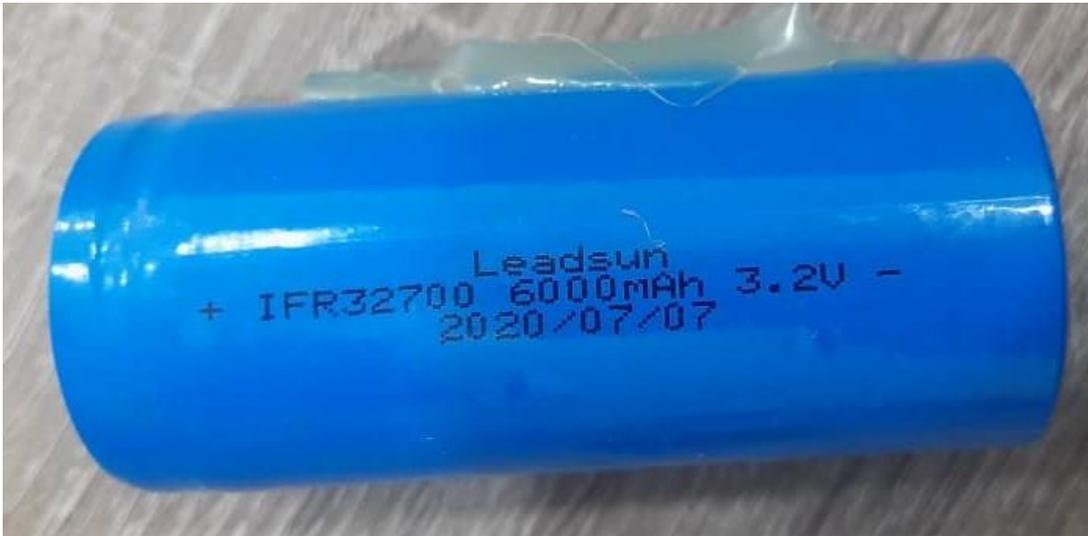


Figure 50: une cellule de la batterie avec sa fiche technique.

Date de fabrication : 07/07/2020

Capacité indiquée : 6000 mAh

Analyse : Malgré une tension correcte pour une cellule lithium-ion, l'absence de courant ou de puissance indique un dysfonctionnement interne, comme une résistance interne élevée ou une coupure de circuit. La batterie est ancienne (4 ans), et plusieurs cellules étaient corrodées ou oxydées, signe d'une dégradation avancée.



Figure 51: la corrosion que nous avons trouvée sur la batterie.

Causes possibles de la dégradation :

Âge de la batterie dépassé

Conditions climatiques sévères (chaleur, humidité)

Qualité médiocre de fabrication

Absence de système de gestion de batterie (BMS)

7.3.3 Modèle C – Type All-in-Two

Ce modèle n'a pas encore été testé. Une section lui est réservée pour compléter ultérieurement les résultats.

7.3.4 Remarque : Nous n'avons pas utilisé le testeur de batterie dans les premiers, car la tension et le courant sont plus élevés et l'appareil disponible avec eux est destiné aux batteries à faible courant.

7.4. Présentation de l'appareil ZKE Tech EBC

7.4.1 Définition :

Le ZKE Tech EBC est un appareil électronique utilisé pour tester l'état des batteries. Il permet de mesurer la tension (V), le courant (A), la capacité réelle (Ah ou mAh) et la durée de décharge des batteries. Il fonctionne comme une charge électronique : il simule la consommation d'énergie pour voir comment la batterie réagit.



Figure 52 : testeur des batteries ZKE Tech version EBC

7.4.2. Il est utilisé pour :

Tester si une batterie est encore bonne ou usée

Comparer plusieurs batteries (nouves ou récupérées)

Vérifier la capacité réelle d'une batterie

Réaliser des expériences pratiques dans un projet solaire.

7.4.3. Le logiciel du testeur :

Le testeur fonctionne avec un logiciel spécial à installer sur ordinateur, généralement appelé :

ZKE EBC-A Series PC Software

Ou simplement EBC Utility

Ce logiciel permet de :

Programmer les tests (tension de coupure, courant constant, etc.)

Suivre les résultats en direct sur un graphique

Exporter les données (fichier Excel, CSV)

Générer des courbes de décharge.



Figure 53: un logiciel spécial de testeur à installer sur ordinateur ZKE Tech.

7.4.4. Les principales versions de l'appareil :

Chaque version a ses propres limites de tension et de courant :

Tableau 16: tableau de comparaison entre les versions.

Version	Tension maximale	Courant maximal	Pour quels types de batteries ?
EBC-A05	15 V	5 A	Petites batteries (ex : 18650, 12V \leq 30Ah)
EBC-A10	30 V	10 A	Batteries moyennes (ex : 12V 50–100Ah, 24V \leq 50Ah)
EBC-A20	30 V	20 A	Batteries plus grandes (12V et 24V avec courant élevé)

7. 4.5. Importance pour l'éclairage publique solaire :

Vérifie l'état des batteries (tension, courant, capacité réelle).

Détecte les batteries usées ou défectueuses avant ou après l'installation.

Permet des tests de charge/décharge contrôlés pour évaluer les performances.

Logiciel PC dédié pour afficher les courbes, enregistrer les données, automatiser les tests.

Utile pour la maintenance préventive des systèmes solaires.

Améliore la fiabilité de l'éclairage publique en évitant les pannes nocturnes.

Optimise les coûts en prolongeant la durée de vie des batteries.

Outil pédagogique pour les projets expérimentaux et les travaux de fin d'étude.

C'est un outil encore rare en Algérie, mais extrêmement utile pour les collectivités locales afin de mieux gérer leurs installations solaires.

7.4.6. Constats techniques

La batterie est l'élément le plus fragile et défaillant dans les systèmes de lampadaires solaires.

Plusieurs batteries analysées étaient usées, corrodées ou inefficaces.

Les fiches techniques ne sont pas toujours fiables ; des mesures réelles sont nécessaires.

L'absence de maintenance régulière conduit à la dégradation prématurée des systèmes.

7.4.7. Recommandations concrètes

Utiliser des batteries de qualité, de préférence LiFePO₄, avec système BMS intégré.

Tester chaque équipement avant installation avec des outils professionnels.

Former les techniciens municipaux à l'utilisation d'outils comme le ZKE Tech EBC.

Ventiler les boîtiers de batteries et les protéger de l'humidité.

Planifier une maintenance préventive tous les 6 à 12 mois.

Créer une base de données pour suivre la performance des lampadaires solaires dans les communes.

Conclusion

Cette étude pratique a porté sur plusieurs modèles de lampadaires solaires (All-in-One et All-in-Two) vendus en Algérie. Des tests ont été réalisés pour mesurer la tension des panneaux et des batteries, en utilisant notamment l'appareil ZKE Tech EBC.

Les résultats montrent que de nombreuses batteries étaient défectueuses (tension très basse, corrosion, cellules endommagées), souvent à cause de l'âge, d'un mauvais entretien ou d'une faible qualité. Les panneaux solaires présentaient aussi des performances inférieures aux données techniques annoncées.

L'étude confirme que la batterie est l'élément le plus fragile du système. Le testeur ZKE Tech s'est révélé très utile pour évaluer leur état réel. Il est recommandé d'utiliser des batteries de qualité avec BMS intégré, de former les techniciens, et de faire une maintenance régulière pour garantir un bon fonctionnement à long terme.

Conclusion

L'étude des technologies de l'éclairage public solaire photovoltaïque a mis en évidence la diversité des systèmes disponibles, leur principe de fonctionnement, ainsi que leurs performances selon les composants utilisés et les conditions d'installation. Si ces solutions représentent une alternative durable et autonome à l'éclairage conventionnel, leur efficacité repose sur un bon dimensionnement, une qualité rigoureuse des équipements notamment les batteries, et une maintenance adaptée. Ce chapitre prépare ainsi le terrain pour l'analyse pratique et technique des installations existantes en Algérie.

Chapitre 3 : dimensionnement du luminaire d'éclairage public.

1. Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons les étapes de calcul nécessaires pour dimensionner un luminaire d'éclairage public solaire. Le travail est divisé en deux parties : une partie théorique basée sur des calculs techniques selon les normes, et une partie pratique réalisée avec le logiciel de simulation **DIALux**.

Les deux tableaux suivants 1 et 2 présentent les éléments à mesurer pour deux types de routes fréquemment rencontrés en Algérie :

Une autoroute avec 3 voies par sens,

Une voie urbaine à double sens avec une voie dans chaque direction.

Les dimensions sont basées sur les normes algériennes usuelles et serviront de base aux calculs d'éclairage et à la modélisation du projet.

Tableau 17: dimension typique d'une Autoroute (3 voies par sens).

Élément	Dimension typique (Algérie)
Nombre de voies par sens	3 voies
Largeur d'une voie	3,5 m
Terre-plein central	3 à 5 m
Bande d'arrêt d'urgence	2,5 à 3 m
Accotement latéral	1 à 2 m

Tableau 18: dimension typique d'une Voie urbaine à double sens (1 voies par sens).

Élément	Dimension typique (Algérie)
Nombre de voies par sens	1 voies (soit 2 au total)
Largeur d'une voie	3,5 m
Trottoirs latéraux	2,5 m
Stationnement latéral	2,5 m

2. Dimensionnement du luminaire

2.1. 1^{er} route autoroute 3 voies par sens)

2.2. Partie théorique du dimensionnement

2.2.1. Calcul de la largeur totale de la route

La première étape consiste à calculer la largeur totale de la route, en tenant compte des voies de circulation, des stationnements et des trottoirs de chaque côté.

Largeur totale de l'autoroute = [(6 voies) * (3,5m largeur d'une voie)] + (2*3m Bande d'arrêt d'urgence) + (3m Terre-plein central) + (1m accotement*2) = 32 mètres.

2.2.2. Détermination de la largeur éclairée

Ensuite, nous avons défini la **largeur à éclairer** par luminaire.

Largeur luminaire = largeur totale / 2.

Car :

On a choisi l'implantation axiale à cause de la largeur totale élevée.

Largeur luminaire :

L=16m

2.2.3. Choix de la hauteur du mât d'éclairage

En fonction de la largeur de la route et des recommandations normatives, nous avons déterminé une **hauteur adéquate du point lumineux** avec l'utilisation d'un ratio empirique (rapport basé sur l'expérience) pour calculer la hauteur adaptée. Ce ratio nous aide à adapter la hauteur en fonction de la largeur de la route, pour avoir une bonne répartition de la lumière.

Utiliser un ratio empiriquement accepté :

Une règle simple souvent utilisée dans l'éclairage publique :

Hauteur du luminaire = (0,4 à 0,6) × largeur de la chaussée (Largeur totale de l'autoroute).[2]

Alors

$$H_{\min} = L * 0.4 = 16 * 0.4 = 6.4\text{m}$$

$$H_{\max} = L * 0.6 = 16 * 0.6 = 9.6\text{m}$$

On a choisi la moyenne : **L=8m.**

2.2.4. la distance entre les luminaires

Après avoir choisi le type de pose, qui est l'**implantation axiale**, nous allons maintenant calculer la distance entre les luminaires. Pour cela, nous utilisons encore une fois le tableau n°10 du premier chapitre.

Dans le cas d'une implantation axiale, la distance d entre les lampadaires est donnée par la formule suivante : **$3,5H < d < 4H$**

Avec une hauteur de mât **$h = 8\text{ m}$** ,

on applique le calcul :

$$3,5 \times 8 = 28\text{m}$$

$$4 \times 8 = 32\text{m}$$

Alors :

$$28\text{m} < d < 32\text{m},$$

Dans notre projet, nous avons choisi la moyenne, une **distance de 30 mètres entre les luminaires (d=30m).**

2.2.5. Calcul du flux lumineux requis

À partir des exigences normatives, notamment **le tableau 10 du chapitre 1** (normes européennes EN13201), nous avons sélectionné le niveau d'éclairage adapté à la classe d'éclairage de la route. Ensuite, en utilisant la formule :

$$E=20\text{lux}$$

Flux lumineux = Éclairement × surface éclairée.

$$E = \frac{\Phi}{S}$$

DONC :

$$\Phi = E * S$$

Pour calculer la surface, on utilise cette formule :

$$S = L * d,$$

Dans cette formule :

L = largeur de la route

d = portée entre les luminaires (**espacement entre luminaire**)[2]

Remarque :

Pour calculer la surface on considère seulement la moitié de la largeur de la route, Parce que dans **une implantation axiale** avec **double crose**, chaque bras éclaire un seul sens de circulation (**la moitié de la route**).

Donc :

$$\Phi = E*(L*d),$$

Application numérique :

$$\Phi = 20 * (16*30) = 9600\text{lm} \text{ (théorique sans pertes)}$$

Mais en réalité, on ajoute un **facteur de pertes** (maintenance, saleté, rendement optique), souvent noté η [52]

donc

:

$$\Phi = \frac{E * (L * P)}{\eta}$$

Le facteur de perte (ou facteur de maintenance) est un coefficient ≤ 1 qui prend en compte la dégradation de la performance lumineuse, **En Algérie**, pour les **routes extérieures avec entretien annuel**, on utilise souvent : **Facteur de perte $\eta = 0,8$** (valeur standard pour LED avec maintenance raisonnable).

Alors :

$$\Phi = \frac{9600}{0,8} = 12000 \text{ lumens.}$$

Alors, le flux lumineux nécessaire par luminaire dans notre projet est de **12000 lumens**.

le flux lumineux requis : 12000 à 15000lm.

2.2.6. Estimation de la puissance

Avant de calculer la puissance, nous avons supposé une **efficacité lumineuse moyenne** (par exemple 140 lm/W). Grâce au flux lumineux requis et à l'efficacité, nous avons estimé la **puissance nécessaire du luminaire**.

$$\text{Puissance (W)} = \frac{\text{Flux lumineux (lm)}}{\text{L'efficacité lumineuse } \left(\frac{\text{lm}}{\text{w}}\right)}$$

Application numérique :

$$P = \frac{12000}{140}$$

$$P = 85.71 \text{ W}$$

la puissance requise : 86 à 100w.

2.2.7. Choix de la température de couleur

Le choix de la température de couleur (T_c , en Kelvin) d'un luminaire pour un éclairage d'autoroute ne dépend pas uniquement des dimensions géométriques (largeur, hauteur, espacement, flux), mais surtout des aspects visuels, physiologiques et sécuritaires liés à l'usage routier,

Selon la norme européenne EN 13201 (appliquée aussi en Algérie), les recommandations pour la température de couleur d'une autoroute : 4000 à 5000 K.

2.2.8. Choix de la typologie du luminaire solaire

On a choisi un luminaire solaire de type "**All-in-Two**" car il offre plusieurs avantages importants : **une meilleure orientation du panneau solaire**, ainsi qu'une **facilité de maintenance**. Ce type est plus adapté aux **conditions climatiques chaudes** comme en Algérie et garantit une **meilleure performance** et une durée de vie plus longue du système.

2.2.9. Choix du type de candélabre

Type de candélabre selon la structure : Pour une hauteur de candélabre de 8 mètres, adaptée aux autoroutes, on utilise un mât en acier galvanisé, de **forme cylindro-conique**, solide et résistant au vent.

Le type de tête ou bras de candélabre : **double crosse**.

2.2.10. Conclusion de la partie théorique

Cette partie nous a permis de définir les paramètres techniques nécessaires pour un éclairage conforme aux normes. Ces résultats serviront comme base pour la simulation dans DIALux.

2.3. Partie pratique avec le logiciel DIALux

2.3.1. Introduction à DIALux

DIALux est un logiciel professionnel de simulation d'éclairage. Il permet de tester et visualiser les performances réelles d'un luminaire sur une route selon les normes d'éclairage.

2.3.2. Modélisation de la route dans DIALux

Nous avons dessiné la route dans le logiciel en **entrant ses dimensions réelles** : largeur totale, longueur, voies, trottoirs et zones à éclairer.

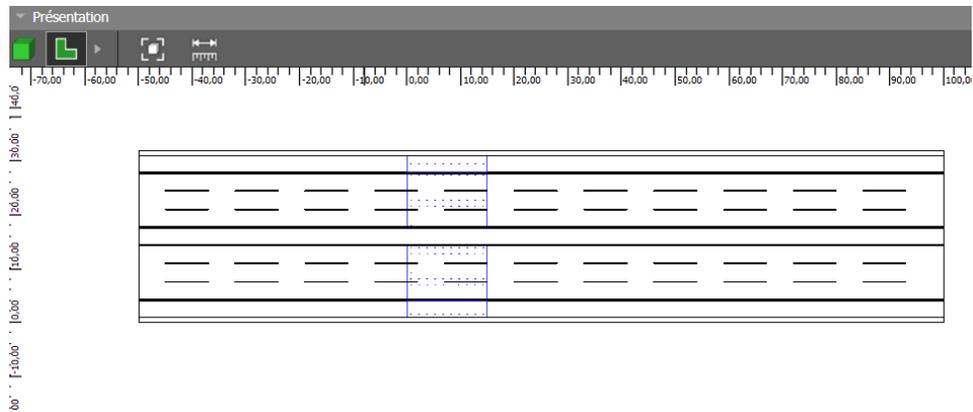


Figure 54 : représentation de la route dans dialux .

Pour la classe d'éclairage on a choisi :

Classe M1 pour les chaussées, et C5 pour Bande d'arrêt d'urgence.

2.3.3. Sélection d'un luminaire avec DIALux Finder

Avec l'outil **DIALux Luminaire Finder**, nous avons recherché et sélectionné un luminaire qui respecte les critères définis dans la partie théorique : **flux lumineux, puissance, température de couleur, efficacité, etc.**

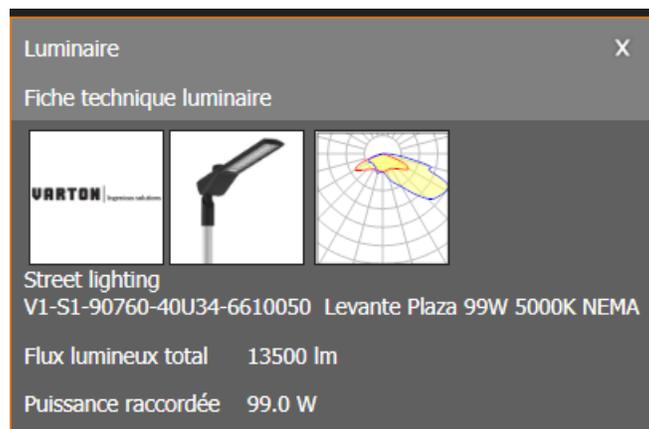


Figure 55: fiche technique pour un luminaire que on a choisie.

2.3.4. Entrée des paramètres de l'installation

Nous avons ensuite paramétré :

- La hauteur du point lumineux
- L'espace entre les poteaux
- Le type d'implantation
- L'inclinaison du luminaire, si nécessaire.

- Saillie du point lumineux
- Distance poteau/ chaussée
- Longueur du bras

Disposition luminaires

Type de disposition



Espacement poteau: 30.000 m
 Hauteur du point d'éclairage: 8.000 m
 Rotation du réverbère: 0.0 °
 Luminaires par poteau: 2
 Inclinaison du bras: 0.0 °
 Saillie du point lumineux: 2.000 m
 Distance poteau/chaussée: 1.500 m
 Longueur du bras: 3.021 m
 Décalage longitudinal: 0.000 m
 Afficher géométrie du candélabre

Figure 56: saisie des paramètres de l'installation dans dialux .

2.3.5. Simulation et résultats

Après avoir lancé la simulation, le logiciel nous a fourni les **résultats photométriques** : éclairage moyen, uniformité, luminance, etc. Nous avons **comparé ces résultats avec les exigences des normes européennes** (EN13201) selon la **classe d'éclairage choisie**.

Champ d'évaluation (C5)				Bande d'arrêt d'urgence 2 (C5)
E_m	[lx]	✓	≥ 7.50	17.92 ✓
U_o		✓	≥ 0.40	0.60 ✓
Champ d'évaluation (C5)				Bande d'arrêt d'urgence 1 (C5)
E_m	[lx]	✓	≥ 7.50	17.92 ✓
U_o		✓	≥ 0.40	0.60 ✓
Champ d'évaluation (M1)				Chaussée 2 (M1)
L_m	[cd/m ²]	✓	≥ 2.00	2.75 ✓
U_o		✓	≥ 0.40	0.47 ✓
U_l		✓	≥ 0.70	0.82 ✓
TI	[%]	✓	≤ 10	15 ✗
R_{Et}		✓	≥ 0.35	0.91 ✓
Champ d'évaluation (M1)				Chaussée 1 (M1)
L_m	[cd/m ²]	✓	≥ 2.00	2.75 ✓
U_o		✓	≥ 0.40	0.47 ✓
U_l		✓	≥ 0.70	0.82 ✓
TI	[%]	✓	≤ 10	15 ✗
R_{Et}		✓	≥ 0.35	0.91 ✓

Figure 57: les résultats photométriques que dialux nous a donné

2.3.6. Analyse des résultats

Nous avons analysé les écarts éventuels entre les résultats obtenus et les normes. Si nécessaire, des ajustements ont été faits sur la hauteur, le flux, ou l'espace.

Partie 1 :

Bande d'arrêt d'urgence (C5)

1. E_m [lx] (Éclairage moyen en lux) Norme exigée : $\geq 7,50$ lx

Résultat obtenu : **17,92 lx**

L'éclairage moyen est largement suffisant. Il dépasse la valeur minimale exigée, donc c'est conforme.

2. U_o (Uniformité générale) Norme exigée : $\geq 0,40$

Résultat obtenu : **0,60**

L'uniformité de l'éclairage est très bonne, au-dessus de la norme, donc c'est aussi conforme.

Partie 2 :

Chaussée 2 (M1) Cette partie correspond à la chaussée principale, pour laquelle on applique la classe M1 selon la norme EN13201 (routes principales à fort trafic).

3. L_m [cd/m^2] (**Luminance moyenne**) Norme exigée : $\geq 2,00 \text{ cd}/\text{m}^2$

Résultat obtenu : 2,75

La luminance moyenne est bonne. Cela veut dire que la route est suffisamment lumineuse pour être bien visible la nuit.

4. U_o (**Uniformité générale de la luminance**) Norme exigée : $\geq 0,40$

Résultat obtenu : 0,47

Bonne uniformité de la luminance, ce qui signifie qu'il n'y a pas de zones trop sombres ou trop claires.

5. U_i (**Uniformité longitudinale de la luminance**) Norme exigée : $\geq 0,70$

Résultat obtenu : 0,82

Très bonne uniformité longitudinale, donc la route est bien homogène dans le sens de la conduite.

6. TI [%] (**Indice d'éblouissement**) Norme exigée : $\leq 10 \%$

Résultat obtenu : 15

Ici, il y a un problème : l'éblouissement est trop fort. Cela peut gêner les conducteurs, surtout la nuit. Il faudrait réduire l'intensité lumineuse, modifier l'angle d'inclinaison des luminaires, ou changer la hauteur .

7. R_{ei} (**Indice de reproduction des couleurs**) Norme exigée : $\geq 0,35$

Résultat obtenu : 0,91

Excellente qualité de la lumière. Cela signifie que les couleurs sont bien perçues par les usagers (panneaux, marquages au sol, piétons...).

Remarque: Après une première simulation, l'indice d'éblouissement (TI) dépassait la norme avec une valeur de 15 %. Pour corriger cela, nous avons augmenté la hauteur du mât de 8 m à 10 m. Ce changement a permis de réduire l'éblouissement à 10 %, ce qui est conforme.

On peut en conclure que la hauteur du mât a un effet direct sur l'éblouissement, et qu'un bon réglage permet d'améliorer le confort visuel.

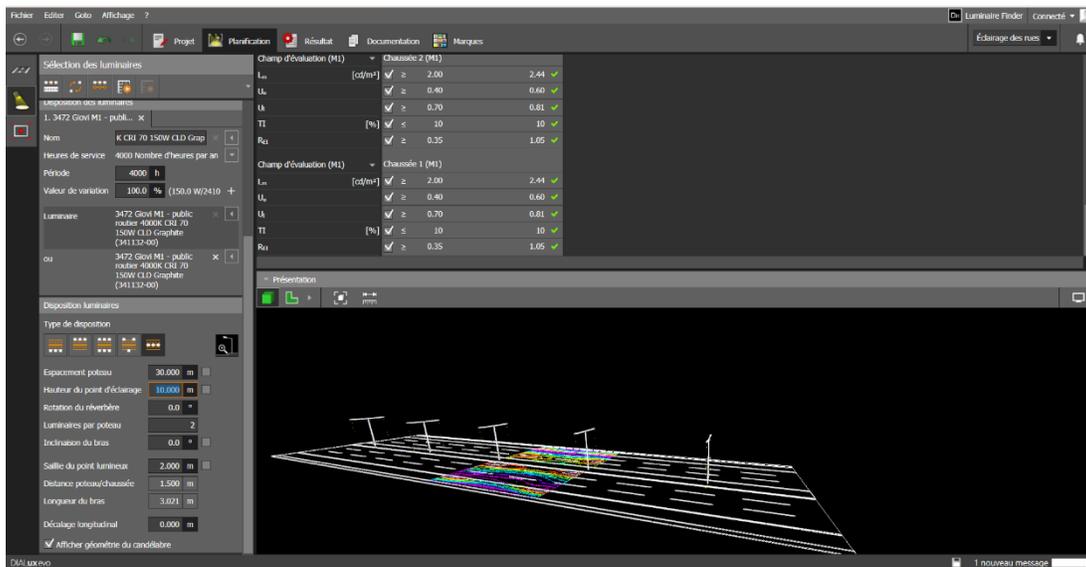


Figure 58: interface dialux en planification et lampe.

2.3.7. Conclusion de la partie pratique

Cette simulation a confirmé la validité des choix faits dans la partie théorique. Le système d'éclairage proposé respecte les exigences de performance, tout en étant adapté à une solution solaire autonome, le Dialux nous a permis de modifier les valeurs et les paramètres pour avoir un bon résultat.

2.4. 2^{ème} route voie en milieu urbain

2.4. Partie théorique du dimensionnement

2.4.1. Calcul de la largeur totale de la route

La première étape consiste à calculer la largeur totale de la route, en tenant compte des voies de circulation, des stationnements et des trottoirs de chaque côté.

Largeur chaussée : 17 m ($2 \text{ voies} \times 3.5 \text{ m} + 2 \times \text{trottoirs} + 2 \times \text{stationnement}$)

Largeur totale = 17 mètres.

2.4.2. Détermination de la largeur éclairée

Ensuite, nous avons défini la **largeur à éclairer** par luminaire.

La distance entre poteau et la bordure de trottoir est **0.5m**

Largeur lumineuse = 13m.

$$L=13\text{m}$$

2.3. Choix de la hauteur du mât d'éclairage

Hauteur du luminaire = $(0,4 \text{ à } 0,6) \times \text{largeur de la chaussée (Largeur totale de l'autoroute)}$. [2]

Alors

$$H_{\min}=L*0.4=13*0.4=5.2\text{m}$$

$$H_{\max}=L*0.6=13*0.6=7.8\text{m}$$

On a choisi la moyenne : $L=6\text{m}$.

2.4.3. la distance entre les luminaires

Après avoir choisi le type de pose, qui est **l'implantation bilatérales en quinconce**, nous allons maintenant calculer la distance entre les luminaires. Pour cela, nous utilisons encore une fois le tableau n°10 du premier chapitre.

Dans le cas d'une implantation **bilatérales en quinconce**, la distance **d** entre les lampadaires est donnée par la formule suivante : $2.5H < d < 3H$

Avec une hauteur de mât **h = 6m**,

on applique le calcul :

$$2.5 \times 6 = 15\text{m}$$

$$3 \times 6 = 18\text{m}$$

Alors :

$$15\text{m} < d < 18\text{m},$$

Dans notre projet, nous avons choisi la moyenne, une **distance de 16 mètres entre les luminaires (d=16m)**.

2.4.5. Calcul du flux lumineux requis

le niveau d'éclairage adapté à la classe d'éclairage de la route en milieu urbaine avec 17m de la largeur :

$$E=20\text{lux}$$

Flux lumineux = Éclairage \times surface éclairée.

$$E = \frac{\Phi}{S}$$

DONC :

$$\Phi = \frac{E * (L * P)}{\eta}$$

Application numérique :

$$\Phi = \frac{20 * 13 * 16}{0,8} = 5200 \text{ lumens.}$$

Alors, le flux lumineux nécessaire par luminaire dans notre projet est de 5200lumens.

le flux lumineux requis : 5200 à 8000lm.

2.4.6. Estimation de la puissance

Avant de calculer la puissance, nous avons supposé une **efficacité lumineuse moyenne** (par exemple 140 lm/W). Grâce au flux lumineux requis et à l'efficacité, nous avons estimé la **puissance nécessaire du luminaire**.

$$\text{Puissance (W)} = \frac{\text{Flux lumineux (lm)}}{\text{L'efficacité lumineuse } \left(\frac{\text{lm}}{\text{w}}\right)}$$

Application numérique :

$$P = \frac{5200}{140}$$

$$P = 37.14W$$

la puissance requise : 38 à 60w.

2.4.7. Choix de la température de couleur

Le choix de la température de couleur (Tc, en Kelvin) d'un luminaire pour un éclairage d'autoroute ne dépend pas uniquement des dimensions géométriques (largeur, hauteur, espacement, flux), mais surtout des aspects visuels, physiologiques et sécuritaires liés à l'usage routier,

Selon la norme européenne EN 13201 (appliquée aussi en Algérie), les recommandations pour la température de couleur d'une voie en milieu urbaine : 4000 à 5000 K.

2.4.8. Choix du type de candélabre

Type de candélabre selon la structure : Pour une hauteur de candélabre de 6 mètres, adaptée aux autoroutes, on utilise un mât en acier galvanisé, de **forme cylindro-conique**, solide et résistant au vent.

Le type de tête ou bras de candélabre : simple crosse.

2.4.9. Conclusion de la partie théorique

Cette partie nous a permis de définir les paramètres techniques nécessaires pour un éclairage conforme aux normes. Ces résultats serviront comme base pour la simulation dans DIALux.

2.5. Partie pratique avec le logiciel DIALux

2.5.1. Modélisation de la route dans DIALux

Nous avons dessiné la route dans le logiciel en **entrant ses dimensions réelles** : largeur totale, longueur, voies, trottoirs et zones à éclairer.

Pour la classe d'éclairage on a choisi :

Classe M3 pour les chaussées, et p4 pour trottoir.

2.5.2. Sélection d'un luminaire avec DIALux Finder

Avec l'outil **DIALux Luminaire Finder**, nous avons recherché et sélectionné un luminaire qui respecte les critères définis dans la partie théorique : **flux lumineux, puissance, température de couleur, efficacité, etc.**

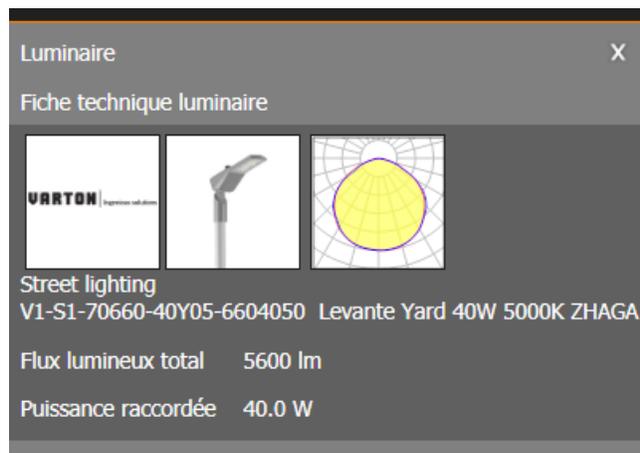


Figure 59: fiche technique pour un luminaire que on a choisie.

2.5.3. Entrée des paramètres de l'installation

Disposition luminaires

Type de disposition

Espacement poteau: 16.000 m

Hauteur du point d'éclairage: 6.000 m

Rotation du réverbère: 0.0 °

Luminaires par poteau: 1

Inclinaison du bras: 0.0 °

Saillie du point lumineux: 1.000 m

Distance poteau/chaussée: 3.000 m

Longueur du bras: 4.000 m

Décalage longitudinal: 0.000 m

Afficher géométrie du candélabre

Figure 60: les paramètres de l'installation d'une voie en milieu urbaine.

2.5.4. Simulation et résultats

Après avoir lancé la simulation, le logiciel nous a fourni les **résultats photométriques** : éclairement moyen, uniformité, luminance, etc. Nous avons **comparé ces résultats avec les exigences des normes européennes (EN13201) selon la classe d'éclairage choisie.**

Champ d'évaluation (M3)		Chaussée 1 (M3)					
L_m	[cd/m ²]	<input checked="" type="checkbox"/>	≥	1.00	1.22	<input checked="" type="checkbox"/>	
U_o		<input checked="" type="checkbox"/>	≥	0.40		0.47 <input checked="" type="checkbox"/>	
U_l		<input checked="" type="checkbox"/>	≥	0.60		0.62 <input checked="" type="checkbox"/>	
TI	[%]	<input checked="" type="checkbox"/>	≤	15		3 <input checked="" type="checkbox"/>	
R_{Et}		<input checked="" type="checkbox"/>	≥	0.30		0.47 <input checked="" type="checkbox"/>	
Champ d'évaluation (P4)		Trottoir 2 (P4)					
E_m	[lx]	<input checked="" type="checkbox"/>	≥	5.00	≤	7.50	6.39 <input checked="" type="checkbox"/>
E_{min}	[lx]	<input checked="" type="checkbox"/>	≥	1.00			3.71 <input checked="" type="checkbox"/>

Figure 61: les resultat de la voie en milieu urbaine que dialux nous a fourni.

2.5.5. Analyse et conclusion

Pour le dimensionnement d'une voie en milieu urbaine, tous les résultats obtenus sont conformes aux exigences des normes européennes. L'éclairage est bien réparti, sans zones sombres ni éblouissement. Cela montre que le dimensionnement et le choix du luminaire sont corrects, et adaptés pour un bon confort visuel et une sécurité optimale.

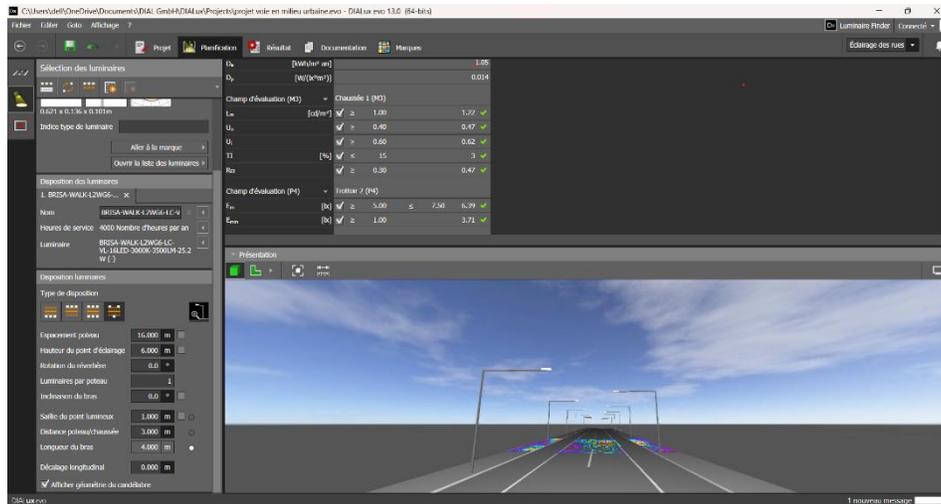


Figure 62: simulation d'éclairage de voie urbaine dans dialux .

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons dimensionné des luminaires pour deux types de routes (autoroute et voie urbaine), en combinant des calculs théoriques basés sur les normes EN13201 et des simulations pratiques avec le logiciel DIALux. Les paramètres clés étudiés incluent la largeur de la route, la hauteur des mâts, l'espacement, le flux lumineux requis, la puissance et la température de couleur.

Les résultats montrent que les choix réalisés sont conformes aux exigences normatives, assurant un bon éclairage, une uniformité correcte et un confort visuel satisfaisant. Les simulations ont également permis d'ajuster certains paramètres (comme la hauteur des mâts) pour réduire l'éblouissement et optimiser les performances.

Ce travail valide donc une méthode fiable de conception d'éclairage publique solaire adaptée aux routes algériennes.

Conclusion générale

L'éclairage public joue un rôle fondamental dans la sécurité routière, la fluidité des déplacements nocturnes et l'amélioration du cadre de vie en milieu urbain. Toutefois, il représente également une part significative de la consommation énergétique des collectivités. En Algérie, cette consommation peut atteindre jusqu'à 40 % de l'électricité communale, ce qui constitue un fardeau économique et environnemental important.

Ce mémoire a permis de parcourir l'ensemble du processus de dimensionnement des luminaires d'éclairage public, en partant des bases théoriques jusqu'à la validation pratique par simulation. Le premier chapitre a clarifié la structure technique d'un point lumineux et les normes associées. Le second chapitre a mis en lumière les avantages des technologies solaires photovoltaïques, leur fonctionnement et leurs limites, notamment en ce qui concerne la qualité des batteries. Le troisième chapitre a présenté une application concrète du dimensionnement sur différents types de routes, confirmant que les simulations par DIALux permettent d'optimiser l'efficacité lumineuse tout en respectant les exigences normatives (EN 13201).

Par ailleurs, les observations sur le terrain ont révélé que de nombreux systèmes d'éclairage en Algérie utilisent des luminaires surdimensionnés (150 W à 200 W), alors qu'un bon dimensionnement basé sur les besoins réels permettrait d'utiliser des puissances nettement inférieures (40 à 60 W). Cette pratique actuelle constitue une perte d'énergie importante et évitable, surtout dans un contexte de transition énergétique.

Afin de réduire durablement la consommation d'énergie liée à l'éclairage public, plusieurs solutions complémentaires doivent être envisagées :

- Optimisation du dimensionnement : choisir la puissance des luminaires en fonction des besoins réels (type de route, niveau de trafic, environnement) en s'appuyant sur des normes précises et des logiciels comme DIALux.
-
- Utilisation de l'éclairage solaire photovoltaïque, notamment dans les zones non raccordées au réseau ou à faible densité, ce qui permet de réduire la dépendance au réseau électrique.
- Mise en place de systèmes intelligents de gestion de l'éclairage, comme la gradation automatique selon l'heure ou le passage de véhicules/piétons (détection de mouvement), pour moduler la luminosité et économiser l'énergie.
-
- Remplacement progressif des anciens luminaires par des LED à haute efficacité lumineuse, qui consomment moins et ont une durée de vie plus longue.
-
- Maintenance préventive et contrôles réguliers pour éviter les dysfonctionnements, notamment des batteries dans les systèmes solaires.

Selon le rapport de l'ADEME (Agence de la transition écologique), ces mesures permettent de réduire jusqu'à 70 % la consommation énergétique de l'éclairage public dans certaines villes bien équipées (ADEME, 2020).[54]

Ainsi, ce mémoire conclut que la réussite d'un système d'éclairage public moderne, durable et adapté au contexte algérien repose sur un dimensionnement rigoureux, une technologie appropriée (comme le solaire), et une stratégie d'optimisation énergétique à long terme.

Références :

- [1] Abdelkarim TIFRIT, "EN ALGÉRIE, UNE TRANSITION ÉNERGÉTIQUE EST NÉCESSAIRE POUR L'ÉCLAIRAGE PUBLIC".
- [2] SDEC ENERGIE, "GUIDE DE L'ÉCLAIRAGE PUBLIC À L'USAGE DES AMÉNAGEURS," 2020.
- [3] Cerema, "Choisir une source d'éclairage en considérant l'impact de son spectre lumineux sur la biodiversité," Sep. 2020. [Online]. Available: <https://www.energie-environnement.ch>
- [4] ZUMTOBEL LIGHTING, "Chapitre 2 Valeurs indicatives pour l'éclairage intérieur et extérieur basées sur les nouvelles normes européennes Techniques et tables Gestion de l'éclairage et appareillages Technique d'éclairage," Jul. 2017.
- [5] ECLAIRAGE-PRO, "Comparaison de l'éclairage des LEDs par rapport aux technologies traditionnelles." Accessed: May 29, 2025. [Online]. Available: <https://www.eclairage-pro.fr/comparaison-des-eclairages-led-avec-les-lampes-et-appareils-traditionnels-pxl-89.html>
- [6] J. Y. Tsao, H. D. Saunders, J. R. Creighton, M. E. Coltrin, and J. A. Simmons, "Solid-state lighting: an energy-economics perspective," *J Phys D Appl Phys*, vol. 43, no. 35, p. 354001, Aug. 2010, doi: 10.1088/0022-3727/43/35/354001.
- [7] P. Boyce *et al.*, "Lighting Research & Technology," vol. 38, no. 3, pp. 191–223, 2006, Accessed: Mar. 09, 2025. [Online]. Available: <http://irc.nrc-cnrc.gc.ca>
- [8] P. I. ,Florina P. Spunei Elisabeta, "Optimizing Street Lighting Systems Design." Accessed: Mar. 09, 2025. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/269914536_Optimizing_Street_Lighting_Systems_Design
- [9] C. Nourddine yasaa, "ECLAIRAGE PUBLIC EN ALGERIE," 2021. [Online]. Available: www.cerefe.gov.dz
- [10] John Woods Graff Jr, "Development of high efficiency light emitting diodes for solid state lighting." Accessed: Mar. 09, 2025. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/241304440_Development_of_high_efficiency_light_emitting_diodes_for_solid_state_lighting
- [11] Steven AL GORE, "5 bonnes raisons de passer aux lumières et lampes LED." Accessed: May 29, 2025. [Online]. Available: https://www.acteurdurable.org/5-bonnes-raisons-de-passer-aux-led/#google_vignette
- [12] silamp LED lighting innovation, "Luminance : définition et rôle dans la perception visuelle – Silamp France." Accessed: Apr. 28, 2025. [Online]. Available: <https://www.silamp.fr/pages/luminance-definition-et-role-dans-la-perception-visuelle>
- [13] IBE-BIV, *code de bonne pratique eclairage public* . 2015. Accessed: Apr. 28, 2025. [Online]. Available: https://ibe-biv.be/wp-content/uploads/2020/09/IBE-BIV_Code_de_bonne_pratique_en_eclairage_public_FR_partie1.pdf
- [14] khemis med mehdi, "éclairage extérieure pv Saad Dahlab Blida," 2021.
- [15] "BMS : vents violents attendus dans plusieurs régions ce vendredi." Accessed: May 30, 2025. [Online]. Available: https://www.algerie360.com/bms-meteo-algerie-des-vents-violents-souffleront-dans-plusieurs-wilayas-ce-21-mars/?utm_source=chatgpt.com

- [16] E. Türkeli and D. Cokli, "The Effect of Wind Speed on Structural Along-Wind Response of a Lighting Pole According to TS498 and Eurocode 1," *Buildings*, vol. 15, no. 7, Apr. 2025, doi: 10.3390/BUILDINGS15071085.
- [17] N. R. A. J. et L. P. Ménad Chenaf, "Fondations." Accessed: Apr. 23, 2025. [Online]. Available: https://boutique.cstb.fr/detail/guides-et-livres/techniques-de-construction/structure-gros-oeuvre-platerie/fondations?utm_source=chatgpt.com
- [18] AFNOR EDITIONS, "Norme NF EN 40-4." Accessed: Apr. 23, 2025. [Online]. Available: https://www.boutique.afnor.org/fr-fr/norme/nf-en-404/candelabres-declairage-public-partie-4-prescriptions-pour-les-candelabres-d/fa137785/27140?utm_source=chatgpt.com#AreasStoreProductsSummaryView
- [19] HESS, "FONDATION POUR MÂT-REMARQUES GÉNÉRALES".
- [20] J. Y. R. Yen and H. K. Chien, "Steel plates rehabilitated RC beam-column joints subjected to vertical cyclic loads," *Constr Build Mater*, vol. 24, no. 3, pp. 332–339, Mar. 2010, doi: 10.1016/J.CONBUILDMAT.2009.08.029.
- [21] A. W. Saak, H. M. Jennings, and S. P. Shah, "The influence of wall slip on yield stress and viscoelastic measurements of cement paste," *Cem Concr Res*, vol. 31, no. 2, pp. 205–212, Feb. 2001, doi: 10.1016/S0008-8846(00)00440-3.
- [22] H. Wang, D. Wu, and Z. Mei, "Effect of fly ash and limestone powder on inhibiting alkali aggregate reaction of concrete," *Constr Build Mater*, vol. 210, pp. 620–626, Jun. 2019, doi: 10.1016/J.CONBUILDMAT.2019.03.219.
- [23] P. H. by John Wiley, "Helical piles: a practical guide to design and installation. Wiley," 2009. Accessed: Apr. 23, 2025. [Online]. Available: <https://istasazeh-co.com/wp-content/uploads/2022/10/Helical-piles-A-Practical-Guide-to-Design-and-Installation-part1.pdf>
- [24] O. de F. Neto, R. P. da Cunha, P. J. R. de Albuquerque, J. R. Garcia, and O. F. Dos Santos Júnior, "Experimental and numerical analyses of a deep foundation containing a single defective pile," *Latin American Journal of Solids and Structures*, vol. 17, no. 3, 2020, doi: 10.1590/1679-78255827.
- [25] B. DUVAL, "Éclairage urbain," *Le second oeuvre et l'équipement du bâtiment*, Nov. 2015, doi: 10.51257/A-V1-C3352.
- [26] Association française de l'éclairage afe, "La norme européenne NF EN 13201 en éclairage public La norme expérimentale AFNOR XP X90-013 Nuisances lumineuses extérieures – Méthodes de calcul et de contrôle ECLAIRAGE PUBLIC : DEUX NORMES DE PROGRES." 2016. Accessed: Jun. 02, 2025. [Online]. Available: http://www.afe-eclairage.com.fr/docs/2016/10/12/10-12-16-2-14-Libre_Point_de_vue_AFE_2_normes_de_progres_eclairage_public.pdf
- [27] P. A. J. Abdo and É. G. Ph. Gandon-Léger, "revêtements et lumière pour éclairer juste." Accessed: Jun. 02, 2025. [Online]. Available: https://www.specbea.com/wp-content/uploads/2017/09/PLAQUETTE_REVETEMENT_ET_LUMIERE-Pour_eclairer_juste.pdf
- [28] CEREFÉ, "Éclairage public: le CEREFÉ publie un référentiel national pour une lumière de qualité et écoénergétique." Accessed: Jun. 03, 2025. [Online]. Available: <https://www.aps.dz/economie/132698-eclairage-public-le-cerefe-publie-un-referentiel-national-pour-une-lumiere-de-qualite-et-ecoenergetique>
- [29] myshop-solaire, "Guide de montage - kit solaire autonome 12V - 55W - 85W - 140W." Accessed: Jun. 03, 2025. [Online]. Available: https://www.myshop-solaire.com/guide-de-montage-kit-solaire-autonome-12v-55w-85w-140w-r_79_a_23.html

- [30] Conseils Thermiques, "Panneaux solaires autonomes : Fonctionnement et prix - Conseils Thermiques." Accessed: Jun. 03, 2025. [Online]. Available: <https://conseils-thermiques.org/contenu/panneau-solaire-autonome.php>
- [31] solaris-store, "Comment fonctionne un kit solaire autonome ?" Accessed: Jun. 03, 2025. [Online]. Available: <https://www.solaris-store.com/content/115-comment-fonctionne-un-kit-solaire-autonome>
- [32] LUXMAN, "Guide de conception des lampadaires solaires à LED (édition 2025)." Accessed: Jun. 03, 2025. [Online]. Available: <https://luxmanlight.com/fr/guide-de-conception-de-lampadaires-solaires-a-led-edition-2025/>
- [33] venalsol, "Lampadaire solaire LED avec 200lm/W, efficacité d'éclairage leader sur le marché." Accessed: Jun. 03, 2025. [Online]. Available: <https://venalsol.com/fr/produits/eclairage-routier-a-led/lampadaire-solaire-led#>
- [34] NOMO, "Composition et principe de fonctionnement des lampadaires solaires - SOLAR NEWS - Actualités - Nomo Group Co., Limited." Accessed: Jun. 03, 2025. [Online]. Available: <http://fr.smartnewenergy.com/news/composition-and-working-principle-of-solar-str-40395906.html>
- [35] zgsm, "Lampadaire Solaire Tout En Deux | Fabricant et Usine | ZGSM." Accessed: Jun. 03, 2025. [Online]. Available: <https://fr.zgsm-china.com/led-products/series-pv6-all-in-two-solar-street-lights>
- [36] fonroche lighting, "Les composants du lampadaire solaire | Fonroche Lighting." Accessed: Jun. 03, 2025. [Online]. Available: <https://www.fonroche-lighting.com/fr/fra/les-composants>
- [37] maxime van der ham, "Éclairage solaire et éclairage conventionnel, étude comparative." Accessed: Jun. 03, 2025. [Online]. Available: <https://www.lightzoomlumiere.fr/article/eclairage-solaire-et-eclairage-conventionnel-etude-comparative/>
- [38] H. I. MAHDAD and M. AHADDAD, "Etude de fabrication d'un prototype d'éclairage solaire public," 2020, 2020, Accessed: Jun. 03, 2025. [Online]. Available: <https://di.univ-blida.dz/jspui/handle/123456789/10775>
- [39] fonroche-lighting, "L'éclairage public solaire : Une solution performante." Accessed: Jun. 03, 2025. [Online]. Available: <https://www.fonroche-lighting.com/fr/fra/leclairage-public-solaire>
- [40] connaissance des energies, "Solaire photovoltaïque : fonctionnement, panneau et centrale." Accessed: Jun. 03, 2025. [Online]. Available: <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/solaire-photovoltaique>
- [41] Taylor Gong, "Lampadaire Solaire Public | Split, AIO, AIT ou Hybride | ZGSM." Accessed: Jun. 03, 2025. [Online]. Available: <https://fr.zgsm-china.com/blog/which-is-the-best-solar-street-light-for-your-project.html>
- [42] Ikfaouine abdelhamid elmakhsous ahmed, "memoire : eclaireage publique solaire ," 2020.
- [43] solamaz, "Lampadaires solaires pour sites isolés - Solamaz - Eclairage solaires et énergie." Accessed: Jun. 04, 2025. [Online]. Available: <https://www.solamaz.fr/projet-declairage-solaire/lampadaires-solaires-pour-sites-isoles/>
- [44] zgsm-china, "Lampadaire Solaire Public | Split, AIO, AIT ou Hybride | ZGSM." Accessed: Jun. 04, 2025. [Online]. Available: <https://fr.zgsm-china.com/blog/which-is-the-best-solar-street-light-for-your-project.html>
- [45] luxman light, "Comment fonctionne le lampadaire solaire intelligent automatique IOT Lora Zigbee ?" Accessed: Jun. 04, 2025. [Online]. Available: <https://luxmanlight.com/fr/ville-intelligente-iot-lora-zigbee-lampadaires-solaires-intelligents-automatiques/>
- [46] luxman light, "Conception et calcul d'un système d'éclairage public solaire." Accessed: Jun. 04, 2025. [Online]. Available: <https://luxmanlight.com/fr/comment-concevoir-et-calculer-un-systeme-dalimentation-en-lampadaire-solaire/>

- [47] amoun yanis djabar mohamed, "Etude Pratique et Dimensionnement d'un Système d'Eclairage Public Photovoltaïque Autonome Cas d'étude : la nouvelle ville de bouinan." Accessed: Jun. 06, 2025. [Online]. Available: <https://di.univ-blida.dz/jspui/bitstream/123456789/16499/1/M%C3%A9moire.pdf>
- [48] geo, "Énergie solaire : quels avantages et quels inconvénients ? - Geo.fr." Accessed: Jun. 06, 2025. [Online]. Available: <https://www.geo.fr/environnement/energie-solaire-quels-avantages-et-quels-inconvenients-213775>
- [49] institut national de l'énergie solaire ines, "GUIDE PRATIQUE LAMPADAIRES SOLAIRES ." Accessed: Jun. 06, 2025. [Online]. Available: https://www.ines-solaire.org/site/assets/files/3725/guideisa_lampadaires-v-web.pdf
- [50] Teresa Sosinka and Chef Produits junior, "Éclairage solaire. Principaux avantages et inconvénients - Kanlux." Accessed: Jun. 06, 2025. [Online]. Available: <https://www.kanlux.com/fr/articles/clairage-solaire-Principaux-avantages-et-inconv-nients>
- [51] pbox, "Pourquoi Utiliser Des Lampadaires Solaire : Avantages Et Inconvénients ?" Accessed: Jun. 06, 2025. [Online]. Available: <https://www.pboxlighting.com/fr/lampadaire-solaire-avantages-et-inconvenients/>
- [52] I. SUDAS Corporation, "Chapter 11-Street Lighting 11A General Information," 2020.
- [53] SYNDICAT DE L'ECLAIRAGE, "Rénover l'éclairage des bâtiments tertiaires." Accessed: Jun. 20, 2025. [Online]. Available: <https://librairie.ademe.fr/batiment/206-renover-l-eclairage-des-batiments-tertiaires-9791029715532.html>