

**ET-E1 : AUDIT ENERGETIQUE DU RESEAU D'ECLAIRAGE
PUBLIC ET PLAN DIRECTEUR D'AMENAGMENT LUMIERE DE
LA VILLE DE SOUSSE**

RAPPORT AUDIT



Table des matières

SOMMAIRE	Erreur ! Signet non défini.
1- Situation Energétique du REP de la ville de Sousse:	9
1-1 – Evolution de la consommation courant les années d’audit	9
1-2 – Principaux caractéristiques	10
1-3 – Principaux indicateurs	10
1-4 – Tendances	11
1-5 – Plan d’action	11
I-1 PREAMBULE	14
I-2 NORMES	15
I-3 CADRE JURIDIQUE	15
I-4 PERIMETRE D'INTERVENTION	16
I-5 COLLECTE DE DONNEES « Audit préliminaire LOT 1 »	16
I-6 CONTENU DE L’AUDIT APPROFONDI	17
I-7 DEMARRAGE DE LA MISSION	17
II- RECENSEMENT	19
II-1 : Contenu de la mission de recensement	19
II-2 : Périmètre du recensement	19
II-3 : Méthodologie	20
II-3-1 : Plateforme et outils de recensement :	20
Formulaires de saisie	20
Formulaire saisie Armoires	21
Formulaire saisie points lumineux et foyers	21
II-3-2 : Nomenclature :	22
Identification de l'armoire	22
Identification du départ	22
Identification du point lumineux	22
Identification du foyer	22
Identification globale	23
II-3-3 Collecte de données	23
III - Campagne de Mesures	27
III-1- Mesures électriques	27

III-1-1 : Mesures sur l'armoire	27
III-1-2 : Mesures sur les foyers	28
III-2- Mesures photométriques	29
III-2-1 : Classification photométrique	29
III-2-2 : Mesures d'éclairément	35
III-2-2 : Définition de l'échantillon	35
III-2-2-1 : Voie de classe A « Avenue de l'environnement Sousse Sud»	35
III-2-2-2 : Voie de classe B « Avenue Hedi Nuira Sousse Sud »	37
III-2-2-3 : Voie de classe C « Rue Souheil Ibn Omar à citée Erriadh »	38
III-2-2-4 : Voie de classe D « Avenue Yesser Arafet - Sahloul »	39
III-2-2-4 : Voie de classe E « Rue Remada Bab Bhar»	39
III-2-2-5 : Voie de classe F « giratoire Clinique Essalem»	40
III-3- Conclusion	41
II-3-1 Données générales	43
II-3-2 Les Armoires	44
II-3-2-1 Sécurité électrique	44
Existence du dispositif de protection	44
Protection des armoires par mise à la terre	45
II-3-2-2 Caractéristiques générales	45
Réparation des armoires en fonction des techniques de fixation	45
Etat général des armoires	46
Système de commande	47
Variateurs régulateurs de tension	47
II-3-3 Les Départs	48
II-3-3-1 Caractéristiques générales	48
II-3-3-2 Etude suivant la disposition	48
II-3-3-2 Eude de de l'homogénéité	52
II-3-3-3 Nature du réseau (souterrain / aérien)	54
II-3-3-5 Equilibre des phases	55
II-3-5 Les points lumineux	56
Usage des points lumineux / supports	56
Matériaux des supports	56

Fixation.....	57
Répartition des supports en fonction des usages.....	57
Etat suivant mise à la terre	58
Répartition suivant nombre de foyers	58
Etat des supports	58
Répartition en fonction des hauteurs	59
II-3-6 Les foyers	60
Répartition par type de lampes	60
Répartition des puissances installées par type de lampes.....	60
Répartition des puissances HPL par arrondissement.....	61
Répartition en fonction des puissances des lampes.....	61
Répartition en fonction de l'état du luminaire.....	62
III - Données financières.....	64
III-1 : Facturation d'électricité	64
III-2 : charges d'exploitation	66
III-2-1 Capacités Humaines et Matériel	66
III-2-2 Gestion de la maintenance :.....	67
IV- Etude technique	69
IV-1 Objectifs de l'analyse.....	69
IV-2 Conception de l'éclairage	69
IV-3 Liste des armoires	70
IV-3-1 Pénétrante urbaine.....	70
IV-3-1-1 Exemple 1- Armoire 35	72
IV-3-1-2 Exemple 2- Armoire 28	75
IV-3-2 Voie urbaine importante	77
IV-3-2-1 Exemple 1 - Armoire 31	78
IV-3-2-2 Exemple 2 -Armoire 32	81
IV-3-2-3 Exemple 3 -Armoire 39	83
IV-3-2-4 Cas 4 Armoire 162	84
IV-3-2-5 Cas 5- Armoire 143.....	86
IV-3-2-6 Cas 6 - Armoire 205.....	87
IV-3-3 Voie urbaine secondaire (rue).....	89

IV-3-3-1 Classification de la voie et exigences associées	89
IV-3-3-1 Cas 1 - Armoire 42	90
IV-3-3-2 Cas 2 Armoire 101	91
IV-3-3-3 Cas 3 Armoire 105	93
IV-3-3-4 Cas 4 Armoire 204	94
IV-3-3-5 Cas 5 Armoire 216	96
V- 1- Analyse des caractéristiques dimensionnelles	99
V-1-a : caractéristiques et indicateurs globaux (5 arrondissements).....	99
V-1-b Arrondissement Khezama	102
V-1-b-1 Caractéristiques et indicateurs de puissance	102
V-1-c Arrondissement Jawhara	103
V-1-d Arrondissement Erriadh.....	104
d-1 Caractéristiques et indicateurs de puissance	104
V-1-e Arrondissement Sidi Abdelhamid	105
e-1 Caractéristiques et indicateurs de puissance	105
V-1-f Arrondissement Medina.....	106
f-1 Caractéristiques et indicateurs de puissance	106
V-1-e – Caractéristiques et indicateurs de puissance totales de la ville	107
V- 2- Analyse des performances énergétiques	108
V-2-1 Power Density Indicator (PDI) ou (Di)	108
V-2-2 Annual Energy consumption Indicator (De)	108
V-2-1-1 Cas de l'arrondissement KHEZAMA.....	109
V-2-1-2 Cas de l'arrondissement Jawhara	110
V-2-1-3 Cas de l'arrondissement Erriadh	111
V-2-1-4 Cas de l'arrondissement Sidi Abdelhamid	112
V-2-1-5 Cas de l'arrondissement Médina	113
V-2-1-6 Application à la ville de Sousse	114
V-3 Analyse Environnementale	115
V-3-1 Part des énergies renouvelables dans l'alimentation électrique du réseau.	115
V-3-2 Part des lampes sans mercure dans le réseau	115
V-3-3 Gaz à effet de serre.....	115
VI-1-Mise en conformité des Armoires de commandes	117

VI-1-1 - Description	117
VI-1-2 – Economie.....	117
VI-1-3 – Investissement.....	117
VI-1-4 – Subvention de l'état	118
VI-1-5 – Rentabilité économique.....	118
VI-1-6 – Planning de réalisation	118
VI-2- Relamping au LED.....	119
VI-2-1 - Description	119
VI-2-2 – Economie.....	119
VI-2-3 – Investissement.....	119
VI-2-4 – Subvention de l'état	120
VI-2-5 – Rentabilité économique.....	120
VI-2-6 – Planning de réalisation	120
VI-3- Modulation de puissance (dimmage).....	121
VI-3-1 – Description.....	121
VI-3-2 – Economie.....	121
VI-3-3 – Investissement.....	121
VI-3-4 – Subvention de l'état	121
VI-3-5 – Rentabilité économique.....	121
VI-3-6 – Planning de réalisation	121
VI-4- Commande par point sur les voies de la Médina	122
VI-4-1 – Description.....	122
VI-4-2 – Economie.....	122
VI-4-3 – Investissement.....	122
VI-4-4 – Subvention de l'état	122
VI-4-5 – Rentabilité économique.....	122
VI-4-6 – Planning de réalisation	123
VI-5- Assistance technique et accompagnement	124
VI-5-1 – Description.....	124
VI-5-2 – Economie.....	124
VI-5-3 – Investissement.....	124
VI-5-4 – Subvention de l'état	124

VI-5-5 – Rentabilité économique.....	124
VI-5-6 – Planning de réalisation	125
VI-6- Renforcement des capacités de l'équipe de maintenance.....	126
VI-6-1 – Description.....	126
VI-6-2 – Economie.....	126
VI-6-3 – Investissement.....	126
VI-6-4 – Subvention de l'état.....	126
VI-6-5 – Rentabilité économique.....	126
VI-6-6 – Planning de réalisation	127
V-7 Tableau récapitulatif	128
VII- SDAL.....	126
ANNEXES.....	170

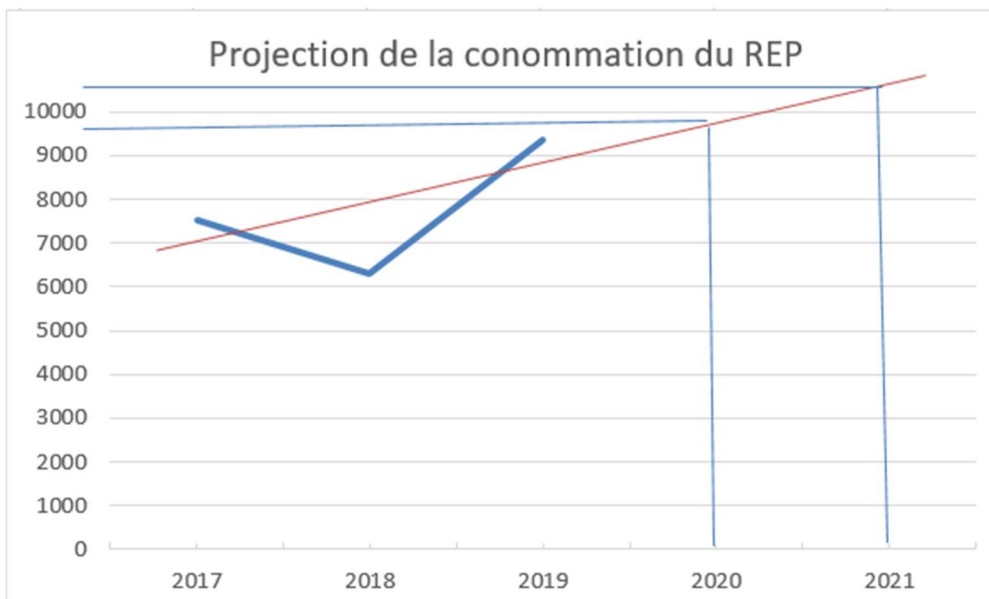
RESUME DE L'AUDIT

1- Situation Energétique du REP de la ville de Sousse:

1-1 – Evolution de la consommation courant les années d’audit

La consommation énergétique évolue depuis 2017 à un taux de 6% annuel. Elle a passé de 7.5 million de KWh à 9.36 millions de KWh en 2019 (réels). La tendance vers la hausse d’une année à l’autre se voit aussi au niveau des coûts annuels de la consommation qui ont passé de 2 millions de dinars en 2017 à 3 millions en 2019 et atteindront les 4 millions en 2021.

désignation	Unité	2017	2018	2019	calculé 2020	projeté 2021	Moyenne (sur 5 années)
Données énergétiques	KWh	7511356	6295419	9369166	9600000	10500000	8655188,2
	Tep	2126	1782	2651	2717	2972	2449
	DT	2120049,93	1828406,45	3049789,04	3360000	3675000	3029315,87
	TeCO2	4783	4009	5966	6113	6686	5511



La commune dépense environ 800 milles dinars pour l’entretien du réseau d’éclairage public. Les dépenses totales pour 2019 sont de 3.9 millions de DT ce qui représente **19.5%** de son budget de fonctionnement et presque **8%** de son budget total.

La consommation énergétique va passer de 2100 Tep en 2017 à 4000 Tep environ en 2021, ce qui correspond à une augmentation de presque 50% en cinq années.

Le dégagement des Gaz à effet de serre va évoluer dans les mêmes proportions et vont devenir 6700 TeCO2 en 2021 à la place des 4800 TeCO2 enregistrées en 2017.

Le réseau d’éclairage s’étend sur **491Km**. Il éclaire une surface totale de **682.5 Ha** qui représente environ **15%** de la surface totale de la ville. La puissance totale installée du réseau est de **2839 KW** pour un nombre de luminaires de **15690**. Le nombre d’habitants de la ville recensé en 2020 été de **242500** habitants.

1-2 – Principaux caractéristiques

Ci-dessous les principales caractéristiques de l'ensemble du réseau d'éclairage public de la ville de Sousse :

Désignation	Valeur	Unité
Puissance totale installée	2839	KW
Nombre d'armoires	221	Unités
Nombre de départs	547	Unités
Nombre de points lumineux	16836	unités
Nombre de foyers	15690	Unités
Voies éclairées / Longueur voirie	491 / 670	
Taux de couverture du réseau	73	%
Coût moyen annuel	3700	Mille DT
Puissance par foyer	181	W/foyer
Puissance par Km	5.78	KW/Km
Puissance par habitant	11.7	w/habitant

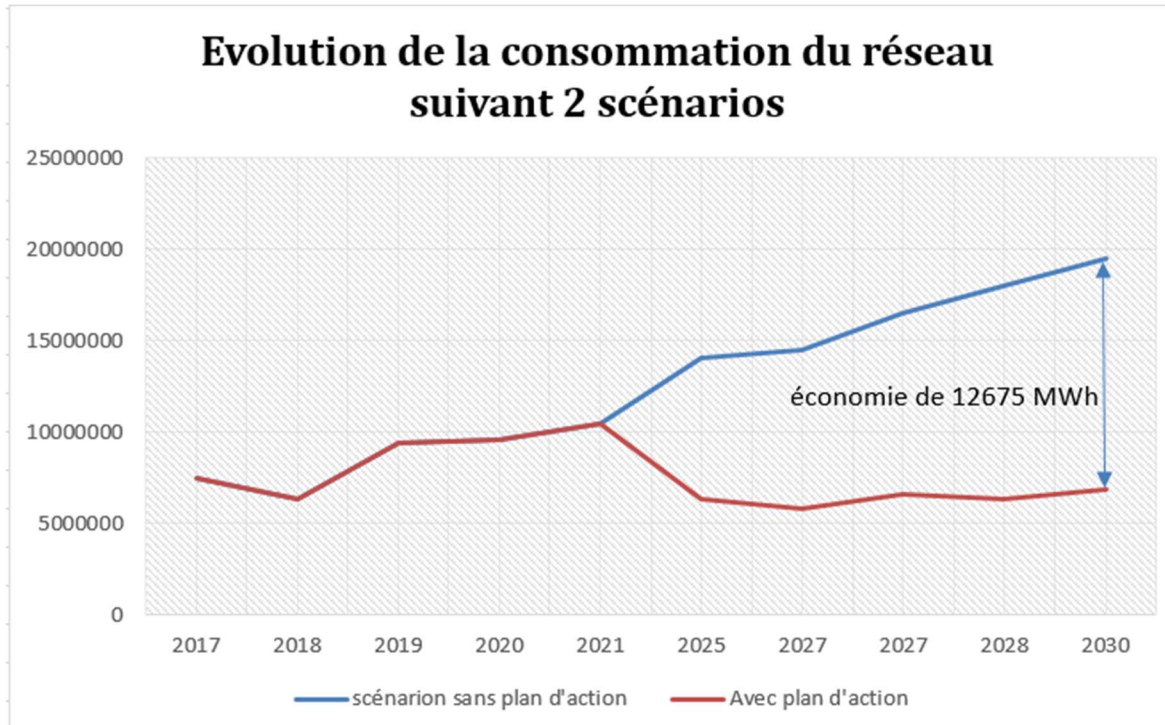
1-3 – Principaux indicateurs

Les ratios sont calculés en se basant sur l'années 2019 ou tous les données nécessaires sont disponibles.

	Indicateurs	valeur	Unité
Indicateurs énergétiques	Consommation par foyer	597	KWh/foyer
	Consommation par habitant	38.6	KWh/habitant
	Consommation par m ² éclairé	1.75 à 2.3	KWh/m ² (3600 heures)
	Consommation par km éclairé	19081	KWh/km
	Classe énergétique	C, D	
Indicateurs financiers	Coût par foyer (y compris maintenance)	248.5	DT/foyer
	Coût par habitant	16	DT/habitant
	Coût par m ² éclairé	0.57	DT/m ²
	Coût par Km éclairé	7942	DT/km
Indicateurs environnementa	Pourcentage des lampes HPL	8	%
	Dégagement annuel de CO ₂	4500	TeCO ₂
	Part des énergies renouvelables	0	%

1-4 – Tendances

Le graphique ci-dessous montre l'importance de la mise en œuvre du plan d'action d'économie d'énergie basé principalement sur le Relamping au LED. Le point de décrochage commence à partir de 2022 et continue jusqu'à 2030 où il atteint un écart entre le scénario passif et le scénario volontariste de **12.6 MWh** correspondant à un écart de dépenses de **5 millions de dinars économisés** par an.



1-5 – Plan d'action

Le plan d'action se compose principalement de 6 projets comme indiqué au tableau ci-dessous :

.Projet N°	Description du projet	Economies annuelles escomptées			investissement		Subvention FTE		TRI (An/Mois)		Planning
		Energie		Argent (TND HT)	(TND HT)		M.O.		Brute	Net	
		kWhe	TEP		Matériel	Immatériel	Matériel	Immatériel			
1	Mise en conformité des armoires de commande	190000	54	47500	168250	45000	50475	30000	4,6	2,8	2022-2025
2	Relamping au LED	3900000	1100	1495000	7738500	120000	1547700	30000	5,25	4,2	2022-2025
3	Modulation de puissance	905200	256	230000	170400	0	34080	0	0,74	0,6	2022-2025
4	commande par point sur les voies de la Médina	234500	66	159500	800000	50000	16000	30000	5,32	4,1	2022-2025
5	Assistance technique et accompagnement	470000	133	120000	0	170000	0	30000	1,4	1,16	2022-2025
6	renforcement des capacités de l'équipe de maintenance	0	0	110000	188000	50000	37600	30000	2,16	1,55	2022-2025
LA COMBINAISON DE TOUS LES PROJETS		5699700	1609	2162000	9065150	435000	1685855	150000	3,2	2,4	2022-2025
Prime à l'audit		Prime à l'investissement matériel		Total des primes							
(TND HT)		(TND HT)		(TND HT)							
0		1835855		1835855							

Le plan d'action sera mis en œuvre pendant la période de **2022 à 2025** et nécessitera un investissement de 9 millions cinq cent mille dinars (**9500 milles dinars**). La subvention récupérable sur le Fond de Transition énergétique promu par l'ANME est de 1 million huit cent mille dinars environ (**1800 mille dinars**).

INTRODUCTION

I-1 PREAMBULE

Depuis l'indépendance la consommation d'énergie en Tunisie a gardé une tendance haussière. Elle était soutenue par un développement accru du tissu démographique, urbain et industriel.

D'un état excédentaire la balance énergétique commence depuis l'année 2000 à enregistrer un déficit qui ne cesse de croître pour frôler 1.5 milliard de dinars en 2017.

Les communes gèrent un patrimoine considérable. La mise en place d'une politique de gestion durable de l'énergie permet une meilleure gestion des ressources et un environnement sain pour les citoyens.

L'éclairage public fait partie du patrimoine de la ville de Sousse. Il consomme environ 7% du budget global de la commune et représente 10 % de sa facture énergétique. Un grand effort est à mettre en œuvre pour atteindre un éclairage fonctionnel et performant tant sur le plan photométrique et énergétique que sur le plan des dépenses financières liées à la gestion du réseau. L'audit énergétique constitue l'instrument de base pour l'élaboration d'un plan d'action d'économie d'énergie pour un meilleur éclairage moins coûteux.

Les présents Termes de Référence servant de base à l'audit envisagé sur la totalité du réseau d'éclairage public, s'inscrivent dans le cadre du programme de développement urbain intégré de la ville de Sousse (PDUI), soutenu par le Secrétariat d'État à l'Économie Suisse (SECO). Plus précisément, l'action s'inscrit dans la **composante « gestion durable des énergies »** qui cherche à diminuer la consommation énergétique de la Municipalité et de son territoire, tout en favorisant le recours aux sources d'énergie renouvelable (SER).

L'audit du réseau d'éclairage public ainsi que les actions qui en découleront s'inscrivent également dans l'engagement de la Ville de Sousse pour la transition énergétique et ce, à travers son adhésion au programme ACTE (Alliance des Communes pour la Transition Énergétique) de l'ANME (Agence Nationale de la Maîtrise de l'Énergie) et l'adoption de l'approche ACTE-MEA, basée sur « l'European Energy Award ». Par son adhésion à la démarche-qualité ACTE-MEA, la commune de Sousse s'engage dans un processus continu d'amélioration de sa politique énergétique, en faveur de la maîtrise de l'énergie, d'une gestion durable des ressources naturelles et du recours aux SER ; une fois atteint un certain seuil de performance, elle est éligible à la certification ACTE-MEA octroyé par l'ANME.

I-2 NORMES

En l'absence de normes tunisiennes actualisées, nous citons les normes européennes.

- ✓ Normes européennes NF EN 13201 relatives à l'éclairagisme (propose des performances minimales à maintenir selon le type d'usagers, les types de voies selon les limitations de vitesse, chaussées, espacements, contraintes et le niveau lumineux ambiant) ;
- ✓ Normes européennes NF EN 60598 relatives aux luminaires (exigences pour le fonctionnement selon les tensions) ;
- ✓ Normes européennes NF EN 40 relatives aux candélabres (supports d'éclairage public) ;
- ✓ Normes françaises NF C 15-100, NF C 17-200, NF EN 61140, NF EN 60529, NF EN 62262 relatives à l'installation ;
- ✓ Normes françaises NF XP X 90-013 relatives aux nuisances lumineuses.

I-3 CADRE JURIDIQUE

- ✓ Convention cadre ANME / DGCL
- ✓ La loi N° 2009-7 du 9 février 2009, modifiant et complétant la loi n° 2004-72 du 2 août 2004 relative à la maîtrise de l'énergie.
- ✓ La loi N° 2004-72 du 2 août 2004 relative à la maîtrise de l'énergie (Article n°5).
- ✓ Le décret N° 2009-2269 du 31 juillet 2009 modifiant le décret N° 2004-2144 du 2 septembre 2009, fixant les conditions d'assujettissement des établissements consommateurs d'énergie à l'Audit Energétique obligatoire et périodique, le contenu et la périodicité de l'Audit et les catégories de projets consommateurs d'énergie assujettis à la consultation obligatoire préalable, les modalités de sa réalisation ainsi que les conditions d'exercice de l'activité des experts-auditeurs.
- ✓ Le décret N° 2004-2144 du 2 septembre 2004, fixant les conditions d'assujettissement des établissements consommateurs d'énergie à l'Audit Energétique obligatoire et périodique, le contenu et la périodicité de l'Audit et les catégories de projets consommateurs d'énergie assujettis à la consultation obligatoire préalable, les modalités de sa réalisation ainsi que les conditions d'exercice de l'activité des experts-auditeurs.
- ✓ La loi n° 2005-82 du 15 Août 2005 relative à la création d'un système de maîtrise de l'énergie.
- ✓ La loi 2005-106 du 19 Décembre 2005 portant loi des finances pour l'année 2005 (article n°12 : Création du fonds national de maîtrise de l'énergie).
- ✓ Décret n°2009-362 du 9 février 2009 modifiant le décret n° 2005-2234 du 22 août 2005, fixant les taux et les montants des primes relatives aux actions concernées par le régime de maîtrise de l'énergie ainsi que les conditions et les modalités de leurs octrois.
- ✓ Décret n°2005-2234 du 22 août 2005 fixant les taux et les montants des primes relatives aux actions concernées par le régime de maîtrise de l'énergie ainsi que les conditions et les modalités de leurs octrois.
- ✓ L'arrêté du ministre de l'industrie, de l'énergie et des petites et moyennes entreprises du 11 juin 2007, portant approbation du cahier des charges relatif à l'audit énergétique sur plan dans les secteurs résidentiel et tertiaire.

I-4 PERIMETRE D'INTERVENTION

L'audit portera sur 100% du réseau d'éclairage évalué à 18000 points lumineux environ, réparties sur 221 armoires électriques. L'audit couvrira :

- L'éclairage fonctionnel (voieries, voies piétonnes, Parcs ...)
- L'éclairage esthétique, notamment des monuments.

D'une façon générale, l'intervention concernera les domaines publics dont l'éclairage extérieur est géré par la commune (lotissements, zone industrielle, copropriétés etc.).

I-5 COLLECTE DE DONNEES « Audit préliminaire LOT 1 »

Cette activité préliminaire intitulée « LOT 1 » a été réalisée par un groupement de prestataires composé d'un bureau de géomatique spécialisé dans traitement spatial et la cartographie des données, associé à un autre bureau spécialisé dans le génie électrique. Les tâches réalisées par ce groupement s'établissent comme suit :

- Inventaire technique (lampes, supports, réseau et armoires, systèmes de contrôle / commande)
- État des lieux organisationnel (procédures en place, mode de maintenance, gestion des déchets)
- État des lieux financier (contrat de fourniture d'électricité, travaux/maintenance, factures énergétiques, coût global d'exploitation)
- Production des plans relatifs aux installations intégrant la numérotation globale des équipements dans un format fonctionnel et intégré, exploitable par le SIG développé par la Commune avec l'appui du PDUI de Sousse.
- Proposition d'une classification des voies en fonction de leur typologie, usage et conformément à la norme EN 13-201.
- Relève de mesures physiques permettant d'apprécier la qualité et l'efficacité des installations basées sur un échantillon représentatif.
- La restitution organisée de l'ensemble des données intégrant la numérotation globale (conforme à la nomenclature recommandée par l'ANME) et réunies sous forme de tableaux directement exploitables dans le TBGE et le SIG de la Commune.
- La restitution de l'ensemble des documents sous format numérique librement utilisable par la Commune.

NB : C'est l'ensemble de données collectées dans le LOT 1 qui a servi par la suite à l'établissement du rapport d'audit approfondi avec l'ensemble des analyses nécessaires et la proposition d'un plan d'action adéquat.

I-6 CONTENU DE L'AUDIT APPROFONDI

Les activités énumérées ci-dessous seront réalisées dans le cadre de la présente étude :

- **Étude** technique, énergétique, photométrique et financière **argumentée, prenant en compte les performances énergétiques et environnementales relatives aux installations existantes, et de la gestion actuelle du réseau, basée sur l'analyse comparative des indicateurs techniques pertinents** (ex. détermination de la performance énergétique de l'éclairage selon la norme internationale, préconisations intégrant les degrés d'urgence et les possibilités d'améliorations des performances énergétiques et environnementales (Mercure, CO², nuisances...)).
- **Plan d'action** chiffré en termes de coût global des préconisations et estimation du retour sur investissement (au regard des dépenses actuelles et des économies de fonctionnement escomptées).
- **Un schéma directeur** pour un plan lumière de la ville.
- **Formation** de l'équipe technique de la commune et **formation appliquée à destination des auditeurs agréés** en charge de l'éclairage public, proposés par l'ANME.

I-7 DEMARRAGE DE LA MISSION

Au démarrage de la mission, la commune a mis à disposition de l'auditeur, l'ensemble des données collectées lors d'une prestation antérieure qui a démarré en mars 2020 ayant pour but la collecte de l'ensemble de données nécessaires à l'accomplissement de l'audit. Il est important de signaler qu'au moment de démarrage de l'audit approfondi la collecte de données a été accomplie à un taux de 35%.

Le bureau d'expert a organisé le 8 décembre, une réunion de lancement en coordination avec les responsables de la commune. Lors de cette réunion :

- L'objectif de la mission et les résultats attendus ;
- Discussion et signature d'un protocole de coordination et collaboration entre bureau d'études et service technique communal, pour le bon déroulement de la mission (appui logistique et l'assistance demandée au service technique de la commune) ;
- Discussion des données collectés (en présence du bureau local ayant effectué la mission de collecte des données (LOT 1) ;
- Le planning de mise en œuvre des études ;
- Le chronogramme prévisionnel d'intervention des intervenants ;
- La liste d'informations à compléter par la commune (si nécessaire) ;
- Définition des modalités d'intervention du comité de suivi (rôle et fréquence de ses réunions) ;
- Visite d'un échantillon représentatif du réseau (à déterminer avec le service technique).

II- RECENSEMENT (INVENTAIRE DU RÉSEAU)

II- RECENSEMENT

II-1 : Contenu de la mission de recensement

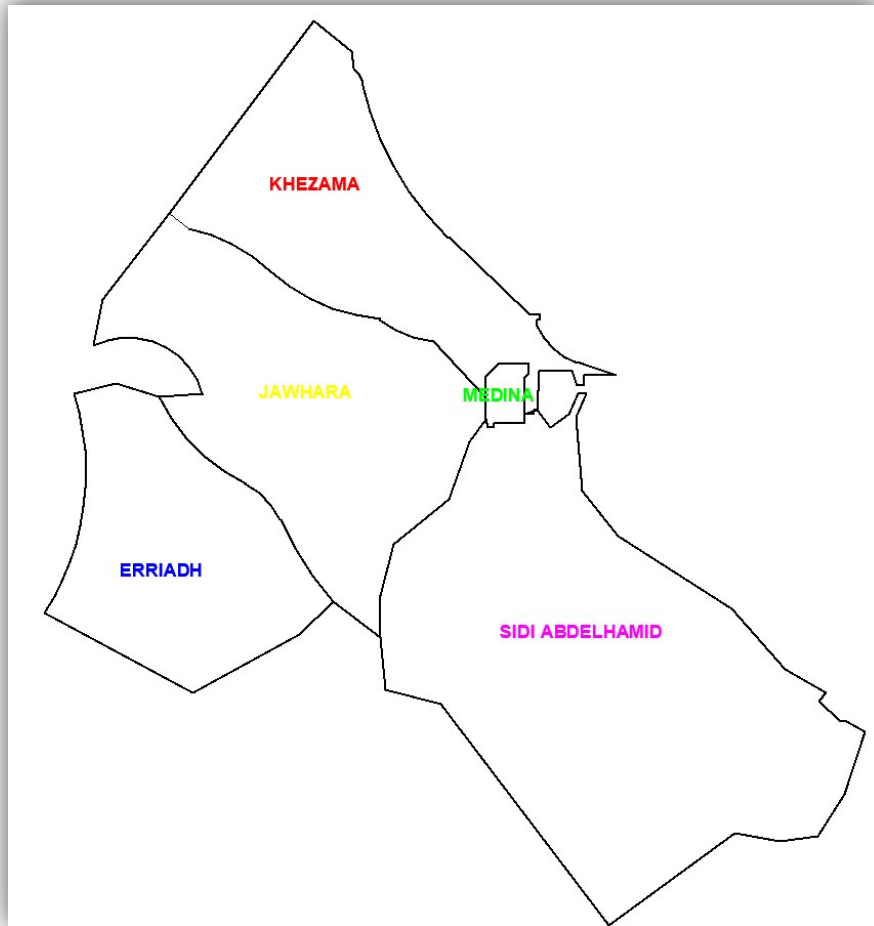
Le groupement de prestataires sélectionné pour l'exécution du « LOT1 : recensement » a pu à travers son mandat mettre à la disposition de la commune les éléments cités ci-dessous :

- Inventaire technique (lampes, supports, réseau et armoires, systèmes de contrôle / commande)
- État des lieux organisationnel (procédures en place, mode de maintenance, gestion des déchets)
- État des lieux financier (contrat de fourniture d'électricité, travaux/maintenance, factures énergétiques, coût global d'exploitation)
- Production des plans relatifs aux installations intégrant la numérotation globale des équipements dans un format fonctionnel et intégré, exploitable par le SIG développé par la Commune avec l'appui du PDUI de Sousse.
- Proposition d'une classification des voies en fonction de leur typologie, usage et conformément à la norme EN 13-201.
- Relève de mesures physiques permettant d'apprécier la qualité et l'efficacité des installations basées sur un échantillon représentatif.
- La restitution organisée de l'ensemble des données intégrant la numérotation globale (conforme à la nomenclature recommandée par l'ANME) et réunies sous forme de tableaux directement exploitables dans le TBGE et le SIG de la Commune.
- La restitution de l'ensemble des documents sous format numérique librement utilisable par la Commune.
- Formation de l'équipe municipale à la manipulation de la base de données SIG. Ils doivent avoir les compétences nécessaires pour rajouter supprimer et mettre à jour l'ensemble des données existantes ou insérer des nouvelles données relatives à un nouveau réseau.

II-2 : Périmètre du recensement

Le recensement et la collecte des données concernent tout le réseau d'éclairage public du périmètre communal de la ville de Sousse du réseau (cinq Arrondissements). La commune de Sousse se subdivise en cinq arrondissements ayant les caractéristiques comme indiqué au tableau ci-dessous :

Arrondissements	Codage	Superficie (Ha)	Nombre d'habitants 2014	Nombre d'habitants 2020	Longueur des rues (km)	Longueur éclairée (km)
Sousse Medina	11	32	4 107	4 633	17	14
Sousse Sidi Abdelhamid	14	1 150	54 595	60 454	183	116
Sousse Khezama	12	801	42 743	51 297	159	118
Sousse Jawhara	15	1 062	55 338	69 588	220	158
Sousse Erriadh	13	750	45 137	56 525	96	85
		4500	201 920	242 497	675	491



Arrondissements de la ville de Sousse

II-3 : Méthodologie

II-3-1 : Plateforme et outils de recensement :

Le recensement est basé sur l'outil **ARCGis online** qui permet un géo-référencement en couches type points pour les armoires, points lumineux, foyers et de type linéaire pour les départs. A chaque point ou ligne correspond une table de données correspondants aux données exigées (voir tableaux ...en annexes). L'équipe de recensement dispose de tablettes professionnelles permettant de localiser et renseigner les tables à l'aide de l'outil **Survey123**.

Formulaire de saisie

Des formulaires de saisie sont conçus à l'aide de l'outil Survey123 de ARCGi sonline. Un formulaire contenant toutes les données figurant dans les tableaux est programmé. Pour faciliter la saisie l'outil permet de concevoir des listes déroulantes et check_boxes. Ci-dessous sont représentés les formulaires avec les caractéristiques introduites.

Formulaire saisie Armoires

Collecter ▾ Options ▾ Enreg ▶

1 ARMOIRE ■ OK Annul

ID_ARMOIRE:

NBRE_DEPARTS:

ADRESSE:

SECURITE_ELECTRIQUE:

TYPE_SECURITE:

REGIME_TERRE:

SYSTEME_COMMANDE:

HEURE_FONCTIONNEMENT:

NUMERO_COMPTEUR:

FOURNISSEUR:

REFERENCE_COMPTEUR:

GESTION:

ETAT_ARMOIRE:

MES_ARMOIRE:

FIXATION:

TARIF:

Formulaire saisie points lumineux et foyers

Collecter ▾ Options ▾ Enreg ▶

1 ARMOIRE ■ OK Annul

ID_ARMOIRE:

NBRE_DEPARTS:

ADRESSE:

SECURITE_ELECTRIQUE:

TYPE_SECURITE:

REGIME_TERRE:

SYSTEME_COMMANDE:

HEURE_FONCTIONNEMENT:

NUMERO_COMPTEUR:

FOURNISSEUR:

REFERENCE_COMPTEUR:

GESTION:

ETAT_ARMOIRE:

MES_ARMOIRE:

FIXATION:

TARIF:

II-3-2 : Nomenclature :

Pour les opérations de maintenance préventive et curative et suivi de l'état de différentes composantes du réseau d'éclairage il est primordial de les codifier. Cette codification définit l'identité des armoires, des départs, des points lumineux et des foyers. Ceci permettra le traitement des informations et des opérations relatives au réseau. Le traitement peut être manuel à travers la tenue de registres ou informatique à travers des logiciels type tableau de bord, GTC, GMAO, SIG ou autre. Tous les composants recensés sont codifiés au préalable pour faciliter le traitement informatique des données notamment le tableau de bord de gestion de l'énergie « TBGE ». Cette codification suit la méthodologie préconisée par l'ANME dans le cadre du projet ACTE.

Identification de l'armoire

Chaque armoire est identifiée par quatre caractères (AXXX) A pour armoire et trois chiffres pour le numéro de l'armoire." A001 " désigne l'armoire numéro 1. Pour chaque armoire on identifiera sa puissance, les départs et leurs calibres, nombre de points lumineux et foyers etc.

Identification du départ

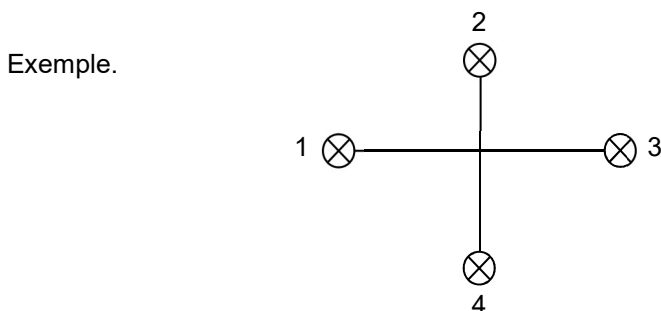
Les départs appartiennent à une armoire, on commence donc par l'identité de l'armoire suivi du code du départ composé par 1 caractère (DX). D pour départ et un caractère pour le numéro. Par exemple "A002D4" désigne le départ numéro 4 de l'armoire numéro 2. On enregistrera essentiellement le nombre de départs, leurs calibres, nombre de foyers, section des câbles, chute de tension en bout de ligne etc.

Identification du point lumineux

Le point lumineux appartient à un départ sortant d'une armoire représentée par la lettre P et deux autres caractères qui indiquent son rang sur la ligne d'alimentation (PXX). Par exemple P25 désigne le point lumineux numéro 25 à partir du départ.

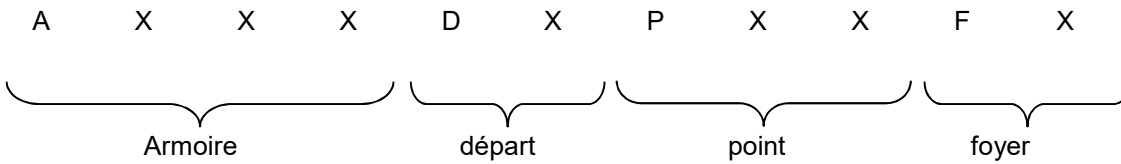
Identification du foyer

Un point lumineux peut contenir 1 ou plusieurs foyers. Ces foyers seront représentés par 2 caractères, F pour foyer et un caractère pour le rang (FX). Pour la numérotation on se réfère à la vue de dessus. On donne le numéro 1 au foyer à l'extrême gauche en se plaçant du côté du trottoir. On continue la numérotation en suivant le sens de l'aiguille d'une montre.



Identification globale

Le foyer est identifié complètement par 11 caractères



Exemple : A001D5P25F2

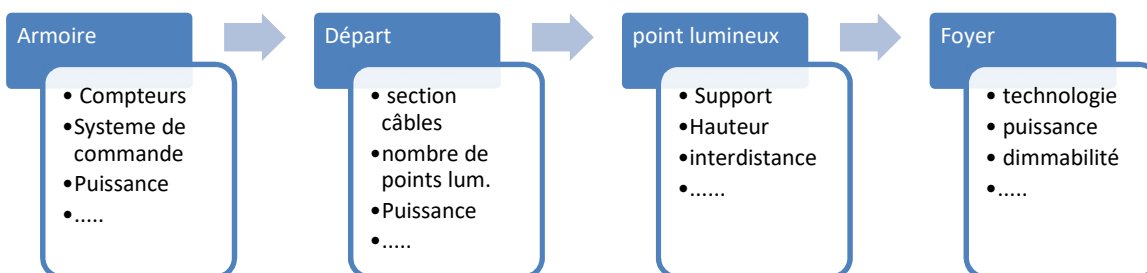
Pour permettre la gestion indépendante au niveau de chaque arrondissement il a été convenu avec le service technique de la commune de leur réserver une plage de numérotation appropriée.

Arrondissements	Plage de codification
Aousse Medina	A400-A499
Sousse Sidi abdelhamid	A300-A399
Sousse Khezema	A001-A099
Sousse Jawhara	A100-A199
Sousse Erriadh	A200-A299

Cette codification permet en cas de besoin de faire les requêtes nécessaires pour sortir les caractéristiques et les indicateurs d'un arrondissement et de le comparer à un autre.

II-3-3 Collecte de données

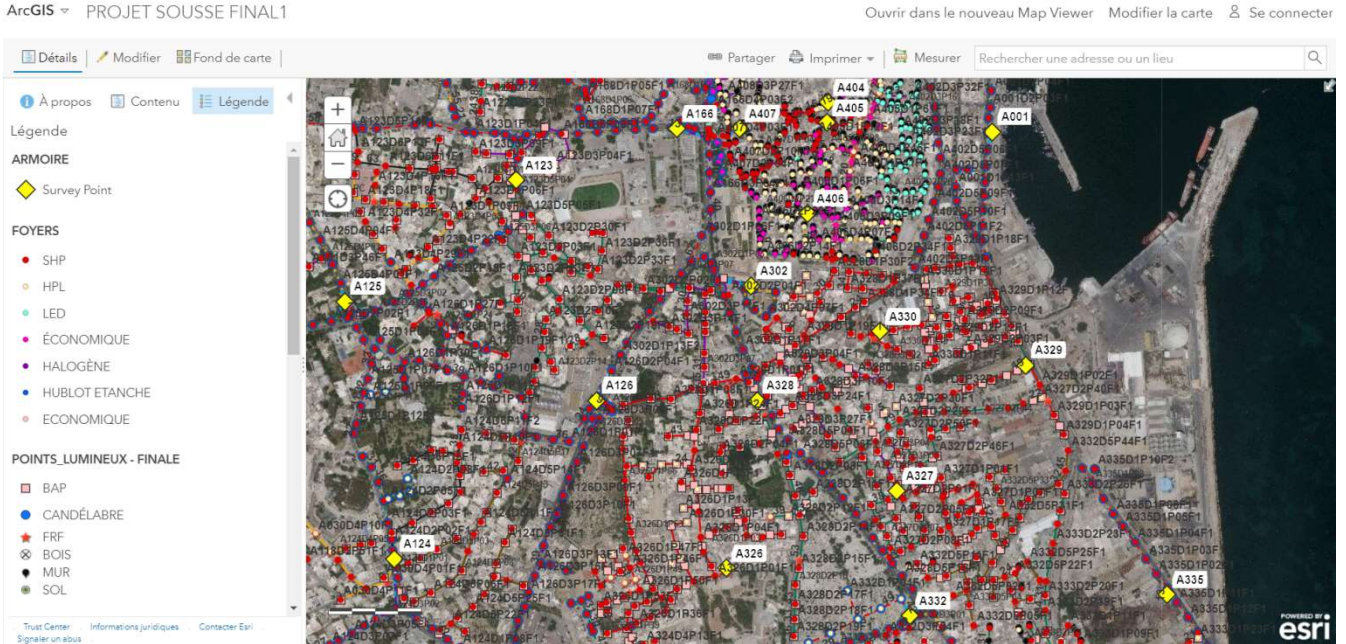
L'opération de collecte de données est achevée. Elle est couronnée par la constitution de la base de données SIG contenant l'ensemble de caractéristiques qui décrivent d'une manière exhaustive et précise l'ensemble du réseau d'éclairage public de la ville. Les données sont hiérarchisées de la façon suivante :



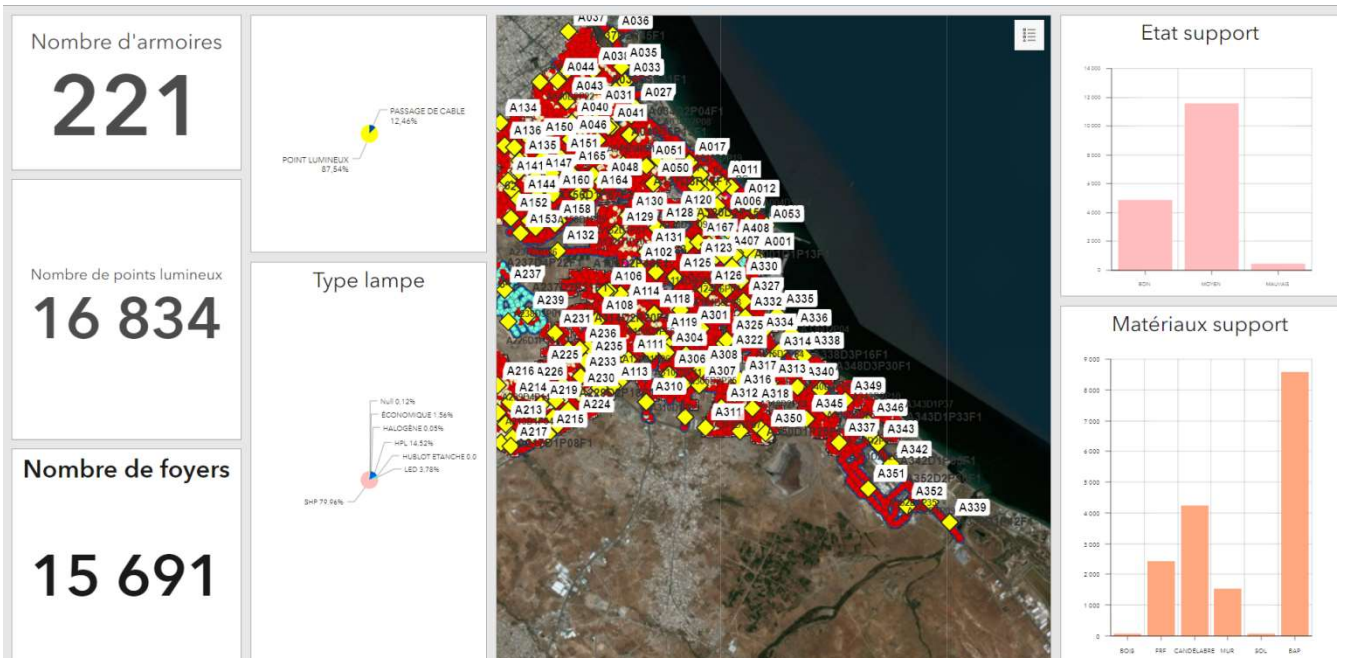
Les données sont stockées et exploitées par plusieurs techniques :

1- Le géo-portail de la ville de Sousse

Le système d'informations SIG relatif au réseau d'éclairage est affiché sous format spatiale et peuvent ainsi être exploitées par le géo-portail de la ville. Toutes les informations relatives à chaque composante sont directement et facilement accessibles :



Le géo-portail permet aussi une visualisation sous forme de tableau de bord montrant les statistiques utiles :



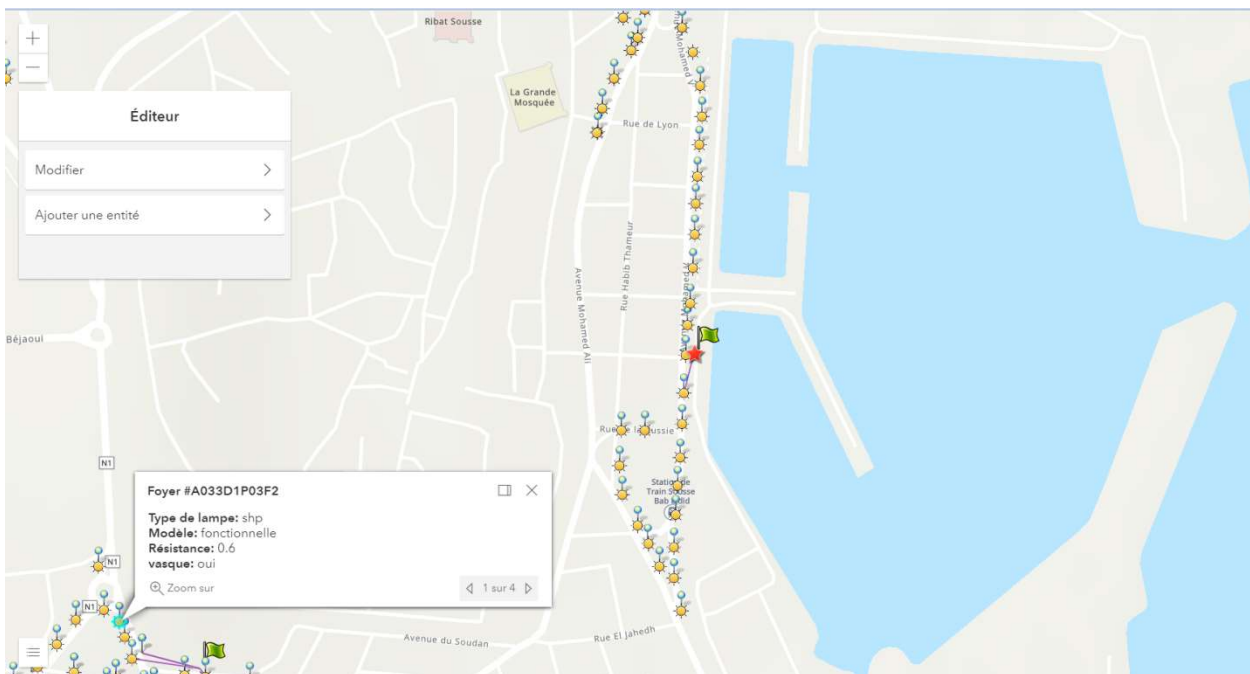
Le tableau de bord nous renseigne sur le nombre d'armoires, le nombre de points lumineux, la composition du parc, l'état des supports, la répartition des lampes selon leurs types....

2- Le tableau de bord de gestion de l'énergie (TBGE)

Le système d'informations SIG permet d'exporter l'ensemble de données vers un format exploitable par l'outil développé pour gérer l'ensemble des consommateurs d'énergie appartenant au patrimoine communal. L'affichage peut se faire sous forme de tableur :

Nom	Référence compteur	Nombre de départs	Commande	Fixation	Tarification	Fermeture	Distribution	État
A001		2	Impulsion STEG	Niche	BT éclairage public	Mauvais	Triphasée	Moyen
A002		5	Clock	Façade	BT éclairage public	Mauvais	Triphasée	Bon
A003		2	Impulsion STEG	Niche	BT éclairage public	Mauvais	Monophasée	Moyen
A004	0171412	2	Clock	Façade	BT éclairage public	Mauvais	Triphasée	Vétuste
A005	024002	1	Clock	Façade	BT éclairage public	Bon	Triphasée	Bon
A006	022818	4	Impulsion STEG	Façade	BT éclairage public	Bon	Triphasée	Moyen
A007	021587024475	6	Impulsion STEG	Niche	BT éclairage public	Mauvais	Triphasée	Moyen
A008		1	Impulsion STEG	Niche	BT éclairage public	Bon	Triphasée	Moyen
A009	CEE_032_05	3	Impulsion STEG	Niche	BT éclairage public	Bon	Triphasée	Moyen
A010	021687003247	3	Impulsion STEG	Niche	BT éclairage public	Mauvais	Triphasée	Bon
A011	84QA797658	1	Clock	Façade	BT éclairage public	Bon	Triphasée	Moyen
A012	84QA696989	3	Clock	Façade	BT éclairage public	Bon	Triphasée	Moyen
A013	845111	2	Impulsion STEG	Niche	BT éclairage public	Mauvais	Triphasée	Moyen
A014	85QA862933	2	Impulsion STEG	Façade	BT éclairage public	Mauvais	Triphasée	Vétuste
A015	014061	2	Clock	Façade	BT éclairage public	Bon	Triphasée	Moyen
A016	248680	3	Clock	Façade	BT éclairage public	Bon	Triphasée	Moyen
A017	460007	1	Clock	Niche	BT éclairage public	Mauvais	Triphasée	Moyen
A018	85QA803395	1	Clock	Façade	BT éclairage public	Bon	Triphasée	Moyen
A019	014838	2	Impulsion STEG	Façade	BT éclairage public	Mauvais	Triphasée	Moyen

Ou sous forme cartographique



Le TBGE est capable de traiter l'ensemble des données de la ville et d'en extraire les ratios et indicateurs prévus pour le domaine de patrimoine « éclairage public ».

III-CAMPAGNE DE MESURES

III - Campagne de Mesures

III-1- Mesures électriques

III-1-1 : Mesures sur l'armoire

Pour une meilleure analyse des données une campagne de mesure sur l'ensemble des armoires a été faite. Les grandeurs mesurées sont : La tension, le courant, la charge de départ (appel de puissance) et la puissance active mesurée en régime stabilisé.

Départ Armoires	D1		D2		D3		D4		D5		D6	
	U(V)	I(A)	U(V)	I(A)	U(V)	I(A)	U(V)	I(A)	U(V)	I(A)	U(V)	I(A)
A001	380	15	380	16								
Charge de départ	4730		5215									
Puissance Active	3750		2750									
A002	380	9.8	380	15	380	17	380	0.9	380	1.2		
Charge de départ	3150,00		4715		5596,00		283		381			
Puissance Active	6400		6100		4800,000		280		630			
A003	380	15	230	1.5								
Charge de départ	4801		288									
Puissance Active	4250		1000									



A406	380	9.6	380	14	380	5	380	7.6				
charge_dep	3100		4500		1600		2450					
puissance_	3930		5304		1872		3048					
A407	380	3.1	380	0.9	380	7.7	380	17				
charge_dep	1000		300		2500		5350					
Puissance_	1206		420		3216		6480					
A408	380	8.2	380	31	380	10	380	2.9				
charge_dep	2650		10000		3350		950					
Puissance_	3420		12120		4098		1284					

Le tableau ci-dessus montre les valeurs mesurées pour les trois premiers et derniers postes (A001, A002, A003 - --- A406, A407,A408). Un listing complet des mesures est fourni en annexe.

III-1-2 : Mesures sur les foyers

Au niveau des foyers l'équipe de recensement utilise un multimètre pour mesurer la chute de tension aux bornes du point lumineux le plus éloigné de l'armoire et ceci pour chaque départ. Le tableau représentant les mesures pour les **547 départs** figure en annexe. Seulement **54 départs** présentent une chute de tension $\Delta U > 3\%$. Ces départs sont particulièrement longs et la distribution des lampes est à revoir. Le tableau ci-dessous liste les départs avec une chute de tension non conforme.

Armoire	Départs	Chute detension	
		ΔU (v)	> 3 %
A002	D1	8.50	oui
	D2	9.99	oui
A005	D1	10.11	oui
A012	D1	11.23	oui
A013	D1	10.11	oui
A015	D1	12.00	oui
A016	D1	14.13	oui
	D2	12.73	oui
A017	D2	12.13	oui
A021	D1	9.50	oui
	D2	9.38	oui
A022	D1	10.31	oui
A024	D1	8.25	oui
A025	D1	17.85	oui
A032	D3	7.75	oui
A038	D1	8.50	oui
	D5	7.75	oui
A040	D1	8.00	oui
	D4	8.00	oui
A041	D1	7.75	oui
A042	D1	8.50	oui
A049	D3	8.53	oui
	D8	26.48	oui
A103	D3	8.13	oui
A106	D2	9.75	oui
A108	D1	9.50	oui
A110	D2	10.25	oui
A115	D1	7.75	oui
A123	D4	8.73	oui
A129	D1	9.75	oui
	D2	9.75	oui
A131	D2	7.75	oui
A132		9.03	oui
A133	D1	10.25	oui
A139	D1	7.89	oui
A144	D3	10.25	oui
A145	D3	7.69	oui
A146	D1	10.25	oui
A147	D3	8.18	oui
A149	D3	10.90	oui
A156	D1	7.75	oui
A160	D1	8.25	oui

A161	D1	7.75	oui
A164	D1	8.50	oui
A165	D1	7.75	oui
A216	D2	9.00	oui
A226	D2	10.50	oui
A301	D2	7.65	oui
A304	D1	8.75	oui
A308	D1	9.25	oui
A315	D2	8.00	oui
A334	D1	11.25	oui
A340	D2	9.13	oui
A405	D1	8.00	oui

La chute de tension en bout de ligne est la principale cause d'extinction des lampes dans les luminaires les plus éloignés (tension insuffisante pour l'amorçage de la lampe). L'installation de variateurs sur des ligne ayant une forte chute de tension vont causer l'extinction totale d'une portion du réseau.

III-2- Mesures photométriques

III-2-1 : Classification photométrique

Une classification des voiries est proposée en se basant sur la norme **EN 13-201**. Un échantillon de voirie a été sélectionné et soumis à la validation de l'équipe technique communale.

3 principales classes d'éclairage sont considérés :

- « M » pour les voies à trafic motorisé,
- « C » pour les zones de conflit,
- « P » pour les voies piétonnes et à faible vitesse de circulation.

Ces classes sont ensuite scindées en sous-classes basées sur la catégorie administrative et fonctionnelles.

On y retrouve les choix suivants :

- Route principale interurbaine,
- Voie urbaine importante,
- Voie urbaine de desserte.

Ensuite, ce sont les critères suivants qui entrent en compte :

- La chaussée (unique ou séparée),
- La limite de vitesse,
- Le trafic (non motorisé, motorisé uniquement ou mixte),
- Le volume de trafic (élevé, moyen, faible),
- La luminosité ambiante (lumières parasites dans le champ de vision et luminosité ambiante aux abords de la voie),
- La charge mentale (toutes les difficultés éventuelles de navigation, signalisation, stationnement, bruit, etc.)

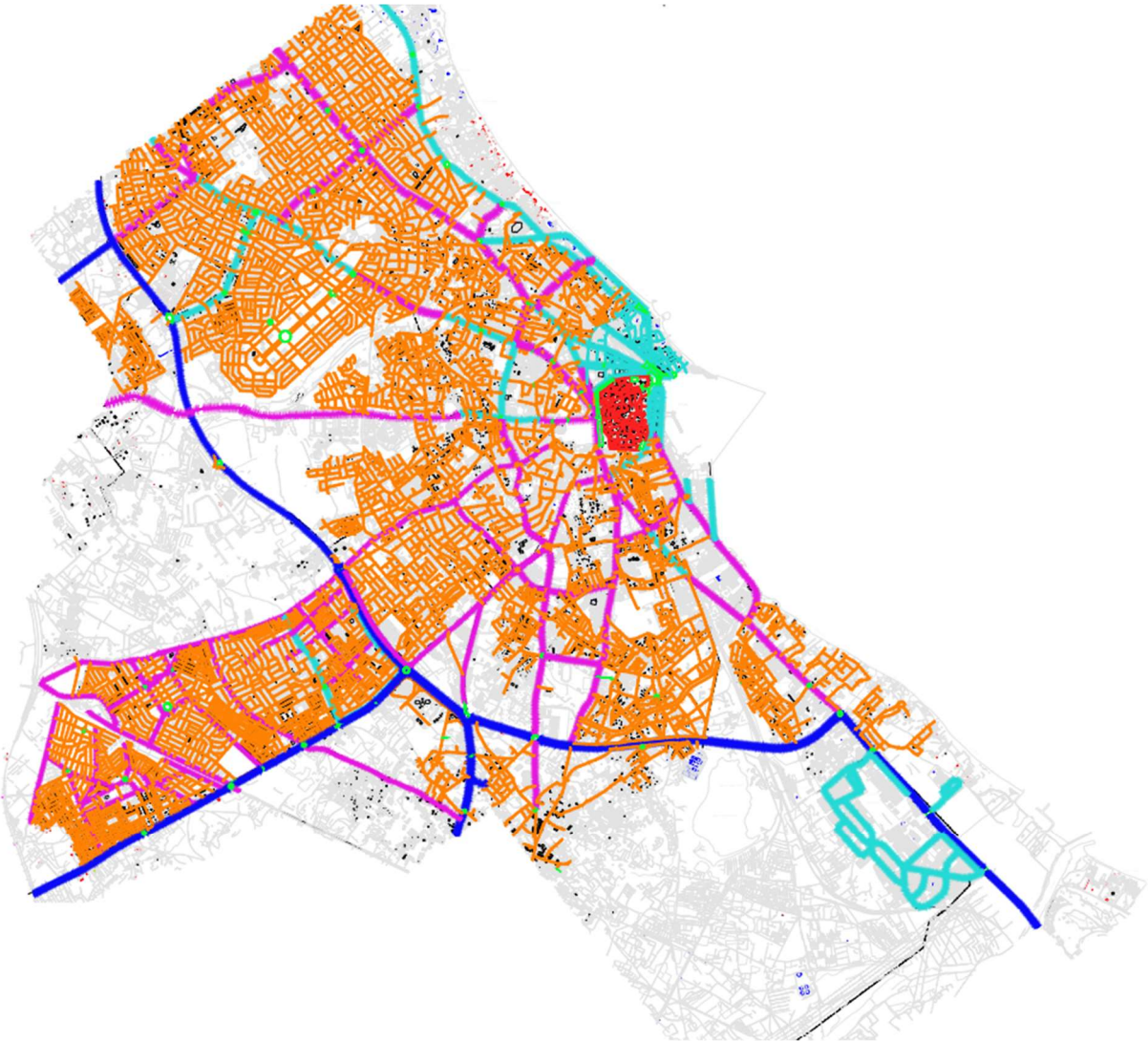
Le tableau ci-dessous est finalement arrêté. Il comprend 6 familles principales de classes d'éclairage qui permettent de couvrir l'ensemble du territoire de la ville de Sousse.

Désignation	Classe de la voie	Spécifications de la classe	Contraintes	Classe d'éclairage	Unité de mesure	Valeur cible	Uniformité
A	Pénétrante urbaine	Vitesse ≤70 km/h Zone habitée Motorisés Véhicules lents Cyclistes Piétons	Complexité : élevée Véhicules en stationnement : oui Intersections >= 3 par km Tâche navigation : élevée	ME	Luminance	1.5 cd/m ²	
B	Voie urbaine importante (BOULEVARD, AVENUE)	Vitesse ≤ 50 km/h Motorisés Véhicules lents Cyclistes Piétons	Complexité : élevée Véhicules en stationnement : oui Intersection >= 3 par km Tâche navigation : élevée	CE	Eclairement	20 lux	

C	Voie Urbaine secondaire (RUE)	Vitesse ≤ 50 km/h Motorisés Véhicules lents Cyclistes Piétons	Complexité : normale à élevée Véhicules en stationnement : oui Intersection ≤3 par km Tâche navigation : normale	CE	Eclairage	10-15 lux	
D	Voie commerçante	Vitesse ≤ 30 km/h Motorisés Véhicules lents Cyclistes Piétons	Risque d'agression : élevé Reconnaissance visage : nécessaire Difficulté navigation : élevée	CE	Eclairage	10-15 lux	
E	Voie piétonne / Piste cyclable	Voie piétonne adjacente à la route Piste cyclable Trottoir piéton	Risque d'agression : normal Reconnaissance visage : nécessaire	CE-S	Eclairage	7.5-15 lux	

F	Place, Giratoire	Motorisés	Intersections multiples	CE	Eclairage	VOIE D'ACCÈS LA PLUS ÉCLAIRÉE	PLACE OU GIRATOIRE CORRESPONDANT	
		Véhicules lents	Tâche navigation : élevée					
		Cyclistes	Complexité : élevée					
		Piétons	Véhicules en stationnement : oui ou non					
			Reconnaissance visage : oui			20 lux → 30 lux		
			Risque d'agression : normal			15 lux → 20 lux		
						10 lux → 15 lux		
						7,5 lux → 10 lux		

Carte de classification (Format A0)



- LEGENDE**
- Classe A
 - Classe B
 - Classe C
 - Classe D
 - Classe E
 - Classe F

Classe	Niveau de la voie	Caractéristiques de la classe	Caractéristiques	Matériau	Etat de la voie	Largeur de la voie
A	Profil urbain	Voies > 10 m de largeur Boulevards Avenues Circulaires Rues principales	Asphalte - bitume Ciment Béton Pavés Gravier	SE	Voies	1,5 km/h
B	Vies urbaines principales	Voies > 10 m de largeur Avenues Circulaires Rues principales	Asphalte - bitume Ciment Béton Pavés Gravier	CE	Voies	20 km/h
C	Vies urbaines secondaires	Voies > 10 m de largeur Avenues Circulaires Rues principales	Asphalte - bitume Ciment Béton Pavés Gravier	CE	Voies	10-15 km/h
D	Vies urbaines tertiaires	Voies > 10 m de largeur Avenues Circulaires Rues principales	Asphalte - bitume Ciment Béton Pavés Gravier	CE	Voies	10-15 km/h
E	Vies urbaines quaternaires	Voies > 10 m de largeur Avenues Circulaires Rues principales	Asphalte - bitume Ciment Béton Pavés Gravier	CE	Voies	10-15 km/h
F	Vies urbaines quaternaires	Voies > 10 m de largeur Avenues Circulaires Rues principales	Asphalte - bitume Ciment Béton Pavés Gravier	CE	Voies	10-15 km/h

PROGRAMME DE DEVELOPPEMENT URBAIN INTEGRE DE LA VILLE DE SOUSSE (PDU)

PROJET-RECENSEMENT ET NUMERISATION DU RESEAU D'ECLAIRAGE PUBLIC DE LA VILLE DE SOUSSE

III-2-2 : Mesures d'éclairage

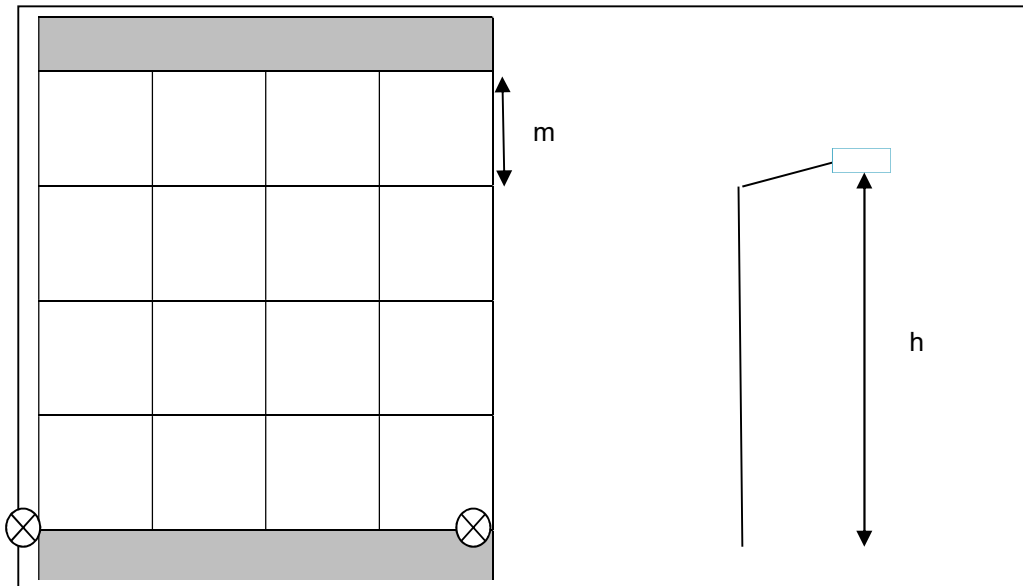
L'emplacement et le nombre de points de mesure sont déterminés suivant un quadrillage régulier dont la taille des mailles est obligatoirement inférieure ou égale à la hauteur de feu des luminaires divisée par 2.

$$m \leq h/2$$

Conditions impératives de mesure :

- La cellule de mesure doit être parfaitement horizontale,
- La cellule de mesure doit être à l'abri de toute ombre portée,
- Le temps doit être sec (les gouttelettes peuvent fausser la mesure).

$$E_{\text{moy}} = (E1 + E2 + \dots + En) / n$$



III-2-2 : Définition de l'échantillon

Au moins Un tronçon de voie pour chaque classe photométrique est choisi pour supporter les mesures photométriques

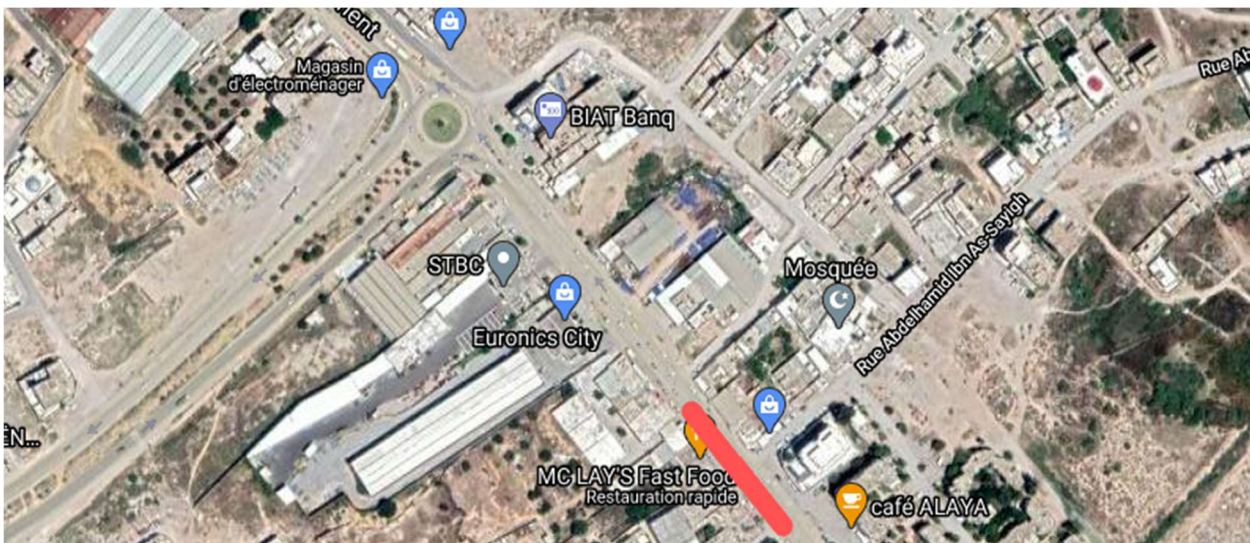
III-2-2-1 : Voie de classe A « *Avenue de l'environnement Sousse Sud* »

La voie sélectionnée comme échantillon de la **classe A** est le boulevard de l'environnement à l'entrée sud de la ville. C'est la catégorie de pénétrante urbaine ou la vitesse de circulation est limitée à **70 km** à l'heure. Elle traverse une zone habitée et la classe photométrique correspondante selon la norme 13-201 est « **ME** ». L'alimentation du réseau se fait à partir du départ D2 de l'armoire A346. Le maillage de mesure d'éclairage est réalisé entre les foyers A346D2P20, A346D2P21 et A346D2P22.

La représentation schématique du maillage est comme suit :

	7	8	8	7	6	7	7	7	7	9		
	9	12	7	9	8	8	11	9	9	8		
	11	11	11	12	15	12	11	10	9	10		
	11	11	12	13	14	13	12	11	9	9		
	9	10	11	14	14	13	11	9	8	7		
	●											
A346D2P22					A346D2P21							A346D2P20

L'image satellite et la zone de mesure est représentée ci-dessous ;



Les grandeurs mesurées sont l'éclairement et l'uniformité définies comme suit :

Eclairement :

L'éclairement moyen d'une surface, c'est la division du flux total reçu par une surface par son aire. Ou alors, une moyenne de plusieurs points d'éclairement mesurées par un luxmètre (par exemple, maillage de valeurs définies dans la [norme NF EN 13201-3](#)). L'unité est le lux.

$$\text{Éclairement: } E(lx) = \frac{\text{Flux lumineux (lm)}}{\text{surface (m}^2\text{)}}$$

Uniformité :

Uniformité U_0 Pour réaliser des tâches visuelles dans des zones éclairées, la différence de luminosité ne doit pas être trop importante et il existe donc une uniformité minimale

$$U_0 = E_{\min} / \bar{E}$$

Pour la classe A la norme préconise des recommandations par rapport à la luminance (L en cd/m^2) qui est la seule grandeur photométrique perçue par l'œil humain. Ce concept décrit l'impression de luminosité que donne d'un côté une source d'éclairage et de l'autre une surface. Ce faisant, cette impression dépend fortement du facteur de réflexion (couleur et surface)

Pour le boulevard de l'environnement les valeurs mesurées sont comme suit :

Grandeur	Valeur mesurée	Valeur préconisée
Eclairage (lux)	10	
Uniformité	0.4	0.4

III-2-2-2 : Voie de classe B « Avenue Hedi Nuira Sousse Sud »

La voie sélectionnée comme échantillon de la **classe B** est l'avenue Hedi Nuira à l'entrée sud de la ville. C'est la catégorie de **voie urbaine importante** ou la vitesse de circulation est limitée à **50 km** à l'heure. Elle traverse une zone habitée et la classe photométrique correspondante selon la norme 13-201 est « **CE 2** ». L'alimentation du réseau se fait à partir du départ **D1** de l'armoire **A338**. Le maillage de mesure d'éclairage est réalisé entre les foyers A338D1P01, A338D1P02 et A338D1P03.

La représentation schématique du maillage est comme suit :

A338D3P1							A338D3P2							A338D3P3				
19	15	9	6	5	6	7	9	11	15	18	16	12	10	9	12	17	20	23
17	15	11	7	5	5	6	7	10	12	15	15	13	10	9	11	16	19	22
12	12	9	6	5	4	5	6	7	9	11	10	10	8	8	9	12	14	16

L'image satellite et la zone de mesure est représentée ci-dessous ;



Grandeur	Valeur mesurée	Valeur préconisée
Eclairage (lux)	11.2	20
Uniformité	0.18	0.4

L'Eclairage et l'uniformité sont insuffisants par rapport aux valeurs normales.

III-2-2-3 : Voie de classe C « Rue Souheil Ibn Omar à citée Erriadh »

La voie sélectionnée comme échantillon de la **classe C** est l'avenue Hedi Nuira à l'entrée sud de la ville. C'est la catégorie de **voie urbaine secondaire** ou la vitesse de circulation est limitée à **50 km** à l'heure. Elle traverse une zone habitée et la classe photométrique correspondante selon la norme 13-201 est « **CE 3** ». L'alimentation du réseau se fait à partir du départ **D1** de l'armoire **A233**. Le maillage de mesure d'éclairage est réalisé entre les foyers A233D1P29, A233D1P30 et A233D1P31.

La représentation schématique du maillage est comme suit :

A233D1P29				A233D1P30				A233D1P31			
	5	9	18	41	67	68	32	14	6	5	10
	4	6	10	24	30	26	21	10	4	4	5

L'image satellite et la zone de mesure est représentée ci-dessous ;



Grandeur	Valeur mesurée	Valeur préconisée
Eclairage (lux)	19	10 à 15
Uniformité	0.07	0.4

L'Eclairage dépasse les valeurs préconisées, par contre l'uniformité est insuffisante par rapport aux valeurs normales. Ceci s'explique par une grande inter-distance (42 m, 48 m et 42 m). Cette configuration est rencontrée dans une forte proportion de l'éclairage dans les zones résidentielles. Cette situation est due principalement à des contraintes budgétaires c'est-à-dire le concepteur essaie de compenser le manque de points lumineux par une puissance plus forte des foyers. On trouve dans cette rue des lampes SHP de 150 w de hauteur 9m pour une rue de 7m de large. Une conception correcte préconisera des lampes SHP 70 w à une hauteur de 6m avec une inter-distance de 24 à 30 m.

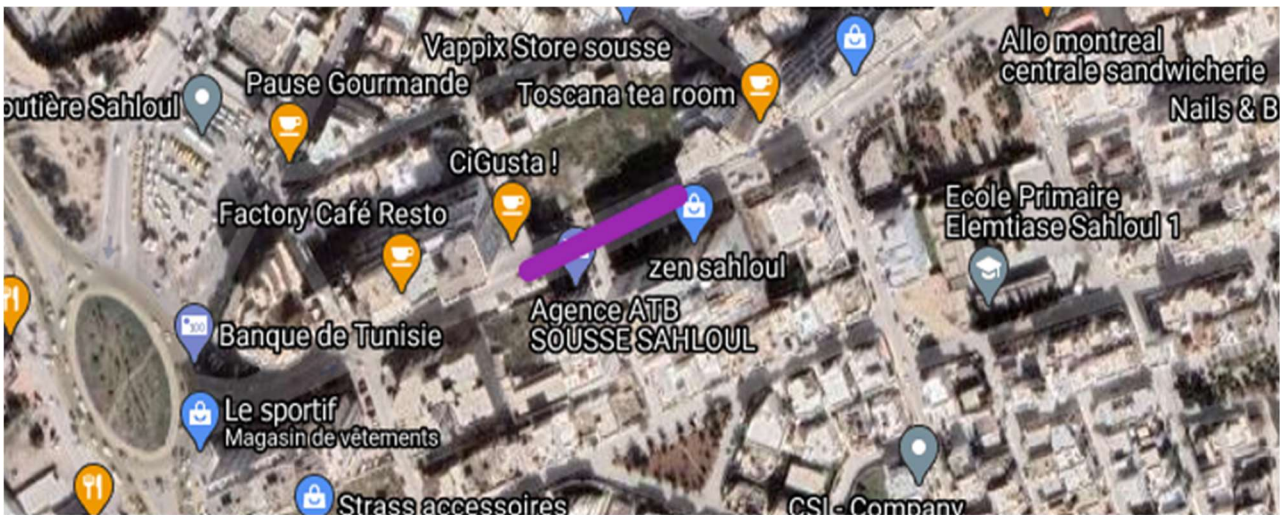
III-2-2-4 : Voie de classe D « Avenue Yesser Arafet - Sahloul »

La voie sélectionnée comme échantillon de la **classe D** est l'avenue Yasser Arafet à Sahloul. C'est la catégorie de **voie commerçante** ou la vitesse de circulation est limitée à **30 km** à l'heure. Elle traverse une zone habitée et la classe photométrique correspondante selon la norme 13-201 est « **CE 5** ». L'alimentation du réseau se fait à partir du départ **D3** de l'armoire **A164**. Le maillage de mesure d'éclairage est réalisé entre les foyers A164D3P04, A164D3P05 et A164D3P06.

La représentation schématique du maillage est comme suit :

	7	7	8	10	11	15	15	14	13	13	12	9	7	7	6	
	10	13	12	19	20	34	30	30	34	29	25	21	14	14	10	
A164D3P06	14	17	19	24	32	40	41	47	44	35	32	25	16	16	13	A164D3P04
	A164D3P05															
	7	17	21	25	32	39	42	42	38	34	28	18	12	9	9	
	12	14	17	21	22	31	28	22	27	24	20	14	10	10	7	
	14	10	9	11	15	18	17	15	15	15	13	10	7	7	6	

L'image satellite et la zone de mesure est représentée ci-dessous ;



Grandeur	Valeur mesurée	Valeur préconisée
Eclairage (lux)	19	10 à 15
Uniformité	0.12	0.4

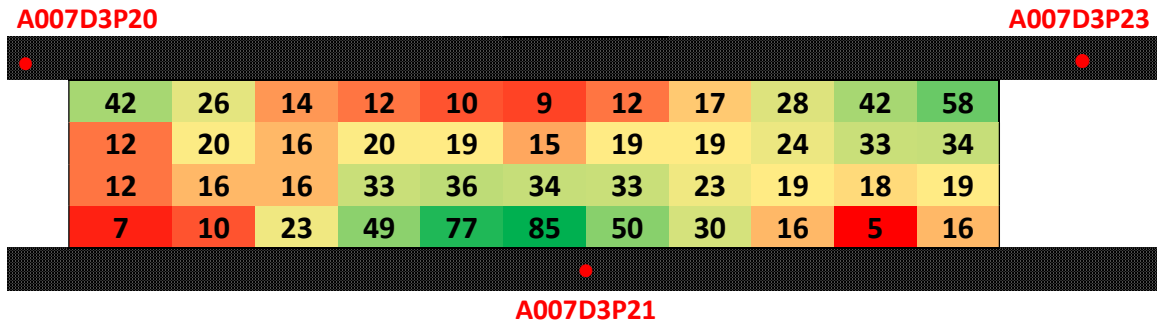
L'éclairage dépasse les valeurs préconisées, par contre l'uniformité est insuffisante par rapport aux valeurs normales.

III-2-2-4 : Voie de classe E « Rue Remada Bab Bhar »

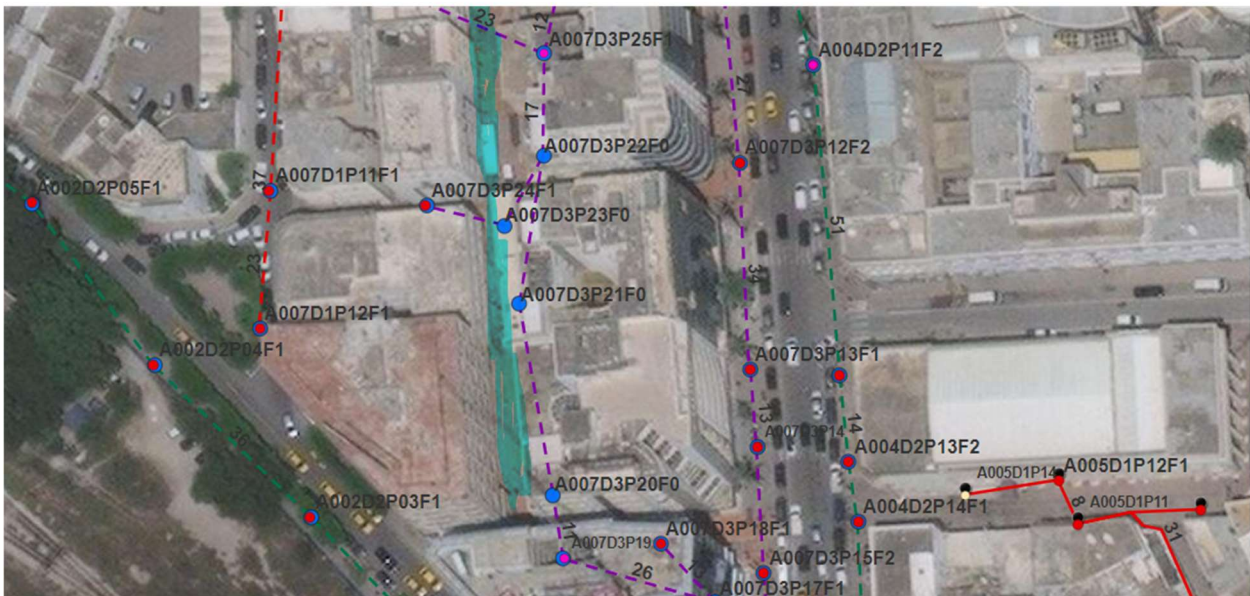
La voie sélectionnée comme échantillon de la **classe E** est la rue piétonne Remada sis à bab bhar au centre ville. C'est la catégorie de **voie piétonne ou cyclable**, la classe photométrique correspondante

selon la norme 13-201 est « **CE-S** ». L'alimentation du réseau se fait à partir du départ **D3** de l'armoire **A007**. Le maillage de mesure d'éclairage est réalisé entre les foyers A007D3P20, A007D3P21 et A007D3P23.

La représentation schématique du maillage est comme suit :



L'image satellite et la zone de mesure est représentée ci-dessous ;



Grandeur	Valeur mesurée	Valeur préconisée
Eclairage (lux)	13	7.5-15
Uniformité	0.06	0.4

L'Eclairage dépasse les valeurs préconisées, par contre l'uniformité est insuffisante par rapport aux valeurs normales.

III-2-2-5 : Voie de classe F « *giratoire Clinique Essalem* »

La voie sélectionnée comme échantillon de la **classe F** le giratoire sis à la place du Maghreb Arabe. C'est la catégorie de **place ou giratoire**, la classe photométrique correspondante selon la norme 13-201 est

« CE-S ». L'alimentation du réseau se fait à partir du départ **D1** de l'armoire **A025**. Le maillage de mesure d'éclairage est réalisé entre les foyers A025D1P1, A025D1P25, A025D1P26 , A025D1P27, A025D2P04, et A025D2P2503.

La représentation schématique du maillage est comme suit :

18	19	17	12	8	6	6	7	6	7	7	5	5	6	11	19	24	23	21	21	18	12	14	18
27	30	24	17	8	6	8	9	8	8	9	5	5	8	14	27	45	29	26	26	22	15	22	27
					7	9	9																

L'image satellite et la zone de mesure est représentée ci-dessous ;



Grandeur	Valeur mesurée	Valeur préconisée
Eclairage (lux)	15	7.5-15
Uniformité	0.11	0.4

L'Eclairage dépasse les valeurs préconisées, par contre l'uniformité est insuffisante par rapport aux valeurs normales.

III-3- Conclusion

La norme est respectée par rapport aux exigences d'éclairage. L'uniformité est souvent en dessous des valeurs normales à cause des choix de dimensionnement des composantes du réseau.

III-ETUDE TECHNIQUE

II-3-1 Données générales

Le recensement a permis de dresser un inventaire de toutes les composantes du patrimoine municipal d'éclairage public.

Caractéristiques	Unité	Valeur
Nombre d'habitants	Pers	242496
Surface Totale	Km ²	44.4
Largeur moyenne des rues	M	13.9 (3 / 11)
Surface totale chaussées	ha	754
Budget communal	MDT	50
Budget de fonctionnement	MDT	30
% ER	%	0
Nombre heures d'obscurité	Heures	3600
Consommation annuelle corrigée	MWH/an	11244
Coût Annuel éclairage public	Mille DT/an	3700
Nombre Armoires	U	221
Nombre de points lumineux (supports)	U	16836
Nombre de foyers	U	15692
Nombre de départs	U	547
Longueur du réseau	Km	490
Longueur du des rues	Km	670
Taux de couverture	%	73%
Surface des voiries éclairée	ha	681
Puissance totale	KW	2688
Puissance Moyenne / lampe	W	181
Nombre Lampes HPL	U	2278
Puissance lampes HPL	KW	223

Ces données seront développées dans les analyses du rapport approfondi.

Les principaux indicateurs de base suivants :

Flux moyen (lm/w)	Ratio énergie (kWh/m ² an)	Ratio coût (DT/m ² an)	Part de EP / budget de fonctionnement %
68	1.75 à 2.3	0.57	21

Nombre de points/km	Puissance moyenne /point	Taux de couverture %	Puissance HPL/total %
32	181	73	8.3

II-3-2 Les Armoires

Le réseau d'éclairage public de la ville est alimenté à partir de **221 armoires** électriques répartis sur tout le territoire. Le recensement a permis une description détaillée :

II-3-2-1 Sécurité électrique

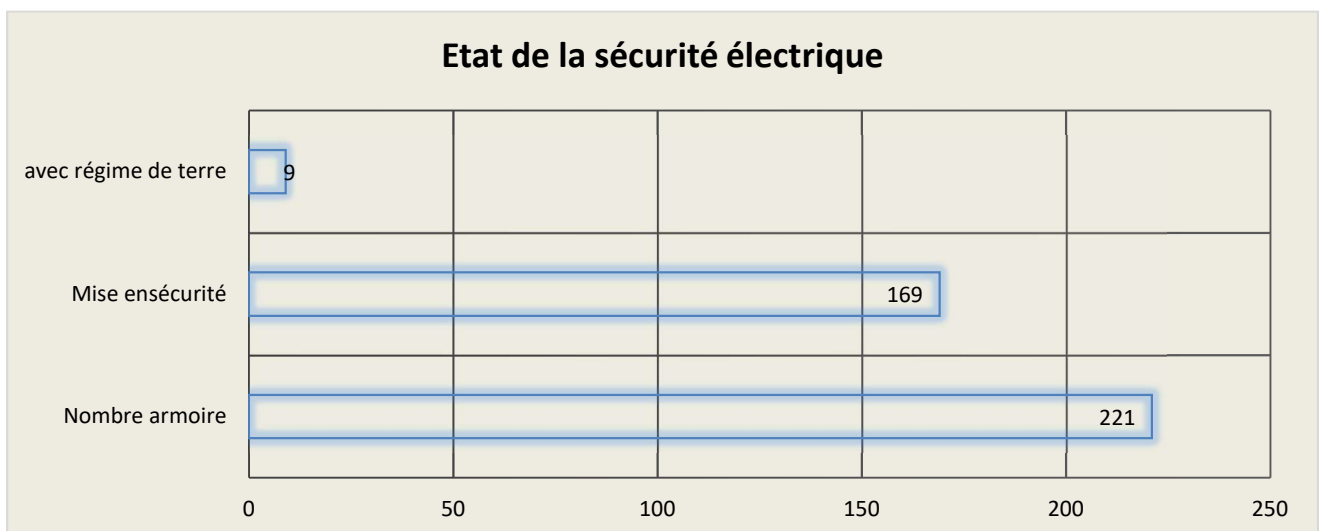
La mise en sécurité des installations éclairage public se limite à l'ensemble des cinq dispositions suivantes assurant le minimum de sécurité pour les personnes et les biens contre les risques électriques

- a- Présence d'un appareil général de commande et de protection de l'installation
- b- Protection différentielle à l'origine de l'installation (disjoncteur ou interrupteur différentiel) aux sensibilités appropriées aux conditions de mise à la terre
- c- La mise à la terre et les liaisons équipotentielles
- d- Dispositif de protection divisionnaire par disjoncteur sur chaque départ ou circuit
- e- Elimination de tous risques de contacts directs avec les éléments sous tension

Ces dispositions sont déclinées en prescriptions techniques à respecter par les concepteurs et les installateurs et exigées par les municipalités dans les cahiers des charges et les termes de références.

Existence du dispositif de protection

Caractéristique	Nombre	%
Sans sécurité	43	20
Mise en sécurité (disjoncteur/parafoudre)	169	76
Avec régime de terre	9	4
TOTAL	221	100

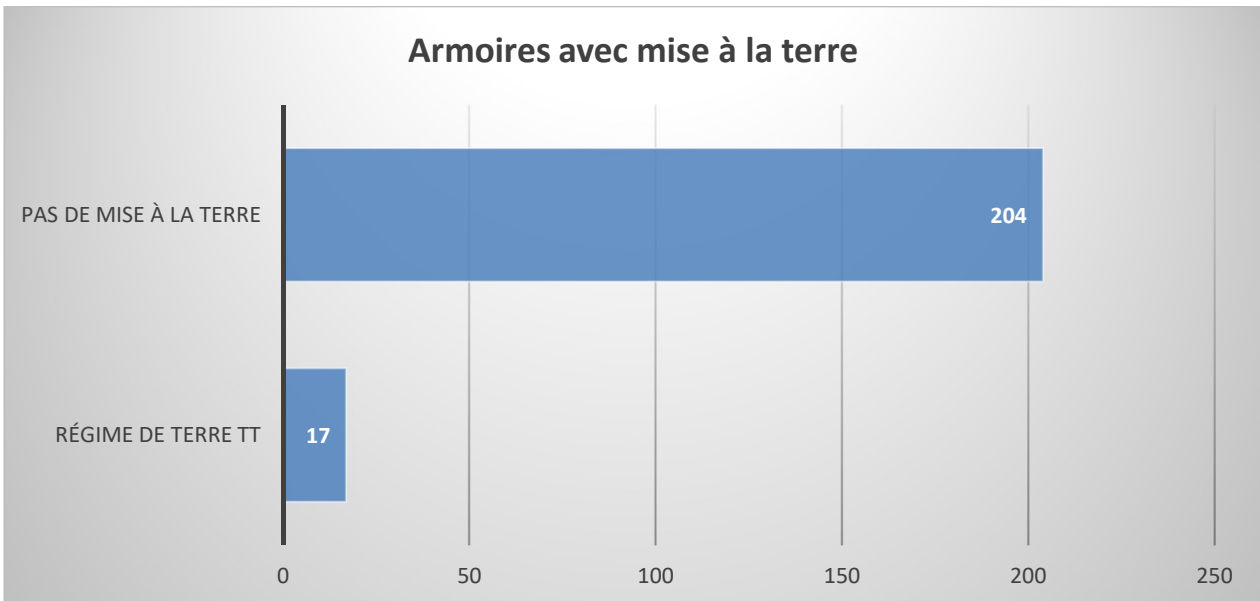


Sur les **221 Armoires** recensées, seulement **169** armoires disposent d'une protection par disjoncteur calibré en tête de ligne. **31** Armoires ne disposent d'aucune protection et nécessitent une intervention rapide.

Protection des armoires par mise à la terre

Pour une protection contre les contact directes et indirectes les équipements de l'armoires doivent être mis à la terre.

Etat	Nombre	%
Régime de terre TT	17	8
Pas de mise à la terre	204	92
TOTAL	221	100



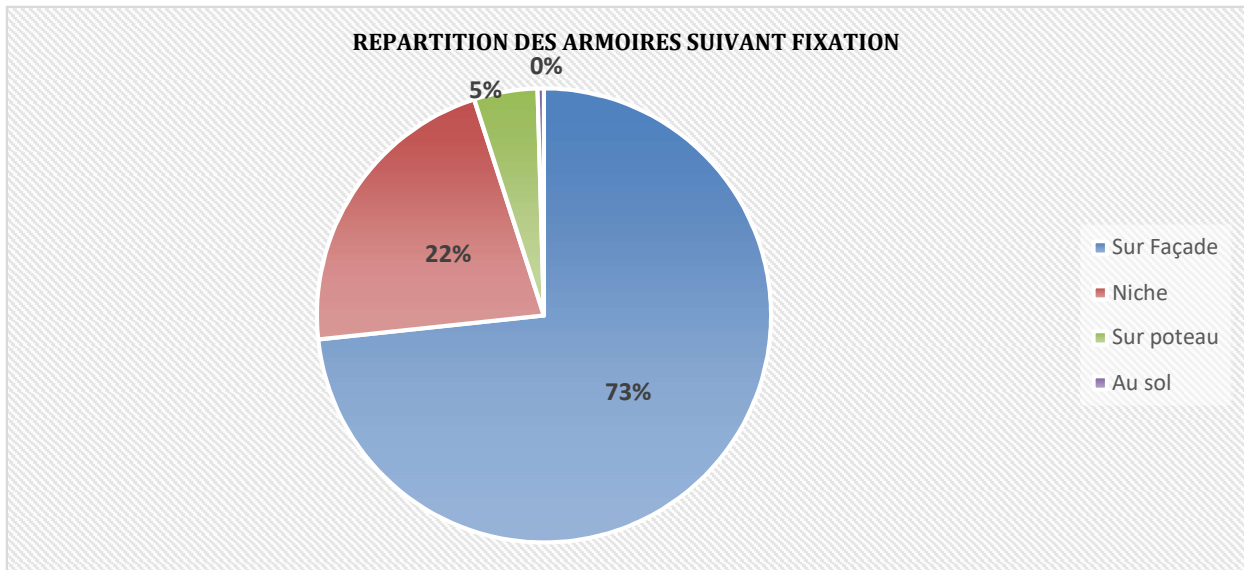
Il est fortement recommandé de renforcer la sécurité des armoires qui ne disposent pas en grande partie de liaisons équipotentielles et de mise à la terre ce qui constitue un danger pour les utilisateurs et principalement l'équipe technique qui intervient sur le réseau.

II-3-2-2 Caractéristiques générales

Réparation des armoires en fonction des techniques de fixation

La majorité des postes sont montés en façade soit environ **73 % (162)** suivi par les postes installés dans une niche qui sont au nombre **48 (22%)**. Seulement 10 postes sont fixés sur des poteaux et ne représentent que **5 %** par rapport au nombre total.

technique	Nombre	%
Sur Façade	162	73
Niche	48	22
Sur poteau	10	4.5
Au sol	1	0.5
TOTAL	221	100



Etat général des armoires

La plupart des postes sont dans un état moyen. Seulement une trentaine sont en mauvais état et nécessitent une remise en état :

Etat des armoires	
Bon état	19
Moyen	174
Mauvais	28
	221



Distribution / armoire non conforme

Système de commande

Parmi les postes d'alimentation électrique du réseau d'éclairage public, **131** ont un système de commande par impulsion STEG. Les **90** restant ont un système de commande par horloge.

Commande	Nombre
Commande par impulsion	131
Commande par horloge	90
Total	221



Commande par impulsion



Commande par horloge

Variateurs régulateurs de tension

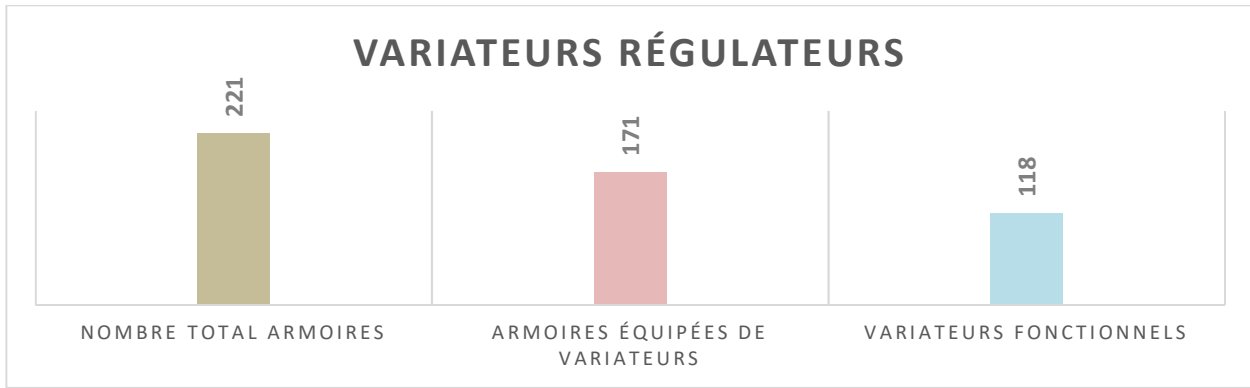
171 postes sur les 221 au total sont équipés de variateur régulateur de tension dont **118** sont toujours fonctionnels.



Poste avec Variateur HS



Poste avec variateur fonctionnel



II-3-3 Les Départs

II-3-3-1 Caractéristiques générales

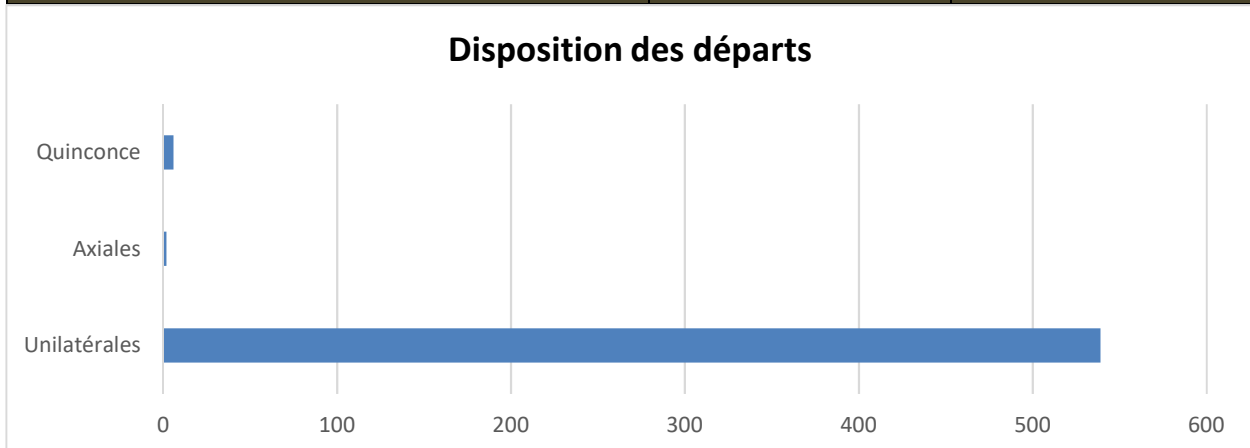
Les caractéristiques des départs sont comme suit :

Nombre de départs	547
Nombre de points moyen par départ	29 points lumineux
Longueur moyenne d'un départ (m)	900
Chute de tension maximale sur les départs (V)	10.59 > 3%
Puissance moyenne / départ (KW)	4.9

II-3-3-2 Etude suivant la disposition

Le recensement a fait ressortir seulement 3 types de dispositions des points lumineux par rapport à la voirie, unilatérale, axiale et en quinconce. 539 départs ont une disposition unilatérale ..

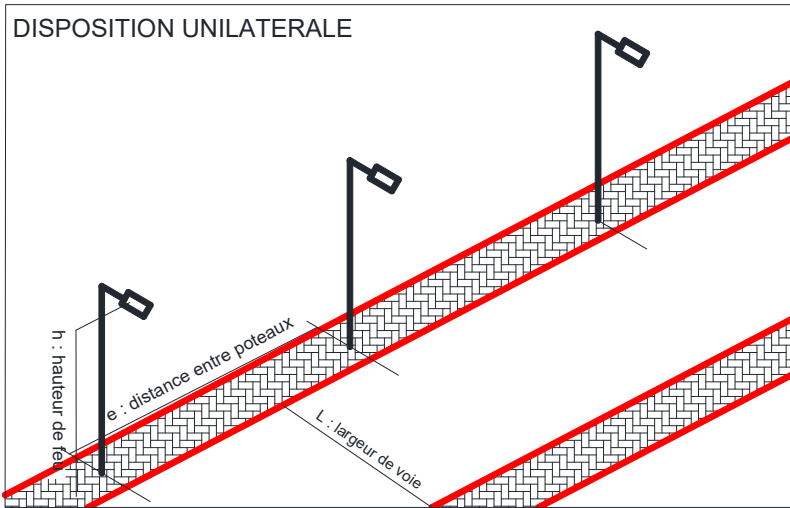
Disposition	Nombre	%
Unilatérales	539	98.5
Axiales	2	0.5
Quinconce	6	1
Total	547	100



Les départs sont à 98.5 % à disposition unilatérale. Cette disposition est généralement adaptée aux rues et voies de faible largeurs ainsi que les trottoirs et pistes cyclables. La largeur moyenne est 14 m environ ce qui indique que le choix de disposition unilatérale n'est certainement pas approprié pour certaines voies.

A- Disposition Unilatérale

L'implantation des supports s'établit selon le schéma général suivant :



La disposition unilatérale doit répondre aux conditions de dimensionnement suivante :

$$3 \leq \frac{e}{h} \leq 5$$

En s'appuyant sur la base de données du recensement on vérifie la condition ci-dessus pour chaque départ appartenant au réseau d'éclairage de la ville.

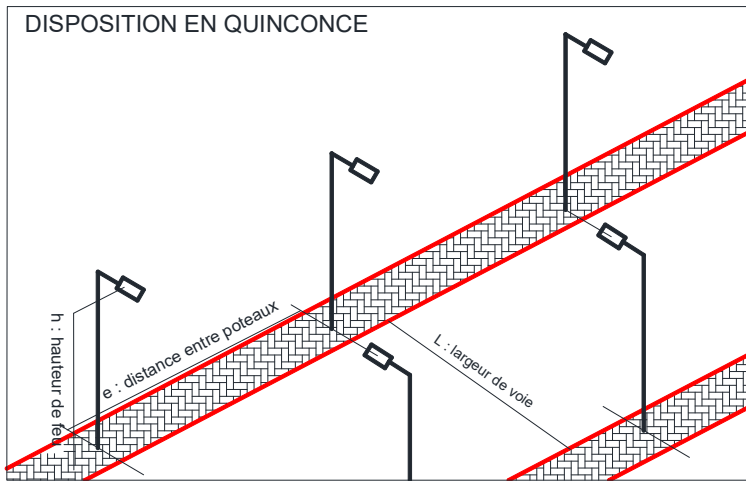
Disposition : Unilatérale						
Armoire	Nombre de départs	longueur totale (m)	Nombre de points lumineux	Espacement moyen e (m)	Hauteur h (m)	Conformité
		505	15	34	6	FAUX
A009	2	2069	65	32	6	FAUX
A010	3	1970	30	66	11	FAUX
A014	2	2060	58	36	7	FAUX
A018	1	190	4	48	7	FAUX
A027	1	980	38	26	11	FAUX
A033	2	1150	35	33	6	FAUX
A101	3	4366	124	35	7	FAUX
A107	3	5271	101	52	9	FAUX
A110	2	3670	100	37	7	FAUX
A114	4	2996	111	27	9	FAUX
A116	1	1510	22	69	9	FAUX

A118	3	3353	126	27	11	FAUX
A130	3	3850	78	49	9	FAUX
A155	1	1497	47	32	11	FAUX
A159	1	1527	51	30	11	FAUX
A160	1	2346	73	32	11	FAUX
A208	2	1171	47	25	9	FAUX
A212	2	1840	71	26	9	FAUX
A218	4	5174	115	45	7	FAUX
A221	1	1438	31	46	7	FAUX
A223	3	1953	51	38	7	FAUX
A225	4	4107	105	39	7	FAUX
A226	2	5409	109	50	9	FAUX
A230	3	1700	44	39	7	FAUX
A231	3	1648	40	41	7	FAUX
A232	2	1654	34	49	7	FAUX
A234	3	5177	106	49	7	FAUX
A238	3	1672	54	31	11	FAUX
A301	3	1061	50	21	9	FAUX
A304	1	3226	77	42	7	FAUX
A306	2	1522	38	40	7	FAUX
A311	2	2366	65	36	7	FAUX
A312	5	4550	124	37	7	FAUX
A316	2	1931	55	35	7	FAUX
A318	3	2447	69	35	7	FAUX
A319	3	2110	60	35	7	FAUX
A322	1	1155	31	37	7	FAUX
A325	1	1640	40	41	7	FAUX
A326	1	2974	71	42	7	FAUX
A330	1	640	20	32	11	FAUX
A340	3	4818	131	37	7	FAUX
A341	1	1244	17	73	9	FAUX
A347	1	1742	44	40	7	FAUX
A407	4	1046	71	15	5	FAUX

Seulement **99 départs** sur les 539 ne respectent pas la condition sur l'inter-distance (e). Les nouvelles courbes photométriques fournies par certains luminaires récents, permettent de mieux étaler le flux lumineux sur la voie et ainsi un inter-distance plus important. Il est maintenant possible d'aller jusqu'à cinq fois la hauteur alors qu'auparavant la photométrie ne permet pas de dépasser un facteur de 3.5 entre hauteur du point lumineux et la distance entre deux points lumineux. Ces 99 départs nécessiteront peut-être un recours à une révision de l'inter distance (rapprochement). Pour les 440 autres départs peuvent être corrigés en agissant seulement sur le choix de luminaires adéquats.

A- Disposition en quinconce

L'implantation des supports s'établit selon le schéma général suivant :



La disposition en quinconce doit répondre aux conditions de dimensionnement suivante :

$$2.5 \leq \frac{e}{h} \leq 5$$

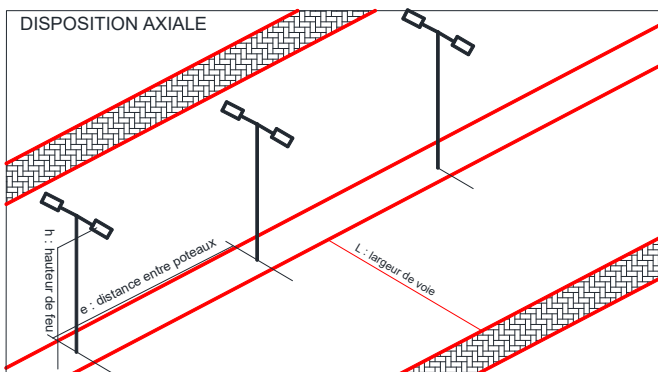
En s'appuyant sur la base de données du recensement on vérifie la condition ci-dessus pour chaque départ appartenant au réseau d'éclairage de la ville.

Arm oire	Départ	longeur totale (m)	Nombre de points lumineux	Espacement moyen e (m)	Hauteur h (m)	Conformité
A007	D5	433	5	87	11	FAUX
A007	D6	170	3	57	11	FAUX

Deux départs sur les six ayant une disposition en quinconce vérifient la condition recommandée sur l'inter-distance (e) par rapport à la hauteur du point lumineux. La commune pourra se doter d'un guide simplifié de conception qui constituera un outil d'optimisation de la conception.

A- Disposition Axiale

L'implantation des supports s'établit selon le schéma général suivant :



La disposition axiale est utilisée principalement pour une configuration de voie large et double. Elle doit répondre aux conditions de dimensionnement suivante :

$$3 \leq \frac{e}{h} \leq 5$$

En s'appuyant sur la base de données du recensement on vérifie la condition ci-dessus pour chaque départ appartenant au réseau d'éclairage de la ville.

Disposition : Axiales						
Armoire	Départ	longueur totale (m)	Nombre de points lumineux	Espacement moyen e (m)	Hauteur h (m)	Conformité
A143	D1	154	6	26	9	FAUX
A237	D3	174	29	6	9	FAUX

8 départs sur dix ayant une disposition axiale respectent la règle de proportionnalité entre hauteur du point lumineux et inter-distance entre les supports. Cette situation impacte fortement l'uniformité générale U_0 ce qui justifie les valeurs obtenues pendant la campagne de mesure et qui sont en grande partie inférieure aux valeurs exigées par la norme 13-201.

II-3-3-2 Eude de de l'homogénéité

Pour un fonctionnement optimal les départs doivent être uniformes. Il s'agit principalement d'utiliser le même type de lampes et ou de luminaires sur une même ligne d'alimentation. La relevée sur place conduit aux résultats inscrits dans les tableaux suivants :

Cas de l'arrondissement Khezama

L'ensemble du réseau de l'arrondissement khezama est alimenté à partir de 144 départs. Le recensement a permis d'obtenir la composition de chaque départ. Dans les tableaux qui suivent, on désignera par la lettre **H** les départs homogènes qui sont formé par un seul type ou technologie d'éclairage et par la lettre **N** les départs hétérogènes.

Arrondissement KHEZAMA	A001	D1	H	A006	D1	H	A009	D1	N	A014	D1	H	A020	D1	N	A025	D1	H	A030	D1	H	A034	D1	H	A036	D1	H			
		D2	H		D2	H		D2	N		D2	H	A021	D1	N		D2	H		D3	N		D2	H		D2	H			
	A002	D1	N		D3	H		D3	N	A015	D1	H		D2	N	A026	D3	H		D4	N		D3	N		D3	H			
		D2	H		D4	H	A010	D1	H		D2	H	A022	D1	N	A027	D1	H	A032	D1	H		D4	H	A038	D1	N		D2	H
		D3	H	A007	D1	H		D2	H	A016	D1	H		D2	N	A028	D1	N		D2	H		D5	H		D2	H		D3	N
		D4	H		D2	H		D3	H		D2	H	A023	D1	N		D2	N		D3	N		D6	N		D3	N		D4	N
	A003	D1	H		D3	N	A011	D1	H	A017	D1	H		D2	N		D3	H		D4	H	A035	D1	H		D4	N		D5	N
		D2	H		D4	H	A012	D1	H		D2	H		D3	N	A029	D1	H	A033	D1	H		D2	H		D5	N		D4	N
	A004	D1	H		D5	H		D2	H	A018	D1	H	A024	D1	N		D2	N		D2	H		D3	H	A043	D1	N		D2	H
		D2	H		D6	H		D3	N	A019	D1	H		D2	N	A031	D1	H		D3	H	A037	D1	H		D2	H		D3	H
	A005	D1	N	A008	D1	H	A013	D1	N		D2	H		D3	N		D2	N	A046	D1	H		D2	H		D3	H		D4	N
	A039	D1	H	A040	D1	N	A042	D1	N	A047	D1	N	A049	D1	N		D6	N		D2	N	A051	D1	H		D4	N		D5	H
		D2	H		D2	H		D2	H		D2	N		D2	N		D7	N		D3	H	A052	D1	H		D4	H		D6	H
		D3	H		D3	H	A045	D1	N	A048	D1	N		D3	N	A050	D1	N		D4	H		D2	H		D5	H		D6	H
	D4	H		D4	H		D2	H		D2	N		D4	N		D2	N		D4	H	A053	D1	H	A044	D1	N		D2	N	
	D5	H	A041	D1	N		D3	H		D3	N		D5	N		D3	N		D5	N		D2	H		D2	N		D2	N	

Sur les 144 départs de l'arrondissement 57 contiennent deux types de foyers qui n'ont pas le même comportement par rapport à la commande ou les caractéristiques de l'alimentation. Le mélange comprend des lampes de Sodium haute pression (SHP) avec des lampes à vapeur de mercure (HPL). Cette configuration ne permet pas l'optimisation énergétique du réseau.

Cas de l'arrondissement Médina

Au niveau de l'arrondissement de la médina le renoncement a fait sortir 8 armoires de distribution avec 29 départs dont 23 ne sont pas homogènes. Dans plusieurs cas le départ ne comprend qu'une ou deux lampes de type HPL faciles à remplacer pour homogénéiser le départ.

Arrondissement MEDINA	A401	D1	N	A402	D1	N	A404	D1	H	A407	D1	N
		D2	N		D2	N	A405	D1	N		D2	N
	A402	D1	H		D3	N		D2	N		D3	N
		D2	H		D4	N	A406	D1	N		D4	N
		D3	H		D5	N		D2	N	A408	D1	N
		D4	H		D6	N		D3	N		D2	N
		D5	H		D7	N		D4	N		D3	N
											D4	N

Cas de l'arrondissement JAWHARA

Le réseau de l'arrondissement Jawhara est alimenté à partir de 67 postes de distribution vers 164 départs. 52 départs ne sont pas homogènes. L'état est résumé dans le tableau qui suit :

arrondissement JAWHARA	A101	D1	N	A103	D1	H	A110	D1	H	A116	D1	H	A120	D1	N	A123	D1	H	A124	D1	H	A128	D1	N	A132	D1	H
		D2	H		D2	H		D2	N	A117	D1	H		D2	N		D2	H		D2	N		D2	N	A133	D1	N
		D3	H		D3	H	A111	D1	N		D2	H		D3	N		D3	N		D3	H		D3	N		D2	H
	A102	D1	N	A104	D1	H	A112	D1	H		D3	H		D4	H		D4	H		D4	H		D4	N		D3	H
	A106	D1	N		D2	H	A113	D1	N		D4	H		D5	H		D5	H		D5	H	A129	D1	N		D4	N
		D2	N	A105	D1	N	A114	D1	H	A118	D1	H		D6	H		D6	H		D6	H		D2	N	A134	D1	H
	A107	D1	H		D2	N		D2	H		D2	H	A121	D1	H	A125	D1	N	A126	D1	H		D3	N		D2	H
		D2	H		D3	H		D3	H		D3	N		D2	H		D2	H		D2	H	A130	D1	N	A135	D1	N
		D3	N	A109	D1	H		D4	H	A119	D1	N		D3	H		D3	H		D3	H		D2	N		D2	N
	A108	D1	N		D2	H	A115	D1	N	A122	D1	H		D3	H		D4	H		D2	H		D3	N		D3	N
		D2	H		D3	H		D2	N		D2	H		D4	H	A127	D1	H		D3	H	A131	D1	H		D2	N
	A136	D1	H	A137	D1	H	A141	D1	N	A145	D1	H	A146	D1	H	A149	D1	H	A154	D1	H	A165	D1	H	A166	D1	N
		D2	H		D2	H		D2	N		D2	H		D2	N		D2	N	A155	D1	H		D2	H		D2	N
		D3	H		D3	H		D3	N		D3	H		D3	H		D3	H		D3	H		D3	H		D3	N
	A138	D1	H		D4	H	A143	D1	H	A147	D1	N	A139	D1	N		D4	H	A157	D1	H		D4	H		D4	H
		D2	H		D5	H	A144	D1	H		D2	N		D2	N	A151	D1	H	A158	D1	H		D5	H	A168	D1	H
	A150	D1	H	A140	D1	H		D2	H		D3	N		D3	N		D2	N	A159	D1	H	A167	D1	H	A161	D1	H
		D2	H		D2	H		D3	H	A142	D1	H	A152	D1	H	A153	D1	H	A160	D1	H		D2	H	A162	D1	H
																			A164	D1	H	A163	D1	H			

Cas de l'arrondissement Erriadh

39 postes sont implantés sur le territoire de l'arrondissement Erriadh. Ils alimentent 97 départs dont 52 sont hétérogènes.

Arrondissement ERRIADH	A201	D1	H	A207	D1	H	A213	D1	N	A222	D1	H	A228	D1	N	A236	D1	H	A206	D1	N	A205	D1	N	A239	D1	N			
		D2	N		D2	N		D3	N		D2	H		D2	N	A237	D1	H		D2	H		D2	N		D2	N			
		D3	H		D3	N		D4	H		D3	H	A229	D1	N		D2	H		D3	N	A227	D1	H		D3	N			
	A202	D1	H	A208	D1	H	A215	D1	H		D4	H		D2	N		D3	H	A233	D1	N		D2	N		D4	N			
		D2	N		D2	H	A216	D1	N	A223	D1	H		D3	H		D4	N		D2	N		D3	N	A231	D1	H			
		D3	N	A209	D2	H		D2	N		D2	H	A218	D1	H	A238	D1	H	A234	D1	N	A235	D1	H		D2	H		D2	H
	A204	D1	N		D3	H	A217	D1	H		D3	H		D2	N		D2	N		D2	N	A212	D1	H	A225	D1	H			
		D2	N		D4	H		D2	H	A230	D1	N		D3	H		D3	H		D3	N		D2	H		D2	H			
		D3	N		D5	N	A210	D1	N		D2	N		D4	H	A232	D1	H	A226	D1	N	A214	D1	N		D3	N			
		D4	N	A220	D1	H		D2	N		D3	N	A219	D1	N		D2	H		D2	N		D2	N		D4	H			
	A211	D1	N		D2	N	A221	D1	N	A203	D1	H		D2	N	A224	D1	N		D2	N									

La tension d’amorçage des lampes de type HPL ne peut être inférieure 210 V. D’un autre coté les lampes de type SHP peuvent supporter une baisse de tension jusqu’à 190V. En cas de montage d’un régulateur de tension sur un réseau hybride seul les lampes de type SHP peuvent continuer à fonctionner pendant la période de réduction de puissance pour des raisons d’économie d’énergie.

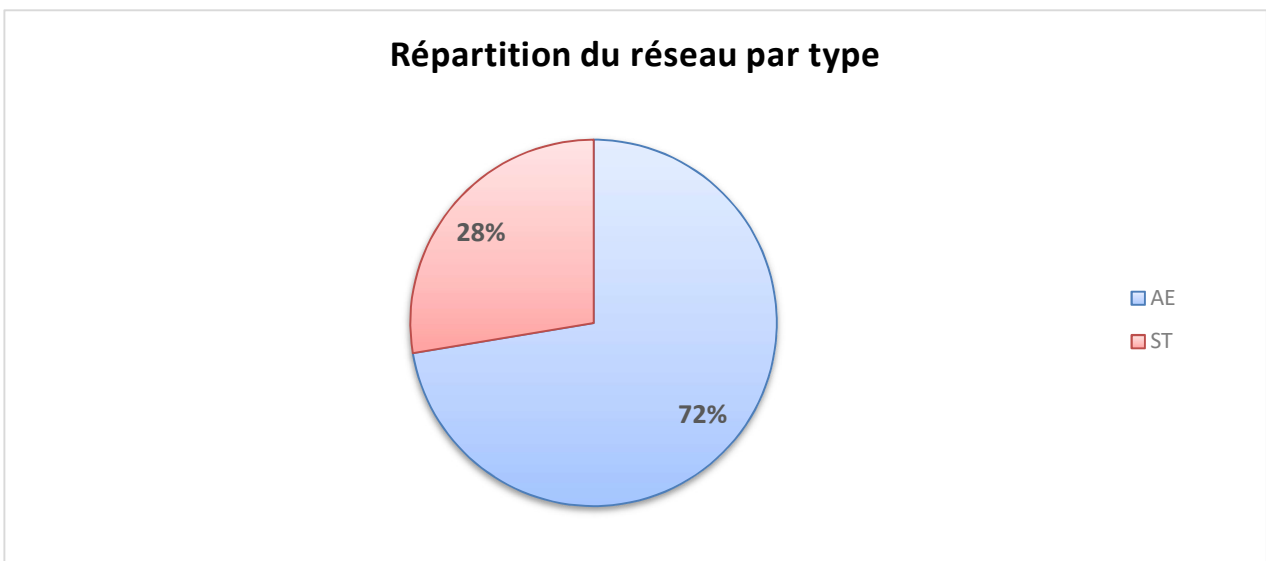
Cas de l’arrondissement SOUSSE SUD

39 postes sont implantés sur le territoire de l’arrondissement Erriadh. Ils alimentent 97 départs dont 52 sont hétérogènes.

II-3-3-3 Nature du réseau (souterrain / aérien)

La longueur recensée du réseau électrique fait 680 km. Elle est constituée de câblage qui sert de connections entre les supports et de transport d’énergies électriques. Deux types de réseaux existent aérien et souterrain leur répartition est comme suit :

RESEAUX		
TYPE	ETENDU (en KM)	%
AE	480	72
ST	190	28
TOTAL	670	100,0



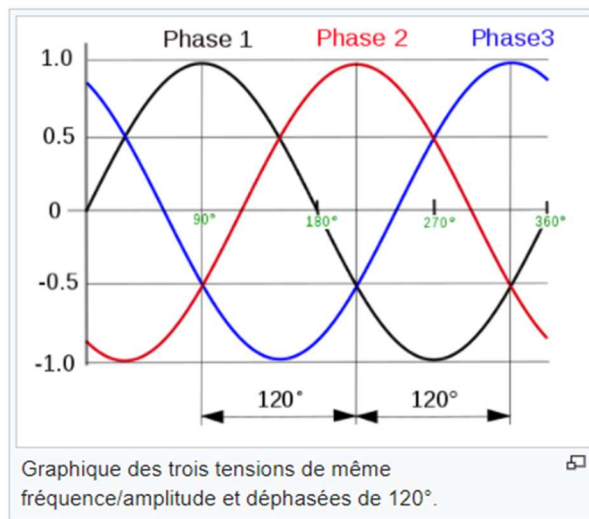
Seulement 28 % du réseau est de type enterré. Toutes les portions renouvelées récemment par la commune sont de type souterrain.

II-3-3-5 Equilibre des phases

Rappel :

Un système de courant triphasé se caractérise par trois courants (ou tensions) sinusoïdaux de même fréquence et de même amplitude qui sont déphasés entre eux d'un tiers de tour soit $2\pi/3$ radians (ou 120 degrés) dans le cas idéal. Si la fréquence est de 50 Hz, alors les trois phases sont retardées l'une par rapport à l'autre de $1/150$ secondes (soit 6,6 ms). Lorsque les trois conducteurs sont parcourus par des courants de même valeur efficace et sont déphasés de $2\pi/3$, le système est dit équilibré.

Dans le cas de la distribution électrique, le réseau peut se modéliser par trois sources de tension sinusoïdales d'amplitude identique, par exemple 230 V efficaces dans la plupart des pays européens, présentant un angle de phase de 120° entre elles. Idéalement la tension des trois phases est constante et indépendante de la charge, seul le courant de chaque phase devant être dépendant de la puissance de sortie. Du fait du déphasage de 120° , un réseau dont la tension efficace entre phase et neutre est de 230 V aura une tension composée de efficaces entre phases.



En se basant sur les mesures effectuées pendant l’audit préliminaire qui a permis de dresser un état de la charge par phase pour chaque poste de distribution. Le calcul est fait à partir de mesure de tension et de courant sur chaque phase à part. Une seule phase peut alimenter un ou plusieurs départs

Armoires	PH 1	PH 2	PH 3	éq
A001	2464	2464	2016	E
A002	2963	3124	2933	E
A003	1347	677	1347	N
A004	3457	3264	2607	N
...				
...				
...				
A408	3721	4667	2362	N

84 armoires sur les 221 ne sont pas équilibrées et nécessiteront une redistribution des alimentations dans le cas d'un projet de renouvellement ou de remise en conformité.

II-3-5 Les points lumineux

Les points lumineux sont au nombre de 17766. Ils sont soit le support d'un certain nombre de foyers ou tout simplement un passage de câble. Les caractéristiques sont les suivants :

Usage des points lumineux / supports

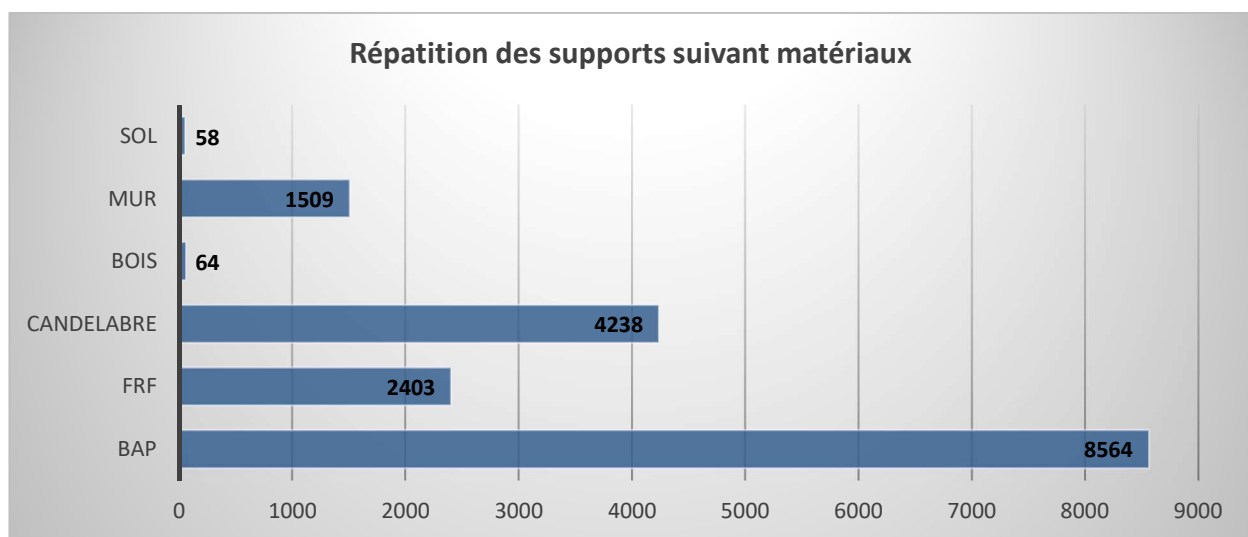
Certains supports sont utilisés comme passage de câble et ne contiennent pas de foyer. La répartition est donc comme suit :

Usage	Nombre	%
Avec foyers	15692	93
Passage de câbles	1147	7
Total	16836	100

Matériaux des supports

Les supports sont du type classique BAP, FRF, candélabre, poteau bois, fixation au mur et ancrage au sol. La répartition s'établit comme suit :

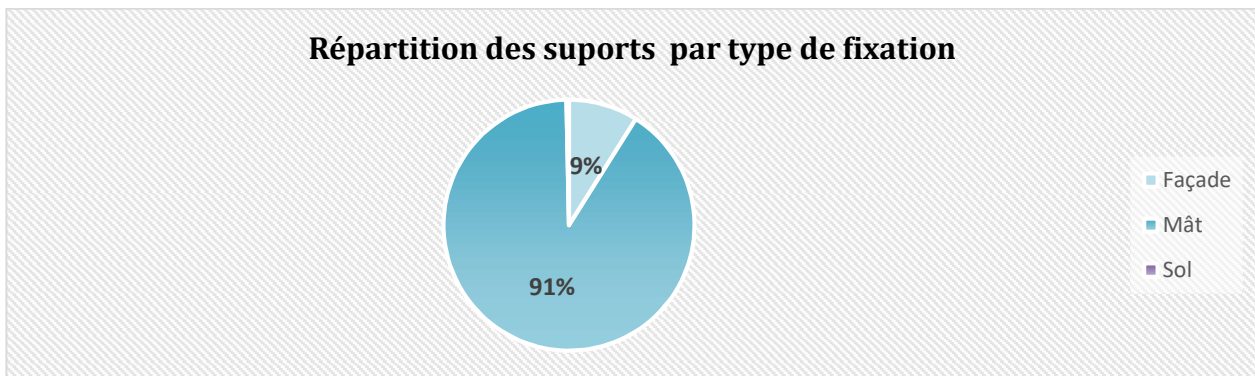
Matériaux	Nombre	%
BAP	8564	51
FRF	2403	14
CANDELABRE	4238	25
BOIS	64	0.5
MUR	1509	9
SOL	58	0.5
TOTAL	16836	100



Fixation

Il existe 3 types de support : en Façade, sur mât ou fixé au sol :

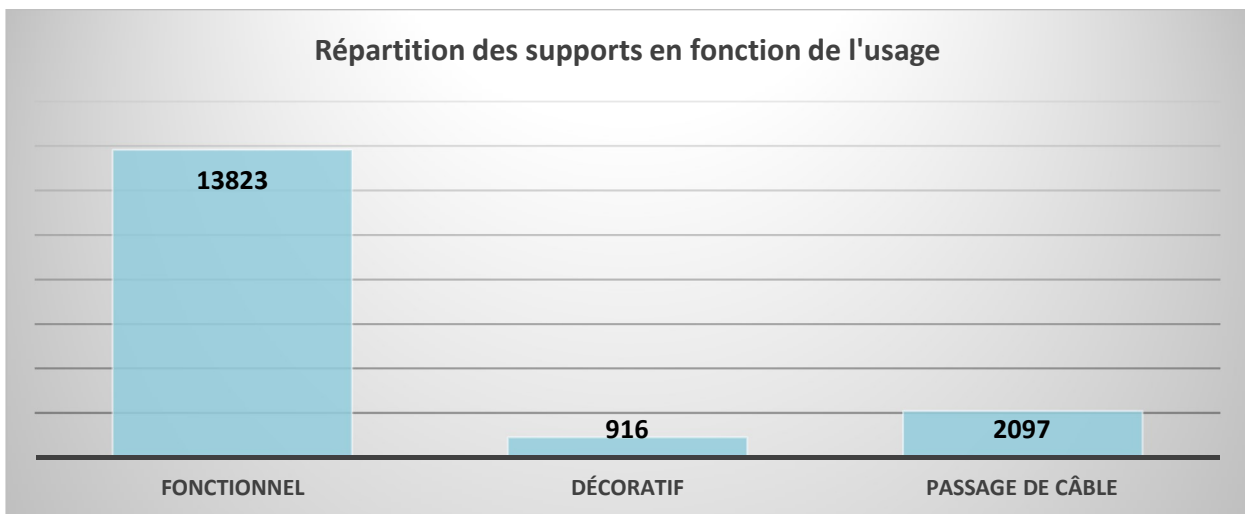
Type de fixation	Nombre	%
Façade	1509	9
Mât	15269	90
Sol	58	1
total	16836	100



Répartition des supports en fonction des usages

Les points lumineux recensés sont de trois types : fonctionnel, décoratif ou simplement un passage de câble :

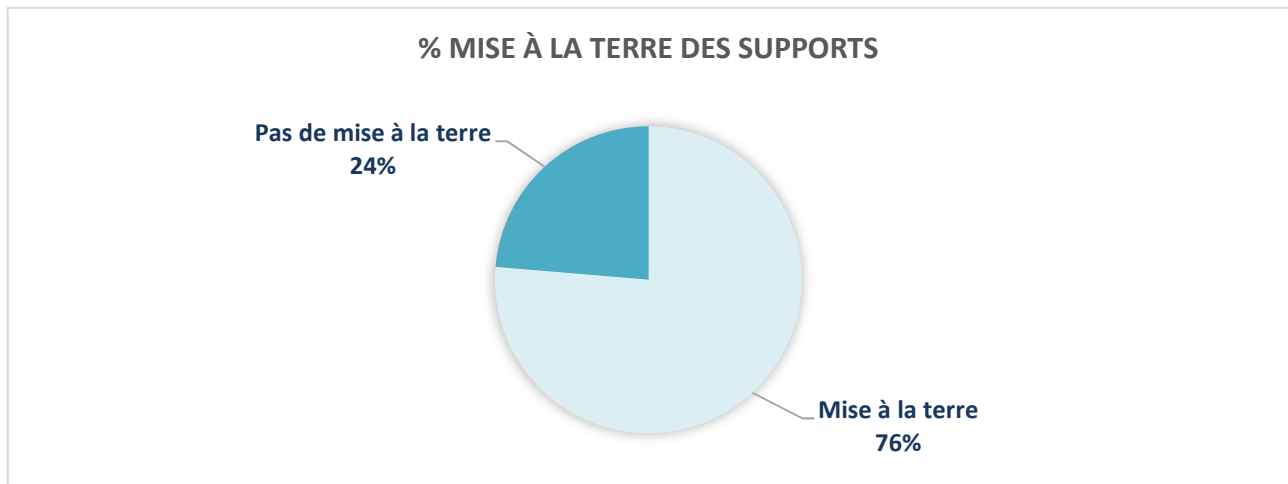
Type	Nombre	%
Fonctionnel	13823	82
Décoratif	916	5.5
Passage de câble	2097	12.5
TOTAL	16836	100



Etat suivant mise à la terre

Les supports métalliques doivent obligatoirement être mis à la terre pour des raisons de sécurité :

ETAT	NOMBRE	%
Mise à la terre	5083	76
Pas de mise à la terre	1574	24
Total	6657	100



Répartition suivant nombre de foyers

Les points lumineux sont équipés soit par 1,2,3 ou 4 foyers. La répartition en nombre et en pourcentage est comme suit :

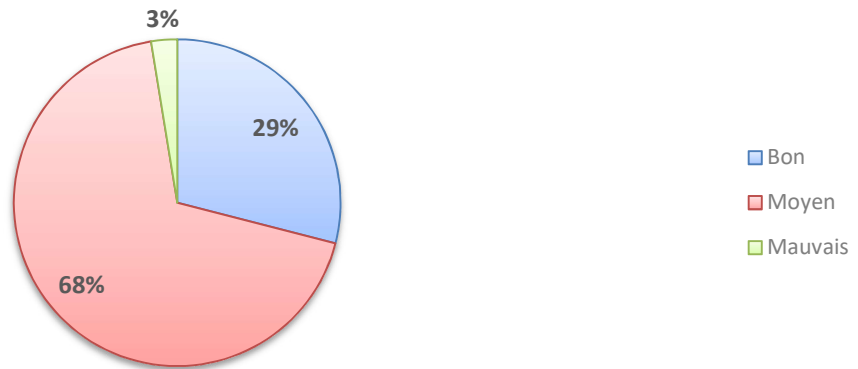
Nombre de foyers	Nombre	%
1	13846	93%
2	768	5.20%
3	21	0.10%
4	45	0.50%
Indéfini	174	1.20%
TOTAL	16836	100

Etat des supports

L'état du support peut renseigner sur la nécessité de remplacement dans le cadre d'un projet de rénovation. L'état actuel se dresse comme suit :

ETAT	Nombre	%
Bon	4876	29 %
Moyen	11510	68.5
Mauvais	430	2.5
TOTAL	16836	100

Répartition des points lumineux en fonction de leurs état

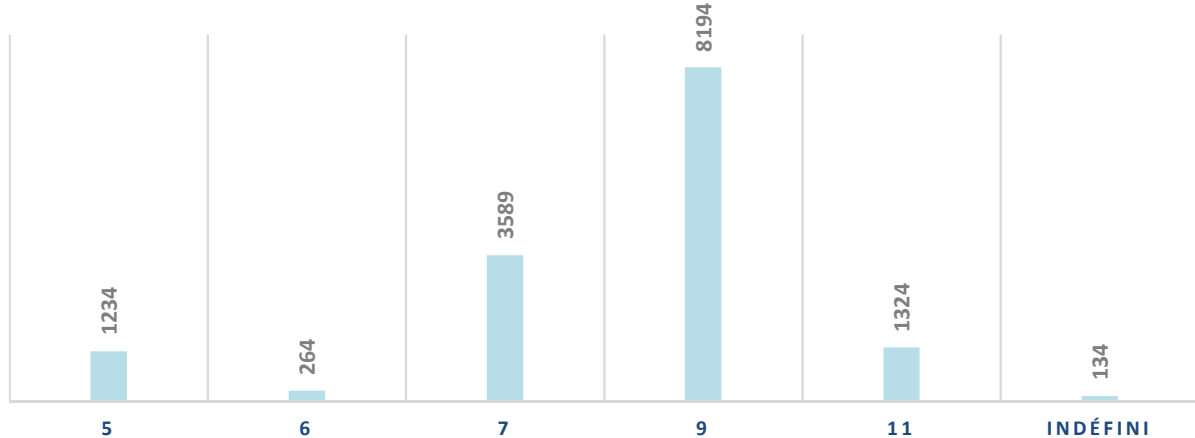


Répartition en fonction des hauteurs

Les points lumineux sont de hauteurs différentes. La hauteur moyenne est de 8.29 m qui est une hauteur assez élevée pour une moyenne en ville. Les hauteurs en mètre rencontrées pendant le recensement sont : 5, 6, 7, 8, 9 et 11.

HAUTEUR	NOMBRE	%
5	1234	8 %
6	264	2 %
7	3589	24 %
9	8194	56 %
11	1324	9 %
Indéfini	134	1 %
TOTAL	16836	100

RÉPARTITION EN FONCTION DE LA HAUTEUR (M)



II-3-6 Les foyers

Répartition par type de lampes

Le parc est constitué en grande partie par des lampes à Sodium haute pression (SHP) avec presque 80% du nombre total. Suivi par les lampes de type vapeur de mercure (HPL) très nocive pour l'environnement et même interdite de fabrication et de commercialisation depuis des années en Europe avec un pourcentage de 14.52%. Les lampes LED commence à faire partie du parc à partir de 2020. Ils sont actuellement montés sur la voie de Boujaafar et en partie à la Médina. Le pourcentage des LED est encore très faible avec seulement 3.8%

Nbr total	15690
Puissance totale KW	2839

Type	Puissance KW	%	Nombre	%
HPL	223.24	8	2278	14.52
SHP	2383.5	84	12547	79.96
LED	68	2.4	593	3.78
Autre	164.26	5.6	256	1.63
Non défini	0		16	0.11
Total	2839		15690.00	100.00

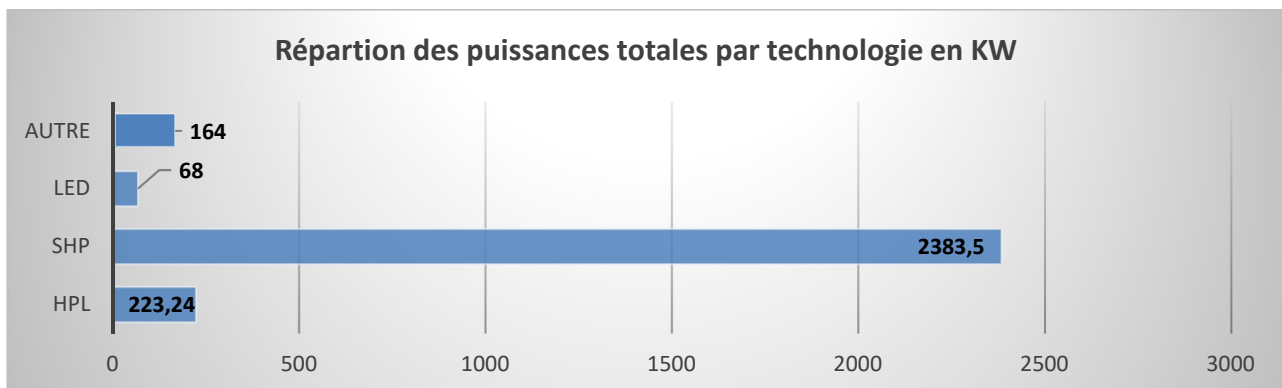
Bien qu'il représente 14.5 % en nombre les lampes de type vapeur de mercure (HPL) ne représentent que 8.31 % de la puissance totale installée de l'éclairage publique.

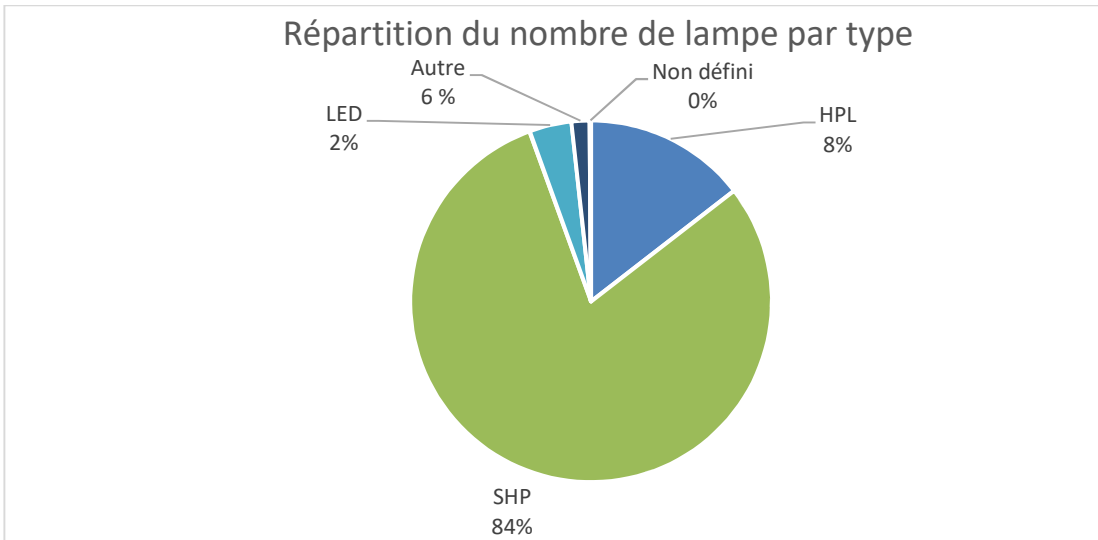
La puissance installée est à 84% en sodium haute pression ce qui promet en termes de potentiel réalisable sur la consommation énergétique de la ville. Les luminaires de type LED qui sont la référence de point de vue énergétique ne représentent que 2.4 % de la puissance installée.

Sur les **15690** points recensés seulement dix-huit points n'ont pas pu être complètement identifiés (enlevés, vandalisés ...)

Répartition des puissances installées par type de lampes

Presque 90% de la puissance installée sur tout le territoire est de type SHP.





Répartition des puissances HPL par arrondissement

La puissance des lampes de type HPL sera priorisés dans le plan d'action (RELAMPING) du réseau. La répartition selon l'arrondissement figure dans le tableau et le graphique ci-dessous :

Arrondissement	Codage Armoires	Nombre HPL	Puissance HPL	Puissance Totale KW
Khezama	A002-053	591	52.36	811
Jawhara	A101-165	724	83.25	940
Erriadh	A201-236	550	49	381
Sidi Abdelhamid	A305-350	241	17.27	604
Médina	A403-408	172	21.12	103
TOTAL		2278.00	223	2839

La puissance des lampes de type HPL sera priorisés dans le plan d'action (RELAMPING) du réseau. La puissance totale installée est de 223 KW formée principalement de lampes de puissance 70,125,150,250 et quelques 400 w. Il est important de localiser les réseaux auquel appartient ces lampes.

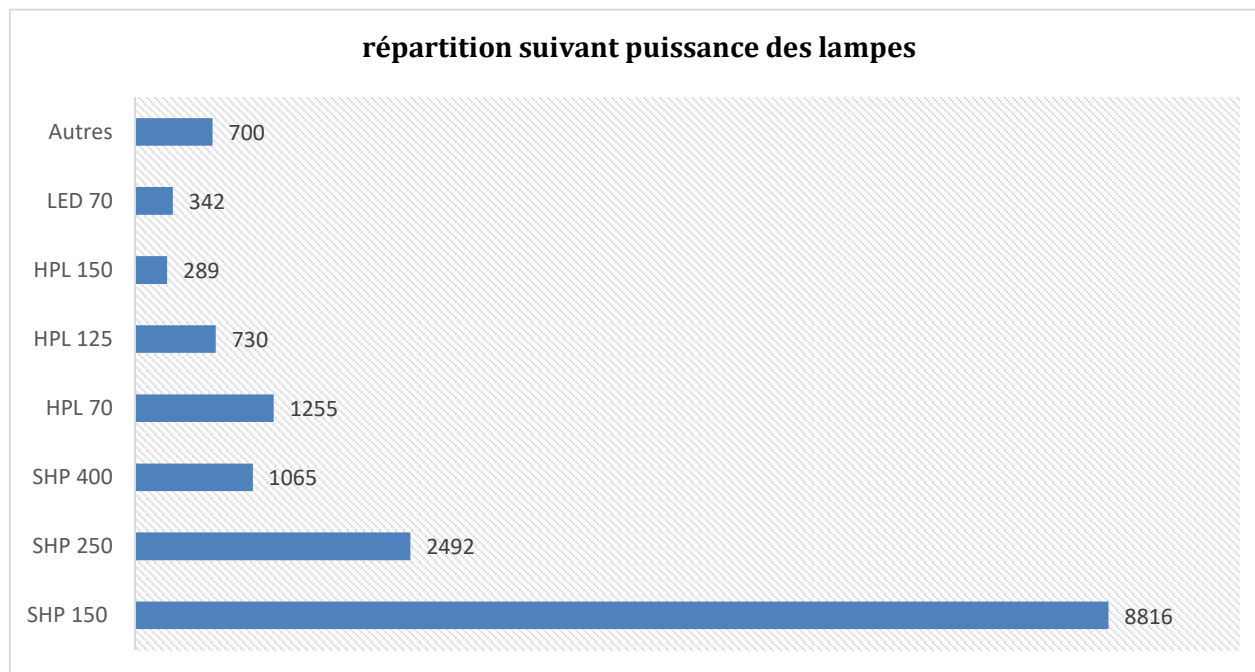
Répartition en fonction des puissances des lampes

Chaque catégorie de lampe possédé des valeurs de puissance qui commence par 35w et atteint 400w pour le sodium.

Type	Nombre	%
SHP 150	8816	56
SHP 250	2492	16
SHP 400	1065	7
HPL 70	1255	8
HPL 125	730	5
HPL 150	289	2
LED 70	342	3
Autres	700	4
Total	15689	100

Répartition en fonction de l'état du luminaire

Cette répartition renseigne quant à l'efficacité du luminaire à refléter la quantité de lumière vers la cible. Les vasques en mauvais état causent une surconsommation d'énergie causée principalement par l'usage de lampe de puissance majorée.



Etat	Nombre	%
Bon état	7892	50
Moyen	4374	28
Mauvais état	3423	22
Total	15689	100

III-ÉTUDE FINANCIÈRE

III - Données financières

III-1 : Facturation d'électricité

Les factures totales annuelles de la commune de Sousse incluant tous les arrondissements et pour les années 2017, 2018 et 2019 figurent dans le tableau ci-dessous :

	2017	2018	2019
Consommation totale KWh	7511356	6295419	9369166
Coût totale en DT	2120049.93	1828406.45	3049789.04

La facturation de la STEG décalée sur la période fait que des consommations sur une année sont imputées sur l'année suivante d'où il est important de faire des corrections pour aboutir à des tendances significatives. L'état de facturation mensuelle tel qu'enregistré sur la base de données de la commune figure dans le tableau qui suit :

	janv-17	févr-17	mars-17	avr-17	mai-17	juin-17	juil-17	août-17	sept-17	oct-17	nov-17	déc-17	TOTAL
Consommation KWh	24332	1862779	1405696	16252	1341825	19251	15307	484485	20124	1812557	14335	494413	7511356.00
Montant DT	5435.708	521206.026	398785.749	4176.801	383313.852	4362.037	3498.187	141070.535	4505.536	510277.915	3250.669	140166.914	2120049.93
	janv-18	févr-18	mars-18	avr-18	mai-18	juin-18	juil-18	août-18	sept-18	oct-18	nov-18	déc-18	TOTAL
Consommation KWh	5736	1527940	1613389	39717	179573	13328	2133474	15424	21783	14200	15900	714955	6295419.00
Montant DT	1475.499	435858.02	455725.488	8791.376	57318.251	3336.563	611200.1	3796.209	9110.565	16538.246	4520.825	220735.263	1828406.45
	janv-19	févr-19	mars-19	avr-19	mai-19	juin-19	juil-19	août-19	sept-19	oct-19	nov-19	déc-19	TOTAL
Consommation KWh	19614	1905590	17690	1557005	15423	1807089	13910	1229716	18314	1135217	20892	1628706	9369166.00
Montant DT	5566.89	577049.886	5358.326	478205.6	4978.741	547005.2	4787.952	386246.495	6076.553	359464.959	6780.352	668268.054	3049789.04
heures obscurité	434	368	374	328	309	285	302	329	350	402	410	442	4333.00

De même on constate que les consommations mensuelles ne suivent pas les horaires d'obscurité bien qu'ils sont linéairement proportionnels. La puissance installée est quasi constante, la courbe de consommation doit avoir la même allure que celle représentant l'évolution des heures de mise à feu jusqu'à l'extinction.

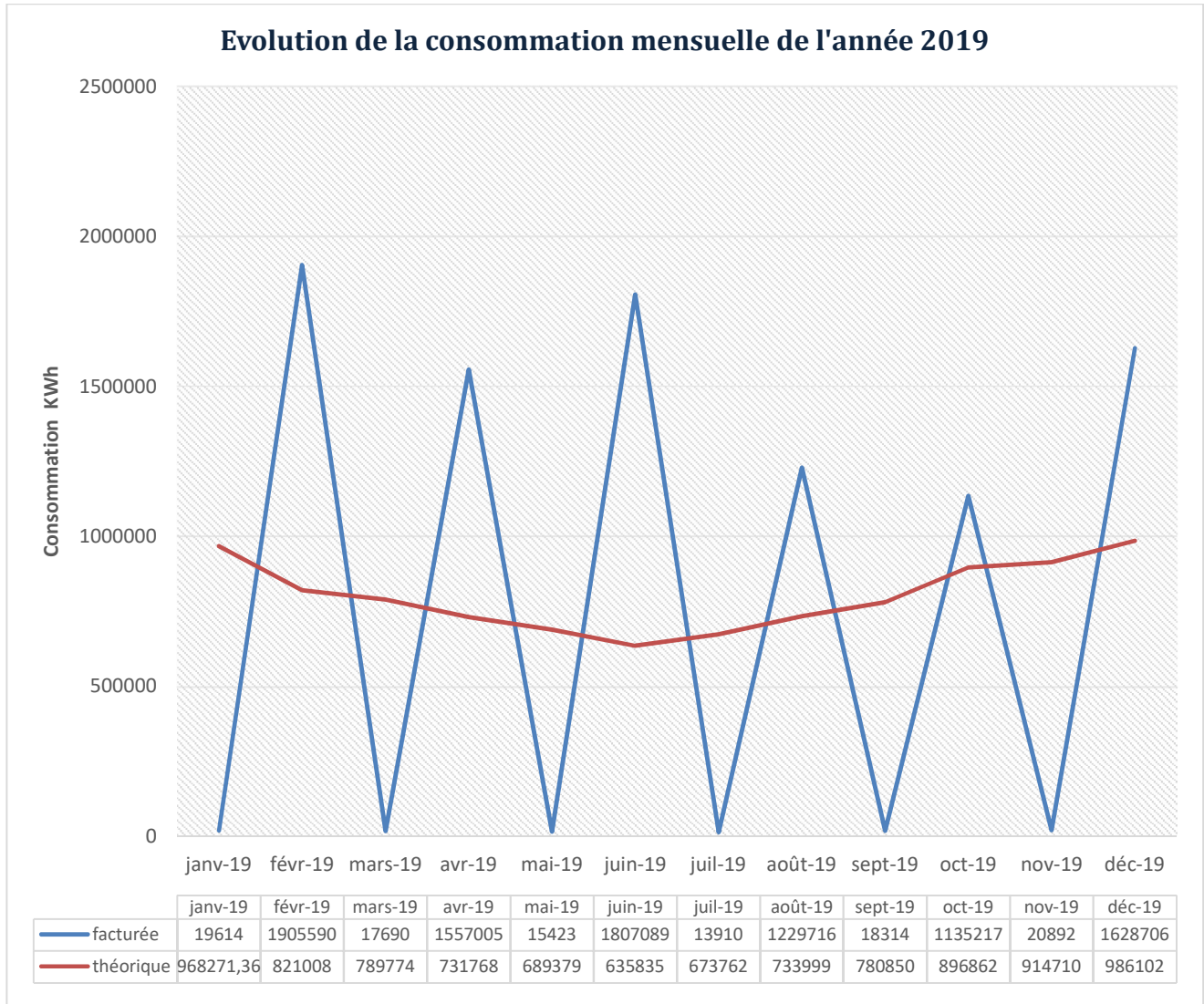
Le prix moyen d'achat d'électricité pour le poste éclairage public a évolué de 228mil/KWH à 325 mil/KWh entre 2017 et 2019 ce qui correspond un surcoût de 42% par rapport au prix de référence qui est dans le cas de l'étude celui de 2017.

Année	2017	2018	2019
Prix moyen mil/KWh	282	290	325

Si on considère la puissance totale installée et le nombre d'heures annuel de fonctionnement théorique on obtient une consommation annuelle théorique de :

$$22839 \times 3600 = 10220400 \text{ KWh/an}$$

La consommation réelle est inférieure à la consommation théorique (9369166Kwh) ce qui correspond à une différence de **-9 %**. Une première conclusion s'en sort est que le réseau comprend plusieurs points hors service ou fonctionnant en discontinue (coupures).



La facturation en dent de scie

La différence entre la consommation théorique et la consommation facturée s'explique aussi par le fait que le réseau comprend 3199 points défectueux qui représentent 20 % du nombre total.

	Nombre	Nombre total des foyers	Puissance HS en KW	Puissance totale du réseau
Points défectueux	3199	15692	548	2839
%	20.39		19	

La correction de l'heure vient du fait que la mise à feu se fait de 10 à 15 minutes après l'heure du coucher de soleil et l'extinction avant quelques minutes de l'heure du lever du soleil.

P = 2839 KW	janv-19	févr-19	mars-19	avr-19	mai-19	juin-19	
heures obscurité	434	368	354	328	309	285	
Heures corrigés	424.7	359.6	344.7	319	299.7	276	
consommation facturée	19614	1905590	17690	1557005	15423	1807089	
correction facturée	23536.8	2286708	21228	1868406	18507.6	2168506.8	
consommation théorique	1141593.6	966604.8	926553.6	857472	805593.6	741888	
	juil-19	août-19	sept-19	oct-19	nov-19	déc-19	TOTAL
	302	329	350	402	410	442	2078.00
	292.7	319.7	341	393	401	432.7	2023.70
	13910	1229716	18314	1135217	20892	1628706	9369166
	16692	1475659.2	21976.8	1362260.4	25070.4	1954447.2	11242999
	786777.6	859353.6	916608	1056384	1077888	1163097.6	5439705.6

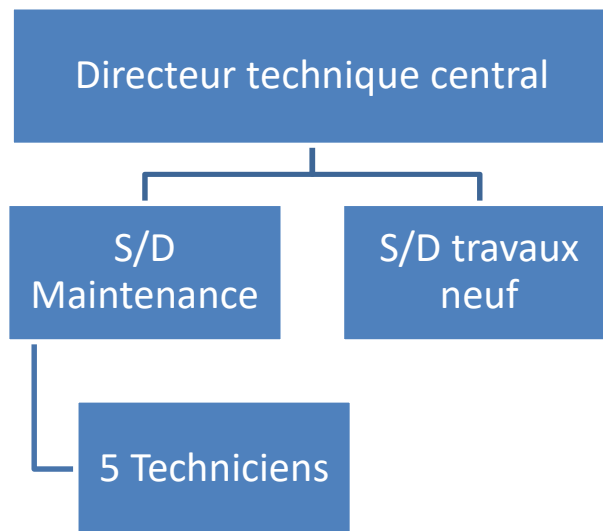
Ecart % 0.50

Pour vérifier les hypothèses avancées on procède à la correction des consommations pour les ramener à 100% de fonctionnement. On les compare ensuite aux consommations théoriques pour déduire un écart de 0.5%.

III-2 : charges d'exploitation

III-2-1 Capacités Humaines et Matériel

L'organigramme du service se dresse comme suit :



L'équipe comprend une sous-direction de maintenance en charge des opérations d'entretien préventif et curatif. Seulement 5 techniciens assurent environ **2000 interventions** par an. Vu le nombre réduit de technicien aucune intervention préventive ne peut être assurée. D'un autre coté la sous-direction de travaux neufs est constitué d'un ingénieur spécialiste en électricité seulement, il est chargé de l'ensemble des projets et travaux neufs de tout le parc d'éclairage public de la ville. Les deux sous-directions sont chapotées par un directeur technique central. La liste du personnel figure dans le tableau ci-dessous :

Nombre	Qualification	ancienneté
5	Technicien	➤ 20
2	Ingénieurs	➤ 10

Les charges salariales s'établissent comme suit.

Grade	Nombre	Salaire mensuel	Salaire annuel total DT
Ingénieur	2	30000	60000
Technicien	5	1200	72000
Total			132000

Les charges d'exploitation du matériel roulant sont estimées à :

Type	Nombre	Coût d'exploitation (Carburant + entretien)
Nacelle	2	20000
Véhicule utilitaire	1	5000

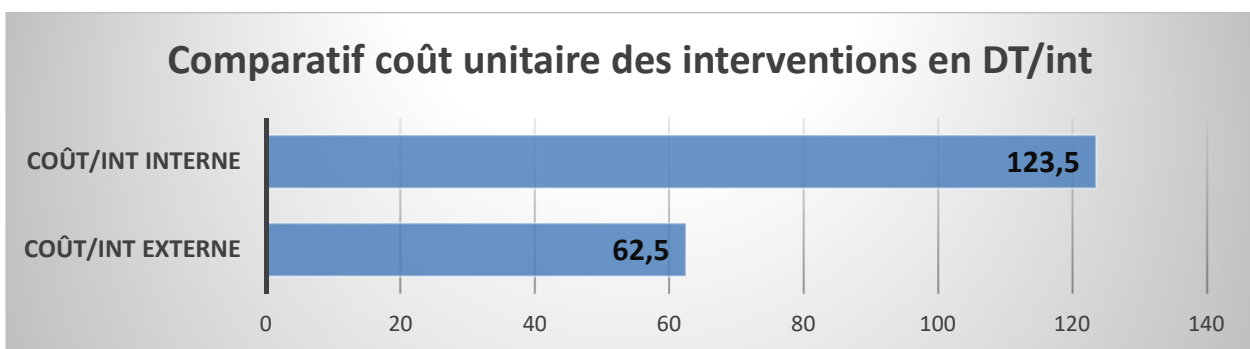
III-2-2 Gestion de la maintenance :

Environ 10000 interventions curatives sont exécutées sur le réseau dont seulement 2000 réalisées par l'équipe de maintenance de la commune. Le reste des interventions sont assurées par des entreprises externes (sous-traitance).

Les interventions assurées en interne sont : remplacement de lampes, ballastes, amorceurs, foyer entier. Les opérations réalisées par une entreprise externe sont les mêmes réalisées en interne auxquels s'ajoute d'autres tâche lourde comme par exemple : dressage de poteau/reprise massifs/reprise fourreaux

	Pièces	main d'œuvre	autres	total	Nombre interventions
Dépenses externes	500			500	8000
Dépenses internes	90	132	25	247	2000

Le Coût par intervention se calcul comme suit :



Le coût moyen des interventions en interne coûte environ **le double** si ces mêmes interventions sont effectuées en interne par l'équipe municipale.

Ces mesures sont effectuées entre 20h et 21h c'est-à-dire pendant le régime de fonctionnement normal. Des variateurs sont montés dans certains poste mais aucun n'est fonctionnel.

IV-ÉTUDE TECHNIQUE

ÉCHANTILLON REPRÉSENTATIF (50 ARMOIRES)

IV- Etude technique

IV-1 Objectifs de l'analyse

L'analyse détaillée des armoires répond à plusieurs objectifs :

- Étude du dispositif de sécurité
- Etude du dispositif de commande
- Etat de fonctionnement du régulateur (s'il existe)
- Liste de défaillances et propositions chiffrées de réhabilitation.
- Étude détaillée de chaque départ
- Calibrage des organes de coupure, section des câbles, chute de tension en bout de ligne, équilibrage des phases, mise à la terre
- Étude de conformité aux normes de sécurité électriques.
- Homogénéité, états et type des points lumineux
- Etats et type du support, vétusté des équipements, équipements auxiliaires, type et rendement des luminaires.

IV-2 Conception de l'éclairage

- Validité de la disposition
- Conformité de la hauteur et l'inter-distance des points lumineux,
- Validité de la puissance de feu et du flux

Pour valider la conception de l'éclairage, chaque armoire a fait l'objet d'une ou plusieurs simulation DIALUX. Ci-dessous sont présentés les principaux résultats, tous les fichiers de simulation étant joint à ce rapport.

Pour chaque armoires, l'écart relatif entre la puissance mesurée et la puissance théorique a été calculé. Cet écart, quand il est trop important permet de mettre en évidence des pertes électriques à corriger.

Celui est calculé selon les formules :

$$Ecart = \frac{(Puissance\ mesurée - Puissance\ théorique)}{Puissance\ théorique}$$

$$Puissance\ théorique = \sum Puissance\ des\ foyers - \sum Puissance\ des\ foyers\ défectueux$$

Puissance mesurée : calculée à partir des mesures directes de l'ampérage et la tension de chaque départ ($U \cdot I \cdot \cos \Phi$) avec $\cos \Phi$ le facteur de puissance = 0.8

IV-3 Liste des armoires

Les armoires qui ont été investiguées sont ici classées par type d'exigences selon la norme EN 13201 :

Pénétrante urbaine	Voie urbaine importante	Voie urbaine secondaire	Voie commerçante	Voie piétonne / Piste cyclable	Place, Giratoire
35	31	42	142	4	156
28	32	101	146	5	301
	39	105	150	10	23
	162	110	7	208	
	143	204	11	209	
	205	216	120		
		212	127		

IV-3-1 Pénétrante urbaine

Classification de la voie et exigences associées

Les classes d'éclairage M sont destinées aux conducteurs de véhicules motorisés sur les voies de circulation. Cette classe comprend 6 catégories (M1 à M6) sélectionnées en fonction de différents paramètres :

- Vitesse de conception ou limite de vitesse (très élevée, élevée, modérée, faible)
- Volume de trafic (élevé, modéré, faible)
- Composition du trafic (mixte avec une majorité de non motorisé, mixte, motorisé)
- Séparation des chaussées (oui, non)
- Densité de carrefour (élevée, modérée)
- Véhicules en stationnement (oui, non)
- Luminosité ambiante (élevée, modérée, faible)
- Tâche de navigation (très difficile, difficile, facile)

Nous avons déterminé que ces voies correspondent à la **classe M2** en considérant les caractéristiques suivantes pour les paramètres précédemment cités :

- Vitesse ≤ 70 km/h
- Zone habitée
- Véhicules Motorisés / Véhicules lents, Cyclistes, piétons
- Complexité : élevée
- Véhicules en stationnement : oui
- Intersections ≥ 3 par km
- Tâche navigation : élevée

La norme EN 13201-2 « Exigences de performance » nous renseigne sur les valeurs à atteindre pour garantir un éclairage adéquat :

Classe	Luminance de la chaussée pour une route sèche et mouillée				Eblouissement d'incapacité	Eclairage des abords
	Route sèche		Route mouillée		Route sèche	Route sèche
	Lmoy mini maintenue cd·m2	Uo minimale	U _l mini	Uow minimale	fTI maximal %	R _{EI} minimal
M2	1,5	0,4	0,7	0,15	10	0,35

Tableau 1: Exigences de la norme EN 13201 - classe M2

Lmoy : La luminance moyenne reflète le niveau général de luminance sous lequel l'utilisateur conduit son véhicule.

U_o : L'uniformité générale (U_o) mesure d'une manière générale la variation des luminances. C'est le rapport de la valeur la plus faible à la valeur moyenne

U_l : L'uniformité longitudinale fournit une appréciation de l'évidence de la répétition manifeste de zones claires et sombres sur la route. C'est rapport le plus faible parmi ceux déterminés pour chaque voie de circulation de la chaussée sous forme de rapport entre la luminance la plus basse et la plus haute de la surface de la route dans l'axe central de la voie de circulation

U_{ow} : Uniformité générale pour routes mouillées

fTI : Augmentation relative du seuil de perception. C'est l'augmentation en pourcentage du contraste d'un objet qui est nécessaire pour le maintenir au seuil de visibilité en présence d'un éblouissement d'incapacité généré par les luminaires d'une installation d'éclairage public.

R_{EI} : Rapport d'éclairage des abords EIR. C'est l'éclairage horizontal moyen sur une bande située juste à l'extérieur du bord de la chaussée proportionnellement à l'éclairage horizontal moyen sur une bande située à l'intérieur du bord, où les bandes ont la largeur d'une voie de circulation de la chaussée. Les exigences principales portent sur la luminance de la chaussée. C'est-à-dire la lumière réfléchiée par celle-ci dans une direction donnée par unité d'angle solide. Les conventions de mesure sont données pour des conducteurs observant des tronçons de route à des distances comprises entre 60 mètres et 160 mètres. Les mesures en différents points doivent être effectuées à l'aide d'un luminancemètre.

Si une mesure de luminance est impossible du fait de son coût, les exigences de la classe M seront remplacées par celles en éclairage de la classe C équivalente donnée par la norme en fonction de la luminosité de la route Q₀. En effet, les exigences relatives aux classes C sont données en éclairage reçu par la chaussée en lux, grandeur facilement mesurable à l'aide d'un luxmètre.

Ainsi pour la classe d'éclairage M2 nous pouvons établir les correspondances :

Pour $Q_0 \leq 0.05 \text{ cd.m}^2.\text{lux}^{-1}$: classe C1

Pour $0.05 \text{ cd.m}^2.\text{lux}^{-1} < Q_0 \leq 0.08 \text{ cd.m}^2.\text{lux}^{-1}$: classe C2

Pour $Q_0 > 0.09 \text{ cd.m}^2.\text{lux}^{-1}$: classe C3

Selon la classification de la CIE,

Classe	revêtement	exemple
R1 ($Q_0=0.10$)	Diffusant	bitumeux avec au moins 15% de matériels artificiels clairs; béton de ciment
R2 ($Q_0=0.07$)	peu Spéculaire	texture rugueuse et agrégats normaux; béton bitumeux grossier et rugueux riche en gravier
R3 ($Q_0=0.07$)	Moyennement spéculaire	béton bitumeux à froid; texture grossière, mais polie
R4 ($Q_0=0.08$)	Spéculaire	asphalte coulé après plusieurs mois de service; ossature plutôt lisse et polie

L'équivalent de la classe M2 est donc dans notre cas la classe C2. Les exigences de la classe C2 sont :

Classe	Eclairage horizontal	
	Emoy minimal maintenu (lx)	U_0 minimale
C2	20	0.4

Tableau 2: Exigences de la norme EN 13201 - classe C2

IV-3-1-1 Exemple 1- Armoire 35

Localisation

Sousse Centre, Jawhara, Sahloul 3

Résultats

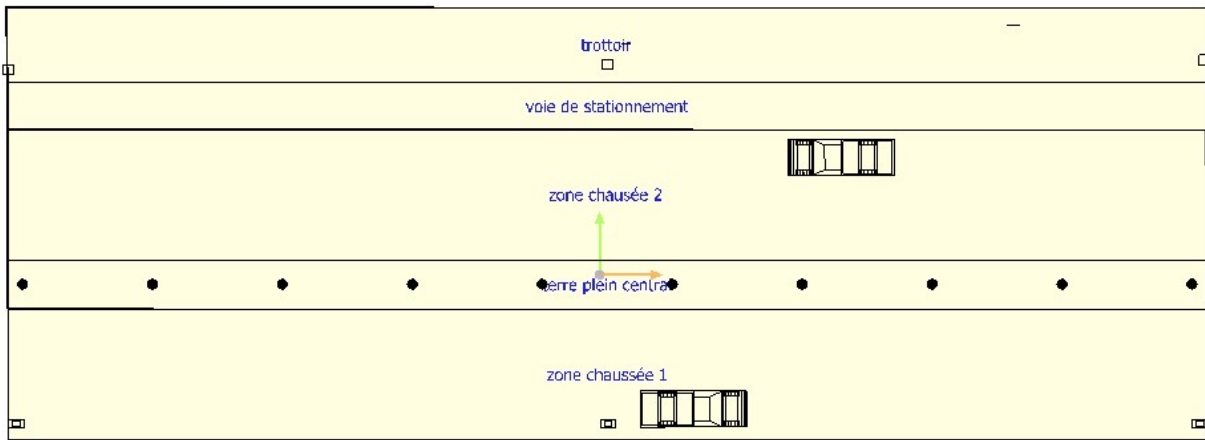
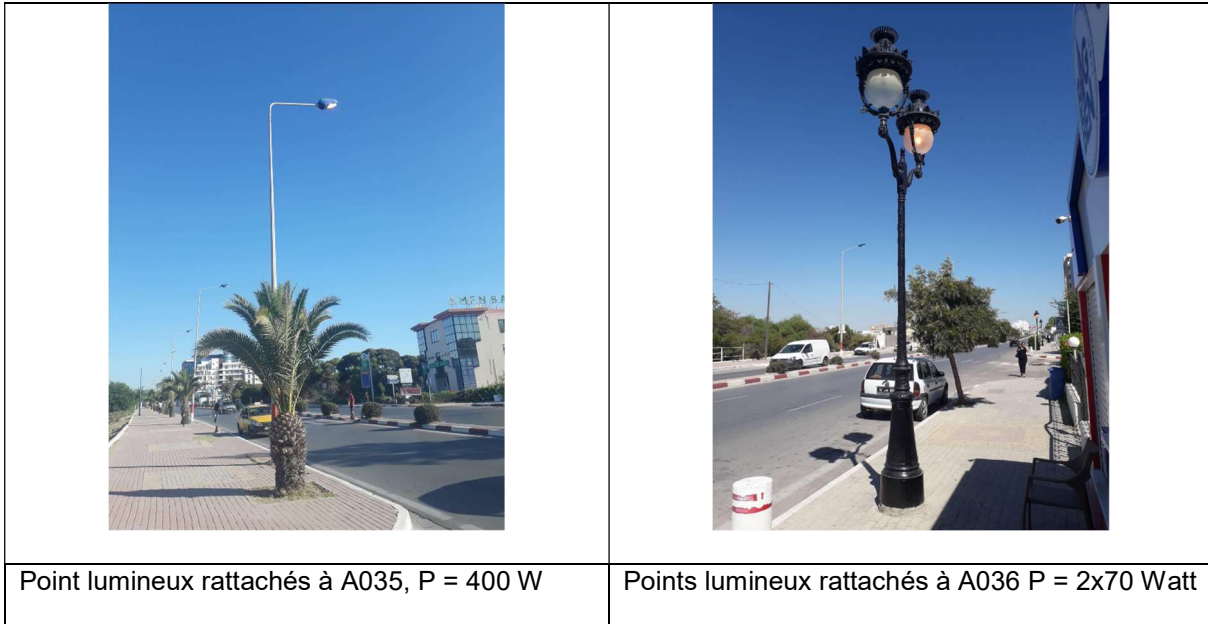
Armoire	Etat	Nbr de points	Nbr de foyers	Puissance totale avec ballast (W)	Puissance moyenne des foyers	foyers défectueux	Classe des voies
A035	moyen	62	71	19096	269	9	A

Départs	Nbr de points	Nombre de foyers	Nombre de foyers défectueux	Puissance totale avec ballast (W)	P avec défauts	P active mesurée (VA)	Ecart mesure/théorie
A035D1	45	54	5	11816	10 931	13572	24%
A035D2	7	7	2	2800	2 072	1989	-4%
A035D3	10	10	2	4480	3 584	3510	-2%

Puissance	40 Watt	70 Watt	125 Watt	150 Watt	250 Watt	400 Watt
nbre foyers	0	15	0	16	16	24
A035D1	0	15	0	16	14	9
A035D2	0	0	0	0	2	5
A035D3	0	0	0	0	0	10

L'étude concerne le boulevard du 14 janvier 2011, Na HP 400 Watt

Les points lumineux du côté de la chaussée numérotée 1 ci-dessous sont rattachés à l'armoire A035. La simulation considère cependant l'éclairage du boulevard dans sa globalité et considère aussi les points lumineux rattachés à l'armoire A036.



Résultats chaussée 1 (côté armoire A035)

	Taille	Calculé	Consigne	Contrôlé
Chaussée 1 (M2)	L_{req}	3.50 cd/m ²	≥ 1.50 cd/m ²	✓
	U_0	0.60	≥ 0.40	✓
	U_1	0.76	≥ 0.70	✓
	R_{gl}	0.62	≥ 0.35	✓
	$TJ^{(1)}$	-	-	-

Résultats pour l'observateur

	Taille	Calculé	Consigne	Contrôlé
Observateur 1 Position: 60.000 m, 1.625 m, 1.500 m	L_{avg}	3.50 cd/m ²	≥ 1.50 cd/m ²	✓
	U_0	0.60	≥ 0.40	✓
	U_1	0.76	≥ 0.70	✓
	$Tl^{(1)}$	8 %	-	-
Observateur 2 Position: 60.000 m, 4.875 m, 1.500 m	L_{avg}	3.68 cd/m ²	≥ 1.50 cd/m ²	✓
	U_0	0.64	≥ 0.40	✓
	U_1	0.77	≥ 0.70	✓
	$Tl^{(1)}$	-	-	-

Résultats chaussée 2 (côté armoire A036)

	Taille	Calculé	Consigne	Contrôlé
Chaussée 2 (M2)	L_{avg}	0.99 cd/m ²	≥ 1.50 cd/m ²	✗
	U_0	0.53	≥ 0.40	✓
	U_1	0.76	≥ 0.70	✓
	R_{gl}	0.62	≥ 0.35	✓
	$Tl^{(1)}$	13 %	-	-

Résultats pour l'observateur

	Taille	Calculé	Consigne	Contrôlé
Observateur 1 Position: 60.000 m, 10.625 m, 1.500 m	L_{avg}	0.99 cd/m ²	≥ 1.50 cd/m ²	✗
	U_0	0.56	≥ 0.40	✓
	U_1	0.76	≥ 0.70	✓
	$Tl^{(1)}$	13 %	-	-
Observateur 2 Position: 60.000 m, 13.875 m, 1.500 m	L_{avg}	1.09 cd/m ²	≥ 1.50 cd/m ²	✗
	U_0	0.53	≥ 0.40	✓
	U_1	0.81	≥ 0.70	✓
	$Tl^{(1)}$	8 %	-	-

Note : le facteur de maintenance est considéré de 0.67

Discussion

Les résultats respectent les recommandations de la norme EN 13201 pour la chaussée 1. Les valeurs de luminances moyennes ne sont par contre pas respectées pour la chaussée 2 et l'augmentation relative du seuil de perception est supérieure à celle requise.

Ces résultats s'expliquent par la dissymétrie forte de l'éclairage du boulevard avec d'un côté des luminaires de type routier (armoire A35), bien adaptés aux besoins et de l'autre des luminaires plus de style qui ne sont pas adaptés à de l'éclairage de grands axes routier (armoire A36). La puissance des luminaires de

type routier compense en partie le manque d'éclairage du côté des luminaires de style mais ceci au détriment même de l'éclairage sur la chaussée 1 qui s'en trouve sur éclairée.

IV-3-1-2 Exemple 2- Armoire 28

Localisation

Khezema Est

Résultats

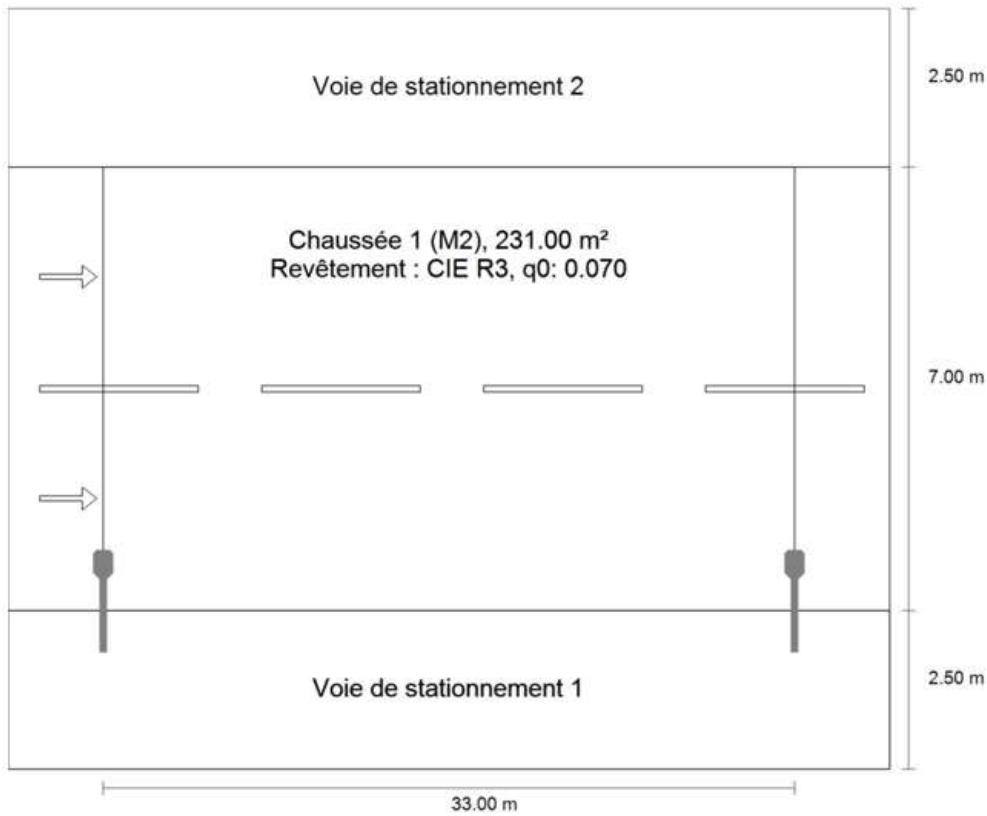
Armoire	Etat	Nbr de points	Nbr de foyers	Puissance totale avec ballast (W)	Puissance moyenne des foyers	foyers défectueux	Classe des voies
A028	moyen	82	98	22344	228	7	A

Départs	Nbr de points	Nombre de foyers	Nombre de foyers défectueux	Puissance totale avec ballast (W)	P avec défauts	P active mesurée (VA)	Ecart mesure/théorie
A028D1	53	55	6	10360	9 352	16969	81%
A028D2	7	7	1	1176	1 008	1376	37%
A028D3	22	36	0	10808	10 808	16990,5	57%

Puissance	40 Watt	70 Watt	125 Watt	150 Watt	250 Watt	400 Watt
nbre foyers	0	0	0	71	10	17
A028D1	0	0	0	45	10	0
A028D2	0	0	0	7	0	0
A028D3	0	0	0	19	0	17

L'étude concerne l'avenue du palmier, Na HP 150 Watt





	Taille	Calculé	Consigne	Contrôlé
Chaussée 1 (M2)	L_{may}	0.94 cd/m ²	≥ 1.50 cd/m ²	✗
	U_o	0.57	≥ 0.40	✓
	U_l	0.57	≥ 0.70	✗
	TI	2 %	≤ 10 %	✓
	R_{Et}	0.66	≥ 0.35	✓

Résultats pour l'observateur

	Taille	Calculé	Consigne	Contrôlé
Observateur 1 Position: -80.000 m, 4.250 m, 1.500 m	L_{may}	0.94 cd/m ²	≥ 1.50 cd/m ²	✗
	U_o	0.58	≥ 0.40	✓
	U_l	0.57	≥ 0.70	✗
	TI	2 %	≤ 10 %	✓
	Observateur 2 Position: -80.000 m, 7.750 m, 1.500 m	L_{may}	0.97 cd/m ²	≥ 1.50 cd/m ²
U_o		0.57	≥ 0.40	✓
U_l		0.61	≥ 0.70	✗
TI		2 %	≤ 10 %	✓

Note : le facteur de maintenance est considéré de 0.8

Discussion

Les performances requises ne sont pas atteintes. A noter cependant que l'uniformité générale est correcte. On peut cependant considérer que les exigences de la classe M3 sont quasiment respectées, celles-ci étant légèrement inférieure à la classe M2. Cette descente en classe se justifie par rapport au boulevard du 14 janvier 2011. Les exigences de la classe M3 :

Classe	Luminance de la chaussée pour une route sèche et mouillée			Eblouissement d'incapacité	Eclairage des abords	
	Route sèche		Route mouillée			Route sèche
	Lmoy mini maintenue [cd·m2]	Uo mini	U1 minimale	Uow minimale	fTI maximal [%]	REI minimal
M3	1,0	0,4	0,6	0,15	15	0,30

Tableau 3: Exigences de la norme EN 13201 - classe M3

Les différences relatives qui atteignent 81% entre les puissances mesurées et les puissances attendues doivent cependant inciter à regarder l'état du réseau électrique (majoritairement souterrain).

IV-3-2 Voie urbaine importante

Classification de la voie et exigences associées

Les voies urbaines importantes de Sousse ne peuvent être considérées comme réservées aux voitures uniquement et rentrent dans la catégorie des zones de conflit. La classe correspondante de la norme EN 13201 est la classe C destinée aux conducteurs de véhicules motorisés et autres usagers de la route, dans des zones de conflit telles que les rues commerçantes, les carrefours d'une certaine complexité, les carrefours giratoires, les files d'attente, etc. Cette classe comprend 6 catégories (C0 à C5). Les paramètres de sélection sont les même que pour la classe M sans le paramètre densité de carrefour.

Nous avons déterminé que ces voies correspondent à la **classe C2** en considérant les caractéristiques suivantes pour les paramètres précédemment cités :

- Vitesse ≤ 50 km/h
- Zone habitée
- Véhicules Motorisés / Véhicules lents, Cyclistes, piétons
- Complexité : élevée
- Véhicules en stationnement : oui
- Intersections >= 3 par km
- Tâche navigation : élevée

La norme EN 13201-2 « Exigences de performance » nous renseigne sur les valeurs à atteindre pour garantir un éclairage adéquat :

Classe	Eclairage horizontal	
	Emoy minimal maintenu lx	U ₀ minimale
C2	20	0.4

Tableau 4 : Exigences de la norme EN 13201 - classe C2

IV-3-2-1 Exemple 1 - Armoire 31

Localisation

Sousse Centre, Khezema, Khezema Est

Résultats

Armoire	Etat	Nbr de points	Nbr de foyers	Puissance totale avec ballast (W)	Puissance moyenne des foyers	foyers défectueux	Classe des voies
A031	moyen	49	62	11290	182	18	B

Départs	Nbr de points	nombre de foyers	nombre de foyers défectueux	puissance totale avec ballast (W)	P avec défauts	P active mesurée (VA)	Ecart mesure/théorie
A031D1	15	26	11	5376	3 416	1691,5	-50%
A031D2	34	36	7	5913,6	4 805	5174	8%
Puissance	40 Watt	70 Watt	125 Watt	150 Watt	250 Watt	400 Watt	
nbre foyers	0	4	0	47	11	0	
A031D1	0	0	0	17	9	0	
A031D2	0	4	0	30	2	0	

L'étude concerne le giratoire au croisement de quatre axes :

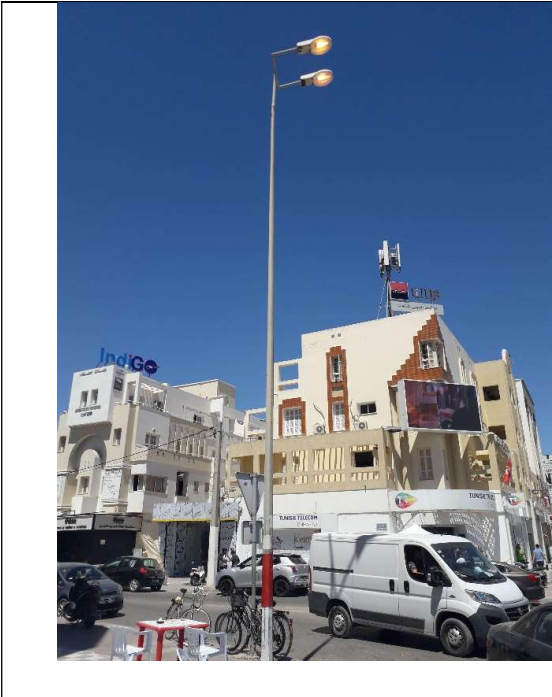
Avenue de la perle du Sahel (n°1 : Nord Est)

Avenue du palmier (n°2 : Nord Ouest)

Avenue du Grand Maghreb Arabe (n°3 : Sud Ouest)

Rue El Imam El Boukhari (n°4 : Sud Est)

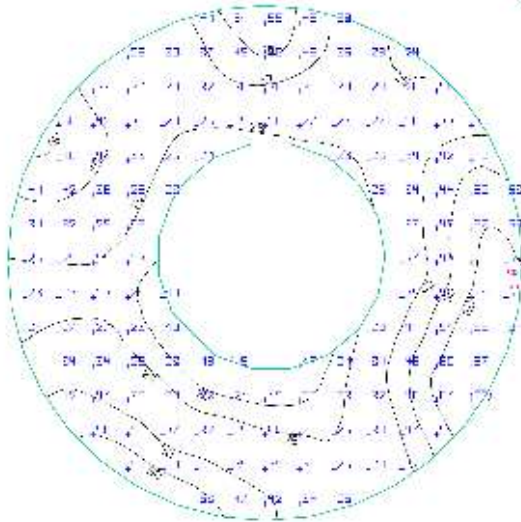
Les luminaires sont équipés de lampes Na HP de 150 Watt ou 250 Watt



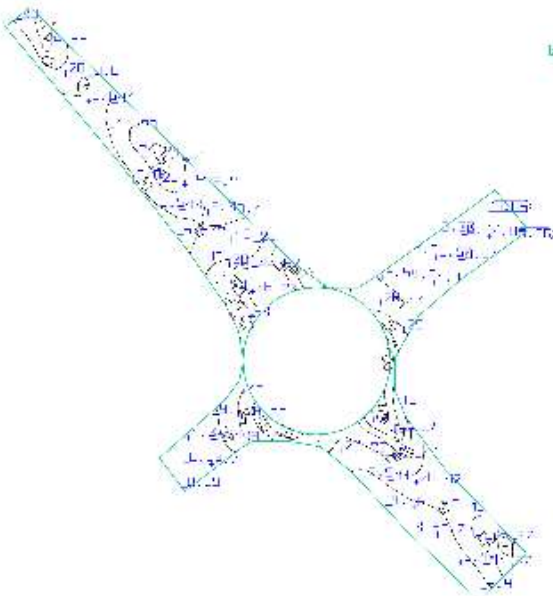
A031D2P01



A031D1P13



Propriétés	E	E _{min}	E _{max}	g ₁	g ₂	Index
	(Consigne)					
Plan utile (Domaine extérieur 3) Éclairage perpendiculaire (adaptatif) Hauteur: 0.000 m, Marge: 0.000 m	35.8 lx (≥ 20.0 lx)	15.0 lx	66.3 lx	0.42	0.22	55



Propriétés	E	E _{min}	E _{max}	g ₁	g ₂	Index
Surfaces résultantes 1 Éclairage perpendiculaire (adaptatif) Hauteur: 0.100 m	19.2 lx	0.045 lx	66.3 lx	0.002	0.001	53

Remarque : g1 correspond à l'uniformité générale qui n'a ici pas de sens.

Discussion

L'éclairage correspond aux exigences de la norme pour une classe C2. Un contraste suffisant est assuré entre l'éclairage du rond giratoire (35.8 lux) et les routes y menant (19.2 lux).

IV-3-2-2 Exemple 2 -Armoire 32

Localisation

Sousse Centre, Khezema, Khezema Est

Résultats

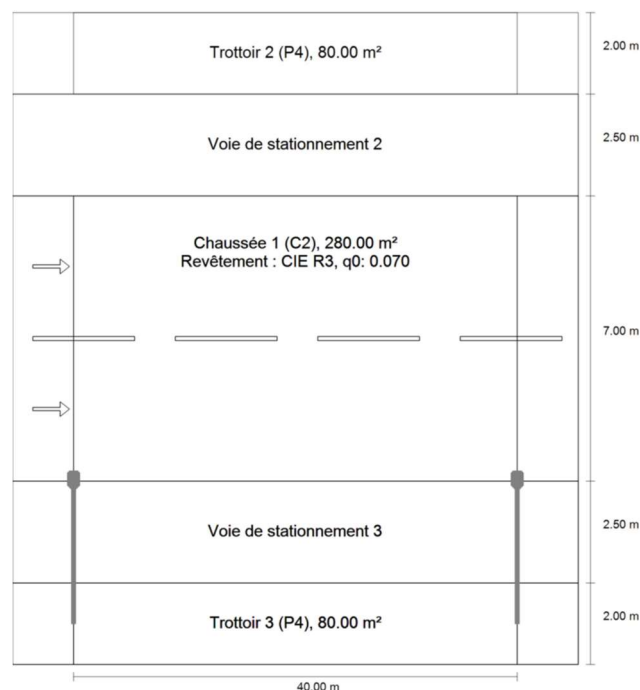
Armoire	Etat	Nbr de points	Nbr de foyers	Puissance totale avec ballast (W)	Puissance moyenne des foyers	foyers défectueux	Classe des voies
A032	moyen	74	76	14767	194	15	B

Départs	Nbr de points	nombre de foyers	nombre de foyers défectueux	puissance totale avec ballast (W)	P avec défauts	P active mesurée (VA)	Ecart mesure/théorie
A032D1	8	10	2	2464	1 904	2912,5	53%
A032D2	9	9	3	2408	1 568	3760	140%
A032D3	52	52	8	9055,2	7 700	10296	34%
A032D4	5	5	2	840	504	309,4	-39%

Puissance	40 Watt	70 Watt	125 Watt	150 Watt	250 Watt	400 Watt
nbre foyers	0	13	7	35	15	6
A032D1	0	0	0	3	7	0
A032D2	0	0	0	1	8	0
A032D3	0	13	7	26	0	6
A032D4	0	0	0	5	0	0

L'éclairage pour deux rues a été simulé : l'avenue du Grand Maghreb Arabe et la rue Omar Ibn Abdelaziz.

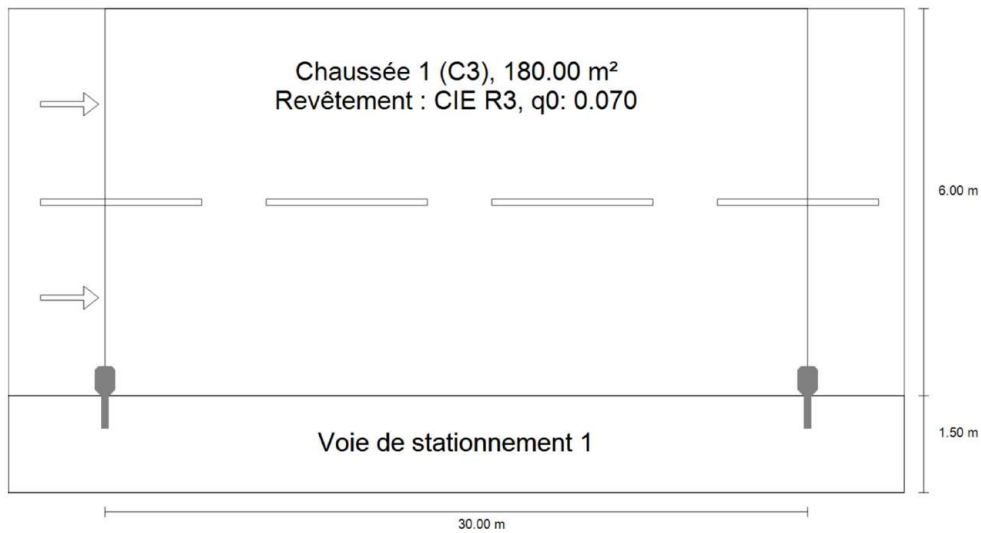
Avenue du Grand Maghreb Arabe, Na HP 250 Watt



	Taille	Calculé	Consigne	Contrôlé
Trottoir 2 (P4)	E_{moy}	9.64 lx	[5.00 - 7.50] lx	✗
	E_{min}	5.87 lx	≥ 1.00 lx	✓
Chaussée 1 (C2)	E_{moy}	18.42 lx	≥ 20.00 lx	✗
	U_0	0.36	≥ 0.40	✗
Trottoir 3 (P4)	E_{moy}	8.41 lx	[5.00 - 7.50] lx	✗
	E_{min}	3.52 lx	≥ 1.00 lx	✓

Note : le facteur de maintenance est de 0.67

Rue Omar Ibn Abdelaziz, Na HP 150 Watt



	Taille	Calculé	Consigne	Contrôlé
Chaussée 1 (C3)	E_{moy}	17.30 lx	≥ 15.00 lx	✓
	U_0	0.55	≥ 0.40	✓

Note : le facteur de maintenance est considéré de 0.5

Discussion

L'éclairage de l'avenue du grand Maghreb Arabe n'est pas conforme aux valeurs recommandées mais s'en rapproche pour la chaussée tandis que l'éclairage des trottoirs est légèrement trop important. Les niveaux recommandés sont globalement respectés.

L'éclairage de la rue Omar Ibn Abdelaziz est tout à fait convenable malgré un facteur de maintenance prenant en compte la vétusté des luminaires. Le remplacement par des luminaires en bon état permettra d'augmenter le facteur de maintenance et de diminuer la puissance installée tout en respectant les niveaux recommandés.

Les écarts relatifs entre les valeurs mesurées de la puissance et les valeurs théorique sont très importants. Une investigation plus poussée du réseau est à mener pour expliquer ces pertes. (Réseau enterré).

IV-3-2-3 Exemple 3 -Armoire 39

Localisation

Sousse Centre, Khezema, Khezema Est

Résultats

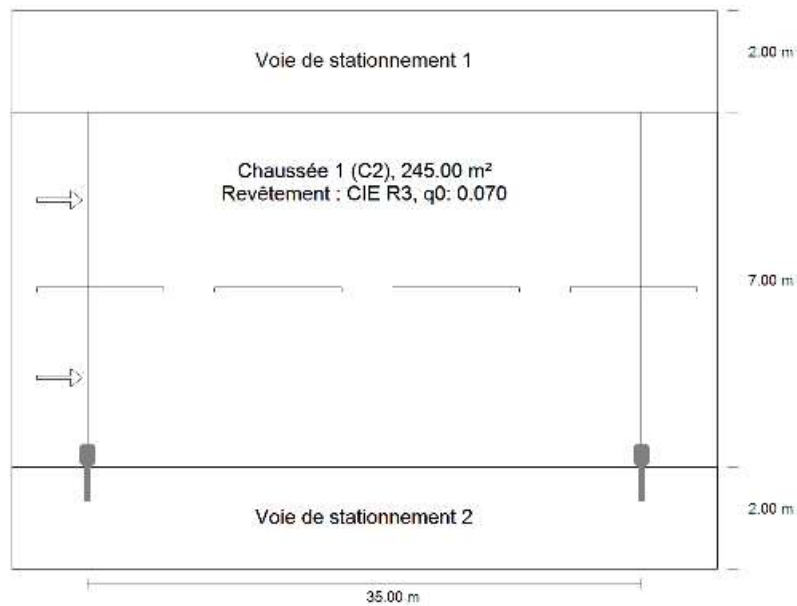
Armoire	Etat	Nbr de points	Nbr de foyers	Puissance totale avec ballast (W)	Puissance moyenne des foyers	Foyers défectueux	Classe des voies
A039	moyen	104	105	23128	220	14	B

Départs	Nbr de points	nombre de foyers	nombre de foyers défectueux	puissance totale avec ballast (W)	P avec défauts	P active mesurée (VA)	Ecart mesure/théorie
A039D1	30	30	2	5040	4 704	4046	-14%
A039D2	31	31	5	5208	4 368	3808	-13%
A039D3	21	22	4	3696	3 024	3068	1%
A039D4	22	22	3	9 184	7 840	5214	-33%

Puissance	40 Watt	70 Watt	125 Watt	150 Watt	250 Watt	400 Watt
nbre foyers	0	0	0	83	4	18
A039D1	0	0	0	30	0	0
A039D2	0	0	0	31	0	0
A039D3	0	0	0	22	0	0
A039D4	0	0	0	0	4	18

L'analyse concerne la rue Zoubeir, Na HP 150 Watt

	
A039D2P02	A039D2P01



	Taille	Calculé	Consigne	Contrôlé
Chaussée 1 (C2)	E_{moy}	23.10 lx	≥ 20.00 lx	✓
	U_{a}	0.26	≥ 0.40	✗

Discussion

L'éclairage n'est pas conforme au niveau de l'uniformité générale. Ceci peut s'expliquer par un espacement des poteaux de 35 mètres trop important par rapport à la hauteur des luminaires de 7 mètres.

IV-3-2-4 Cas 4 Armoire 162

Localisation

Sousse centre, Jawhara, Sahloul 4

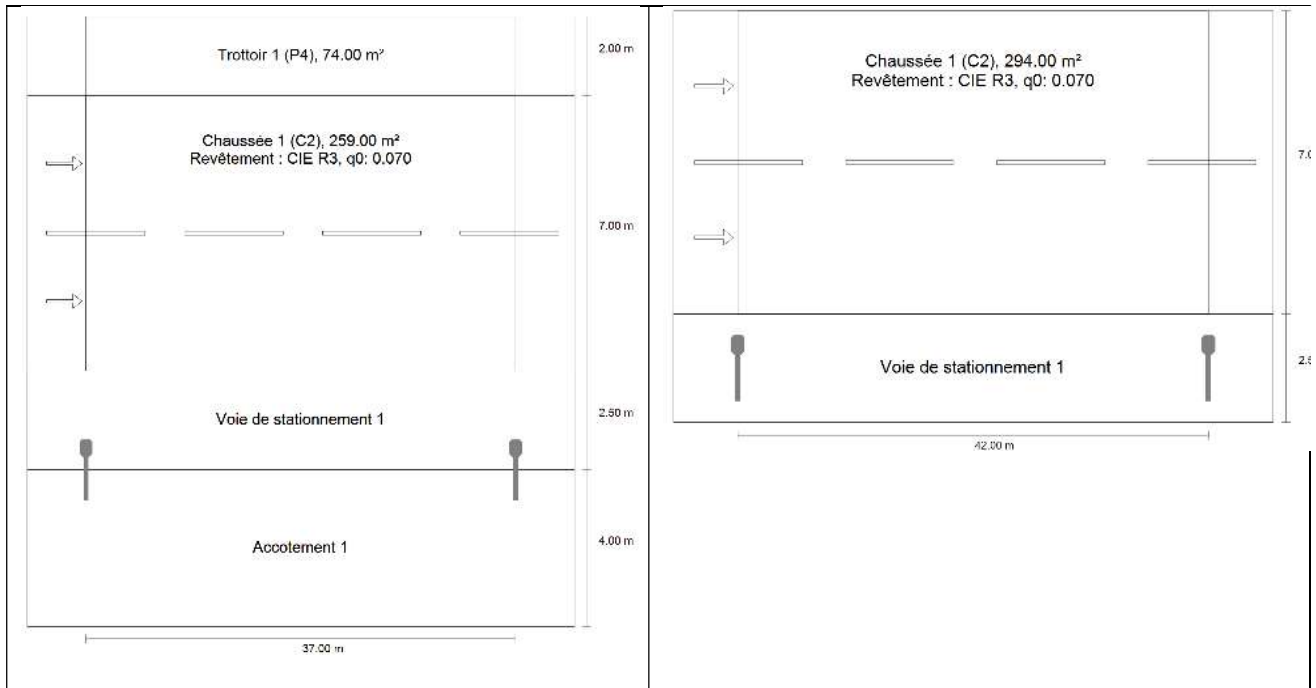
Résultats

Armoire	Etat	Nbr de points	Nbr de foyers	Puissance totale avec ballast (W)	Puissance moyenne des foyers	foyers défectueux	Classe des voies
A162	moyen	48	58	13888	239	37	B

départs	Nbr de points	nombre de foyers	nombre de foyers défectueux	puissance totale avec ballast (W)	P avec défauts	P active mesurée (VA)	Ecart mesure/théorie
A162D1	48	58	37	13888	5 208	13850	166%

Puissance	40 Watt	70 Watt	125 Watt	150 Watt	250 Watt	400 Watt
nbre foyers	0	0	0	21	37	0
A162D1	0	0	0	21	37	0

L'analyse concerne deux rues différentes. La rue n°1 est éclairée par des lampes Na HP 150 Watt, la rue n°2 par du 250 Watt Na HP.



Rue 1

Rue 2



Rue 1

	Taille	Calculé	Consigne	Contrôlé
Trottoir 1 (P4)	E_{moy}	7.00 lx	[5.00 - 7.50] lx	✓
	E_{min}	4.63 lx	≥ 1.00 lx	✓
Chaussée 1 (C2)	E_{moy}	11.92 lx	≥ 20.00 lx	✗
	U_0	0.54	≥ 0.40	✓

Rue 2

	Taille	Calculé	Consigne	Contrôlé
Chaussée 1 (C2)	E_{moy}	18.61 lx	≥ 20.00 lx	✗
	U_0	0.73	≥ 0.40	✓

Discussion

L'éclairage moyen est légèrement inférieur à celui requis par la norme EN 13201 pour la chaussée de la rue 2. Pour la chaussée de la rue 1, l'éclairage est trop faible. Ceci peut s'expliquer par une hauteur de point lumineux trop élevée et une position trop en retrait par rapport à la chaussée. Ainsi, 16 lux peuvent facilement être obtenus en optimisant ces paramètres (toujours inférieurs aux 20 lux recommandés qui peuvent être revues pour ce type de voie).

La valeur mesurée de la puissance dissipée est 162% supérieure à la valeur théorique, signe de fortes pertes à investigué sur le réseau (enterré).

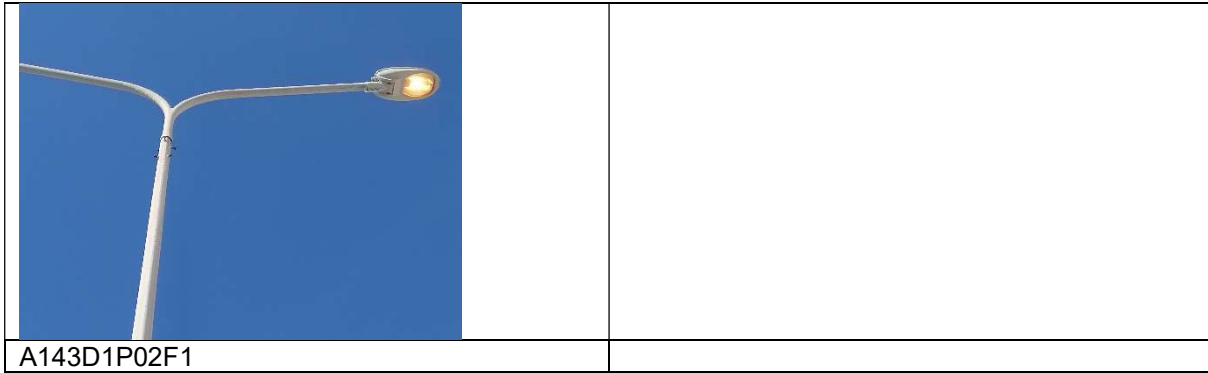
IV-3-2-5 Cas 5- Armoire 143
Localisation
Résultats

Armoire	Etat	Nbr de points	Nbr de foyers	Puissance totale avec ballast (W)	Puissance moyenne des foyers	foyers défectueux	Classe des voies
A143	bon	7	14	2352	168	7	B

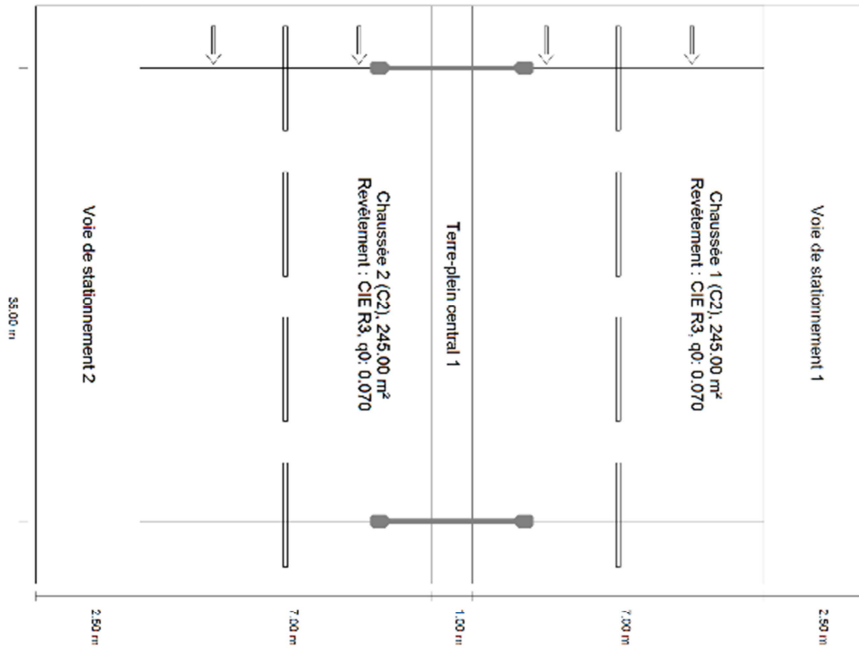
Départs	Nbr de points	nombre de foyers	nombre de foyers défectueux	puissance totale avec ballast (W)	P avec défauts	P active mesurée (VA)	Ecart mesure/théorie
A143D1	7	14	7	2352	1 176	1800	53%

Puissance	40 Watt	70 Watt	125 Watt	150 Watt	250 Watt	400 Watt
nbre foyers	0	0	0	14	0	0
A143D1	0	0	0	14	0	0

La simulation concerne le boulevard du leader Yasser Arafat



A143D1P02F1



	Taille	Calculé	Consigne	Contrôlé
Chaussée 1 (C2)	E_{moy}	24.40 lx	≥ 20.00 lx	✓
	U_0	0.41	≥ 0.40	✓
Chaussée 2 (C2)	E_{moy}	24.40 lx	≥ 20.00 lx	✓
	U_0	0.41	≥ 0.40	✓

Un facteur de maintenance de 0.67 a été estimé pour l'installation.

Discussion

Les implantations, hauteur, puissance et inclinaison des points lumineux permettent d'obtenir l'éclairage et l'uniformité attendues pour ce type de voie. La différence relative de 53% entre la puissance mesurée et la puissance attendue doit cependant inciter à regarder l'état du réseau électrique (souterrain).

IV-3-2-6 Cas 6 - Armoire 205

Localisation

Sousse Centre, Khezema, Khezema Est

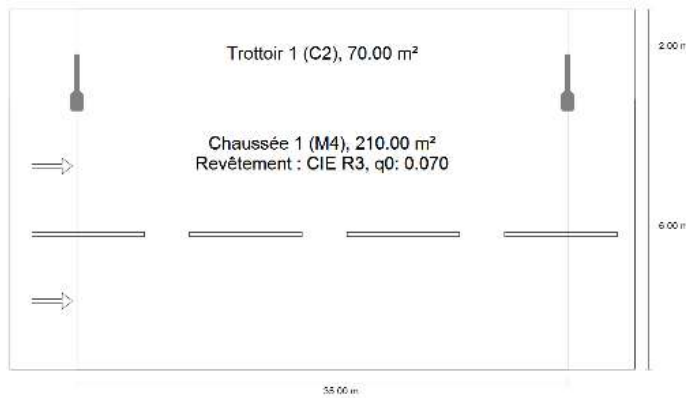
Résultats

Armoire	Etat	Nbr de points	Nbr de foyers	Puissance totale avec ballast (W)	Puissance moyenne des foyers	foyers défectueux	Classe des voies
A205	moyen	61	61	10276	168	10	B

Départs	Nbr de points	nombre de foyers	nombre de foyers défectueux	puissance totale avec ballast (W)	P avec défauts	P active mesurée (VA)	Ecart mesure/théorie
A205D1	33	33	7	5628	4 592	5850	27%
A205D2	28	28	3	4648	4 144	5600	35%

Puissance	40 Watt	70 Watt	125 Watt	150 Watt	250 Watt	400 Watt
nbre foyers	0	0	9	51	0	1
A205D1	0	0	7	25	0	1
A205D2	0	0	2	26	0	0

La simulation concerne l'avenue Hussein Ibn Ali éclairée par des lampes Na HP 150 Watt



	Taille	Calculé	Consigne	Contrôlé
Trottoir 1 (P1)	E_{moy}	18.16 lx	[15.00 - 22.50] lx	✓
	E_{min}	1.12 lx	≥ 3.00 lx	✗
Chaussée 1 (C2)	E_{moy}	20.24 lx	≥ 20.00 lx	✓
	U_0	0.09	≥ 0.40	✗

Un facteur de maintenance de 0.67 a été estimé pour l'installation.

Discussion

L'éclairage moyen est conforme à ce qui est attendu mais l'uniformité (ou l'éclairage minimal pour le trottoir) ne sont pas respectés, ce qui traduit un espacement trop important des poteaux.

Les écarts entre les valeurs de puissance mesurées et théoriques restent acceptables. Le réseau est aérien.

IV-3-3 Voie urbaine secondaire (rue)

IV-3-3-1 Classification de la voie et exigences associées

Les voies secondaires ou rue de Sousse peuvent aussi être classées dans la catégorie C. Les paramètres utilisés pour définir le niveau dans cette classe sont :

- Vitesse ≤ 50 km/h
- Zone habitée
- Véhicules Motorisés / Véhicules lents, Cyclistes, piétons
- Complexité : normale à élevée
- Véhicules en stationnement : oui
- Intersections ≤ 3 par km
- Tâche navigation : normale

Deux classes d'éclairage correspondent aux critères : **C3 et C4**

Les exigences de la norme EN 13201 sont pour ces classes :

Classe	Eclairage horizontal	
	E_{moy} minimal maintenu lx	U_0 minimale
C3	15	0.4
C4	10	0.4

Tableau 5: Tableau 4 : Exigences de la norme EN 13201 - classes C3 et C4

IV-3-3-1 Cas 1 - Armoire 42

Localisation

Khezema Ouest

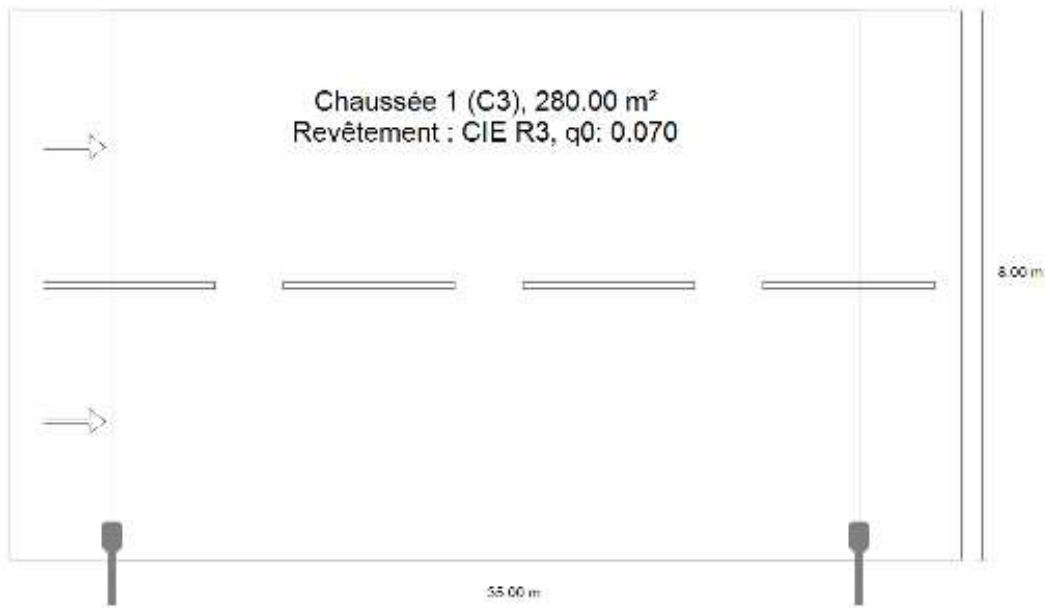
Résultats

Armoire	Etat	Nbr de points	Nbr de foyers	Puissance totale avec ballast (W)	Puissance moyenne des foyers	foyers défectueux	Classe des voies
A042	moyen	98	99	16094	163	9	C

Départs	Nbr de points	nombre de foyers	nombre de foyers défectueux	puissance totale avec ballast (W)	P avec défauts	P active mesurée (VA)	Ecart mesure/théorie
A042D1	75	76	7	12320	11 144	10105	-9%
A042D2	23	23	2	3774,4	3 438	3225	-6%

Puissance	40 Watt	70 Watt	125 Watt	150 Watt	250 Watt	400 Watt
nbre foyers	0	6	0	93	0	0
A042D1	0	5	0	71	0	0
A042D2	0	1	0	22	0	0

La rue représentative simulée est éclairée par des lampes Na HP de puissance 150 Watt





A042D1P2

A042D1P3

	Taille	Calculé	Consigne	Contrôlé
Chaussée 1 (C3)	E_{ray}	19.96 lx	≥ 15.00 lx	✓
	U_d	0.50	≥ 0.40	✓

Un facteur de maintenance de 0.70 a été estimé pour l'installation.

Discussion

Le classement de la voie est choisi C3 au vu de son implantation. Les niveaux requis sont largement respectés.

IV-3-3-2 Cas 2 Armoire 101

Localisation

Sousse Centre, Jawhara, Souafa

Résultats

Armoire	Etat	Nbr de points	Nbr de foyers	Puissance totale avec ballast (W)	Puissance moyenne des foyers	foyers défectueux	Classe des voies
A101	vetuste	124	125	20882	167	49	C

Départs	Nbr de points	nombre de foyers	nombre de foyers défectueux	puissance totale avec ballast (W)	P avec défauts	P active mesurée (VA)	Ecart mesure/théorie
A101D1	69	70	40	11642,4	5 012	13950	178%
A101D2	8	8	3	1344	840	2100	150%
A101D3	47	47	6	7896	6 888	12150	76%

Puissance	40 Watt	70 Watt	125 Watt	150 Watt	250 Watt	400 Watt
nbre foyers	0	1	1	123	0	0
A101D1	0	1	1	68	0	0
A101D2	0	0	0	8	0	0
A101D3	0	0	0	47	0	0

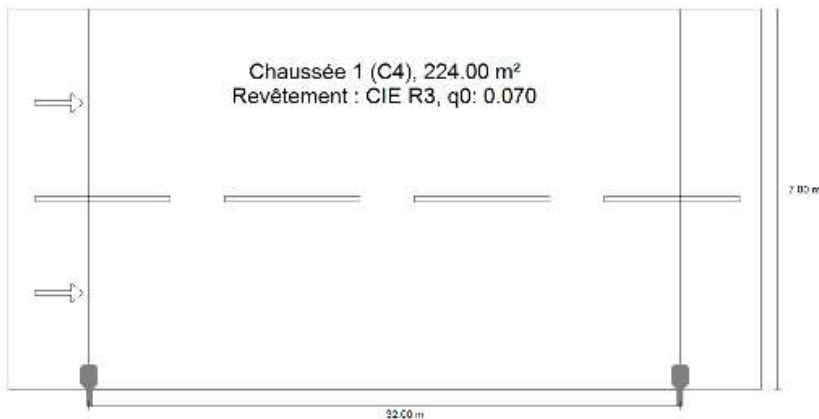


A101D1P33F1

A101D1P67

A101D1P62

La rue sélectionnée est éclairée par des lampes Na HP 150 Watt.



	Taille	Calculé	Consigne	Contrôlé
Chaussée 1 (C4)	E_{moy}	25.27 lx	≥ 10.00 lx	✓
	U_{II}	0.33	≥ 0.40	✗

Un facteur de maintenance de 0.57 a été estimé pour l'installation.

Discussion

L'éclairage moyen minimum recommandé est largement respecté.

La puissance mesurée est largement supérieure à ce qu'elle devrait être, traduisant des pertes importantes sur le réseau. On peut suspecter un piquage sur le réseau qui est de type aérien et facile d'accès.

IV-3-3-3 Cas 3 Armoire 105

Localisation

Sousse Centre, Jawhara, Bouhsina

Résultats

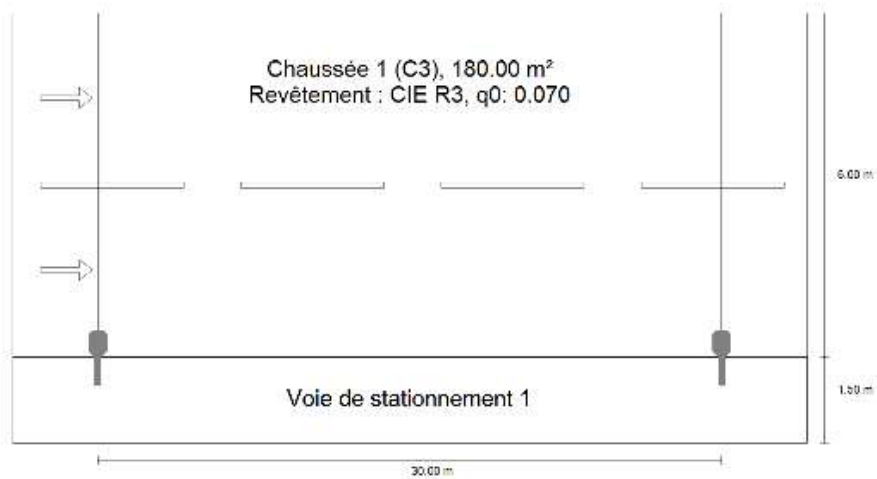
Armoire	Etat	Nbr de points	Nbr de foyers	Puissance totale avec ballast (W)	Puissance moyenne des foyers	foyers défectueux	Classe des voies
A105	moyen	111	111	18172	164	24	C

Départs	Nbr de points	nombre de foyers	nombre de foyers défectueux	puissance totale avec ballast (W)	P avec défauts	P active mesurée (VA)	Ecart mesure/théorie
A105D1	67	67	19	11048,8	7 946	13700	72%
A105D2	30	30	4	4771,2	4 099	5300	29%
A105D3	14	14	1	2352	2 184	2950	35%

Puissance	40 Watt	70 Watt	125 Watt	150 Watt	250 Watt	400 Watt
nbre foyers	0	5	1	105	0	0
A105D1	0	2	1	64	0	0
A105D2	0	3	0	27	0	0
A105D3	0	0	0	14	0	0

La simulation a porté sur la rue Omar Ibn Abdelaziz





	Taille	Calculé	Consigne	Contrôlé
Chaussée 1 (C3)	$E_{\text{ moy}}$	17.30 lx	≥ 15.00 lx	✓
	U_u	0.55	≥ 0.40	✓

Un facteur de maintenance de 0.50 a été estimé pour l'installation.

Discussion

Les valeurs d'éclairément et d'uniformité sont bien respectées, et ce malgré un facteur de maintenance choisi de 0.5 pour refléter le manque d'entretien des luminaires.

La puissance consommée est largement supérieure à la puissance théorique, ce qui doit questionner sur l'état du réseau ou les éventuels branchements sauvages.

IV-3-3-4 Cas 4 Armoire 204

Localisation

Riadh

Résultats

Armoire	Etat	Nbr de points	Nbr de foyers	Puissance totale avec ballast (W)	Puissance moyenne des foyers	foyers défectueux	Classe des voies
A204	moyen	74	74	10466	141	9	C

Départs	Nbr de points	nombre de foyers	nombre de foyers défectueux	puissance totale avec ballast (W)	P avec défauts	P active mesurée (VA)	Ecart mesure/théorie
A204D1	17	17	0	2766,4	2 766	3500	27%
A204D2	8	8	0	1344	1 344	1900	41%
A204D3	36	36	6	4172	3 612	6400	77%
A204D4	13	13	3	2 184	1 680	2900	73%

Puissance	40 Watt	70 Watt	125 Watt	150 Watt	250 Watt	400 Watt
nbre foyers	0	21	3	50	0	0
A204D1	0	1	0	16	0	0
A204D2	0	0	0	8	0	0
A204D3	0	20	3	13	0	0
A204D4	0	0	0	13	0	0

La rue dont l'éclairage a été simulé est éclairée par des luminaires équipé de lampes HPL de 70 Watt



	Taille	Calculé	Consigne	Contrôlé
Chaussée 1 (C4)	E _{ray}	2.97 lx	≥ 10.00 lx	✗
	U ₀	0.42	≥ 0.40	✓

Un facteur de maintenance de 0.57 a été estimé pour l'installation.

Discussion

L'éclairage n'est pas du tout conforme à ce qui peut être attendu. Une rénovation avec un changement de technologie ainsi que des inter-distances et hauteurs est à envisager.

IV-3-3-5 Cas 5 Armoire 216

Localisation

Rue 5157 au lotissement AFH de cité Erriadh

Résultats

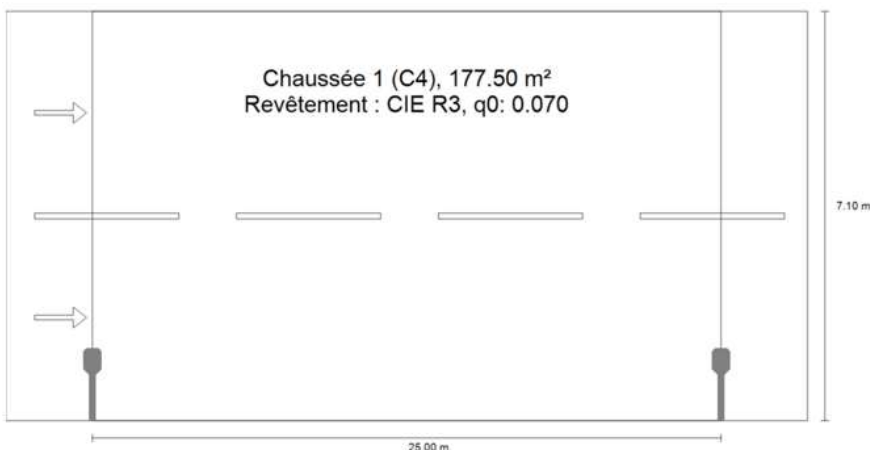
Armoire	Etat	Nbr de points	Nbr de foyers	Puissance totale avec ballast (W)	Puissance moyenne des foyers	foyers défectueux	Classe des voies
A216	moyen	107	108	14045	130	20	C

Départs	Nbr de points	nombre de foyers	nombre de foyers défectueux	puissance totale avec ballast (W)	P avec défauts	P active mesurée (VA)	Ecart mesure/théorie
A216D1	27	28	7	2704,8	2 156	4150	92%
A216D2	80	80	13	11340	9 839	13950	42%

Puissance	40 Watt	70 Watt	125 Watt	150 Watt	250 Watt	400 Watt
nbre foyers	0	52	20	26	10	0
A216D1	0	22	1	5	0	0
A216D2	0	30	19	21	10	0

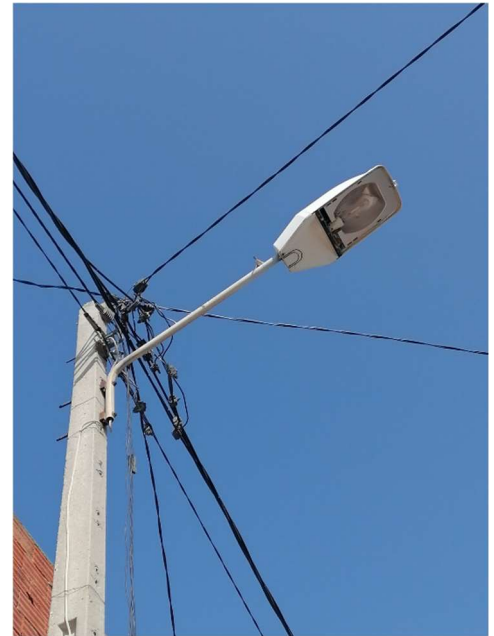
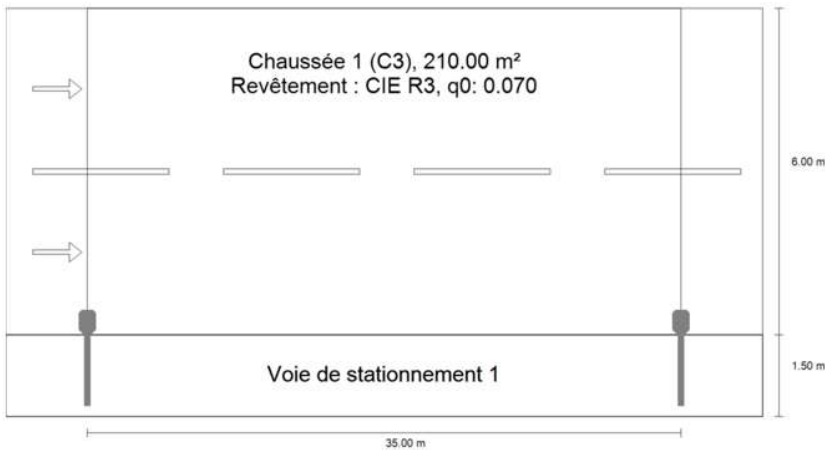
L'éclairage de deux types de rue est simulé. Le type 1 est équipé de lampes 70 Watt HPL et la seconde de lampes 150 Watt NaHP.

Rue 1 – 70 Watt HPL



	Taille	Calculé	Consigne	Contrôlé
Chaussée 1 (C4)	E_{moy}	5.21 lx	≥ 10.00 lx	✗
	U_0	0.64	≥ 0.40	✓

Rue 2 – 150 Watt NaHP



	Taille	Calculé	Consigne	Contrôlé
Chaussée 1 (C3)	E_{route}	15.46 lx	≥ 15.00 lx	✓
	U_0	0.45	≥ 0.40	✓

Discussion

L'éclairage de la rue numéro 1 est assuré par des lampes HPL de 70 Watt. Il est largement insuffisant et doit être repensé avec un changement de technologie. L'éclairage de la rue numéro 2 est quant à lui satisfaisant.

L'écart entre la puissance mesurée est celle théorique doit alerter sur l'état du réseau du départ numéro 1.

V-ANALYSE DES PERFORMANCES

V- 1- Analyse des caractéristiques dimensionnelles

V-1-a : caractéristiques et indicateurs globaux (5 arrondissements)

Le tableau ci-dessous récapitule les principaux indicateurs de chaque arrondissement ainsi que les indicateurs moyens de la ville de Sousse. Il est important à ce stade de disposer d'indicateurs de référence pour pouvoir comparer, or ce type de données n'est pas disponible pour le moment. Pour pouvoir situer un indicateur on se référera 4 types d'intervalles mauvais, moyen, bon, très bon. Ce classement énergétique sera traité au chapitre suivant. Dans l'analyse des caractéristiques du réseau on se basera sur les caractéristiques globales de l'ensemble du réseau de la ville de Sousse. Les comparaisons et objectifs pour chaque arrondissement se fera par rapport aux ratios cibles globaux qui s'établissent comme indiqué au tableau suivant :

	Actuel	Cible	%	Unité
Distance	490	490		km
Puissance	2839	1514	-46,7	KW
Consommation annuelle	11244	5450	-51,5	MWH
De (consommation spécifique)	1,67	0,81	-51,5	KWH/m2,an
puissance spécifique	5,8	3,1	-46,7	kw/km
Puissance électrique /point	181	97	-46,7	w/point
Puissance spécifique par habitant	12	6,24	-48,0	w/habitant

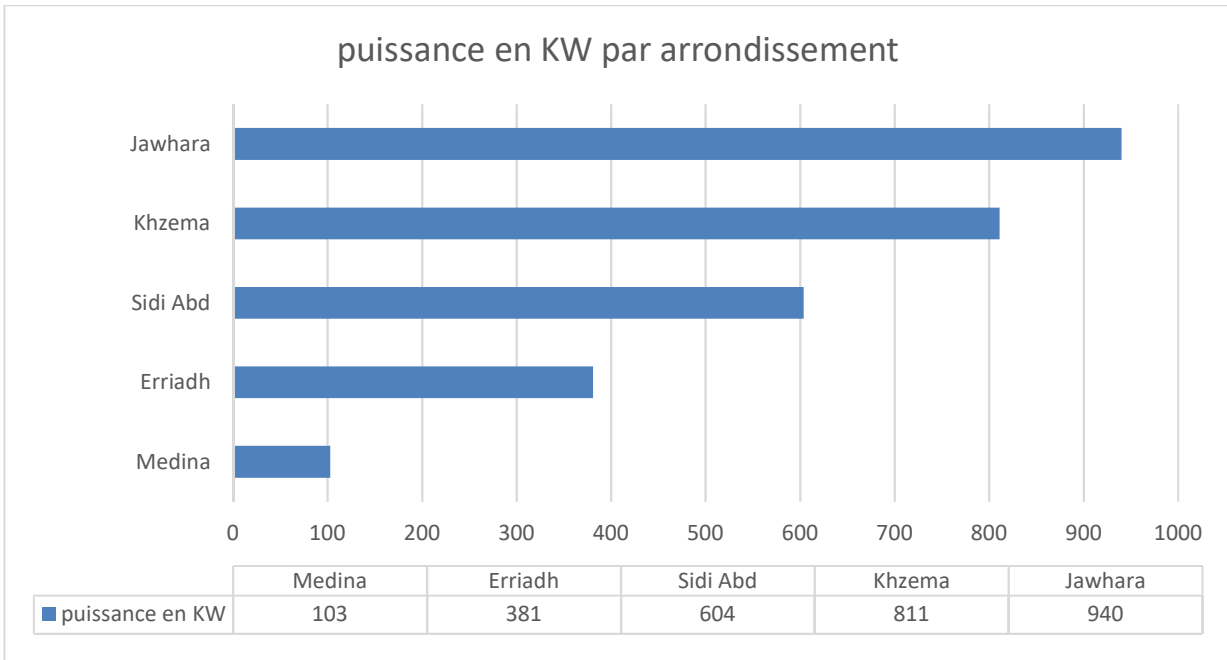
En première colonne les indicateurs actuels basés sur les données du recensement et corrigées pour se rapprocher au maximum des valeurs réelles. La seconde colonne montre des indicateurs cibles permettant de passer d'un classement B à un classement A et A+.

Le tableau suivant est le recueil des différents ratios calculés pour les cinq arrondissements.

	Medina	Erriadh	Sidi Abd	Khzema	Jawhara	total
Total puissance en KW	103	381	604	811	940	2839
Nombre de points lumineux	840	2685	3535	3793	4836	15689
Puissance en W/point	123	142	171	214	194	181
puissance en KW par km	10	4,0	3,3	5,1	4,3	4,2
Puissance W/habitant	22	7	10	19	14	12

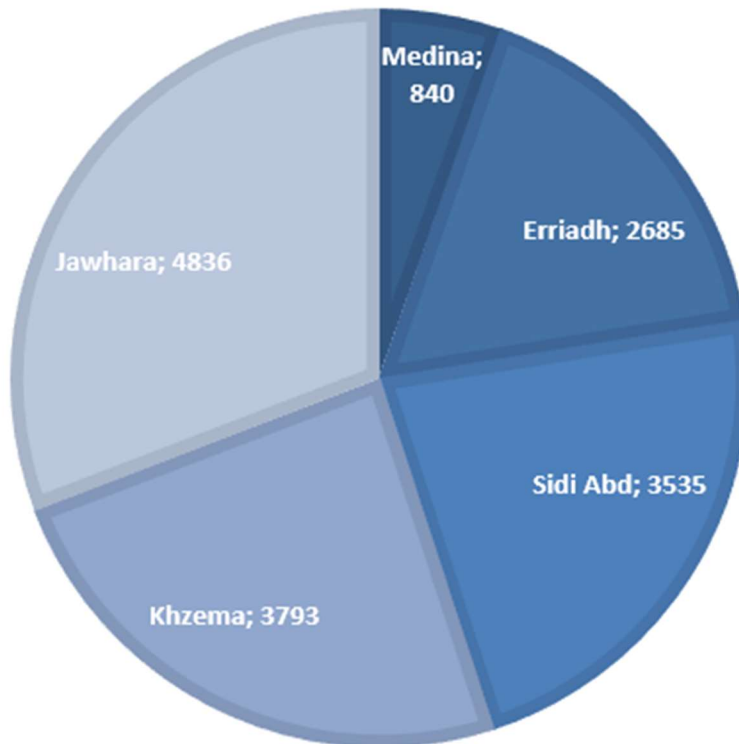
Le total des puissances installées dans les arrondissements Khezama et Jawhara ensemble dépasse 60% de la puissance totale installées au niveau de l'ensemble de la ville. En ont aussi presque le même pourcentage en nombre avec 55%. Les ratios et indicateurs de l'arrondissement Medina, ne peuvent pas être comparés vu la spécificité du tissu urbain et la particularité des voies.

Le graphique ci-dessous illustre la répartition des puissances installées pour chaque arrondissement.



Il est important de faire la remarque que la puissance installée en médina ne représente que 3.5 % de la puissance totale installée dans toute la ville.

RÉPARTITION DU NOMBRE DE FOYERS PAR ARRONDISSEMENT



Dans les paragraphes qui vont suivre on procédera aux analyses des indicateurs et caractéristique du réseau pour chaque arrondissement. L'objectif pour chaque arrondissement est d'atteindre le ratio cible global de la ville.

Pour déduire le potentiel réalisable par arrondissement on procède à l'identification des voiries selon leur classe photométrique définie par la norme 13-201. La longueur par classe nous permet d'arrêter le plan d'action spécifique et déduire les objectifs réalisables et les indicateurs atteignables. Le tableau ci-dessous représente une synthèse de longueurs de voirie selon leurs classes énergétiques.

	CLASSE A	CLASSE B	CLASSE C	CLASSE D	CLASSE E	CLASSE F	total
khezama	0	8,4	84,6	23,8	0	1,2	118
Medina	0	0	0	0	7,14	6,86	14
Jawhara	3,8	16	137,1	0	0	1,1	158
Erriadh	4,9	13	57,1	10	0	0	85
Sidi Abdelhamid	5,4	7,50	95,66	7,44	0	0	116
	14,1	44,9	374,46	41,24	7,14	9,16	491

Les longueurs par classe photométrique nous permettrons de déduire le potentiel pour chaque arrondissement et pour l'ensemble de la ville. Pour se faire on fera usage des tableaux ci-dessous :

Le premier tableau récapitule les caractéristiques globales du réseau pour chacun des arrondissements.

Arrondissement	Nombre de points lumineux	Longueur en Km	Puissance en Kw
Khezama	3793	118	811
Jawhara	4836	158	940
Erriadh	2685	85	381
Sidi abdelhamid	3535	116	604
Medina	840	14	103
total	15689	491	2839

Le tableau suivant représente le potentiel d'économie d'énergie par catégorie et classe photométriques des voiries :

Type de voie	Sous catégorie	Economies en puissance installée	Gradation recommandée et économie
Pénétrantes urbaines	Eclairage bi latéral Deux chaussées séparées	50%	Non, les enjeux de sécurité de déplacement motorisé sont élevés
	Eclairage unilatéral Chaussée unique	25%	Non, les enjeux de sécurité de déplacement motorisé sont élevés
Voies urbaines importantes	Eclairage central (double crosse) Deux chaussées séparées	35%	Non, les économies sont substantielles sans avoir recourt à la gradation
	Eclairage unilatéral Chaussée unique	20%	Avec gradation à 60% durant 50% du temps, économie équivalente de 57 %
Voies secondaires	Eclairage unilatéral Rue résidentielles	43%	Non, les enjeux de sécurité des biens et des personnes son importants toute la nuit
	Eclairage unilatéral ruelles	48%	Non, les enjeux de sécurité des biens et des personnes son importants toute la nuit
Voies commerçantes	Eclairage unilatéral Majorité piéton	66%	

Pour pouvoir appliquer ces taux de réductions simulés pour chaque arrondissement on calcule la puissance installée par classe pour chacun d'eux :

Arrondissement	CLASSE PHOTOMETRIQUE						PUISSANCE Actuelle	PUISSANCE projetée
	A	B	C	D	E	F		
% économie	37	27	45	66	40	40		
Khezama	0,0	45,0	660,0	90,0	0,0	15,0	810,0	374,55
Jawhara	28,0	109,0	785,0	0,0	0,0	18,0	940,0	400,24
Erriadh	20,0	60,0	230,0	71,0	0,0	0,0	381,0	173,96
Sidi abdelhamid	40,0	90,0	360,0	110,0	0,0	0,0	600,0	273,7
Medina	0,0	0,0	0,0	0,0	53,0	50,0	103,0	41,2
total Actuel	88	304	2035	271	53	83	2834,0	1263,65

V-1-b Arrondissement Khezama

V-1-b-1 Caractéristiques et indicateurs de puissance

Les tableaux ci-dessous résument la puissance installée et le nombre de foyers de chaque poste de distribution de l'arrondissement Khezama.

	Puissance en w	Nbr	Puissance en w	Nbr	Puissance en w	Nbr		
A001	4000	26	A011	4750	19	A021	4455	66
A002	12840	90	A012	18440	63	A022	9020	53
A003	4650	25	A013	9120	47	A023	11975	40
A004	7375	46	A014	12120	60	A024	19375	66
A005	4345	30	A015	8750	47	A025	21000	83
A006	8100	54	A016	15150	89	A026	2800	10
A007	19185	106	A017	10100	60	A027	10550	60
A008	0	0	A018	950	5	A028	19950	98
A009	11115	125	A019	6350	27	A029	20850	70
A010	18350	75	A020	1300	10	A030	2400	71

	Puissance en w	Nbr	Puissance en w	Nbr	Puissance en w	Nbr		
A031	10080	62	A041	8810	63	A051	7350	49
A032	13185	73	A042	14370	99	A052	6450	19
A033	9500	54	A043	16320	98	A053	7525	33
A034	14770	82	A044	8070	65		200250	1027
A035	17200	72	A045	15790	107			
A036	5370	61	A046	18740	114			
A037	13950	93	A047	9570	75			
A038	28820	233	A048	19800	105			
A039	20650	105	A049	26800	206			
A040	19100	123	A050	21350	178			

Les principaux indicateurs sont alors comme suit :

	total	Khzema	cible
Total puissance en KW	2839	811	375
Nombre de points lumineux	15689	3793	3793
Puissance en W/point	181	214	98,87
puissance en KW par km	5,78	6,87	3,18
Puissance W/habitant	11,7	19	7,31

L'objectif pour l'arrondissement **Khezama** sera d'abaisser la puissance par Km de **6.87 KW/km** à la valeur de 3.18 Kw/Km. Le nombre de points lumineux défectueux au moment du recensement était de **626 unités** ce qui représente environ **16.5 % c'est le taux de dysfonctionnement** relatif à cet l'arrondissement.

La mise en place d'un plan d'action permettant d'atteindre les indicateurs cibles, se traduira par la réduction de la puissance installée qui passera de **811 KW** actuellement à **375 KW** d'où une réduction de **54 %** sur la puissance installée.

V-1-c Arrondissement Jawhara

Les tableaux ci-dessous résument la puissance installée et le nombre de foyers de chaque poste de distribution de l'arrondissement Jawhara.

	Puissance en w	Nbr	Puissance en w	NBr	Puissance en w	Nbr		
A101	18145	125	A111	9105	69	A121	13390	45
A102	7705	65	A112	5400	36	A122	18100	67
A103	16385	111	A113	4770	35	A123	44050	116
A104	3600	24	A114	11650	53	A124	28150	74
A105	16375	112	A115	14330	119	A125	16600	50
A106	16745	117	A116	3450	23	A126	19150	68
A107	15265	103	A117	14820	72	A127	23650	62
A108	14680	100	A118	17580	126	A128	14350	63
A109	7800	52	A119	7410	51	A129	64395	194
A110	14415	101	A120	27875	92	A130	25900	79

	Puissance en w	Nbr	Puissance en w	NBr	Puissance en w	Nbr		
A131	29000	103	A141	11325	84	A151	4465	31
A132	30750	99	A142	5150	33	A152	12900	64
A133	22515	177	A143	2100	14	A153	8459	39
A134	9920	62	A144	12150	81	A154	8700	46
A135	6900	46	A145	13650	91	A155	10250	47
A136	13500	90	A146	14800	100	A156	20200	96
A137	9250	43	A147	13070	102	A157	6700	38
A138	9070	61	A148	6750	53	A158	5500	34
A139	16650	122	A149	11925	79	A159	11000	52
A140	6100	30	A150	8950	47	A160	16550	83
A163	7150	35	A162	12400	58	A161	10650	71
A164	12550	71	A165	5040	39	A166	9700	47
A167	5850	39	A168	3750	25			

	total	Jawhara	cible
Total puissance en KW	2839	940	400
Nombre de points lumineux	15689	4836	4836
Puissance en W/point	181	194	82,71
puissance en KW par km	5,78	5,95	2,53
Puissance W/habitant	11,7	14	5,75

L'objectif pour l'arrondissement **Jawhara** sera d'abaisser la puissance par Km de **5.95 KW/km** à la valeur de 2.53 Kw/Km. Le nombre de points lumineux défectueux au moment du recensement était de **1063 unités** ce qui représente environ **22 % c'est le taux de disfonctionnement** relatif à cet arrondissement.

La mise en place d'un plan d'action permettant d'atteindre les indicateurs cibles, se traduira par la réduction de la puissance installée qui passera de **940 KW** actuellement à **400 KW** d'où une réduction de **57 %** sur la puissance installée.

V-1-d Arrondissement Erriadh

d-1 Caractéristiques et indicateurs de puissance

Les tableaux ci-dessous résument la puissance installée et le nombre de foyers de chaque poste de distribution de l'arrondissement Erriadh.

	Puissance en w	Nbr	Puissance en w	NBr	Puissance en w	Nbr		
A201	12310	82	A211	4045	33	A221	3130	31
A202	8995	61	A212	10640	72	A222	7190	49
A203	8125	55	A213	8800	58	A223	9050	53
A204	10465	82	A214	15445	111	A224	5850	34
A205	9175	61	A215	4500	30	A225	14940	106
A206	13880	101	A216	12540	108	A226	17455	135
A207	9150	64	A217	5800	30	A227	11075	72
A208	7950	53	A218	19400	126	A228	4410	43
A209	11495	80	A219	6190	45	A229	16935	124
A210	4245	33	A220	5100	34	A230	5400	44

	Puissance en w	Nbr	Puissance en w	NBr	Puissance en w	Nbr
A231	6000	40				
A232	5100	34				
A233	5780	55				
A234	16450	128				
A235	4500	30				
A236	5595	38				
A237	29980	137				
A238	5050	63				
A239	19070	150				
A240						

	total	Erriadh	cible
Total puissance en KW	2839	381	174
Nombre de points lumineux	15689	2685	2685
Puissance en W/point	181	142	64,80
puissance en KW par km	5,78	4,48	2,05
Puissance W/habitant	11,7	7	3,08

L'objectif pour l'arrondissement **Erriadh** sera d'abaisser la puissance par Km de **4.48 KW/km** à la valeur de **2.05 Kw/Km**. Le nombre de points lumineux défectueux au moment du recensement était de **418 unités** ce qui représente environ **15.5 % c'est le taux de disfonctionnement** relatif à l'arrondissement **Erriadh**.

La mise en place d'un plan d'action permettant d'atteindre les indicateurs cibles, se traduira par la réduction de la puissance installée qui passera de **381 KW** actuellement à **174 KW** d'où une réduction de **53 %** sur la puissance installée.

V-1-e Arrondissement Sidi Abdelhamid

e-1 Caractéristiques et indicateurs de puissance

Les tableaux ci-dessous résumant la puissance installée et le nombre de foyers de chaque poste de distribution de l'arrondissement de sidi Abdelhamid..

	Puissance en w	Nbr	Puissance en w	NBr	Puissance en w	Nbr		
A301	10800	53	A311	9020	66	A321	13266	89
A302	11650	55	A312	18600	124	A322	6990	31
A303	16050	87	A313	9080	76	A323	11350	59
A304	11550	77	A314	3600	24	A324	21750	145
A305	8390	57	A315	11455	84	A325	8400	42
A306	5210	39	A316	7850	55	A326	9700	72
A307	3875	16	A317	12430	101	A327	12660	86
A308	23240	172	A318	9870	69	A328	22960	117
A309	7650	35	A319	8840	60	A329	6600	44
A310	12870	69	A320	6750	45	A330	2680	20

	Puissance en w	Nbr	Puissance en w	NBr	Puissance en w	Nbr		
A331	4500	18	A341	5750	23	A351	26750	107
A332	24280	132	A342	17000	68	A352	23450	95
A333	7300	54	A343	5550	37			
A334	14870	93	A344	3080	33			
A335	5600	14	A345	13870	93			
A336	8500	22	A346	19420	110			
A337	13120	88	A347	9850	45			
A338	13290	74	A348	15100	58			
A339	11150	47	A349	12150	81			
A340	19950	133	A350	4250	41			

	total	Sidi Abd	cible
Total puissance en KW	2839	604	274
Nombre de points lumineux	15689	3535	3535
Puissance en W/point	181	171	77,51
puissance en KW par km	5,78	5,21	2,36
Puissance W/habitant	11,7	10	4,53

L'objectif pour l'arrondissement **Sidi Abdelhamid** sera d'abaisser la puissance par Km de **5.21 KW/km** à la valeur de **2.36 Kw/Km**. Le nombre de points lumineux défectueux au moment du recensement était de **800 unités** ce qui représente environ **22.6 % c'est le taux de disfonctionnement** relatif à l'arrondissement **Sidi Abdelhamid**.

La mise en place d'un plan d'action permettant d'atteindre les indicateurs cibles, se traduira par la réduction de la puissance installée qui passera de **604 KW** actuellement à **274 KW** d'où une réduction de **55 %** sur la puissance installée.

V-1-f Arrondissement Medina

f-1 Caractéristiques et indicateurs de puissance

Les tableaux ci-dessous résument la puissance installée et le nombre de foyers de chaque poste de distribution de l'arrondissement de la Medina.

	Puissance en w	Nbr	Puissance en w	NBr	Puissance en w	Nbr
A401	3360	52				
A402	13250	122				
A403	36850	266				
A404	540	5				
A405	10420	88				
A406	11795	114				
A407	9435	76				
A408	17285	117				

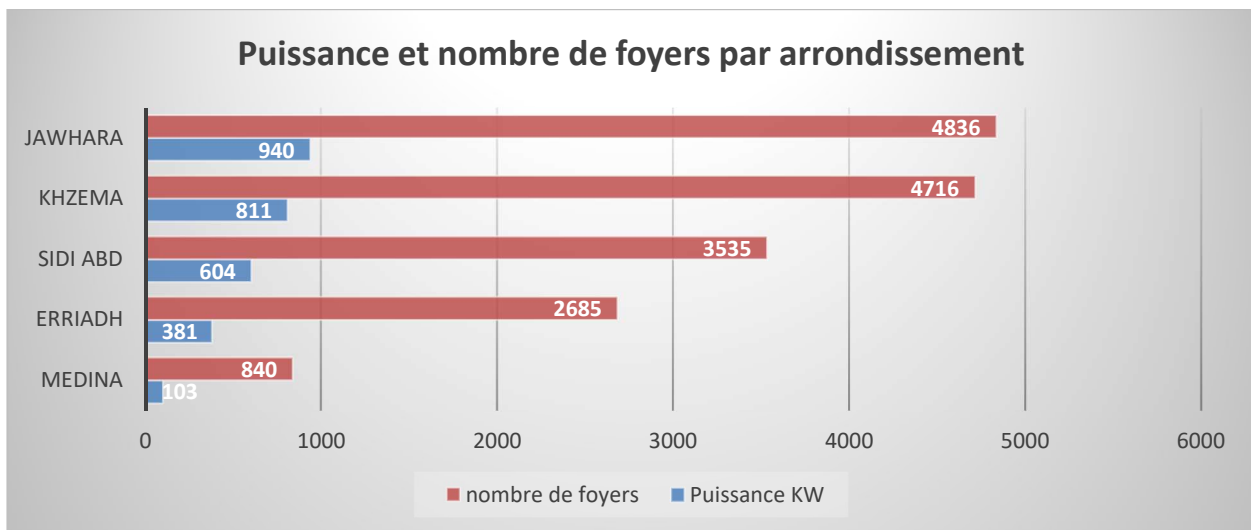
	total	Medina	cible
Total puissance en KW	2839	103	41,2
Nombre de points lumineux	15689	840	840
Puissance en W/point	181	123	49,05
puissance en KW par km	5,78	7,36	2,94
Puissance W/habitant	11,7	22,23	8,89

L'objectif pour l'arrondissement **Medina** sera d'abaisser la puissance par Km de **7.36 KW/km** à la valeur de **2.94 Kw/Km**. Le nombre de points lumineux défectueux au moment du recensement était de **131 unités** ce qui représente environ **15.5 % c'est le taux de disfonctionnement** relatif à l'arrondissement **Medina**.

La mise en place d'un plan d'action permettant d'atteindre les indicateurs cibles, se traduira par la réduction de la puissance installée qui passera de **103 KW** actuellement à **41.2 KW** d'où une réduction de **60 %** sur la puissance installée.

V-1-e – Caractéristiques et indicateurs de puissance totales de la ville

L'étude de grandeurs caractérisant le réseau dans son ensemble permet moyennant l'adoption de certaines hypothèses de fixer des objectifs à court et moyens termes permettant une planification d'intervention techniques efficaces et budgétisation claire et convaincante vis-à-vis des décideurs.



	total	Cible	%
Total puissance en KW	2839	1264,2	55,47
Nombre de points lumineux	15689	15689	
Puissance en W/point	181	81	
puissance en KW par km	5,78	2,57	
Puissance W/habitant	11,7	5,21	

L'objectif global sur la ville sera d'abaisser la puissance par Km de **5.78 KW/km** à la valeur de **2.57 Kw/Km**. Le nombre de points lumineux défectueux au moment du recensement était de **3038 unités** ce qui représente environ **19 % c'est le taux de disfonctionnement** relatif à l'ensemble de la ville de Sousse..

La mise en place d'un plan d'action permettant d'atteindre les indicateurs cibles, se traduira par la réduction de la puissance installée qui passera de **2839 KW** actuellement à **1264.2 KW** d'où une réduction de **55 %** sur la puissance installée.

V- 2- Analyse des performances énergétiques

V-2-1 Power Density Indicator (PDI) ou (Di)

Pour l'évaluation des performances énergétique de chaque voie on calculera le ratio d'efficacité énergétique appelé PDI pour "Power Density Indicator » qui est la Valeur de la puissance de l'installation divisée par la valeur du produit de la surface éclairée et de l'éclairage moyen maintenu sur cette surface obtenu dans l'étude photométrique conformément à la EN 13201-3

On utilisera la formule suivante :

P : Puissance totale (w)

E : éclairage moyen (lux)

S : surface en m²

$$D_i = \frac{P}{E.S} (\text{w/lux m}^2)$$

V-2-2 Annual Energy consumption Indicator (D_e)

Ce ratio énergétique se calcule pour chaque compteur. L'auditeur divise la consommation annuelle par la surface éclairée.

ou Ca ; consommation annuelle kwh et

S ; la surface éclairée en m²

$$D_e = \frac{Ca}{S} (\text{kwh/m}^2)$$

Remarque 1 : la surface éclairée comprend la chaussée et les trottoirs mais pas les voies de stationnement ni les terre-pleins centraux.

Remarque 2 : les ratios présentés ci-dessous ne sont valables que si la voie est éclairée par le même type de luminaire

A partir de là, une classification peut être proposée en considérant une durée d'utilisation de 3 600 heures en moyenne à Sousse :

A-Voie rapides

Valeur (D _e)	Classe énergétique
< 1	A+
1 ≤ D _e < 1.5	A
1.5 ≤ D _e < 2	B
2 ≤ D _e < 2.5	C
2.5 ≤ D _e < 3	D
3 ≤ D _e	E

A-Autres voies

Valeur (D_e)	Classe énergétique
< 0.7	A+
$0.7 \leq D_e < 1$	A
$1 \leq D_e < 1.5$	B
$1.5 \leq D_e < 2$	C
$2 \leq D_e < 2.5$	D
$2.5 \leq D_e$	E

La classification proposée est effectuée à la base par Mr Bruno Lafitte pour l'ADEME France. Il confirme que ces valeurs peuvent être aussi valables pour Sousse. Chaque arrondissement est analysé à part pour permettre de comparer et de fixer des objectifs spécifiques à chacun d'entre eux.

V-2-1-1 Cas de l'arrondissement KHEZAMA

Dans cet arrondissement on ne rencontre pas de voies classées A

Le calcul des indicateurs est présenté ci-dessous :

Classe photométrique	Type de voie	Sous-catégorie	Largeur à éclairer (chaussée et trottoirs) (mètres)	Longueur réseau (m)	Surface m^2
B	Voies urbaines importantes	Eclairage unilatéral Chaussée unique	13	8400	109200
C	Voies secondaires	Eclairage unilatéral Rue résidentielles / ruelle	11	84600	930600
D	Voies commerçantes	Eclairage unilatéral Majorité piéton	10	23800	238000

Lux	Puissance avant (avec 15% de pertes du ballast)	$mW/lux/m^2$ (calcul)	W/km	$kWh/m^2/an$ (3600 heures/an)
20	63000	28,846	7500	2,08
15	632385	45,303	6500	2,45
15	131100	36,723	5508	1,98

Le classement énergétique s'établi alors comme suit :

Type de voie	Classe énergétique
Voies urbaines importantes	D
Voies secondaires	D
Voies commerçantes	C

V-2-1-2 Cas de l'arrondissement Jawhara

Les calculs des indicateurs clés pour l'arrondissement Jawhara dont la longueur du réseau est de 158 km et dont la puissance de lampes installée est de 940 Kw , sont inscrits dans le tableau ci-dessous :

Classe	Type de voie	Sous-catégorie	Largeur à éclairer (chaussée et trottoirs) (mètres)	Longueur réseau (m)
A	pénétrante Urbaine	Eclairage bi latéral Deux chaussées séparées	11,5	3800
B	Voies urbaines importantes	Eclairage unilatéral Chaussée unique	13	16000
C	Voies secondaires	Eclairage unilatéral Rue résidentielles / ruelle	11	137100
F	Places et giratoires	Eclairage unilatéral Majorité piéton	10	1100

Surface (m ²)	Lux	Puissance avant (avec 15% de pertes du ballast)	mW/lux/m ² (calcul)	W/km	kWh/m ² /an (3600 heures/an)
43700	20	26000	29,75	5950	2,14
208000	20	109500	26,32	5951	1,90
1508100	15	938000	41,46	5652	2,24
11000	15	7500	45,45	5929	2,45

Ces valeurs nous permettent de déduire le classement énergétique suivant la grille de l'ADEME comme indiqué au tableau ci-dessous :

Type de voie	Classe énergétique
Voies urbaines importantes	D
Voies secondaires	C
Voies commerçantes	D
Places et giratoires	D

Vu que 90 % de la puissance installée au niveau de l'arrondissement Jawhara alimente le réseau pour l'éclairage des voies secondaires on peut dire que le classement énergétique global est de **classe C** .

V-2-1-3 Cas de l'arrondissement Erriadh

Les calculs des indicateurs clés pour l'arrondissement Jawhara dont la longueur du réseau est de 96 km et dont la puissance de lampes installée est de 381 Kw , sont inscrits dans le tableau ci-dessous :

Classe	Type de voie	Sous-catégorie	Largeur à éclairer (chaussée et trottoirs) (mètres)	Longueur réseau (m)	Surface
A	pénétrante Urbaine	Eclairage bi latéral Deux chaussées séparées	11,5	4900	56350
B	Voies urbaines importantes	Eclairage unilatéral Chaussée unique	13	13000	169000
C	Voies secondaires	Eclairage unilatéral Rue résidentielles / ruelle	11	57100	628100
D	Voies commerçantes	Eclairage unilatéral Majorité piéton	10	10000	100000

Lux	Puissance avant (avec 15% de pertes du ballast)	mW/lux/m ² (calcul)	W/km	kWh/m ² /an (3600 heures/an)
20	25258	22,41	4482	1,61
20	67011	19,83	4482	1,43
15	294334	31,24	5652	1,69
15	67235	44,82	5847	2,42

Ces indicateurs et ratios nous permettent de déduire le classement énergétique pour chaque type de voirie :

Type de voie	Classe énergétique
Voies urbaines importantes	C
Voies secondaires	C
Voies commerçantes	C
Voies commerçantes	D

V-2-1-4 Cas de l'arrondissement Sidi Abdelhamid

Les calculs des indicateurs clés pour l'arrondissement Jawhara dont la longueur du réseau est de 116 km et dont la puissance de lampes installée est de 604 KW , sont inscrits dans le tableau ci-dessous :

Classe	Type de voie	Sous-catégorie	Largeur à éclairer (chaussée et trottoirs) (mètres)	Longueur réseau (m)	Surface (m ²)
A	pénétrante Urbaine	Eclairage bi latéral Deux chaussées séparées	11,5	5400	62100
B	Voies urbaines importantes	Eclairage unilatéral Chaussée unique	13	7500	97500
C	Voies secondaires	Eclairage unilatéral Rue résidentielles / ruelle	11	95660	1052260
D	Voies commerçantes	Eclairage unilatéral Majorité piéton	10	7440	74400

Lux	Puissance avant (avec 15% de pertes du ballast)	mW/lux/m ² (calcul)	W/km	kWh/m ² /an (3600 heures/an)
20	25258	22,41	4482	1,61
20	67011	19,83	4482	1,43
15	294334	31,24	5652	1,69
15	67235	44,82	5847	2,42

Les performances du réseau sont meilleures à cet arrondissement comparé aux autres en effet l'indicateur de densité de puissance est majoritairement compris 1 et 2 ce qui correspond à un classement énergétique de catégorie C.

Type de voie	Classe énergétique
Voies urbaines importantes	C
Voies secondaires	C
Voies commerçantes	C
Voies commerçantes	D

V-2-1-5 Cas de l'arrondissement Médina

Les calculs des indicateurs clés pour l'arrondissement Jawhara dont la longueur du réseau est de 14 km et dont la puissance de lampes installée est de 103 KW, sont inscrits dans le tableau ci-dessous. Vu la typologie très particulière de la Medina les voie sont assimilée à des voie piétonne et cyclable correspondant à la classe E . Elle comprend aussi des places affectées à la classe F.

Classe	Type de voie	Largeur à éclairer (chaussée et trottoirs) (mètres)	Longueur réseau (m)	Surface (m ²)	Lux
E	Voie piétonnes	6	7140	42840	15
F	Places	10	6860	68600	20

Puissance avant (avec 15% de pertes du ballast)	mW/lux/m ² (calcul)	W/km	kWh/m ² /an (3600 heures/an)
60410	94,01	5652	5,08
75705	55,18	9596	2,98

Les indicateurs énergétiques du réseau ne sont pas bien performant. A cet arrondissement comparé aux autres en effet ceci ne veux pas signifier que l'éclairage n'est pas normal vu la typologie très particulière des voies de la médina.

Type de voie	Classe énergétique
Voies piétonnes	F
Places	F

V-2-1-6 Application à la ville de Sousse

Les calculs des indicateurs clés pour toute la ville concerne 97% de la puissance installée soit les voiries appartenant aux la classes photométriques A,B,C et D

Classe	Type de voie	Sous-catégorie	Largeur à éclairer (chaussée et trottoirs) (mètres)	Longueur réseau (m)	Surface (m ²)
A	pénétrante Urbaine	Eclairage bi latéral Deux chaussées séparées	11,5	14100	162150
B	Voies urbaines importantes	Eclairage unilatéral Chaussée unique	13	44900	583700
C	Voies secondaires	Eclairage unilatéral Rue résidentielles / ruelle	11	374460	4119060
D	Voies commerçantes	Eclairage unilatéral Majorité piéton	10	41240	412400

Lux	Puissance avant (avec 15% de pertes du ballast)	mW/lux/m ² (calcul)	W/km	kWh/m ² /an (3600 heures/an)
20	83593	25,78	5155	1,86
20	284421	24,36	5508	1,75
15	2437524	39,45	5652	2,13
15	263944	42,67	5565	2,30

Les voies secondaires représentent 80% des voies éclairées. Ces voiries correspondent à une classe énergétique D. Le plan d'action qui sera proposé permettra de passer à la classe énergétique A.

Type de voie	Classe énergétique
pénétrantes urbaines	C
Voies urbaines importantes	C
Voies secondaires	D
Voies commerçantes	D

V-3 Analyse Environnementale

V-3-1 Part des énergies renouvelables dans l'alimentation électrique du réseau.

Dans un souci d'intégration dans l'effort national et mondial de lutte contre le réchauffement climatique d'une part et recevoir le label ACTE-MEA d'autre part la commune étudiera la rentabilité économique d'un générateur PV pour l'alimentation d'une partie de son réseau d'éclairage. La commune peut envisager l'installation d'une centrale PV de 150 KW et de tester à travers laquelle une formule de partenariat PPP.

	Actuelle	projetée
Part des énergie renouvelables	0	5 %

V-3-2 Part des lampes sans mercure dans le réseau

Les lampes à vapeur de mercure sont extrêmement nocives pour l'environnement. Ils sont interdit d'utilisation en Europe depuis 2015. Le plan d'action proposé permettra de mettre en place une stratégie de substitution rapide vers des lampes plus efficaces et moins polluantes. L'auditeur proposera par la même occasion une méthodologie pour le recyclage des lampes substituées.

	Actuelle	projetée
Part des lampes HPL (mercure %)	8	0

V-3-3 Gaz à effet de serre

Le réseau d'éclairage publique est le premier consommateur d'énergie électrique dans les communes. Il dégage une quantité considérable de CO2.

	Actuelle (tonnes CO2/an)	projetée
Dégagement de CO2	4500	2000

VI- PLAN D'ACTION

VI-1-Mise en conformité des Armoires de commandes

VI-1-1 - Description

La mise en conformité des armoires constitue une étape importante pour le bon fonctionnement du réseau. Elle permet d'une part d'assurer la sécurité des techniciens et des usagers des zones éclairées contre l'électrocution et d'autre part de réduire les pertes dues à l'échauffement des contacts et d'éviter le dysfonctionnement du système de commande causant une surconsommation d'énergie. Il est important qu'une étude de mise en conformité aux normes de sécurité pour l'ensemble des armoires soit conduite par un bureau spécialisé. Le présent projet constitue un chiffrage approximatif basé sur le constat de l'état des armoires pendant l'audit.

VI-1-2 – Economie

Les économies attendues de cette action proviennent de la réduction du temps de fonctionnement diurnes estimé à 2% de la consommation annuelle soit :

Economie KWH/an	Economie DT/an	Equivalent en tep	TeCO2 évité
190000	47500	54	106

VI-1-3 – Investissement

L'investissement correspond au diagnostic détaillé de 228 armoires de commande à réaliser par un bureau spécialisé pour proposer une mise en conformité aux normes de sécurité. La commune peut commencer par l'entretien des armoires en vérifiant l'état du serrage des câbles, et le remplacement des équipements détériorés au niveau des armoires. L'audit préliminaire a permis d'identifier le nombre d'accessoires nécessitant un remplacement comme indiqué sur le tableau ci-dessous :

Désignation	U	Prix moyen (DT)	Nombre	Prix total DT
Forfait étude	Ens	45000	1	45000
Remplacement borniers	U	50	200	10000
Remplacement disjoncteurs	U	75	150	11250
Remplacement relais et contacteurs	U	150	80	12000
Commande par horloge astronomique	U	250	220	55000
Remise en état câblage	Ens	30000	1	30000
Remise en état niche et système de fermeture	Ens			50000
Total				213250

VI-1-4 – Subvention de l'état

La subvention accordée dans le cadre du FTE est comme suit :

Investissement	Montant DT	Taux (%)	Subvention (DT)
Investissement immatériel	45000	70	30000
Investissement Matériel	168250	30	50475
Total	213250		80475

VI-1-5 – Rentabilité économique

Le temps de retour relatif à l'action est comme indiqué au tableau ci-dessous :

Temps de retour sans subvention de l'état	4.6 ans
Temps de retour avec subvention de l'état	2.8 ans

VI-1-6 – Planning de réalisation

La réalisation du projet est planifiée pour la période 2022-2025

VI-2- Relamping au LED

VI-2-1 - Description

Le réseau d'éclairage actuel composé essentiellement de lampes à sodium haute pression consomme environ 21% du budget de fonctionnement de la ville. La conversion aux lampes LED nettement moins énergivore permettra une réduction importante de la consommation d'énergie. Le projet permettra aussi de substituer les lampes à vapeur de mercure non recommandées vu leur toxicité. Au-delà des retombés environnementaux le projet permettra aussi de réduire les frais d'exploitation étant donnée la durée de vie de la technologie LED qui est 6 fois plus longue que le SHP. Il est important de préciser que la commune planifiera le Relamping sur les 3 ans à venir et elle sera appelé à faire une étude spécifique pour chaque tranche.

VI-2-2 – Economie

Les économies attendues de cette action proviennent de la réduction du temps de fonctionnement diurnes estimé à 2% de la consommation annuelle soit :

Economie KWH/an	Economie DT/an		Equivalent en tep	TeCO2 évité
	Energie	entretien		
3900000	995000	500000	1100	2150
	1495000			

VI-2-3 – Investissement

L'investissement correspond au remplacement de **15000 points** lumineux comme indiquer sur le tableau ci-dessous :

Nombre	puissance	Prix unitaire (DT, TTC)	Prix total (DT, TTC)
110	220	800	88 000
110	36	550	60 500
200	110	600	120 000
600	100	600	360 000
600	120	600	360 000
5400	90	550	2 970 000
5300	80	500	2 650 000
2100	50	400	840 000
350	70	500	175 000
230	70	500	115 000
15000		TOTAL (DT TTC)	7 738 500

Ainsi le cout correspond à un **total de 7738500 DT pour les luminaires**. La mise en œuvre nécessitera un coût d'études approfondie pour la l'établissement des marchés suivant la réglementation en vigueur estimé à 120000DT soit un coût total de **7858500 DT**.

VI-2-4 – Subvention de l'état

La subvention accordée dans le cadre du FTE est comme suit :

Investissement	Montant DT	Taux (%)	Subvention (DT)
Investissement immatériel	120000	70	30000
Investissement Matériel	7738500	20	1547700
Total	7858500		1577700

VI-2-5 – Rentabilité économique

Le temps de retour relatif à l'action est comme indiqué au tableau ci-dessous :

Temps de retour sans subvention de l'état	5.25 ans
Temps de retour avec subvention de l'état	4.2 ans

VI-2-6 – Planning de réalisation

La réalisation du projet est planifiée pour la période 2022-2025

VI-3- Modulation de puissance (dimmage)

VI-3-1 – Description

Le projet consiste à mettre en place des équipements de gradation de puissance au niveau des armoires d'éclairage public pour permettre une réduction de l'éclairage pendant les heures de la nuit ou le Traffic routier et la fréquentation des voies est faible. Cette modulation de puissance d'environ 40% de la puissance pendant 4 h par nuit sans compromettre le bon fonctionnement ni la sécurité permet d'assurer des économies substantielles.

VI-3-2 – Economie

Les économies attendues de cette action proviennent de la réduction de la puissance de 40% pendant 5h ce qui se traduit par une réduction de la consommation comme indiqué au tableau ci-dessous :

Economie KWH/an	Economie DT/an	Equivalent en tep	TeCO2 évité
905200	230000	256	500

VI-3-3 – Investissement

Le projet nécessitera un investissement de **170400 DT** correspondant à l'installation de 213 système de dimmage de puissance LED au niveau de tous les armoires à l'exception de ceux de la Medina qui seront équipé de système de commande point par point.

VI-3-4 – Subvention de l'état

La subvention accordée dans le cadre du FTE est comme suit :

Investissement	Montant DT	Taux (%)	Subvention (DT)
Investissement immatériel	0	70	0
Investissement Matériel	170400	20	34080
Total	170400		34080

VI-3-5 – Rentabilité économique

Le temps de retour relatif à l'action est comme indiqué au tableau ci-dessous :

Temps de retour sans subvention de l'état	0.74 ans
Temps de retour avec subvention de l'état	0.6 ans

VI-3-6 – Planning de réalisation

La réalisation du projet est planifiée pour la période 2022-2025

VI-4- Commande par point sur les voies de la Médina

VI-4-1 – Description

La Medina constitue un tissu urbain très particulier avec ses voies de largeurs irrégulières et souvent en chicanes. Il est pratiquement impossible de la classer. La gestion du réseau d'éclairage est difficile et l'intervention de l'équipe d'entretien avec les camion nacelle est extrêmement difficile sinon impossible. Devant cette situation la commune a fait le choix d'opter pour la conversion au LED avec l'intégration d'un système de gestion et de commande point par point.

VI-4-2 – Economie

Les économies attendues de cette action proviennent de la réduction de la puissance de 45% ce qui engendre une économie considérable comme indiqué au tableau ci-dessous. D'un autre côté la gestion par point permet d'une part une optimisation de la gestion par l'extinction d'une partie ou de la totalité du réseau pendant une période de la nuit (4heures) et d'autre part de réduire le nombre d'intervention dans une zone très difficile effectivement la durée de vie des lampes LED est six fois plus longue que le SHP actuellement installée.

Economie KWH/an	Economie DT/an		Equivalent en tep	TeCO2 évité
	énergie	Entretien		
234500	59500	100000	66	130
Total	159500			

VI-4-3 – Investissement

Le projet nécessitera un investissement de **850000 DT** correspondant à l'installation de 400 lanternes de style équipées de modules LED et système de commande LED point par point basé sur la technologie de communication par radiofréquence y compris 8 concentrateurs et modems au niveau des 8 armoires de la Médina ainsi qu'une plateforme internet de supervision et de commande. Le projet nécessite aussi une étude détaillée pour l'établissement du marché conformément aux procédures et lois en vigueur.

VI-4-4 – Subvention de l'état

La subvention accordée dans le cadre du FTE est comme suit :

Investissement	Montant DT	Taux (%)	Subvention (DT)
Investissement immatériel	50000	70	30000
Investissement Matériel	800000	20	160000
Total	850000		190000

VI-4-5 – Rentabilité économique

Le temps de retour relatif à l'action est comme indiqué au tableau ci-dessous :

Temps de retour sans subvention de l'état	5.3 ans
Temps de retour avec subvention de l'état	4.12 ans

VI-4-6 – Planning de réalisation

La réalisation du projet est planifiée pour la période 2022-2025

VI-5- Assistance technique et accompagnement

VI-5-1 – Description

Pour la mise en œuvre de son plan d'action la commune a besoin de se faire assister par un bureau d'expert agréé pour :

- Intégrer les critères de performances énergétiques au niveau des cahiers des charges des projets faisant parti du contrat programme.
- Participer au choix des équipements performants.
- Evaluer les retombés énergétiques environnementales et financières des projets exécutés
- Accompagnement de la commune pendant la phase de recouvrement des subventions FTE.

D'un autre coté la commune à besoin de se faire accompagner pendant une période de 3 ans minimum par la société spécialisée en systèmes d'informations géographiques pour entretenir sa base de données et la maintenir à jour. Assister l'équipe technique à introduire les foyers nouvellement installés ou modifiés.

VI-5-2 – Economie

Le suivi et l'accompagnement a un impact transversal sur l'ensemble des actions à entreprendre et contribue à la réussite du plan d'action. L'économie est estimée à 5% de la consommation globale du réseau d'éclairage public.

Economie KWH/an	Economie DT/an	Equivalent en tep	TeCO2 évité
470000	120000	133	260

VI-5-3 – Investissement

Le projet nécessitera un investissement de **170000 DT** détaillée comme indiqué au tableau ci-dessous :

- 1- Accompagnement et assistance à la gestion de la base de données SIG relative au réseau d'éclairage public estimé à 50 MDT.
- 2- Assistance technique et financière par un expert du domaine estimé à 120 MDT

VI-5-4 – Subvention de l'état

La subvention accordée dans le cadre du FTE est comme suit :

Investissement	Montant DT	Taux (%)	Subvention (DT)
Investissement immatériel	170000	70	30000
Total			30000

VI-5-5 – Rentabilité économique

Le temps de retour relatif à l'action est comme indiqué au tableau ci-dessous :

Temps de retour sans subvention de l'état	1.4 ans
Temps de retour avec subvention de l'état	1.16 ans

VI-5-6 – Planning de réalisation

La réalisation du projet est planifiée pour la période 2022-2025

VI-6- Renforcement des capacités de l'équipe de maintenance

VI-6-1 – Description

Malgré les efforts considérables du personnel technique en charge de l'éclairage public, ce service nécessite un renforcement de capacité tant sur le plan du savoir que sur le plan des équipements. Cette action permettra d'optimiser la conception des nouveaux projets et d'optimiser les procédures de maintenance préventives et curatives.

VI-6-2 – Economie

La mise à niveau technique et la dotation d'équipements spécifiques permettront d'améliorer l'efficacité de l'équipe de maintenance et ainsi réduire les coûts de maintenance sur les 4 années avant substitution totale par du LED.

Economie KWH/an	Economie DT/an	Equivalent en tep	TeCO2 évité
	110000		

VI-6-3 – Investissement

Le projet nécessitera un investissement de **238000 DT** détaillée comme indiqué au tableau ci-dessous :

- 1- Formation sur les thèmes de : Normes / dimensionnement du REP / Les méthodes de maintenance / ISO 50001 / base de données SIG estimé à 50 MDT.
- 2- Acquisition d'équipements de mesures : analyseur de réseau / 2 luxmètres / 4 tablettes professionnelles : estimé à 28 MDT
- 3- Mise en place 225 compteur intelligents connectés au TBGE. Dont le coût est estimé à 160 MDT.

VI-6-4 – Subvention de l'état

La subvention accordée dans le cadre du FTE est comme suit :

Investissement	Montant DT	Taux (%)	Subvention (DT)
Investissement immatériel (formation)	50000	70	30000
Equipements de mesures	28000	20	5600
Compteurs Smart	160000	20	32000
Total	238000		67600

VI-6-5 – Rentabilité économique

Le temps de retour relatif à l'action est comme indiqué au tableau ci-dessous :

Temps de retour sans subvention de l'état	2.16 ans
Temps de retour avec subvention de l'état	1.55 ans

VI-6-6 – Planning de réalisation

La réalisation du projet est planifiée pour la période 2022-2025

V-7 Tableau récapitulatif

.Projet N°	Description du projet	Economies annuelles escomptées			investissement		Subvention FTE		TRI (An/Mois)		Planning
		Energie		Argent (TND HT)	(TND HT)				M.O.		
		kWhe	TEP		Matériel	Immatériel	Matériel	Immatériel	Brute	Net	
1	Mise en conformité des armoires de commande	190000	54	47500	168250	45000	50475	30000	4,6	2,8	2022-2025
2	Relamping au LED	3900000	1100	1495000	7738500	120000	1547700	30000	5,25	4,2	2022-2025
3	Modulation de puissance	905200	256	230000	170400	0	34080	0	0,74	0,6	2022-2025
4	commande par point sur les voies de la Médina	234500	66	159500	800000	50000	16000	30000	5,32	4,1	2022-2025
5	Assistance technique et accompagnement	470000	133	120000	0	170000	0	30000	1,4	1,16	2022-2025
6	renforcement des capacités de l'équipe de maintenance	0	0	110000	188000	50000	37600	30000	2,16	1,55	2022-2025
	LA COMBINAISON DE TOUS LES PROJETS	5699700	1609	2162000	9065150	435000	1685855	150000	3,2	2,4	2022-2025
	Prime à l'audit	Prime à l'investissement matériel		Total des primes							
	(TND HT)	(TND HT)		(TND HT)							
	0	1835855		1835855							

VI- SDAL (SCHÉMAS DIRECTEUR D'AMÉNAGEMENT LUMIÈRE)

Plan d'aménagement lumière

Sommaire

Résumé	134
1 Voies urbaines	135
1.1 Les pénétrantes urbaines	135
1.2 Les voies urbaines importantes	136
1.3 Les voies secondaires	137
1.4 Les voies commerçantes	138
1.5 Luminaires préconisés et économies d'énergies engendrées	139
1.6 Indicateurs d'efficacité	141
2 Carrefours	143
3 Rond-point	144
4 Place	145
5 Parc et jardins	146
5.1 Les chemins principaux	148
5.2 Les chemins alternatifs	149
5.3 La frondaison des arbres	149
6 Mise en valeur	149
7 Limitation du gaspillage énergétique et de la pollution lumineuse	150
8 La trame noire	151
9 Plan d'action	153
9.1 Chiffrage	153
9.2 Priorisation des investissements	154
Annexe 1 – Classification des luminaires	155
Annexe 2 - Voies urbaines - simulations	157
1 Les pénétrantes urbaines	157
1.1 Pénétrante à deux voies	157
1.1.1 Changement a minima des sources par des LED	158
1.2 Pénétrante à une voie	159
1.2.1 Changement a minima des sources par des LED	160
2 Voies urbaine importante	161

2.1	Eclairage central avec crosse double.....	161
2.1.1	Changement a minima des sources par des LED	161
2.2	Eclairage unilatéral	162
2.2.1	Changement a minima des sources par des LED	163
2.2.2	Changement a minima des sources par des LED et gradation.....	163
3	Voies secondaires.....	164
3.1	Voies secondaires de type C3.....	164
3.1.1	Changement a minima des sources par des LED	165
3.2	Voies secondaires de type C4.....	166
3.2.1	Changement a minima des sources par des LED	166
4	Voies commerçantes	167
4.1.1	Luminaires fonctionnels	167
4.1.2	Changement a minima des sources par des LED	168

Liste des figures

Figure 1: blvd du 14 janvier 2011 et avenue des palmiers.....	135
Figure 2: blvd du leader Yasser Arafat et avenue Hussein Ibn Ali.....	136
Figure 3: Rue Omar Ibn Abdelaziz et quartier Souafa.....	138
Figure 4: Voie commerçante, Sousse Nord, quartier Khezema	139
Figure 5: doubles crosses dans le même sens ou sens opposées	144
Figure 6: place considérée.....	145
Figure 7: luminaire pour la route extérieure et le cheminement extérieur de la place.....	146
Figure 8: luminaire dos à dos cheminement intérieur place.....	146
Figure 9: exemple de zonage du parc Hmadet Douik	147
Figure 10: simulation d'éclairage obtenu pour le parc Hmadet Douik.....	147
Figure 11: exemple de zonage du parc JEMP	148
Figure 12: simulation d'éclairage obtenu pour le parc JEMP.....	148
Figure 13: bornes Targetti Mr Bo	149
Figure 14: éclairage de la frondaison des arbres - spot LED.Y de Targetti.....	149
Figure 15: Effet de fragmentation d'une infrastructure éclairée par attraction ou répulsion de la faune	151
Figure 16: ébauche de trame noire à partir du parc Hmadet Douik	152
Figure 17: Type I à V des luminaires	156
Figure 18: distribution S, M ou L.....	156
Figure 19: classification - limitation de la lumière indésirable	157
Figure 20: produits de retrofit de pénétrantes à deux voies	159
Figure 21: courbes isolux d'éclairement sur une artère principale, en haut chaussée éclairée par des luminaires de style, en bas par des luminaires routiers.....	159
Figure 22: produit de retrofit d'une pénétrante à une voie	160
Figure 23: courbes isolux d'éclairement sur une artère principale à une voie éclairée par des luminaires LED	160
Figure 24: luminaire double crose et implantation centrale	161
Figure 25: produit de retrofit pour un boulevard à éclairage central double crose.....	162
Figure 26: courbes isolux de l'éclairement obtenu par retrofit LED d'un boulevard à éclairage central double crose	162
Figure 27: luminaire et implantation sur trottoir.....	163
Figure 28: produit de retrofit pour une avenue à éclairage unilatéral très espacé.....	163
Figure 29: courbes isolux de l'éclairement obtenu par retrofit LED d'une avenue à éclairage unilatéral – trottoir en haut, chaussée en bas.	163
Figure 30: photos d'une rue secondaire de classe C3	165

Figure 31: luminaire LED pour l'éclairage des voies secondaires classées en C3	165
Figure 32: éclairage par des LED d'une voie secondaire de type C3.....	166
Figure 33: luminaires LED pour les voies secondaires de type C4	167
Figure 34: éclairage par des LED d'une voie secondaire de type C4.....	167
Figure 35: Exemple de rue commerçante.....	168
Figure 36: luminaire pour voie commerçante	168

Liste des tableaux

Tableau 1: exigences de performance pour les classes M2 et M3	136
Tableau 2: caractéristiques géométriques et de l'implantation de l'éclairage des pénétrantes urbaines	136
Tableau 3: exigences des classes d'éclairage C2, C4 et P3	137
Tableau 4: caractéristiques géométriques et de l'implantation de l'éclairage des voies urbaines importantes	137
Tableau 5: exigences des classes C3 et C4.....	138
Tableau 6: caractéristiques géométriques et de l'implantation de l'éclairage des voies secondaires	138
Tableau 7: exigences des classes P1 et P2	139
Tableau 8: types de voie et photométrie adaptée	140
Tableau 9: types de voie et flux lumineux adapté.....	141
Tableau 10: indicateurs de performance énergétique de l'installation LED.....	142
Tableau 11: Puissance par type de voie et nombre de points lumineux.....	142
Tableau 12: chiffrage de l'investissement pour les luminaires LED	153
Tableau 13: rentabilité énergétique des investissements selon le type de voie.....	154
Tableau 14: Exigences de la norme EN 13201 - classe M2.....	157
Tableau 15: Exigences de la norme EN 13201 - classe C2.....	158
Tableau 16: Exigences de la norme EN 13201 - classe M3.....	160
Tableau 17: Exigences de la norme EN 13201 - classe C2.....	161
Tableau 18: exigences de la norme EN 13201 pour les classes C4 et P3	164
Tableau 19: économie de consommation d'électricité avec un retrofit LED et avec gradation supplémentaire	164
Tableau 20: Exigences de la norme EN 13201 - classes C3 et C4.....	164
Tableau 21: Exigences de la norme EN 13201 - classes P1 et P2	167

Résumé

Le document ci-dessous permettra à la ville de Sousse de rénover son éclairage public à moindre coût pour d'une part mieux éclairer, faire des économies d'énergie et de maintenance grâce aux LED et donner une identité et une cohérence à la ville.

Pour chaque type de voie rencontré, des indications précises sont fournies permettant, en utilisant une photométrie adaptée, le remplacement point par point des luminaires en place par des luminaires LED. Ceci permet de s'affranchir des coûts de voiries et de changement d'implantation des mats.

Les rénovations proposées permettent d'aboutir à une puissance moyenne par point lumineux de 88 Watt pour l'éclairage des voies tout en respectant les préconisations de la norme EN 13201 et en garantissant des températures de couleur identifiables par type de voie.

Le coût estimé des rénovations pour plus de 17 000 points lumineux et 490 km de voies est de 4,91 millions de DT soit 1,49 millions d'euros. Les travaux peuvent aussi s'étaler sur plusieurs années et des priorités sont proposées dans le plan d'action en fonction des objectifs de la ville.

Des recommandations sont aussi données pour les carrefours et notamment la sécurisation des passages piétons.

L'éclairage des ronds-points est aussi discuté avec comme soucis de contribuer à la sécurité des usagers tout en optant pour les solutions les plus simples.

L'éclairage des places peut aussi être revu en soulignant mieux les cheminements par exemple.

Deux exemples d'éclairage généralisable de parcs et jardins sont présentés avec les luminaires retenus.

Pour les mises en valeurs, faute d'exemple concret, des prescriptions générales de matériel et de température de couleur sont faites.

Nous proposons un exemple de disposition qui peut être prise par la commune pour limiter le gaspillage énergétique et les nuisances lumineuse en autorisant des horaires d'allumage aux commerces et à la mise en valeur par exemple.

Enfin, la notion de trame noire est exposée avec une première proposition pour favoriser le maintien de la biodiversité en ville.

1 Voies urbaines

Les situations d'éclairage des voies de la ville de Sousse peuvent être divisée en quatre grandes catégories correspondantes aux usages et deux situations d'éclairage par catégories, soit huit cas. Pour chaque cas, nous déterminerons les exigences liées aux besoins d'éclairage selon la norme EN 13201.

1.1 Les pénétrantes urbaines

Les pénétrantes urbaines sont les grands axes routiers, à une ou deux voies mais principalement destinées à la circulation des véhicules motorisés à des vitesses importantes. Elles structurent les déplacements routiers dans la ville et doivent avoir une cohérence entre elles pour faciliter la lecture de l'espace urbain notamment par les conducteurs.

Les classes d'éclairage M sont destinées aux conducteurs de véhicules motorisés sur les voies de circulation. Cette classe comprend 6 catégories (M1 à M6) sélectionnées en fonction de différents paramètres selon la norme EN 13201-1 « Sélection des classes d'éclairage » :

- Vitesse de conception ou limite de vitesse (très élevée, élevée, modérée, faible)
- Volume de trafic (élevé, modéré, faible)
- Composition du trafic (mixte avec une majorité de non motorisé, mixte, motorisé)
- Séparation des chaussées (oui, non)
- Densité de carrefour (élevée, modérée)
- Véhicules en stationnement (oui, non)
- Luminosité ambiante (élevée, modérée, faible)
- Tâche de navigation (très difficile, difficile, facile)

Pour la ville de Sousse, les pénétrantes urbaines peuvent être à deux voies comme l'avenue des palmiers ou à quatre voies comme le boulevard du 14 janvier 2011 illustrés sur la Figure 1.



Figure 1: blvd du 14 janvier 2011 et avenue des palmiers

Ainsi deux classes différentes sont sélectionnées correspondantes à deux situations d'éclairage différentes, les classes M2 et M3. Les exigences sont données par la norme EN 13201-2 « Exigences de performance » selon le Tableau 6 :

Classe	Luminance de la chaussée pour une route sèche et mouillée		Eblouissement d'incapacité	Eclairage des abords
	Route sèche	Route mouillée		
			Route sèche	Route sèche

	Lmoy mini maintenue cd·m2	Uo minimale	U _l mini	Uow minimale	fTI maximal %	R _{EI} minimal
M2	1,5	0,4	0,7	0,15	10	0,35
M3	1,0	0,4	0,6	0,15	15	0,30

Tableau 6: exigences de performance pour les classes M2 et M3

Les caractéristiques géométriques et de l'implantation de l'éclairage sont données Tableau 7:

Type de voie	Sous catégorie	Largeur à éclairer (chaussée et trottoirs)	Espacement des poteaux	Hauteur de feux
Pénétrantes urbaines	Eclairage bi latéral Deux chaussées séparées	21 mètres	30 mètres	11 et 4 mètres
	Eclairage unilatéral Chaussée unique	7 mètres	33 mètres	11 mètres

Tableau 7: caractéristiques géométriques et de l'implantation de l'éclairage des pénétrantes urbaines

1.2 Les voies urbaines importantes

Les voies urbaines importantes sont des lieux d'activités nocturnes importants avec différents commerces et services ainsi qu'un flux important de voitures. Ces voies sont aussi empruntées par des cyclistes et des piétons circulent sur les trottoirs.

Nous pouvons classer ce type de voies dans la classe C de la norme EN 13201. Cette classe comprend 6 catégories (C0 à C5) sélectionnées en fonction de différents paramètres similaires à ceux pour la classe M. En effet, les classes C sont destinées aux conducteurs de véhicules motorisés et autres usagers de la route, dans des zones de conflit telles que les rues commerçantes, les carrefours d'une certaine complexité, les carrefours giratoires, les files d'attente, etc.

Pour la ville de Sousse, ce type de voie peut être éclairé par un mat d'éclairage à double crose implantée sur un terre-plein au centre de la chaussée comme pour le boulevard du leader Yasser Arafat ou par un éclairage unilatéral (un côté uniquement) comme pour l'avenue Hussein Ibn Ali (Figure 2).



Figure 2: blvd du leader Yasser Arafat et avenue Hussein Ibn Ali

Les deux classes différentes sélectionnées correspondantes à ces deux situations d'éclairage sont les classes C2 et C4. En effet, l'avenue Hussein Ibn Ali est peut-être relativement fréquenté durant les heures

de pointes, quand les gens rentrent chez eux après le travail ou y partent. Par contre, cette avenue est considérée comme peu fréquentée au milieu de la nuit. Cela conduit à un déclassement dans les normes EN 13201 et on peut considérer que cette voie peut être classée en classe C4. Pour ce type de voie, la classe d'éclairage correspondante au trottoir est P3.

Les exigences sont données par la norme EN 13201-2 « Exigences de performance » selon le Tableau 8 :

Classe	Eclairage horizontal	
	Emoy minimal maintenu lx	U ₀ minimale
C2	20	0.4
C4	10	0.4
Trottoir :	Emoy minimal maintenu (lux)	E minimal maintenu (lux)
P3	7.5	1.5

Tableau 8: exigences des classes d'éclairage C2, C4 et P3

Les caractéristiques géométriques et de l'implantation de l'éclairage sont données Tableau 9:

Type de voie	Sous catégorie	Largeur à éclairer (chaussée et trottoirs)	Espacement des poteaux	Hauteur de feux
Voies urbaines importantes	Eclairage central (double crosse) Deux chaussées séparées	15 mètres	35 mètres	9 mètres
	Eclairage unilatéral Chaussée unique	8,5 mètres	35 mètres	7 mètres

Tableau 9: caractéristiques géométriques et de l'implantation de l'éclairage des voies urbaines importantes

1.3 Les voies secondaires

Les voies secondaires sont de type résidentiel. Ces voies sont aussi empruntées par des cyclistes et des piétons circulent sur les trottoirs.

Comme précédemment, nous pouvons classer ce type de voies dans le classe C de la norme EN 13201.

Pour la ville de Sousse, ce type de voie est éclairé par des luminaires sur mât ou accrochés en façade avec des espacements qui peuvent être relativement importants par rapport à la hauteur de feu. Ainsi, la rue Omar Ibn Abdelaziz a une largeur de 6 mètres et les poteaux auxquels les luminaires sont accrochés à 9 mètres de haut sont espacés de 30 mètres. Une rue située dans le quartier de Sousse Centre, Jawhara, Souafa sera elle éclairée par des luminaires à 7 mètres de haut et espacés de 32 mètres. Ces deux situations très différentes demande des distributions de la lumière différentes et adaptées. Elles sont illustrées sur la Figure 3:



Figure 3: Rue Omar Ibn Abdelaziz et quartier Souafa

Les deux classes différentes sélectionnées correspondantes à ces deux situations d'éclairage sont les classes C3 et C4. Pour ce type de voie, la classe d'éclairage correspondante au trottoir est P3.

Les exigences sont données par la norme EN 13201-2 « Exigences de performance » selon le Tableau 10 :

Classe	Eclairage horizontal	
	Emoy minimal maintenu lx	U ₀ minimale
C3	15	0.4
C4	10	0.4

Tableau 10: exigences des classes C3 et C4

Les caractéristiques géométriques et de l'implantation de l'éclairage sont données Tableau 11:

Type de voie	Sous catégorie	Largeur à éclairer	Type de voie	Sous catégorie
Voies secondaires	Eclairage unilatéral Rue résidentielles	6 mètres	30 mètres	9 mètres
	Eclairage unilatéral ruelles	7 mètres	32 mètres	7 mètres

Tableau 11: caractéristiques géométriques et de l'implantation de l'éclairage des voies secondaires

1.4 Les voies commerçantes

Ces voies dites commerçantes sont à majorité piétonne bien que des véhicules puissent y circuler à faible vitesse. Il est nécessaire de pouvoir distinguer mais aussi reconnaître les personnes, pour des questions de sécurité mais aussi de sociabilité. Cette exigence de reconnaissance dite faciale nécessite que le visage soit suffisamment éclairé. Le critère est l'éclairage (vertical) semi-cylindrique.

Un exemple de rue peut être dans le quartier Khezema de Sousse Nord (Figure 4)

. Nous classerons ce type de voie dans la catégorie P1 à P2 pour la chaussée.



Figure 4: Voie commerçante, Sousse Nord, quartier Khezema

Les exigences de cette catégorie sont données dans le Tableau 12 :

Classe	Eclairage horizontal		Exigence supplémentaire si une reconnaissance faciale est nécessaire	
	Emoy minimal maintenu lx	E minimal maintenu	E vertical minimal maintenu	E semi cylindrique minimal maintenu
P1	15	3	5	5
P2	10	2	3	2

Tableau 12: exigences des classes P1 et P2

Les luminaires sont accrochés en façade à 9 mètres de haut et espacés de 15 mètres pour une rue de 5 mètres de large et un trottoir de 1.5 mètres.

1.5 Luminaires préconisés et économies d'énergies engendrées

Le Tableau 13 donne la largeur de voie à éclairer, l'espacement entre les candélabres en place et la hauteur de feux des luminaires en place. Pour chaque situation, nous proposons une photométrie du luminaire, c'est-à-dire la façon dont celui-ci répartie la lumière, adaptée.

La terminologie adoptée pour la photométrie est celle internationalement reconnue de l'IES (Illuminating Engineering Society) donnée en annexe 1. Le troisième critère de limitation de la lumière indésirable n'est pas considéré ici puisque tous les luminaires doivent avoir un pourcentage de lumière émise vers le haut nul (U.L.O.R.=0%).

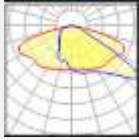
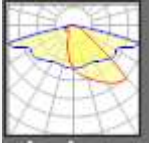

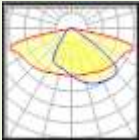
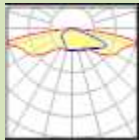
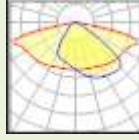
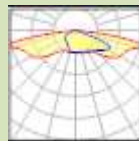
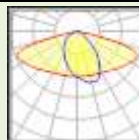
Type de voie	Sous catégorie	Photométrie	Indicatrice	Flux recommandés Puissance indicative
Pénétrante urbaine	Eclairage bi latéral Deux chaussées séparées (type 1)	IES type IV, S		30000 lumen 210 Watt
		IES type II ou V, M		3650 lumen 36 Watt
	Eclairage unilatéral Chaussée unique (type 2)	IES type II, M		14 300 lumen 107 Watt
Voie urbaine importante	Eclairage central (double crose) chaussées séparées (type 1)	IES type II, M		12 539 lm 102 Watt
	Eclairage unilatéral Chaussée unique (type 2)	IES type II ou III, L		15 384 lumen 126 Watt
Voies secondaire	Eclairage unilatéral Rue résidentielle (type 1)	IES type II, M ou L		10 748 lm 89 Watt
	Eclairage unilatéral ruelle (type 2)	IES type III, L		10 028 lm 81 Watt
Voie commerçante	Eclairage unilatéral Majorité piéton (type 1)	IES type II, M		6444 lumen 53,5 Watt

Tableau 13: types de voie et photométrie adaptée

En utilisant les photométries adaptées telles que décrites dans le tableau ci-dessus, l'espacement entre poteaux et la hauteur de feux peuvent être conservés, limitant ainsi les coûts au remplacement des luminaires.

Le Tableau 14 donne le flux lumineux de chaque luminaire et les économies en puissance installée qui peuvent être obtenues par rapport à la situation actuelle en changeant l'éclairage par de l'éclairage LED. A remarquer

Type de voie	Sous catégorie	Economie en puissance installée	Gradation
Pénétrante urbaine	type 1	50%	Non, les enjeux de sécurité de déplacement motorisé sont élevés
	type 2	25%	Non, les enjeux de sécurité de déplacement motorisé sont élevés
Voies urbaines importantes	type 1	35%	Non, les économies sont substantielles sans avoir recourt à la gradation
	type 2	20%	Avec gradation à 60% durant 50% du temps, économie équivalente de 57 %
Voies secondaires	type 1	43%	Non, les enjeux de sécurité des biens et des personnes son importants toute la nuit
	type 1	48%	Non, les enjeux de sécurité des biens et des personnes son importants toute la nuit
Voies commerçantes	type 1	66%	

Tableau 14: types de voie et flux lumineux adapté

Le choix est donc fait de ne pas privilégier la gradation au cœur de la nuit mais plutôt d'éclairer au plus juste et de façon constante pour répondre aux enjeux de sécurité. De plus la réduction de puissance conséquente rend moins intéressant économiquement la mise en place de systèmes permettant la gradation des luminaires LED (souvent gradation au point lumineux et non à l'armoire).

1.6 Indicateurs d'efficacité

La norme EN 13201, partie 5 donne des indicateurs de performance énergétique pour les installations d'éclairage public. Ils sont donnés en fonction de la surface à éclairer, celle-ci incluant les trottoirs.

- La densité de puissance D_P moyenne pour chaque groupe de luminaires identiques de la zone à étudiée en Watt / lux / m²
- La consommation annuelle d'énergie D_E en Watt.heure / m²

Ces indicateurs ne sont calculés que pour la solution de rénovation puisque les mesures d'éclairage de la situation initiale n'ont pas été toutes effectuées. Ainsi, pour les différents types de voies et les luminaires proposés, les résultats sont donnés dans le Tableau 15 :

Type de voie	Eclairage cible (lux)	Puissance* (Watt)		mW/lux/m ²	W/km	kWh/m ² /an**
		Avant	Après			
Pénétrantes urbaines	20	460	210	20	6930	1,41
	10	173	36	30	1188	
	20	173	107	24	3210	1,67
Voies urbaines importantes	20	345	204	20	5916	1,5
	20	173	126	22	3654	1,62
Voies secondaires	15	173	89	32	2937	1,78
	10	173	81	27	2511	1,3
Voies commerçantes	15	173	53,5	38	3585	2,85

Tableau 15: indicateurs de performance énergétique de l'installation LED

* ballast compris (15% de la puissance pour un ballast ferromagnétique)

** 3600 heures par an

Pour information, des valeurs typiques de ces indicateurs sont donnés pour quelques types de voies dans la norme EN 13201, annexe A. Bien que les situations d'éclairage soient difficilement transposables,

Les performances énergétiques de l'installation proposée correspondent aux meilleurs standards internationaux.

Les consommations totales sont estimées à partir de la longueur de voie éclairée par type de voie. Le Tableau 16 détaille donne la puissance totale installée et le nombre de points lumineux.

	Classification finale	ratio	km de voies éclairées	Puissance (W)	nombre de points
pénétrante urbaine	pénétrante à 4 voies	50%	14,11	57 287	235
	pénétrantes à deux voies	50%		22 647	214
voies urbaines importante	éclairage central avec double crosse	50%	44,92	132 873	642
	éclairage unilatéral	50%		82 069	642
voies urbaines secondaires	De type C3	50%	379,16	556 796	6319
	De type C4	50%		476 035	5924
voies commerçantes	voies commerçantes	100%	40,28	144 404	2685
voies piétonnes/cyclable		100%	7,14	24 990	357
Places, giratoires		100%	4,83	16 905	242
			Total	1 514 006	17 260

Tableau 16: Puissance par type de voie et nombre de points lumineux

Remarque : pour les voies piétonnes/cyclables et les places/giratoires qui ne représentent que 2,5% de la longueur des voies éclairées, le ratio de puissance au km est de 3 500, légèrement inférieur au ratio pour les voies commerciales dû à un espacement entre candélabre un peu plus important (20 mètres).

La puissance moyenne par point lumineux sera de 88 Watt.

En prenant une durée d'allumage de 3 600 heures,

La consommation pour les voies est de 5.45 GWh par an

2 Carrefours

Les carrefours sont des endroits de forte densité où se croisent des véhicules, des piétons et des cyclistes. Il s'agit par définition de zones de conflit selon la norme EN 13201-1 :

« Les classes d'éclairage C sont destinées aux zones de conflit sur les voies de circulation où la composition du trafic est essentiellement motorisée. Les zones de conflit apparaissent dès que des flux de véhicules se croisent ou circulent dans des zones fréquentées par les piétons, cyclistes et autres usagers de la route. Les zones présentant un changement au niveau de la géométrie de la route, tel qu'une réduction du nombre de voies ou de la largeur de la voie ou chaussée, sont également assimilées à des zones de conflit. Leur existence augmente le risque de collisions entre les véhicules, entre les véhicules et les piétons, cyclistes et autres usagers de la route, et/ou entre les véhicules et des objets fixes. »

Chaque situation d'éclairage est différente. Le carrefour représenté ici est celui de la gare routière :



Attention, les candélabres ne se trouvent pas sur les terre-pleins centraux des axes mais sur les bords du carrefour contrairement à l'emplacement vu sur cette projection.

Les luminaires sont doubles crosses orientées dans le même sens (11 mètres de haut) ou simples crosses (9 mètres) et judicieusement placés de façon à assurer un éclairage moyen de 25 lux sur les surfaces de route à éclairer (si ceux-ci fonctionnent correctement).

Seuil le terre-plein de la gare de bus qui permet au bus de se garer de part et d'autre est pourvu de luminaires double crosse opposées tels que montrées Figure 5 :

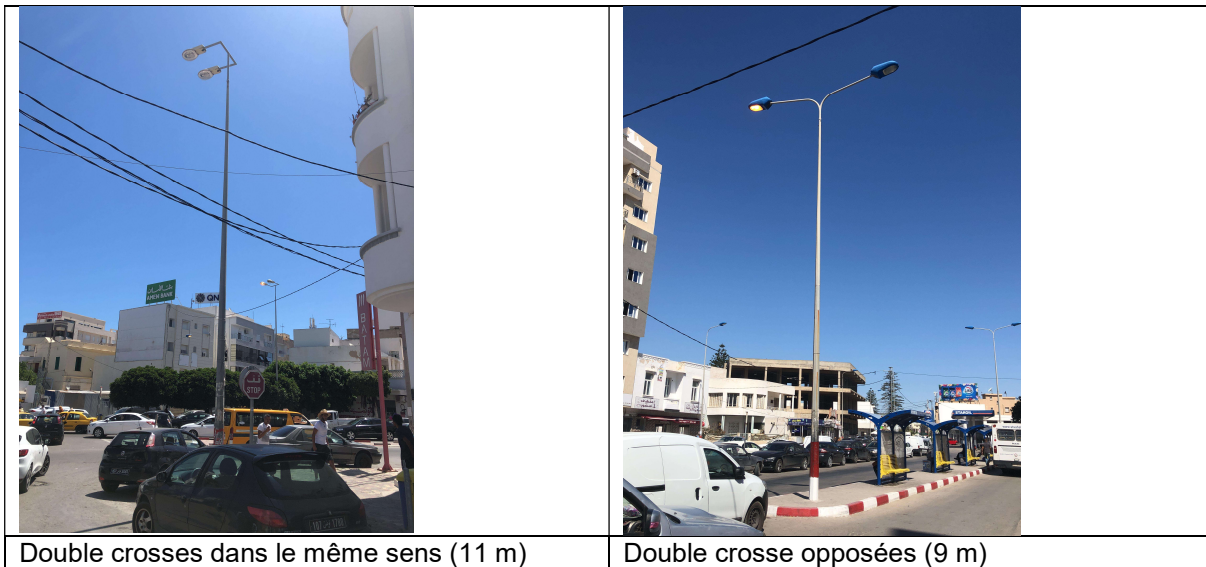


Figure 5: doubles crosses dans le même sens ou sens opposées

Il serait préférable de privilégier sur ce type de carrefour l'éclairage central, avec une implantation sur les terre-pleins. Ceci permettrait de garantir une meilleure répartition de la lumière au plus prêt des besoins tout en diminuant la hauteur de feux permettant de baisser les puissances des sources pour un même niveau d'éclairage.

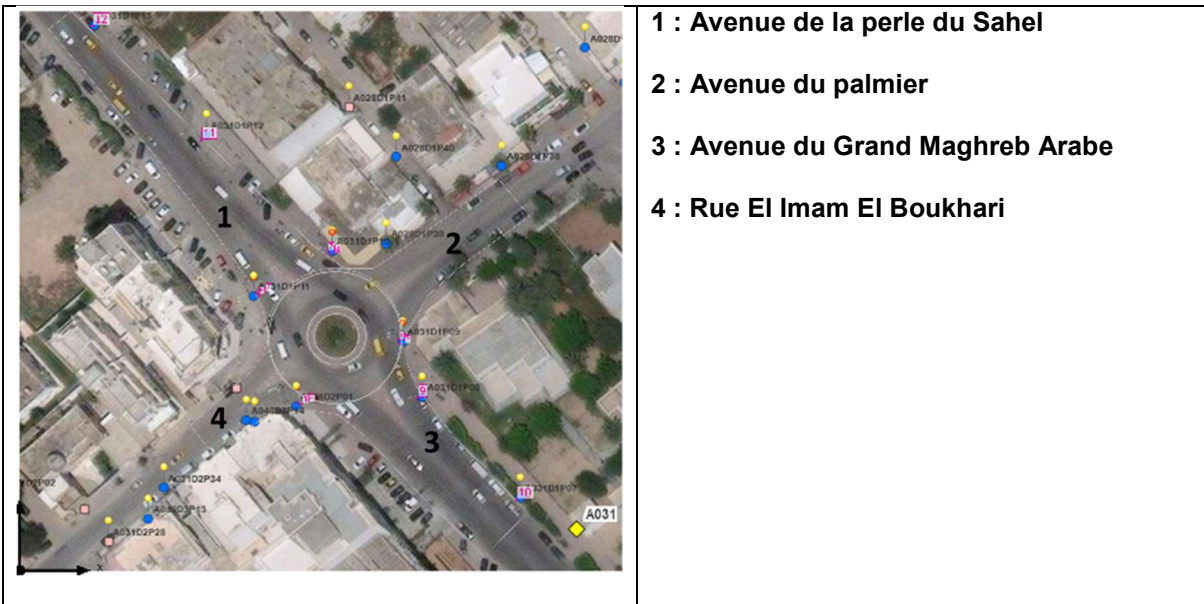
Il peut aussi être intéressant d'aménager des passages piétons permettant de traverser le carrefour avec un maximum de sécurité. Ceux-ci peuvent être signalé par un balisage lumineux à l'aide de spots LED encastrés.

3 Rond-point

En plus de considération générale de l'éclairage vues pour l'éclairage des voies (perception, reconnaissance faciale ...), l'éclairage des ronds-points doit mettre en avant la rupture du tracé linéaire des voies avec le giratoire. Ceci peut se traduire par des niveaux différents d'éclairage obtenus notamment grâce à un éclairage central. L'inconvénient de ce type d'éclairage est l'éblouissement possible des conducteurs, notamment avec l'éclairage LED. A envisager avec précaution, notamment en ville. Il est aussi important de bien visualiser les entrées et sorties du rond-point.

A noter que la perception du rond-point et de son volume peut être largement améliorée quelque soit l'éclairage par la disposition de plots ou de bandes réfléchissante sur son pourtour. Cette solution, économique, permet de ne pas modifier tout l'éclairage existant.

Un exemple est pris d'un giratoire dans le quartier de Sousse Centre, Khezema, Khezema Est.



Les luminaires simples ou double croise, de hauteur 11 mètres, sont équipés de lampes Na HP de 150 Watt ou 250 Watt. Le rond-point est éclairé en ces quatre « coins » par des luminaires double sodium 150 Watt.

L'éclairage correspond aux exigences de la norme pour une classe C2. Un contraste suffisant est assuré entre l'éclairage du rond giratoire (35.8 lux) et les routes y menant (19.2 lux).

Les luminaires équipés de lampes 150 Watt peuvent être avantageusement remplacés par les luminaires LED utilisés pour l'éclairage unilatéral des voies urbaines importante, c'est-à-dire de photométrie de type II, L. Les économies de puissances sont équivalentes à celles pour les voies urbaines importantes de type 2.

4 Place

Les exigences que nous allons considérer pour les places sont les mêmes que pour les voies commerçantes, à savoir P1 et P2 selon la norme EN 13201.

Nous prenons ici l'exemple d'une place située dans la cité Riadh, Riadh 5. La Figure 6 illustre la zone considérée.



Figure 6: place considérée

Cette place est éclairée uniformément par des luminaires équipés de lampes sodium 150 Watt à 8.6 mètres de haut. A noter que les luminaires en périphérie de la place sont dirigés vers la route et constitue plus un éclairage routier (espacement de 30 à 40 mètres) tandis que les 3 points lumineux dans l'axe principal de la place sont chacun équipés de deux luminaires 150 Watt dos à dos.

L'éclairage de la route entourant la place est considéré comme une voie secondaire de type C3 et les luminaires peuvent être changés pour des luminaires de 134 Watt qui, de part leur photométrie, éclairent aussi le cheminement extérieur de la place. ils sont donnés Figure 7 :

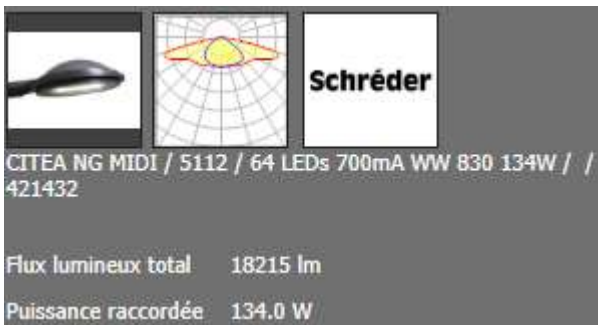


Figure 7: luminaire pour la route extérieure et le cheminement extérieur de la place

La température de couleur choisie est de 3000 K, comme pour les voies secondaires.

Pour les luminaires qui éclairent l'axe principal, on opte pour des luminaires de la même gamme que celle du dessus mais de photométrie différente et de puissance 56.5 Watt (en place de 150 Watt). Ces luminaires vont par deux, dos à dos. Ils sont donnés Figure 8 :



Figure 8: luminaire dos à dos cheminement intérieur place

La réduction en puissance est de 34 % : de 2355 Watt à 1545 Watt

5 Parc et jardins

Les parcs et jardins obéissent à des impératifs de sécurité liés à l'éclairage mais aussi à des besoins d'esthétismes et de réduction de la pollution lumineuse. Ainsi, nous nous sommes attachés à ne pas éclairer de manière uniforme toute la surface du parc et de nous concentrer sur les allées.

Trois parcs ont été examinés et des préconisations faites : les parcs Hmadet Douik, le Jardin d'enfant de la Maison du Poète (JEMP) et le parc Boujaafar. Chaque parc est unique de par sa géométrie, son contenu et les exigences. Nous tirons ici les principaux en enseignement :

L'éclairage ne doit pas être uniformément réparti mais il est nécessaire d'établir une hiérarchie:

1. **Prioritairement** : les chemins principaux, les entrées, les zones d'activités nocturnes;
2. **Secondairement** : les chemins alternatifs, les zones à sécuriser, l'éclairage d'ambiance : frondaisons des arbres, des monuments et objets à valoriser
3. **A ne pas éclairer** : les secteurs non empruntés et propices à la biologie de la faune et de la flore.

La trame d'éclairage doit ainsi s'appuyer sur la composition du parc : aux entrées, le long des allées. Le mobilier doit être décliné selon cette hiérarchie : mâts et tête d'éclairage à moduler selon la nature des allées, mais également spots, bornes, appliques, etc. L'exemple est donné Figure 9 pour le parc Hmadet Douik.

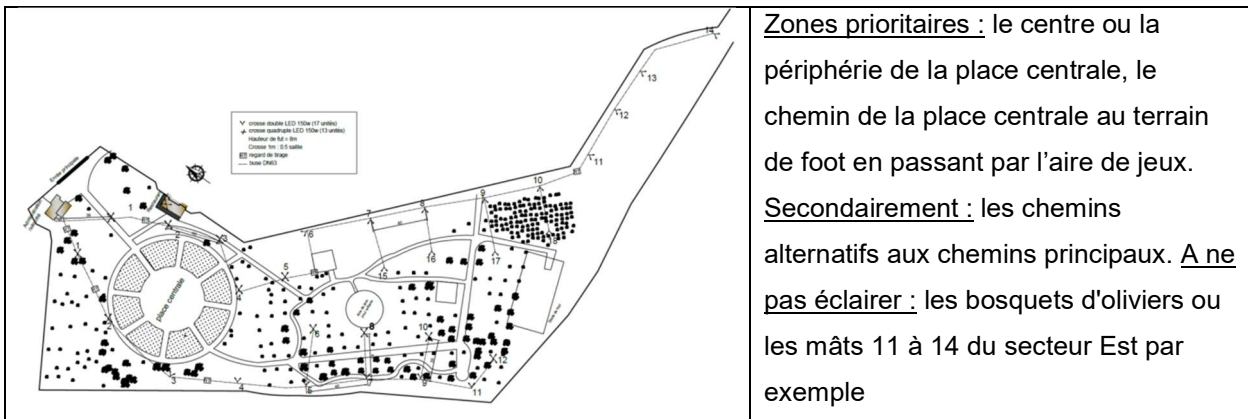


Figure 9: exemple de zonage du parc Hmadet Douik

Les niveaux d'éclairagements préconisés pour le parc Hmadet Douik sont représenté Figure 10

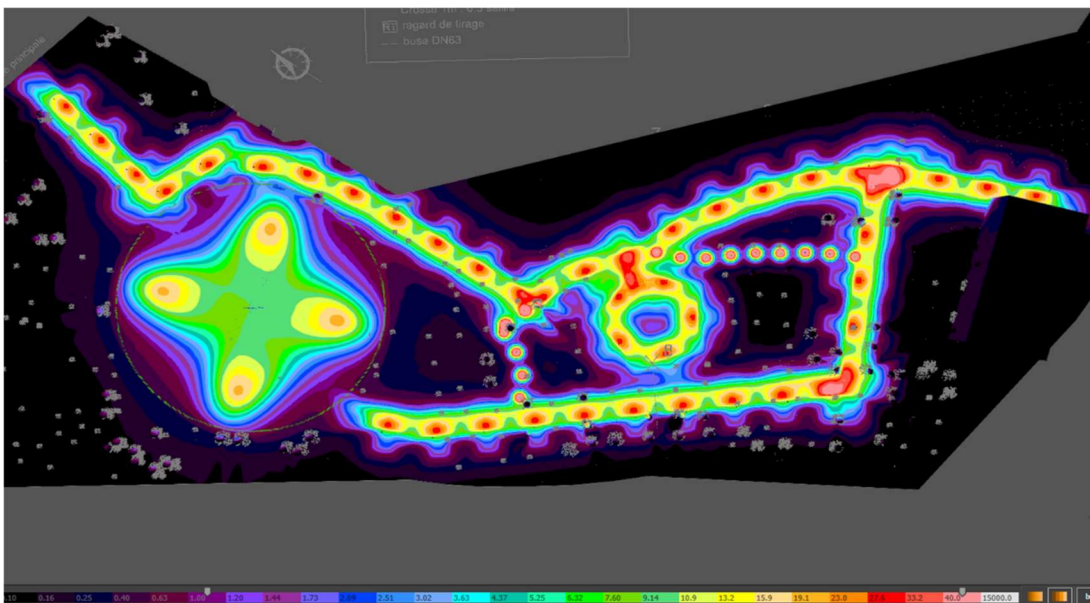


Figure 10: simulation d'éclairage obtenu pour le parc Hmadet Douik

Un autre exemple est le parc du Jardin d'Enfants et de la Maison du Poète (JEMP).

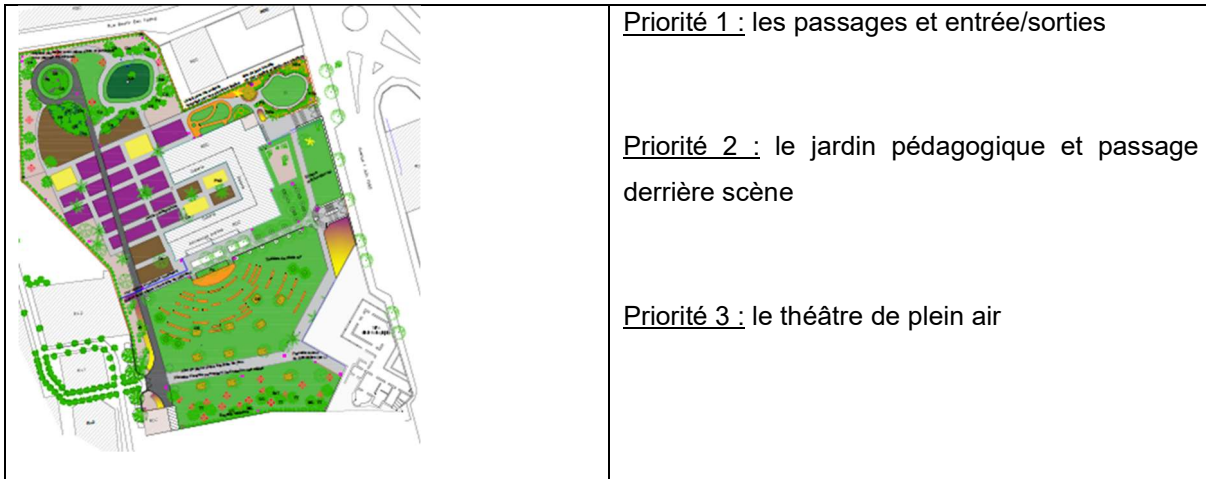


Figure 11: exemple de zonage du parc JEMP

Les niveaux d'éclairages préconisés pour le parc JEMP sont représenté Figure 12.

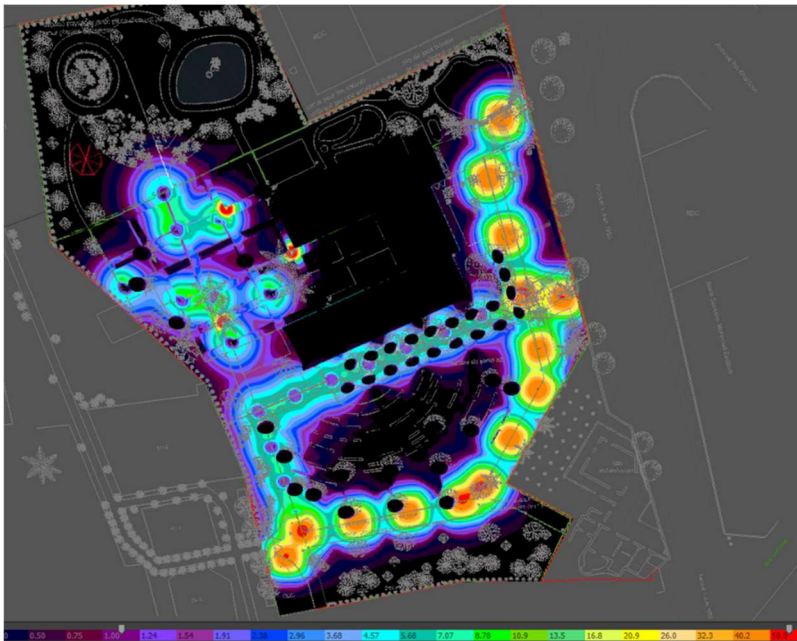


Figure 12: simulation d'éclairage obtenu pour le parc JEMP

5.1 Les chemins principaux

Les allées principales sont réservées aux piétons et de faibles largeurs. Pour le parc Hmadet Douik par exemple où les candélabres sont espacés de 20 mètres et la hauteur de feu de 6 mètres, nous prendrons une photométrie de type I, M selon l'IES. Un flux lumineux de 4 500 lumen est suffisant. La température de couleur choisi est 2 700 Kelvin avec un Indice de Rendu des Couleurs de 80 au minimum.

Des luminaires plus esthétiques telles que les colonnes d'éclairages d'environ 4 mètres de haut peuvent être aussi privilégiées. D'un éclairage généralement de type V (circulaire), elles permettent d'éclairer aussi autour du chemin. Un exemple est donné Figure 20 :

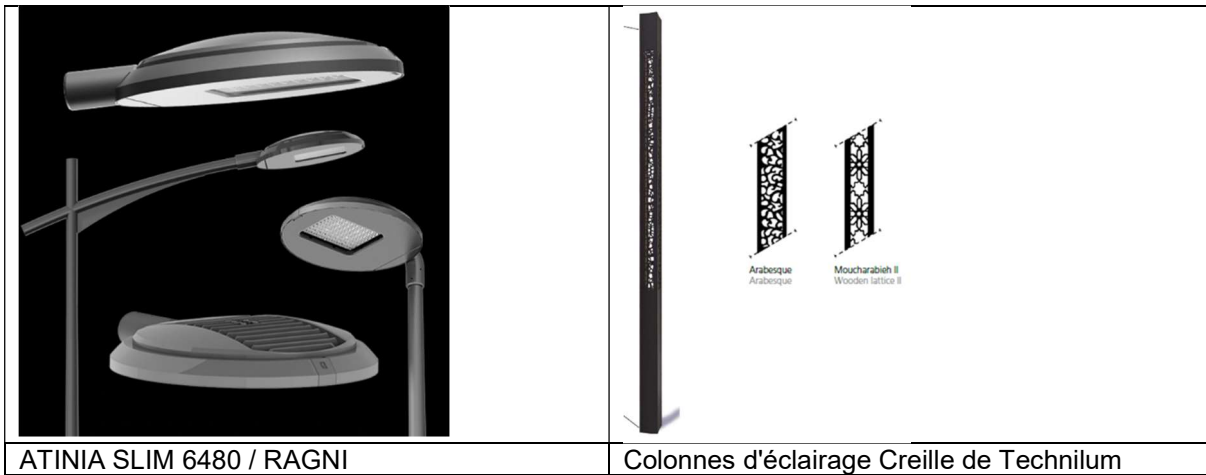


Figure 20: éclairage des chemins principaux des parcs

5.2 Les chemins alternatifs

Les chemins alternatifs ou secondaires pourront être balisés à l'aide de bornes d'environ 1 mètre de hauteur. Pour le parc Hmadet Douik par exemple, des bornes Targetti Mr Bo représentées Figure 13 sont privilégiées. De hauteur 1 mètres et de puissance 24 Watt (3570 lumen), elles sont espacées de 10 mètres.



Figure 13: bornes Targetti Mr Bo

Ce type de borne doit avoir un bon indice de protection contre les corps solide (IK 10 minimum) et un indice de protection de IP 66.

5.3 La frondaison des arbres

Certains arbres peuvent être éclairés pour les mettre en valeur et créer un éclairage d'ambiance. Ceci se fait à l'aide de spots orientables encastrés dans le sol tels que représenté ci-dessous.

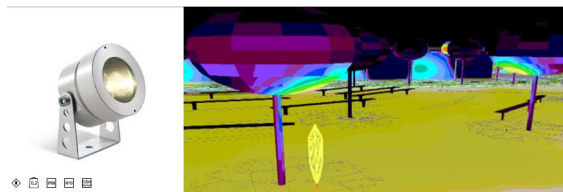


Figure 14: éclairage de la frondaison des arbres - spot LED.Y de Targetti

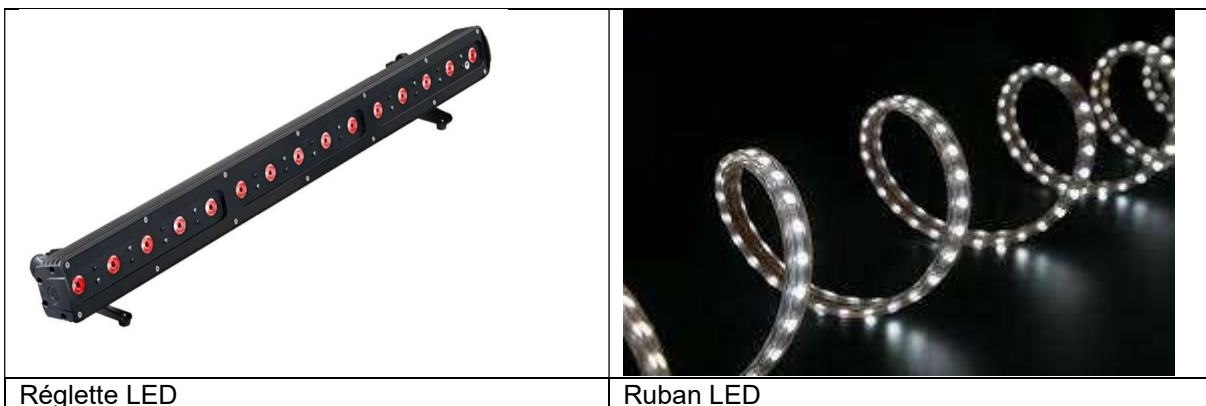
6 Mise en valeur

L'éclairage de mise en valeur ne doit pas essayer de reproduire la perception du bâtiment en pleine journée, il doit par exemple le rendre attractif ou permettre de mettre en exergue tel ou tel détail architectural. Ceci est rendu possible par l'utilisation de petits projecteurs LED à « coller » à la façade du bâtiment, par

exemple en lèche-mur. Il existe aussi des projecteur LED à découpe pour mettre en valeur par exemple des statues. Des projecteur LED sur console peuvent être dissimulés à mi-hauteur.



Des ruban LED peuvent aussi permettre d'éclairer avantageusement des voutes ou arcs. Les réglettes LED encastrées au sol permettent d'éclairer les façades.



Pour l'éclairage de mise en valeur des monuments de Sousse, riche d'histoire, des températures de couleurs basse, autour de 3 000 Kelvin permettront d'éclairer en blanc chaud et de restituer l'aspect historique des monuments.

Les luminaires utilisés doivent aussi être suffisamment protégés contre le vandalisme, notamment s'il s'agit de projecteurs au sol. Dans la mesure du possible, nous préférons placer les luminaires en hauteurs.

Les luminaires doivent aussi être discrets et ne pas « jurer » en étant trop visibles, gâchant ainsi l'esthétisme du bâtiment.

Les luminaires utilisés doivent être de type projecteurs architecturaux.

7 Limitation du gaspillage énergétique et de la pollution lumineuse

Même s'il est difficile pour la ville de prescrire des types d'éclairage de vitrines qui relèvent du domaine privé, il est intéressant pour garder la cohérence de l'éclairage défini plus haut, de limiter cet éclairage au niveau temporel.

La mise en valeur des monuments, ainsi que l'éclairage des parcs et jardins, au moins certains, peut ne pas être continu toute la nuit. En effet, au-delà d'une certaine heure, cette mise en valeur ne profite plus à beaucoup de monde et consomme de l'énergie pour rien.

Ainsi, il est proposé, à l'instar de ce qui se fait en France¹, pays pionnier dans le domaine, de limiter temporellement ces éclairages.

Les prescriptions s'appliquant au patrimoine et aux parcs et jardins sont les suivantes :

- Allumage : au plus tôt au coucher du soleil
- Extinction : au plus tard à 1 heure du matin ou au plus tard 1 heure après leur fermeture

Si le parc ou le jardin est ouvert 24h/24, l'extinction n'est pas obligatoire.

Les prescriptions s'appliquant aux vitrines de magasins de commerce ou d'exposition

- Allumage : à 7 heures du matin au plus tôt ou 1 heure avant le début de l'activité si celle-ci s'exerce plus tôt.
- Extinction : à 1 heure du matin au plus tard ou 1 heure après la cessation de l'activité si elle est plus tardive

8 La trame noire

Conséquence de l'artificialisation croissante de nos territoires, l'éclairage nocturne, public ou privé, engendre notamment une perte d'habitats naturels, une fragmentation accrue et une mortalité directe pour les espèces vivant la nuit. Par exemple, les oiseaux et les insectes nocturnes se repèrent et s'orientent en fonction des étoiles ou de la lune. Ils sont attirés par ces sources lumineuses artificielles et perdent leurs repères. Au contraire, d'autres espèces comme les chauves-souris fuient la lumière, et ces installations constituent pour elles des barrières quasiment infranchissables qui fragmentent leur habitat (Figure 15). La présence de lumière artificielle perturbe également le cycle de vie des êtres vivants et a notamment un effet sur la saisonnalité des végétaux. Il est nécessaire de préserver et de remettre en bon état les continuités écologiques nocturnes, dans un contexte de pollution lumineuse en constante progression.

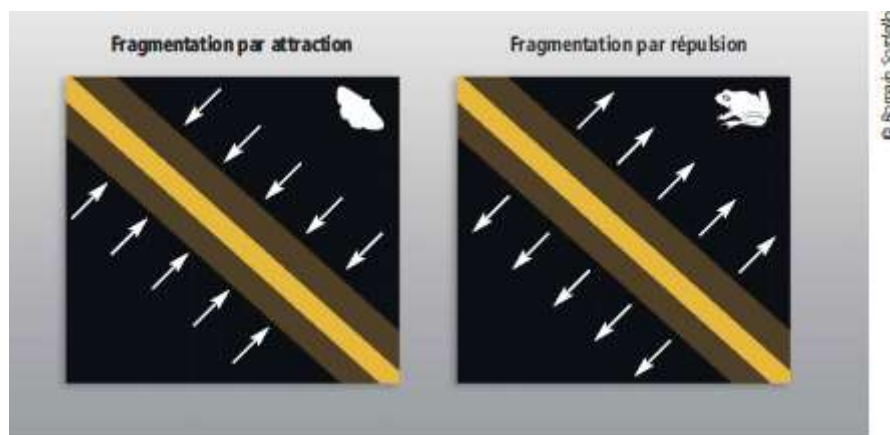


Figure 15: Effet de fragmentation d'une infrastructure éclairée par attraction ou répulsion de la faune

Pour lutter contre ces effets, la démarche de Trame noire a été mise en place avec pour objectif de préserver ou recréer un réseau écologique propice à la vie nocturne. La Trame noire doit être constituée

¹ Arrêté du 27 décembre 2018 relatif à la prévention, à la réduction et à la limitation des nuisances lumineuses

de réservoirs de biodiversité et de corridors écologiques caractérisés par la qualité de l'environnement nocturne et donc en particulier par l'obscurité.

L'objectif est de caractériser les espaces où l'obscurité est encore actuellement suffisante pour la biodiversité nocturne. C'est un véritable enjeu d'identifier ces espaces afin de les préserver de toute dégradation à venir.

En l'absence d'inventaire de la biodiversité, nous considérons que les principaux réservoirs de biodiversité se situent dans les parcs les plus importants. Ainsi, le parc Hmadet Douik de Sahloul 4 est un parc principal de la ville de Sousse et les prescriptions d'éclairage vise à en faire un réservoir pour la biodiversité. Un corridor peut être tracé menant à d'autres réservoir biologiques potentiels tel qu'illustré sur la Figure 16 :

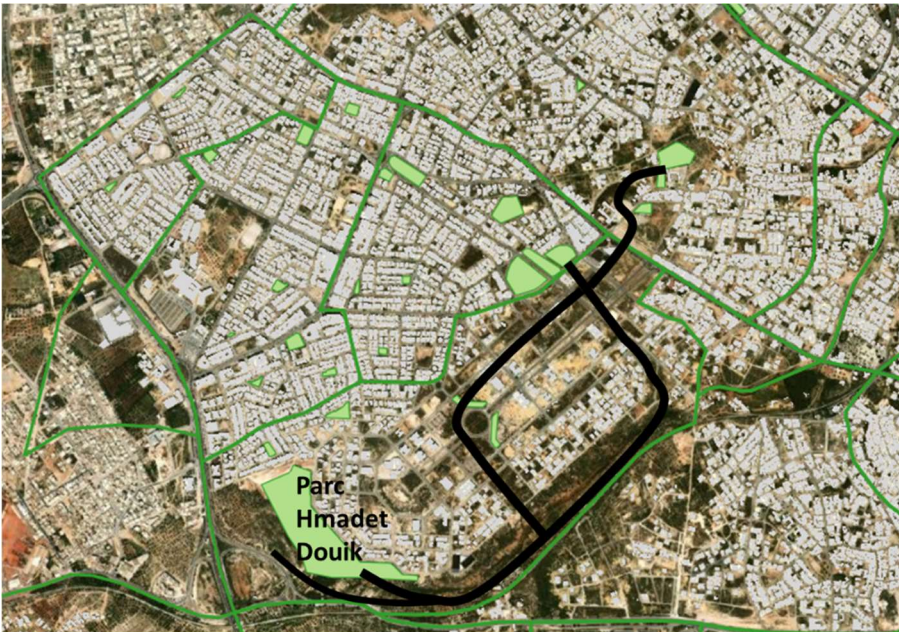


Figure 16: ébauche de trame noire à partir du parc Hmadet Douik

Ceci est une première ébauche et une vraie étude devra être menée en suivant les recommandations du guide de l'Office Français pour la Biodiversité : « Trame noire - Méthodes d'élaboration et outils pour sa mise en œuvre »

9 Plan d'action

9.1 Chiffrage

Le plan d'action ne sera chiffré et discuté que pour la partie de l'éclairage des voies urbaines. En effet, les éclairages de mise en valeur et des parcs demeurent impossibles à chiffrer sans étude précise sur chacun d'eux. La priorisation des espaces mis en valeur est une décision éminemment politique et doit se faire avec le concours de la collectivité.

Les luminaires prescrits pour chaque type de voie permettent, grâce des photométries bien adaptées aux caractéristiques de l'éclairage en place, de minimiser les travaux.

En effet, les luminaires pourront être installés en tête de mât sans changer ni l'espacement entre candélabres ce qui aurait nécessité des coûts importants, ni les hauteurs de feux, ni les inclinaisons. Le choix judicieux des luminaires permet donc de s'affranchir des coûts de tranchée, de déplacement des mats avec pose de massif ...

Il n'est donc pas nécessaire de passer par une étape d'optimisation de l'éclairage en place par une maintenance des luminaires, des changements de hauteur de feux, l'utilisation de ballasts plus efficaces, la mise en place de systèmes de gestions ou l'utilisation de sources plus efficaces.

Il est proposé à la ville de Sousse de se doter pour un coût minimal des meilleures technologies LED.

Dans l'offre de prix reçue, le prix de des luminaires LED dépend uniquement de la puissance.

Ainsi, l'offre correspond à un **total de 4.15 millions de DT pour les luminaires** (Tableau 17):

Nombre	puissance	Prix unitaire (DT, TTC)	Prix total (DT, TTC)
118	220	400	47 200
117	36	440	51 480
214	110	260	55 585
642	100	260	166 846
642	120	270	173 263
6319	90	240	1 516 640
5924	80	240	1 421 850
2685	50	220	590 773
357	70	220	78 540
242	70	220	53 130
TOTAL (DT TTC)			4 155 307

Tableau 17: chiffrage de l'investissement pour les luminaires LED

L'achat de 17 260 luminaires peut donner lieu à négociation et un rabais de 15 % sur l'achat des luminaires et espéré soit un coût de 3.53 millions de DT TTC

A ce chiffrage doit se rajouter le coût de main d'œuvre estimé à 1/3 du coût de l'investissement soit environ **1.38 millions de DT**.

Au total l'opération revient à 4.91 millions de DT soit 1.49 millions d'euros.

Tous les travaux ne pourront être menés en même temps et le budget nécessaire peut n'être débloqué que par tranche. Il est nécessaire dans ce cas d'établir des priorités.

9.2 Priorisation des investissements

Ces priorités sont de différents ordres et relèvent de la politique de la ville.

Ainsi, si la priorité est sociale, c'est-à-dire d'apporter un éclairage de qualité à tous les citoyens, la rénovation des voies secondaires sera privilégiée.

Si la priorité est de favoriser la vie économique, l'accent sera mis sur la rénovation des pénétrantes urbaines et des voies urbaines importantes.

Si la priorité est de favoriser le tourisme, l'accent sera mis sur les voies commerciales, places, parcs et jardin.

La priorité peut aussi être énergétique en réduisant les consommations d'électricité de l'éclairage public. Dans ce cas, il est intéressant de maximiser l'impact énergétique de chaque Dinar investi.

Dans le Tableau 18, le coût de la rénovation est chiffré pour chaque type de voie et mis en relation avec les économies de puissance générées pour établir la rentabilité énergétique des investissements.

Classification finale		Total (DT TTC)	Economie de puissance (%)	Rentabilité énergétique (W/DT)
pénétrante urbaine	pénétrante à 4 voies	131 573 DT	50%	0,44 W/DT
	pénétrantes à deux voies	74 113 DT	25%	0,10 W/DT
voies urbaines importante	éclairage central avec double crosse	222 461 DT	35%	0,32 W/DT
	éclairage unilatéral	231 017 DT	20%	0,09 W/DT
voies urbaines secondaires	De type C3	2 022 187 DT	43%	0,21 W/DT
	De type C4	1 895 800 DT	48%	0,23 W/DT
voies commerçantes	voies commerçantes	787 698 DT	66%	0,36 W/DT
voies piétonnes/cyclable	voies piétonnes/cyclable	104 720 DT	60%	0,36 W/DT
Places, giratoires	Places, giratoires	70 840 DT	60%	0,36 W/DT

Tableau 18: rentabilité énergétique des investissements selon le type de voie

Du point de vue énergétique, il peut être intéressant de rénover en priorité les grands axes pénétrant à quatre voies et les plus petits axes tels que les voies commerçantes, voies piétonnes et cyclable ainsi que les places et giratoires.

Annexe 1 – Classification des luminaires

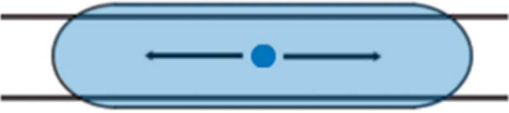
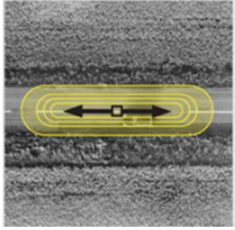
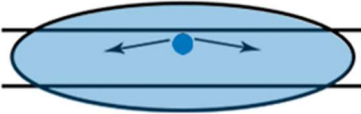
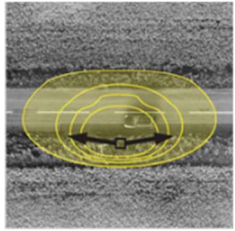
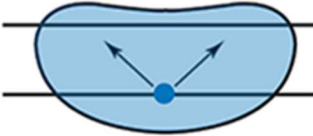
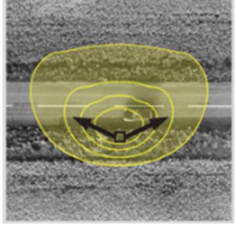
Il existe aujourd’hui deux types de classification des luminaires d’éclairage public reconnues internationalement. Ces classifications ont été proposées par l’Illuminating Engineering Society (IES). Ces deux types de classification sont définies dans le document ANSI/IES RP-8-18 pour la première classification très largement utilisée par les fabricants de luminaires et la nouvelle classification est défini dans un document de 2020, TM-15-20².

La classification utilisée ici est la plus commune. La distribution lumineuse des luminaires est définie selon trois critères :

1. La distribution latérale défini par les luminaires de type I à V ;
2. L’étalement de la lumière est donné en fonction de l’intensité maximale de type Short Medium ou Long (Faible, Moyenne ou Large) ;
3. Le degré de limitation de la pollution lumineuse en fonction de l’angle maximal du faisceau par rapport à la perpendiculaire au luminaire.

Ces trois notions sont explicitées par les illustrations suivantes.

La distribution latérale correspondante aux types I à V est illustrée sur la Figure 17 :

Type du luminaire et usage	Distribution lumineuse	Différents étalements
Type I Préconisé pour des routes d’une ou de deux lignes, les passages piétons ou trottoir.		
Type II Préconisé pour les passages plus larges, les entrées de route, les routes à quatre voies		
Type III Préconisé pour éclairer un espace large ou les terrains de sport.		

² ANSI/IES TM1520 : LUMINAIRE CLASSIFICATION SYSTEM FOR OUTDOOR LUMINAIRES

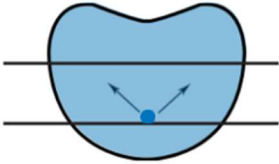
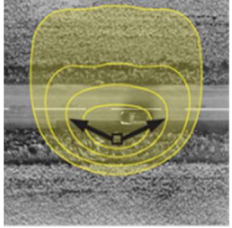
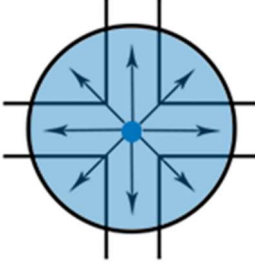
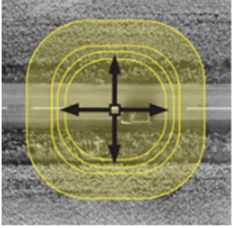
<p>Type IV</p> <p>Préconisé pour un éclairage de routes larges, de façades et de parkings.</p>		
<p>Type V</p> <p>Préconisé pour l'éclairage central, places de parking, intersections</p>		

Figure 17: Type I à V des luminaires

L'étalement de la lumière qui correspond aux types S, M ou L est illustrée Figure 18 :

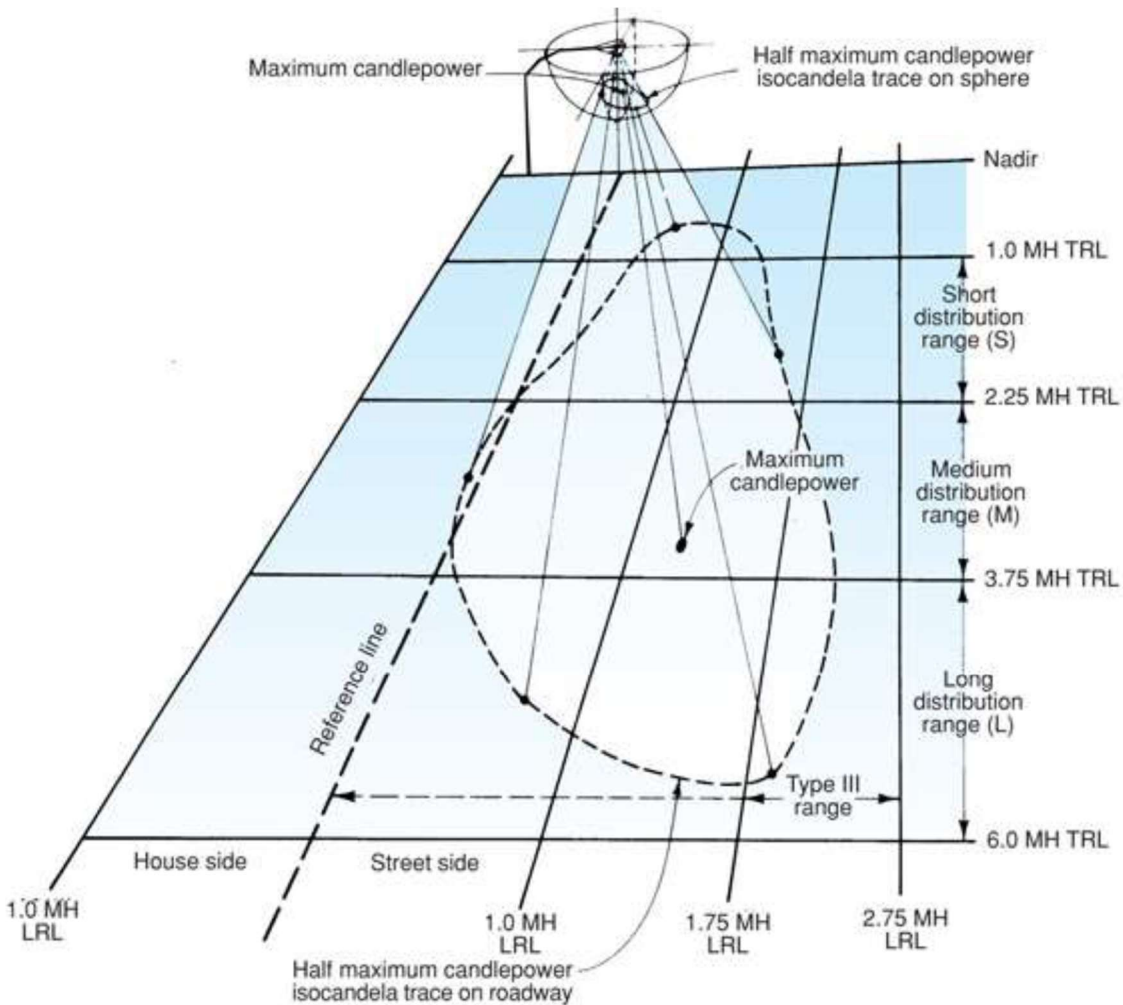


Figure 18: distribution S, M ou L

Le degré de limitation de la pollution lumineuse (lumière émise vers le haut) est illustré sur la Figure 19 :

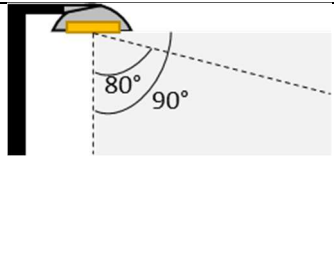
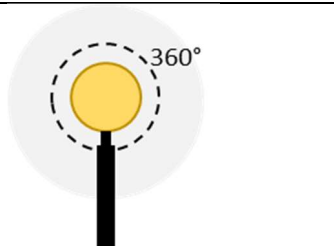
	<p>Coupure complète (fullcut off) : 0% de lumière à un angle $\geq 90^\circ$ 10% de lumière à un angle $\leq 80^\circ$ Coupure (cutoff): 2,5 % de lumière à un angle $\geq 90^\circ$ 10% de lumière à un angle $\leq 80^\circ$ Semi-coupure (semi-cutoff) : 5 % de lumière à un angle $\geq 90^\circ$ 20% de lumière à un angle $\leq 80^\circ$</p>
	<p>Sans coupure (non-cutoff) : Aucune restriction</p>

Figure 19: classification - limitation de la lumière indésirable

Remarque : la classification « coupure complète » correspond au critère U.L.O.R (Upward Lumen Output Ratio³) = 0%

Annexe 2 - Voies urbaines - simulations

1 Les pénétrantes urbaines

Les pénétrantes urbaines sont des axes routiers importants caractérisés par des voies de circulation larges. Ces voies sont bordées de zones habitées et différents types d'usagers présents rendent les tâches de navigation complexes.

1.1 Pénétrante à deux voies

Ce type de voie correspond à la catégorie M2 de la norme EN 13201. Les exigences sont données dans le Tableau 19 :

Classe	Luminance de la chaussée pour une route sèche et mouillée			Eblouissement d'incapacité	Eclairage des abords	
	Route sèche		Route mouillée			Route sèche
	Lmoy mini maintenue cd·m2	Uo minimale	U1 mini	Uow minimale	fTI maximal %	REI minimal
M2	1,5	0,4	0,7	0,15	10	0,35

Tableau 19: Exigences de la norme EN 13201 - classe M2

³ Pourcentage de lumière émise vers le haut

L'équivalent de la classe M2 en termes d'éclairage est donc dans notre cas la classe C2 (revêtement de type R2) . Les exigences de la classe C2 sont données dans le Tableau 20:

Classe	Eclairage horizontal	
	Emoy minimal maintenu lx	U ₀ minimale
C2	20	0.4

Tableau 20: Exigences de la norme EN 13201 - classe C2

Un exemple est le boulevard du 14 janvier 2011.



Cette voie bénéficie d'un côté d'un éclairage de type routier avec des luminaires de type sodium haute pression de 400 Watt placés à 11 mètres de haut d'un côté et des luminaires de style équipées de lampes sodium de 70 Watt à 4 mètres de haut. Les espacements entre les luminaires sont de 30 mètres. Les luminances sont de 3.5 cd/m² du côté des luminaires routiers et de 1.25 cd/m² du côté des luminaires de style. A noter que le revêtement est considéré comme étant CIE R3 et que le facteur de maintenance est considéré de 0.67. Les luminances obtenues restent très proches de la norme qui demande une luminance minimale de 1.5 cd/m².

Cependant, cette configuration a pour conséquence une forte dysimétrie de l'éclairage de part et d'autre du terre-plein central. Pour obtenir un éclairage suffisant sur toute la largeur de la chaussée, les luminaires placés en hauteur doivent donc avoir une photométrie permettant d'éclairer un maximum transversalement à la largeur de la chaussée. Ceci se fait au détriment de l'uniformité longitudinale, c'est-à-dire le long de la voie.

La température de couleur des lampes sodium est très basse, aux alentours de 2500 Kelvin.

1.1.1 Changement a minima des sources par des LED

L'implantation actuelle des luminaires permet de respecter les valeurs attendues de luminance moyenne ou d'éclairage moyen mais pas d'uniformité longitudinale. Le même résultat peut être obtenu avec des luminaires ou modules LED tout en divisant la consommation

Les lampes de 70 Watt dans les luminaires de style peuvent être remplacées par des modules LED de retrofit de 36 Watt (3855 lm). Les lampes de 400 W dans les luminaires de type routier peuvent être remplacées par des luminaires LED de 210 Watt.

Les produits sélectionnés sont présentés dans la Figure 20 :


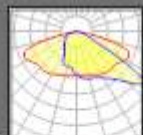


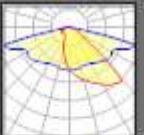

   <p>BGP763 T25 1 xLED320-4S/730 DW10</p> <p>Flux lumineux total 32000 lm</p> <p>Puissance raccordée 210.0 W</p>	   <p>EVO2-ASY12-16L(2x8)G4-3000K700mA EVO2-ASY12-16L(2x8)G4-3000K700mA</p> <p>Flux lumineux total 3855 lm</p> <p>Puissance raccordée 36.0 W</p>
<p>Luminaire LED de retrofit à la lampe 400 W</p>	<p>Modules LED de retrofit aux deux lampes 70 W</p>

Figure 20: produits de retrofit de pénétrantes à deux voies

Les températures de couleur sont de 3000 K, ce qui correspond à une teinte chaude mais la lumière reste blanche contrairement aux lampes sodium d'origine qui émettent une lumière jaune.

Les luminances obtenues sur les chaussées 1 et 2 sont respectivement de 1.43 cd/m² et de 1.95 cd/m². La Figure 21 montre l'éclairage en lux obtenu avec les nouvelles sources.

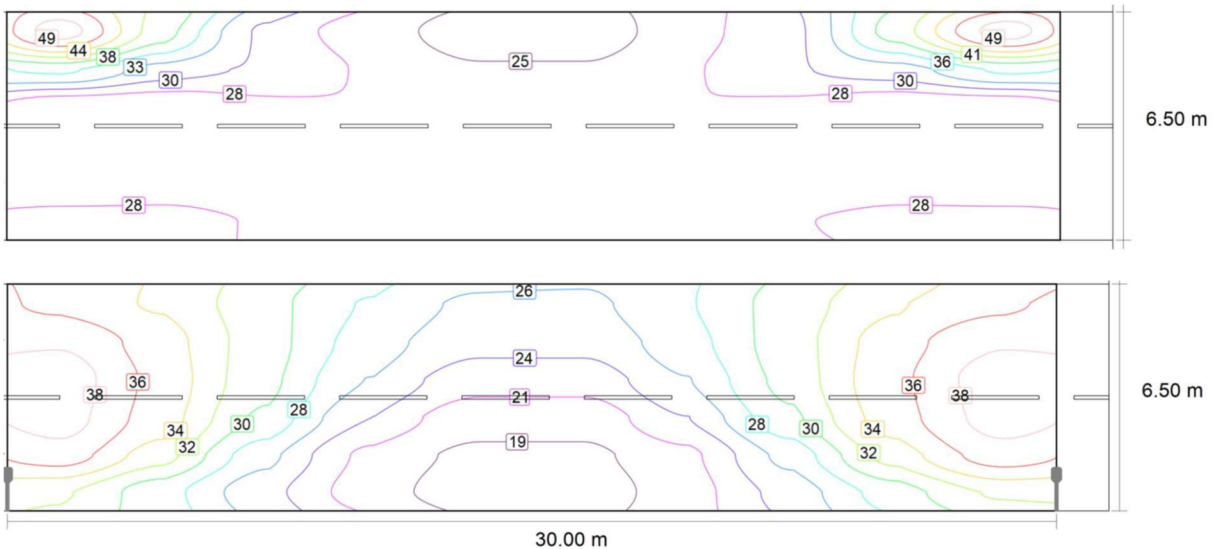


Figure 21: courbes isolux d'éclairage sur une artère principale, en haut chaussée éclairée par des luminaires de style, en bas par des luminaires routiers

La puissance installée par km de voie éclairée est passée de 19602 Watt à 8118 Watt, soit une économie de 59 %.

Au vu des économies générées et des exigences d'éclairage constant propre aux artères routières, la gradation n'est pas recommandée ici.

A noter : Le facteur de maintenance est de 0.8. En effet, la perte de flux des sources LED avec le temps est bien plus faible que pour les lampes à décharges. Un chapitre dédié sera relatif au facteur de maintenance.

1.2 Pénétrante à une voie

Ce type de voie est considérée de classe M3. Le Tableau 21 donne les exigences pour cette classe :

Classe	Luminance de la chaussée pour une route sèche et mouillée			Eblouissement d'incapacité	Eclairage des abords	
	Route sèche		Route mouillée			Route sèche
	Lmoy mini maintenue [cd·m ²]	Uo mini	U _i minimale	Uow minimale	fTI maximal [%]	R _{EI} minimal
M3	1,0	0,4	0,6	0,15	15	0,30

Tableau 21: Exigences de la norme EN 13201 - classe M3

Un exemple est l'avenue des palmiers.

Cette avenue est éclairée avec des luminaires équipés de lampes Sodium Haute Pression de 150 Watt placé à 11 mètres de hauteurs et espacés de 33 mètres. Ce type d'éclairage est adapté à la situation et mais les exigences de la classe M3 ne sont pas tout à fait satisfaites, quoique proches ($L_m = 0.78 \text{ cd/m}^2$). A noter que le facteur de maintenance considéré pour les sources traditionnelles reste de 0.67.

1.2.1 Changement a minima des sources par des LED

Les luminaires sodium peuvent être avantageusement remplacés par des luminaires LED de 107 Watt. Les produits sélectionnés sont présentés Figure 22 :

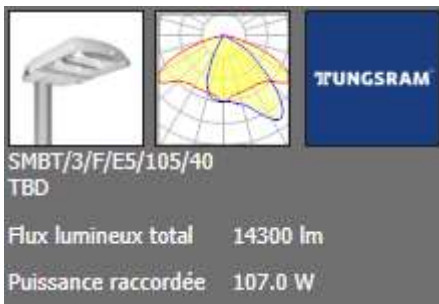


Figure 22: produit de retrofit d'une pénétrante à une voie

La luminance moyenne minimale est de 1.14 cd/m^2 , conforme aux exigences de ce type de voie. La Figure 23 montre l'éclairage obtenu avec ce type de source :

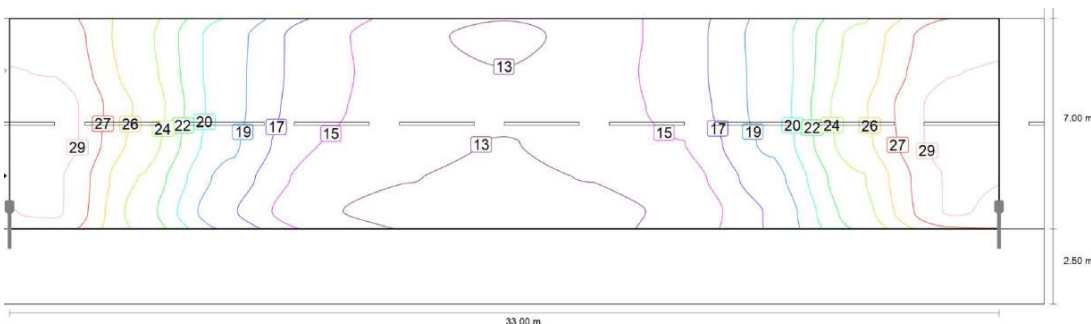


Figure 23: courbes isolux d'éclairage sur une artère principale à une voie éclairée par des luminaires LED

La température de couleur choisie est de 4000 Kelvin. Cette température neutre pour l'éclairage public correspond à des besoins de visibilité accrus dans des endroits où plusieurs usagers de la voie se rencontrent (piétons, cyclistes, voitures ...).

La puissance installée par km de voie éclairée est passée de 5181 Watt à 3531 Watt, soit une économie de 32 %.

Le facteur de maintenance est ici aussi pris de 0.8.

2 Voies urbaine importante

Ce type de voie est considéré de classe C2. Les exigences de la classe C2 sont données dans le Tableau 22 :

Classe	Eclairage horizontal	
	Emoy minimal maintenu I_x	U_0 minimale
C2	20	0.4

Tableau 22: Exigences de la norme EN 13201 - classe C2

2.1 Eclairage central avec crosse double

Un exemple est le boulevard du leader Yasser Arafat dont un luminaire et la disposition sont représentés sur la Figure 24 :

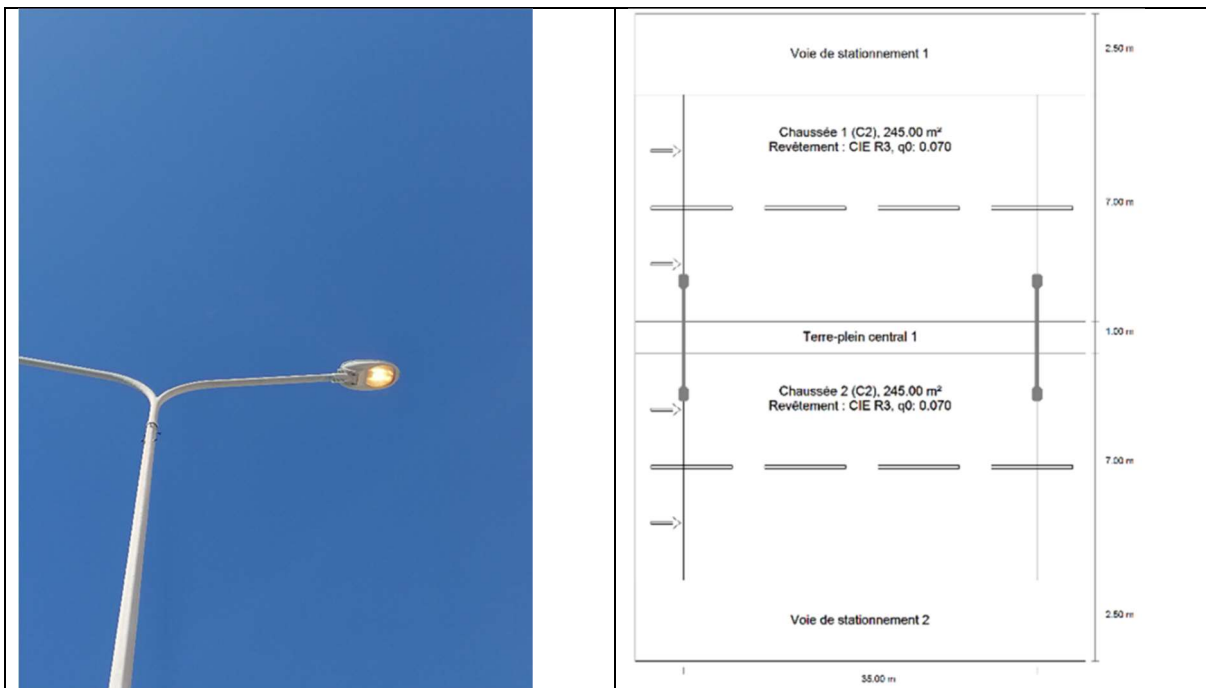


Figure 24: luminaire double crosse et implantation centrale

Ce boulevard est éclairé par des lampes sodium 150 Watt. Les valeurs d'éclairage moyen sont respectées.

2.1.1 Changement a minima des sources par des LED

Les luminaires sodium peuvent être avantageusement remplacés par les luminaires LED de 107 Watt de marque Tunngsam déjà utilisés plus haut. Nous choisissons ici des luminaires avec une photométrie légèrement différente (plus extensive) du fait du plus grand espacement entre luminaires et de la plus faible hauteur de feux. Les produits sélectionnés sont représentés en Figure 25 :

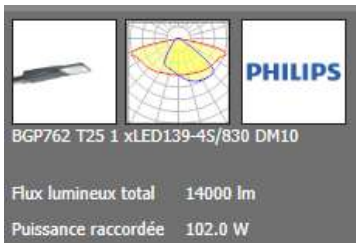


Figure 25: produit de retrofit pour un boulevard à éclairage central double crose

L'éclairage moyen minimal obtenu est de 21.26 lux et réparti uniformément selon la Figure 26

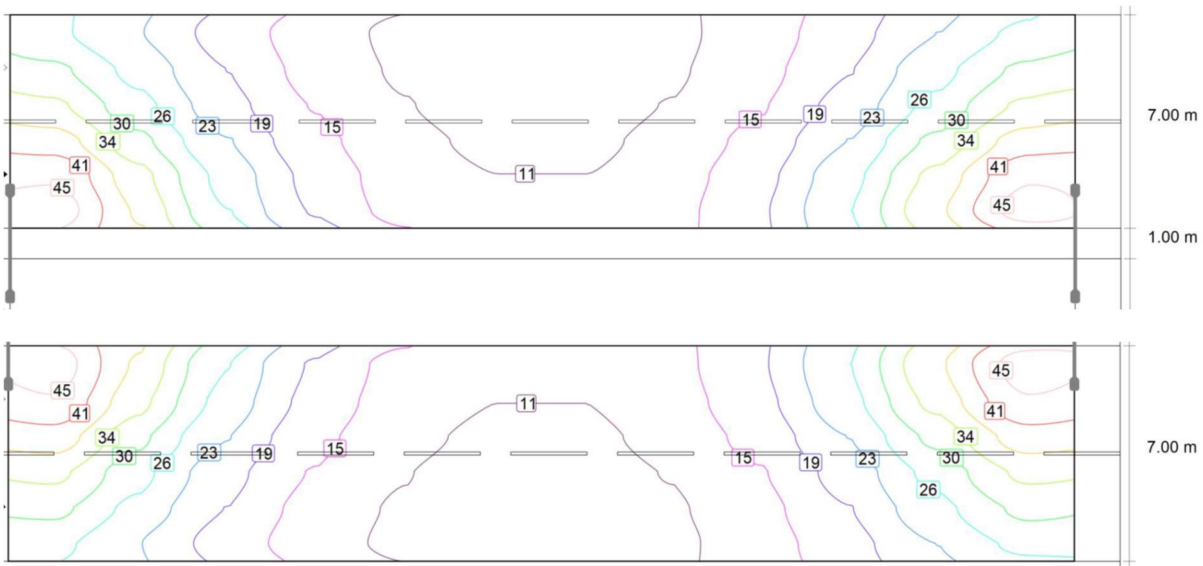


Figure 26: courbes isolux de l'éclairage obtenu par retrofit LED d'un boulevard à éclairage central double crose

La température de couleur choisie est de 3000 Kelvin. Cette température de teinte chaude pour l'éclairage public permet un éclairage plus chaleureux pour des voies urbaines.

La puissance installée par km de voie éclairée est passée de 10017 Watt à 5916 Watt, soit une économie de 41 %.

Le facteur de maintenance est ici aussi pris de 0.8.

2.2 Eclairage unilatéral

Un exemple est l'avenue Hussein Ibn Ali dont un luminaire et la disposition sont représentés sur la Figure 27. A noter la présence d'un trottoir à éclairer convenablement.

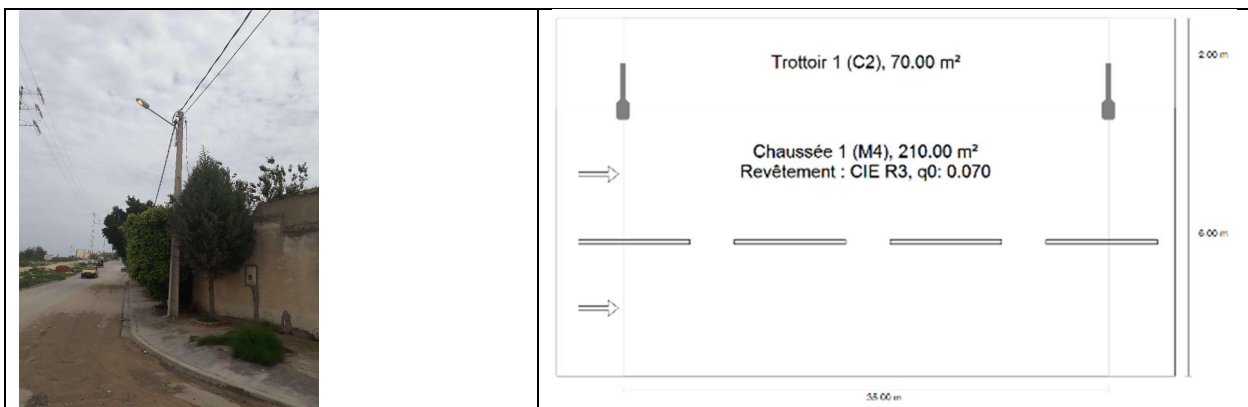


Figure 27: luminaire et implantation sur trottoir

Cette avenue est éclairée par des lampes sodium 150 Watt. Les valeurs d'éclairage moyen sont respectées pour la chaussée et le trottoir mais pas celle d'uniformité ce qui est compréhensible au vu du ratio espacement (35 m) sur hauteur (7 m) égal à 5.

2.2.1 Changement a minima des sources par des LED

Les luminaires sodium peuvent être avantageusement remplacés par les luminaires LED de 126 Watt. Nous choisissons ici des luminaires avec une photométrie très extensive du fait du grand espacement entre luminaires comparé à la hauteur de feux. Les produits sélectionnés sont représentés sur la Figure 28 :

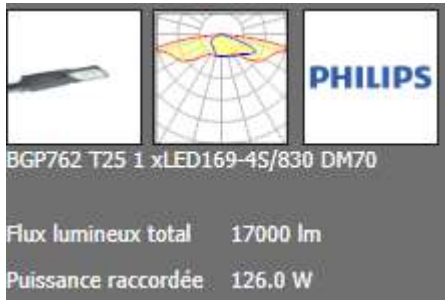


Figure 28: produit de retrofit pour une avenue à éclairage unilatéral très espacé

L'éclairage moyen minimal obtenu est de 19.78 lux et réparti uniformément selon la Figure 29 :

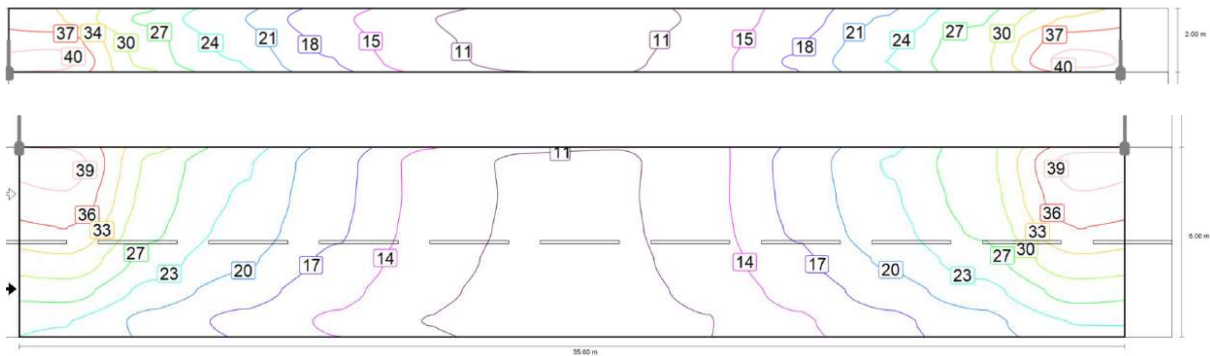


Figure 29: courbes isolux de l'éclairage obtenu par retrofit LED d'une avenue à éclairage unilatéral – trottoir en haut, chaussée en bas.

La température de couleur choisie est de 3000 Kelvin. Cette température de teinte chaude pour l'éclairage public permet un éclairage plus chaleureux pour des voies urbaines.

La puissance installée par km de voie éclairée est passée de 5008 Watt à 3654 Watt, soit une économie de 27 %.

Le facteur de maintenance est ici aussi pris de 0.8.

2.2.2 Changement a minima des sources par des LED et gradation

L'avenue peut être relativement fréquenté durant les heures de points, quand les gens rentrent chez eux après le travail ou y partent. Par contre, cette avenue est peu fréquentée au milieu de la nuit. Cela conduit à un déclassement dans les normes EN 13201 et on peut considérer que cette voie peut être classée en classe C4 et le trottoir en P3. Les valeurs des exigences sont données dans le Tableau 23.

Classe	Eclairage horizontal	
	Emoy minimal maintenu (lux)	U ₀ minimale
Chaussée :		
C4	10	0.4
Trottoir :		E minimal maintenu (lux)
P3	7.5	1.5

Tableau 23: exigences de la norme EN 13201 pour les classes C4 et P3

Ainsi, en considérant un luminaire avec la même photométrie dont le flux peut être gradué à 10 000 lumen, on obtient un éclairage de 11.76 lux sur la chaussée et de 12,74 lux sur le trottoir. La baisse de flux est de 41 %. Ceci permet de baisser la puissance du luminaire de 126 Watt à 73 Watt, soit une baisse en puissance de 42 %.

Pour une gradation 5 heures par nuit, par exemple de 12 heures à 5 heures du matin, les économies de consommation sont de $5 \times (126-73) = 265$ Wh soit 21 % sur une nuit de 10 heures où l'éclairage serait laissé à pleine puissance.

Pour un luminaire, le Tableau 24 présente les économies de consommation pour une nuit de 10 heures avec un retrofit LED et en rajoutant une gradation de 40 % du flux lumineux :

	Puissance	Durée d'allumage	Consommation		Economie de consommation
Avant	157 Watt	10 heures	1570 Wh	1570 Wh	
Retrofit LED	126 Watt	10 heures	1260 Wh	1260 Wh	20%
Après avec gradation	126 Watt	5 heures	630 Wh	995 Wh	37%
	73 Watt	5 heures	365 Wh		

Tableau 24: économie de consommation d'électricité avec un retrofit LED et avec gradation supplémentaire

3 Voies secondaires

Ce type de voie, étroite, appartient à la classe C3 ou à la classe C4 de la norme EN 13201. Les exigences sont données dans le Tableau 25 :

Classe	Eclairage horizontal	
	Emoy minimal maintenu lx	U ₀ minimale
C3	15	0.4
C4	10	0.4

Tableau 25: Exigences de la norme EN 13201 - classes C3 et C4

3.1 Voies secondaires de type C3

Un exemple de rue de ce type est la rue Omar Ibn Abdelaziz.



Figure 30: photos d'une rue secondaire de classe C3

L'éclairage est assuré par des luminaires équipés de lampes sodium de 150 Watt espacés de 30 mètres et de hauteur 9 mètres. La rue a une largeur de 6 mètres et cet éclairage est excessif, et ce malgré la prise en compte d'un facteur de maintenance de 0.5.

3.1.1 Changement a minima des sources par des LED

Les luminaires sodium peuvent être avantageusement remplacés par les luminaires LED de 89 Watt. Nous choisissons ici des luminaires avec une photométrie adaptée déjà utilisée pour les voies urbaines importantes avec éclairage central à double croise. La puissance est par contre réduite. Les produits sélectionnés sont représentés sur la Figure 31 :



Figure 31: luminaire LED pour l'éclairage des voies secondaires classées en C3

L'éclairage moyen minimal obtenu est de 15,58 lux et réparti uniformément selon la Figure 32 :

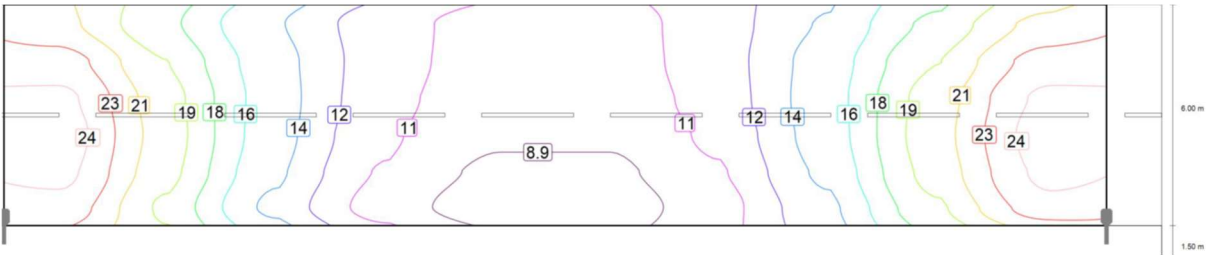


Figure 32: éclairage par des LED d'une voie secondaire de type C3

La température de couleur choisie est de 3000 Kelvin. Cette température de teinte chaude pour l'éclairage public permet un éclairage plus chaleureux pour des voies urbaines.

La puissance installée par km de voie éclairée est passée de 5872 Watt à 3026 Watt, soit une économie de 48 %.

Le facteur de maintenance est ici aussi pris de 0.8.

3.2 Voies secondaires de type C4

Un exemple de rue de ce type est une rue située à Sousse Centre, Jawhara, Souafa.



L'éclairage est assuré par des luminaires équipés de lampes sodium de 150 Watt espacés de 32 mètres et de hauteur 7 mètres. La rue a une largeur de 7 mètres et cet éclairage est excessif (19 lux), et ce malgré la prise en compte d'un facteur de maintenance de 0.5.

3.2.1 Changement a minima des sources par des LED

Les luminaires sodium peuvent être avantageusement remplacés par les luminaires LED de 81 Watt. Nous choisissons ici des luminaires avec une photométrie très extensive déjà utilisée pour les voies urbaines importantes avec éclairage unilatéral. La puissance est par contre réduite. Les produits sélectionnés sont représentés sur la Figure 33 :

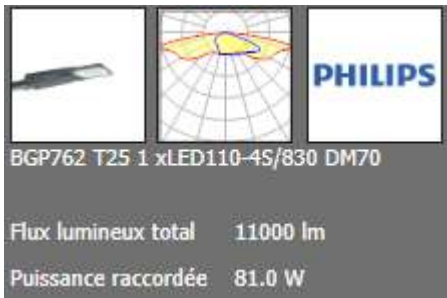


Figure 33: luminaires LED pour les voies secondaires de type C4

L'éclairage moyen minimal obtenu est de 15,58 lux et réparti uniformément selon la Figure 34 :

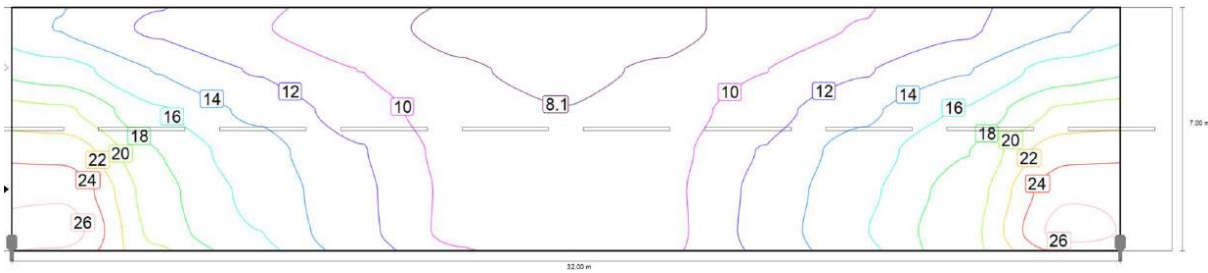


Figure 34: éclairage par des LED d'une voie secondaire de type C4

La température de couleur choisie est de 3000 Kelvin. Cette température de teinte chaude pour l'éclairage public permet un éclairage plus chaleureux pour des voies urbaines.

La puissance installée par km de voie éclairée est passée de 5526 Watt à 2592 Watt, soit une économie de 53 %.

Le facteur de maintenance est ici aussi pris de 0.8.

4 Voies commerçantes

Ce type de voies n'est pas destiné à la circulation routière en priorité bien que celle-ci puisse être présente. Nous classerons ce type de voie dans la catégorie P1 à P2 pour la chaussée. Les exigences de cette catégorie sont données dans le Tableau 26 :

Classe	Eclairage horizontal		Exigence supplémentaire si une reconnaissance faciale est nécessaire	
	Emoy minimal maintenu lx	E minimal maintenu	E vertical minimal maintenu	E semi cylindrique minimal maintenu
P1	15	3	5	5
P2	10	2	3	2

Tableau 26: Exigences de la norme EN 13201 - classes P1 et P2

4.1.1 Luminaires fonctionnels

Nous prenons ici un exemple de rue de Sousse Nord dans le quartier Khezema (Figure 35).



Figure 35: Exemple de rue commerçante

Nous considérons que cette rue exige une reconnaissance faciale.

L'éclairage est assuré par des luminaires équipés de lampes sodium haute pression 150 Watt (ici accrochés en façade) ce qui est excessif pour la zone. Ceux-ci sont placés à 9 mètres de haut et espacés de 15 mètres pour une rue de 5 mètres de large et un trottoir de 1.5 mètres.

4.1.2 Changement a minima des sources par des LED

Les luminaires sodium peuvent être avantageusement remplacés par les luminaires LED de 61.5 Watt. Nous choisissons ici des luminaires avec une photométrie peu extensive du fait de la faible interdistance entre luminaire et de la hauteur. Les produits sélectionnés sont représentés sur la Figure 36 :

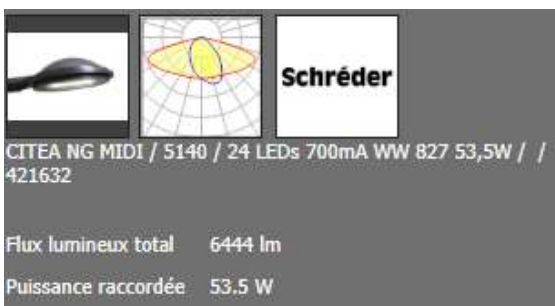


Figure 36: luminaire pour voie commerçante

La température de couleur choisie ici est de 2700 Kelvin, teinte chaude pour une zone très fréquentée par des piétons.

La puissance installée par km de voie éclairée est passée de 11571 Watt à 3584 Watt, soit une économie de 69 %.

Le facteur de maintenance est ici aussi pris de 0.8.

VII-ANNEXES

ANNEXE 1 : Mesures électriques

Départ Armoires	D1		D2		D3		D4		D5		D6	
	U(V)	I(A)	U(V)	I(A)	U(V)	I(A)	U(V)	I(A)	U(V)	I(A)	U(V)	I(A)
A001	380	15	380	16								
charge_dep	4730		5215									
puissance_	3750		2750									
A002	380	9.8	380	15	380	17	380	0.9	380	1.2		
charge_dep	3150,00		4715		5596,00		283		381			
puissance_	6400		6100		4800,000		280		630			
A003	380	15	230	1.5								
charge_dep	4801		288									
puissance_	4250		1000									
A004	230	28	380	18								
charge_dep	5384		5730									
puissance_	4000		1050									
A005	380	17										
charge_dep	5591											
puissance_	7500											
A006	380	5.7	380	7.9	380	5	380	9.8				
charge_dep	1850		1250		1620		3170					
puissance_	1850		5050		2750		2750					
A007	380	8.8	380	4.2	380	8.7	380	18	380	7.6	380	626
charge_dep	2850		1345		2825		5820		2450		2025	
puissance_	3000		1200		2310		200		1700		1200	
A009	380	12	380	6.3	380	10						
charge_dep	3841		2050		3375							

A018	380	2.3																
charge_dep	750																	
puissance_	600																	
A019	380	16	380	3.9														
charge_dep	5070		1250															
puissance_	1050		2700															
A020	380	5																
charge_dep	1620																	
puissance_	1200																	
A021	380	3.9	380	5.5														
charge_dep	1250		1770															
puissance_	6050		7250															
A022	380	5	380	5														
charge_dep	1600		1610															
puissance_	5850		3250															
A023	380	8.9	380	7.7	380	7.4												
charge_dep	2863		2473		2389													
puissance_	2150		1800		2100													
A024	380	12	380	5.5	380	5.9												
charge_dep	3760		1780		1900													
puissance_	4200		4500		4100													
A025	38	16	380	6														
charge_dep	5300		1950															

puissance_	4500		3100							
A026					380	3				
charge_dep					960					
puissance_					1700					
A027	380	16								
charge_dep	5050									
puissance_	6350									
A028	380	53	380	4.3	380	###				
charge_dep	16969		1376		16990.5					
puissance_	10600		1200		4800					
A029	380	6.5	380	27						
charge_dep	2115.6		3400							
puissance_	8820		9500							
A030	380	3.5								
charge_dep	1215									
puissance_	9500									
A031	380	5.2	380	16						
charge_dep	1691.5		5174							
puissance_	3100		6850							
A032	380	9.2	380	12	32	380	380	1		
charge_dep	2912.5		3760		10296		309.4			
puissance_	1150		1800		1050		9900			
A033	380	5	380	27	380	7.4				
charge_dep	1673		8568		2380					
puissance_	1000		2850		2950					

A034	380	5.8	380	22	380	2.5	380	11	380	1.7	380	5.4		
charge_dep	1880		7020		819		3627		540.5		1755			
puissance_	3650		5750		2750		1750		1450		3600			
A035	380	42	380	6.2	380	11								
charge_dep	13572		1989		3510									
puissance_	9200		1750		2500									
A036	380	7.4	380	3.7	380	2.9								
charge_dep	2390		1195		952									
puissance_	3750		2300		2350									
A037	380	12	380	17										
charge_dep	4000.6		5543											
puissance_	9800		1250											
A038	380	13	380	2.2	380	47	380	10	380	44				
charge_dep	4200.8		708		15104		3304		14160					
puissance_	4950		1300		13500		11750		13500					
A039	380	13	380	12	380	9.5	380	16						
charge_dep	4046		3808		3068		5214							
puissance_	3500		3900		4800		2250							
A040	380	58	380	18	380	7.3	380	5						
charge_dep	18880		5900		2360		2000							
puissance_	13500		4500		3500		1620							
A041	380	33												
charge_dep	10718													
puissance_	128500													
A042	380	31	380	10										

charge_dep	10105		3225													
puissance_	16250		4550													
A043	380	14	380	3.3	380	12	380	10	380	3.1	380	3.7				
charge_dep	4500		1050		3800		3250		1000		1200					
puissance_	3800		900		3200		2800		850		750					
A044	380	2.2	380	13												
charge_dep	709.5		4300													
puissance_	4200		8500													
A045	380	35	230	18	380	11										
charge_dep	11376		3507.6		3555											
puissance_	11250		4150		5100											
A046	380	6.1	380	22	380	19	380	39								
charge_dep	1980		7130		6210		12595									
puissance_	4150		7950		7800		3850									
A047	380	20	380	4.1												
charge_dep	6380		1320													
puissance_	11750		4100													
A048	380	35	380	29	380	6.8										
charge_dep	11400		9400		2200											
puissance_	9250		7950		3950											
A049	380	24	380	12	380	24	380	38	380	30	380	19	380	15	380	19
charge_dep	7626		3968		7688		12152		9672		6175		4940		6175	
puissance_	7626		6700		8900		4500		6500		4200		5100		8500	
A050	380	6.2	380	22	380	26	380	38	380	8.5						
charge_dep	1992		6972		8466		12201		2739							
puissance_	2800		7250		8500		1620		3500							

A051	380	30																
charge_dep	9633																	
puissance_	9950																	
A052	380	6.3	380	22														
charge_dep	2031.5		7170															
puissance_	850		2650															
A053	380	8	380	2.2														
charge_dep	3400		1000															
puissance_	2800		700															
A101	380	43	380	37	380	38												
charge_dep	13950		11900		12150													
puissance_	11250		8200		8200													
A102	380	40																
charge_dep	12800																	
puissance_	10400																	
A103	380	8.9	380	9.6	380	44												
charge_dep	2860		3100		14100													
puissance_	2500		2800		12750													
A104	380	7.3	380	6.6														
charge_dep	2350		2124															
puissance_	2050		200															
A105	380	42	380	16	380	9.1												
charge_dep	13700		5300		2950													
puissance_	10200		4950		2500													
A106	380	9.9	380	51														
charge_dep	3213.1		16445															
puissance_	5200		16150															

A107	380	21	380	13	380	18											
charge_dep	6780		4080		5760												
puissance_	5300		5600		7100												
A108	380	40	380	6													
charge_dep	12852		1928														
puissance_	16250		2700														
A109	380	5.3	380	3.8	380	11											
charge_dep	1715		1230		3675												
puissance_	2150		2150		5300												
A110	380	13	380	59													
charge_dep	4266		18960														
puissance_	3500		14760														
A111	380	47															
charge_dep	15232																
puissance_	11250																
A112	380	30															
charge_dep	9799																
puissance_	6850																
A114	380	5.7	380	38	380	20	380	2.5									
charge_dep	1840		12420		6300		794.5										
puissance_	1850		8250		2450		250										
A115	380	57	380	9.9													
charge_dep	18400		3206														
puissance_	14500		6850														
A116	380	7.1															
charge_dep	2299																
puissance_	4200																

A118	380	20	380	10	380	38											
charge_dep	6448		3348		12152												
puissance_	4100		9650		8750												
A119	380	44															
charge_dep	14268																
puissance_	8150																
A120	380	20	380	14	380	7.3	380	6.8	380	3.6	380	6					
charge_dep	6600		4560		2360		2200		1150		1950						
puissance_	5200		3800		1950		2100		850		1650						
A121	380	17	380	5.7	380	8											
charge_dep	5600		1850		2600												
puissance_	4800		1600		2350												
A122	380	25	380	21	380	20	380	7.1									
charge_dep	8100		6800		650		2300										
puissance_	6950		5750		500		1900										
A123	380	7.4	380	17	380	5	380	17	380	6.9	380	7.5					
charge_dep	2400		5600		1600		5500		2242		2425						
puissance_	2000		6200		1500		4950		900		2400						
A124	380	7.1	380	7	380	9	380	7.4	380	16	380	15					
charge_dep	2300		2250		2900		2380		5150		4765						
puissance_	2250		1900		2450		1900		4350		2250						
A125	380	11	380	11	380	2.9	380	6.5									
charge_dep	3500		3500		950		2100										
puissance_	3250		3150		900		1850										
A126	380	21	380	12	380	14											

A126	380	21	380	4.2	380	14											
charge_dep	6850		1350		4500												
puissance_	6550		1200		4300												
A127	380	13	380	7.1	380	16											
charge_dep	4100		2300		5200												
puissance_	3600		2350		4500												
A128	380	5.6	380	18	380	19											
charge_dep	1800		5800		6250												
puissance_	1750		4750		5600												
A129	380	40	380	50	380	26											
charge_dep	12850		16150		8360												
puissance_	10950		14250		7500												
A130	380	13	380	19	380	9.8											
charge_dep	4200		6150		3150												
puissance_	3900		6300		3000												
A131	380	16	380	36													
charge_dep	5050		11500														
puissance_	4950		9600														
A132	380	39															
charge_dep	12650																
puissance_	10200																
A133	380	58	380	12	380	21	380	22									
charge_dep	18650		3800		6800		7000										
puissance_	17500		3500		6500		6550										

A134	380	4.6	380	35														
charge_dep	1550		12750															
puissance_	1500		11250															
A135	380	9.9	380	6.5	380	8.6												
charge_dep	3200		2100		2800													
puissance_	2950		1950		2450													
A136	380	10	380	13	380	11												
charge_dep	3350		4100		3650													
puissance_	3070		3700		3125													
A137	380	4.6	380	3.4	380	11	380	5.1	380	0.8								
charge_dep	1500		1100		3650		1650		250									
puissance_	1200		950		3500		1600		300									
A138	380	13	380	14														
charge_dep	4100		4500															
puissance_	3800		4000															
A139	380	20	380	7.3	380	13												
charge_dep	6300		2350		4200													
puissance_	5960		2100		4500													
A140	380	8.7	380	10														
charge_dep	2800		3000															
puissance_	2300		2700															
A141	380	13	380	13	380	14												
charge_dep	4150		4200		4600													
puissance_	3900		4100		3600													

A142	380	9.6																
charge_dep	3100																	
puissance_	2600																	
A143	380	3.4																
charge_dep	1100																	
puissance_	850																	
A144	380	6.5	380	6.1	380	23												
charge_dep	2100		1960		7300													
puissance_	1950		1600		6500													
A145	380	11	380	13	380	24												
charge_dep	3500		4260		7600													
puissance_	3000		3895		6800													
A146	380	46	380	14	380	8.8												
charge_dep	1480		4600		2850													
puissance_	13100		4100		2100													
A147	380	17	380	7.4	380	13												
charge_dep	5543		2400		4320													
puissance_	1100		5850		4900													
A148	380	10	380	11	380	3.8												
charge_dep	3296		3502		1218													
puissance_	3000		2700		2150													
A149	380	3.3	380	19	380	16	380	12										
charge_dep	1062		6136		5192		3776											
puissance_	1150		3850		3500		1850											

A150	380	3.3	380	19									
charge_dep	1062		6136										
puissance_	3150		3850										
A151	380	10	380	3.8									
charge_dep	3332		1237.6										
puissance_	4100		1050										
A152	380	23											
charge_dep	7440												
puissance_	8500												
A153	380	23											
charge_dep	7440												
puissance_	6500												
A154	380	17											
charge_dep	5566												
puissance_	7850												
A155	380	25											
charge_dep	8228												
puissance_	9850												
A156	380	22											
charge_dep	7140												
puissance_	14500												
A157	380	14											
charge_dep	4560												
puissance_	9250												

A158	380	14											
charge_dep	4541												
puissance_	5550												
A159	380	22											
charge_dep	7170												
puissance_	8650												
A160	380	22											
charge_dep	7200												
puissance_	14500												
A161	380	32											
charge_dep	10450												
puissance_	13650												
A162	380	16											
charge_dep	5324												
puissance_	9750												
A163	380	5.9											
charge_dep	1904												
puissance_	5700												
A164	380	29											
charge_dep	9399												
puissance_	11300												
A165	380	2.3	380	0.9	380	17	380	1.4					
charge_dep	744		280		5600		460						
puissance_	360		200		4700		650						

A166	380	7.7	380	2.3	380	9	380	3.1	380	7.3				
charge_dep	2500		750		2900		1000		2350					
puissance_	2700		960		3600		1380		3000					
A167	380	8.2	380	9.9										
charge_dep	2650		3200											
puissance_	3240		3780											
A168	380	13												
charge_dep	4100													
puissance_	4500													
A201	380	9.7	380	21	380	13								
charge_dep	3120		6720		4080									
puissance_	3950		6250		3850									
A202	380	7.4	380	25										
charge_dep	2390		8126											
puissance_	2750		7350											
A203	380	13	380	12										
charge_dep	4095		3924											
puissance_	5250		5200											
A204	380	11	380	5.9	380	20	380	9						
charge_dep	3500		1900		6400		2900							
puissance_	2900		1400		5800		2350							
A205	380	18	380	17										
charge_dep	5850		5600											
puissance_	5300		4750											

A206	380	9.5	380	12	380	24											
charge_dep	3100		3824		7887												
puissance_	3000		3750		9750												
A207	380	11	380	11	380	8.8											
charge_dep	3570		3570		2856												
puissance_	3850		3500		3200												
A208	380	26	380	3.5													
charge_dep	8330		1138														
puissance_	5350		2650														
A209			380	15	380	5.9	380	12	380	16							
charge_dep			4830		1900		3800		5050								
puissance_			4000		1300		3200		4500								
A210	380	3.9	380	16													
charge_dep	1269		5050														
puissance_	2100		4500														
A211	380	13	380	12													
charge_dep	4063		4302														
puissance_	3100		2950														
A212	380	23	380	25													
charge_dep	7500		8000														
puissance_	6250		5900														
A213	380	15	380	8.8	380	13											
charge_dep	4960		2850		4100												
puissance_	4150		2150		3400												

A213	380	15	380	8.8	380	13											
charge_dep	4960		2850		4100												
puissance_	4150		2150		3400												
A214	380	22	380	26													
charge_dep	7110		8496														
puissance_	8300		9100														
A215	380	17															
charge_dep	5600																
puissance_	5000																
A216	380	16	380	43													
charge_dep	5150		13950														
puissance_	4650		12950														
A217	380	9.9	380	10	380	2.2											
charge_dep	3200		3350		700												
puissance_	2600		2600		450												
A218	380	27	380	24	380	6.2	380	12									
charge_dep	8700		7800		2016		3780										
puissance_	9180		6360		2700		5220										
A219	380	20															
charge_dep	6600																
puissance_	7428																
A220	380	17															
charge_dep	5580																
puissance_	6120																

A220	380	17											
charge_dep	5580												
puissance_	6120												
A221	380	10											
charge_dep	3360												
puissance_	3756												
A222	380	7.1	380	3.3	380	3.9							
charge_dep	2280		1080		1260								
puissance_	2520		1344		1620								
A223	380	15	380	0.9	380	12							
charge_dep	4860		300		3720								
puissance_	5580		540		4740								
A224	380	9.3	380	11									
charge_dep	3000		3480										
puissance_	3252		3768										
A225	380	21	380	8.9	380	22	380	5.2					
charge_dep	6720		2880		7080		1680						
puissance_	6600		3240		6948		1980						
A226	380	18	380	46									
charge_dep	5880		15000										
puissance_	6120		13632										
A227	380	14	380	7.8	380	14							
charge_dep	4380		2520		4380								
puissance_	4998		2868		4500								

A228	380	8.7	380	6.3													
charge_dep	2820		2040														
puissance_	3180		2112														
A229	380	7.6	380	24	380	28											
charge_dep	2460		7680		9000												
puissance_	2754		8640		8928												
A230	380	7.1	380	7.6	380	1.9											
charge_dep	2280		2450		600												
puissance_	2580		3144		756												
A231	380	12	380	8.5													
charge_dep	3840		2760														
puissance_	4140		3060														
A232	380	13	380	4.1													
charge_dep	4080		1320														
puissance_	4320		1800														
A233	380	14	380	4.5													
charge_dep	4680		1440														
puissance_	4872		1960.8														
A234	380	19	380	24	380	12											
charge_dep	6000		7680		3720												
puissance_	7932		7908		3900												
A235	380	15															
charge_dep	4920																
puissance_	5400																

A234	380	19	380	24	380	12												
charge_dep	6000		7680		3720													
puissance_	7932		7908		3900													
A235	380	15																
charge_dep	4920																	
puissance_	5400																	
A236	380	16																
charge_dep	5150																	
puissance_	6714																	
A301	380	9.6	380	9.8	380	19												
charge_dep	3092		3171		6060													
puissance_	1750		4500		1950													
A302	380	13	380	11	380	14	380	5.6										
charge_dep	4250		3560		4680		1800											
puissance_	3800		3200		4150		1300											
A303	380	16	380	19	380	5.9	380	15										
charge_dep	5160		6000		1620		4920											
puissance_	5220		6480		2160		5400											
A304	380	44																
charge_dep	14100																	
puissance_	13860																	
A305	380	8.9	380	20														
charge_dep	2880		6480															
puissance_	3060		7008															

A305	380	8.9	380	20														
charge_dep	2880		6480															
puissance_	3060		7008															
A306	380	13	380	4.1	4.1													
charge_dep	4080		1320															
puissance_	4548		1704															
A307	380	13																
charge_dep	4080																	
puissance_	4650																	
A308	380	50	380	3.5	380	22	380	4.5										
charge_dep	16200		1140		7080		1440											
puissance_	16812		1512		7764		1800											
A309	380	7.8	380	17														
charge_dep	2520		5400															
puissance_	2700		6480															
A310	380	17	380	4.1	380	8.9	380	12										
charge_dep	5400		1320		2880		3960											
puissance_	6204		1620		3300		4320											
A311	380	9.3	380	20														
charge_dep	3000		6480															
puissance_	3600		7224															
A312	380	12	380	9.7	380	25	380	3.3	380	12								
charge_dep	3840		3120		8220		1080		3840									
puissance_	4140		3240		8280		1980		4680									

A311	380	9.3	380	20														
charge_dep	3000		6480															
puissance_	3600		7224															
A312	380	12	380	9.7	380	25	380	3.3	380	12								
charge_dep	3840		3120		8220		1080		3840									
puissance_	4140		3240		8280		1980		4680									
A313	380	22	380	9.5														
charge_dep	7200		3060															
puissance_	7512		3384															
A314	380	13																
charge_dep	4080																	
puissance_	4320																	
A315	380	3.7	380	39														
charge_dep	1200		12600															
puissance_	1440		12306															
A316	380	18	380	8.9														
charge_dep	5940		2880															
puissance_	6180		3240															
A317	380	3.7	380	16	380	8.9	380	12										
charge_dep	1200		5100		2880		3840											
puissance_	1464		5664		3420		4368											
A318	380	7.8	380	10	380	15												
charge_dep	2520		3360		4800													
puissance_	3240		3600		5004													
A319	380	12	380	7.4	380	7.8												
charge_dep	3840		2400		2520													
puissance_	4680		2880		3048													

A320	380	7.2	380	13														
charge_dep	2340		4200															
puissance_	3240		4860															
A321	380	26	380	19														
charge_dep	8520		6000															
puissance_	9264		6660															
A322	380	17																
charge_dep	5400																	
puissance_	8388																	
A323	380	16	380	18														
charge_dep	5220		5940															
puissance_	6120		7500															
A324	380	7.2	380	12	380	6.3	380	15	380	34								
charge_dep	2340		3840		2040		4920		11040									
puissance_	3240		4140		2880		5040		10800									
A325	380	29																
charge_dep	9420																	
puissance_	10080																	
A326	380	35																
charge_dep	11220																	
puissance_	11640																	
A327	380	7.8	380	30	380	3.2												
charge_dep	2520		9780		1020													
puissance_	3420		10152		1620													
A328	380	32	380	12	380	15	380	3.3	380	12								
charge_dep	10200		3780		4980		1080		3720									
puissance_	10800		4428		5244		1380		5700									

A329	380	12	380	3.7													
charge_dep	3780		1200														
puissance_	5760		2160														
A330	380	7.4															
charge_dep	2400																
puissance_	3216																
A331	380	16															
charge_dep	5280																
puissance_	5400																
A332	380	1.3	380	17	380	18	380	8.5	380	29							
charge_dep	420		5400		5940		2760		9420								
puissance_	588		6084		6840		4680		10944								
A333	380	12	380	14													
charge_dep	3720		4560														
puissance_	3840		4920														
A334	230	47	380	9.3	380	12											
charge_dep	9240		3000		3960												
puissance_	9264		3600		4980												
A335	380	7.5															
charge_dep	2437.12																
puissance_	6720																
A336	380	4.1	380	7.1													
charge_dep	1337.06		2277.06														
puissance_	3360		5400														
A337	380	2.7	380	7.4	380	17	380	0									

A337	380	3.7	380	7.4	380	17	380	9						
charge_dep	1200		2400		5650		2900							
puissance_	1800		3600		6744		3600							
A338	380	19	380	2.8	380	17								
charge_dep	6163.2		902.4		5625.6									
puissance_	6900		1128		7920									
A339	380	18												
charge_dep	5800													
puissance_	5250													
A340	380	8.2	380	36	380	25								
charge_dep	2650		11500		8350									
puissance_	3960		12240		7740									
A341	380	17												
charge_dep	5450													
puissance_	6900													
A342	380	25	380	25										
charge_dep	8200		8150											
puissance_	10800		9600											
A343	380	19												
charge_dep	6100													
puissance_	6660													
A344	380	14												
charge_dep	4500													
puissance_	3696													
A345	380	23	380	23										
charge_dep	6400		7300											
puissance_	5760		8280											

A346	380	7.4	380	31									
charge_dep	2400		10300										
puissance_	3600		10260										
A347	380	35											
charge_dep	11500												
puissance_	11640												
A348	380	24	380	15	380	18							
charge_dep	7950		4950		6100								
puissance_	7680		4740		5700								
A349	380	36	380	8									
charge_dep	11900		2900										
puissance_	11880		2700										
A350	380	8	380	7									
charge_dep	2850		2500										
puissance_	2600		2340										
A351	380	22	380	13	380	20							
charge_dep	7400		4200		4650								
puissance_	7200		4140		4500								
A352	380	17	380	13	380	13							
charge_dep	5650		4400		4400								
puissance_	5400		4140		4250								
A401	380	5.1	380	5.4									
charge_dep	1650		1750										
puissance_	2004		2100										

A346	380	7.4	380	31									
charge_dep	2400		10300										
puissance_	3600		10260										
A347	380	35											
charge_dep	11500												
puissance_	11640												
A348	380	24	380	15	380	18							
charge_dep	7950		4950		6100								
puissance_	7680		4740		5700								
A349	380	36	380	8									
charge_dep	11900		2900										
puissance_	11880		2700										
A350	380	8	380	7									
charge_dep	2850		2500										
puissance_	2600		2340										
A351	380	22	380	13	380	20							
charge_dep	7400		4200		4650								
puissance_	7200		4140		4500								
A352	380	17	380	13	380	13							
charge_dep	5650		4400		4400								
puissance_	5400		4140		4250								
A401	380	5.1	380	5.4									
charge_dep	1650		1750										
puissance_	2004		2100										

A402	380	0	380	9	380	5.9	380	1.5	380	3.4										
charge_dep	0.9		2900		1900		500		1100											
puissance_	1260		3024		2160		336		1092											
A403	380	28	380	8.7	380	9	380	8	380	5	380	3	380	25			380	7.9	380	17
charge_dep	2200		3200		3200		2600		1650		1000		8100				2550		5350	
puissance_	2100		3108		3108		2680		1620		1008		9300				3300		6120	
A404	380	1.5																		
charge_dep	500																			
puissance_	648																			
A405	380	32			380	3.9														
charge_dep	10350				1250															
puissance_	11238				1578															
A406	380	9.6	380	14	380	5	380	7.6												
charge_dep	3100		4500		1600		2450													
puissance_	3930		5304		1872		3048													
A407	380	3.1	380	0.9	380	7.7	380	17												
charge_dep	1000		300		2500		5350													
puissance_	1206		420		3216		6480													
A408	380	8.2	380	31	380	10	380	2.9												
charge_dep	2650		10000		3350		950													
puissance_	3420		12120		4098		1284													

Mesures chute de tension

Armoire	Départs	Chute detension	
		ΔU (v)	> 3 %
A001	D1	5.60	non
	D2	4.20	non
A002	D1	11.90	oui
	D2	13.98	oui
	D3	4.75	non
	D4	0.35	non
	D5	0.82	non
A003	D1	4.66	non
	D2	0.25	non
A004	D1	4.20	non
	D2	4.03	non
A005	D1	14.15	oui
A006	D1	3.85	non
	D2	9.98	oui
	D3	5.25	non
	D4	5.25	non
A007	D1	2.54	non
	D2	0.14	non
	D3	4.78	non
	D4	1.56	non
	D5	1.41	non
	D6	0.70	non
A009	D1	6.13	non
	D2	3.85	non
	D3	6.39	non
A010	D1	4.55	non
	D2	0.00	non
	D3	3.45	non
A011	D1	4.38	non
A012	D1	15.72	oui
	D2	0.24	non
	D3	4.90	non
A013	D1	14.15	oui
	D2	5.60	non
A014	D1	0.00	non
	D2	6.53	non
A015	D1	16.80	oui
	D2	0.00	non
A016	D1	19.78	oui
	D2	17.82	oui
A017	D1	0.00	non
	D2	16.98	oui
A018	D1	2.80	non
A019	D1	4.55	non
	D2	5.95	non
A020	D1	4.73	non
A021	D1	13.30	oui
	D2	13.13	oui

A022	D1	14.44	oui
	D2	4.18	non
A023	D1	1.37	non
	D2	1.54	non
	D3	3.29	non
A024	D1	11.55	oui
	D2	9.14	oui
	D3	7.35	non
A025	D1	24.99	oui
	D2	5.60	non
A026	D1	2.45	non
A027	D1	6.65	non
A028	D1	10.15	oui
	D2	0.70	non
	D3	7.00	non
A029	D1	5.25	non
A029	D2	10.15	oui
A030	D1	10.15	oui
A031	D1	5.95	non
	D2	9.10	oui
A032	D1	1.05	non
	D2	2.45	non
	D3	10.85	oui
	D4	0.70	non
A033	D1	0.70	non
	D2	3.85	non
	D3	3.85	non
A034	D1	8.05	oui
	D2	8.40	oui
	D3	3.15	non
	D4	1.75	non
	D5	1.05	non
	D6	4.20	non
A035	D1	9.80	oui
	D2	2.10	non
	D3	1.75	non
A036	D1	3.50	non
	D2	2.10	non
	D3	3.15	non
A037	D1	9.45	oui
	D2	9.80	oui
A038	D1	11.90	oui
	D2	0.35	non
	D3	10.50	oui
	D4	10.50	oui
	D5	10.85	oui
A039	D1	6.65	non
	D2	7.35	non
	D3	7.70	oui
	D4	5.60	non
A040	D1	11.20	oui
	D2	8.05	oui
	D3	4.55	non
	D4	11.20	oui

A041	D1	10.85	oui
A042	D1	11.90	oui
	D2	8.40	oui
A043	D1	6.13	non
	D2	2.80	non
	D3	7.35	non
	D4	6.65	non
	D5	2.80	non
	D6	2.45	non
A044	D1	9.80	oui
	D2	8.75	oui
A045	D1	9.80	oui
	D2	5.95	non
	D3	6.65	non
A046	D1	5.95	non
	D2	7.35	non
	D3	9.10	oui
	D4	5.60	non
A047	D1	9.45	oui
	D2	7.35	non
A048	D1	8.05	oui
	D2	7.35	non
	D3	6.65	non
A049	D1	7.74	oui
	D2	9.56	oui
	D3	11.94	oui
	D4	5.60	non
	D5	8.58	oui
	D6	5.25	non
	D7	10.26	oui
	D8	37.07	oui
A050	D1	4.17	non
	D2	9.63	oui
	D3	8.05	oui
	D4	9.42	oui
	D5	5.85	non
A051	D1	8.58	oui
A052	D1	0.49	non
	D2	3.43	non
A053	D1	0.00	non
	D2	0.00	non
A101	D1	10.15	oui
	D2	8.40	oui
	D3	8.75	oui
A102	D1	9.10	oui
A103	D1	3.85	non
	D2	4.48	non
	D3	11.38	oui
A104	D1	2.00	non
	D2	1.89	non
A105	D1	9.10	oui
	D2	6.65	non

A106	D1	8.58	oui
	D2	13.65	oui
A107	D1	9.31	oui
	D2	8.75	oui
	D3	8.40	oui
A108	D1	13.30	oui
	D2	3.43	non
A109	D1	2.63	non
	D2	3.26	non
	D3	8.05	oui
A110	D1	5.43	non
	D2	14.35	oui
A111	D1	10.15	oui
A112	D1	9.10	oui
A114	D1	2.10	non
	D2	7.35	non
	D3	3.64	non
	D4	0.00	non
A115	D1	10.85	oui
	D2	10.15	oui
A116	D1	8.58	oui
A117	D1	9.45	oui
	D2	4.41	non
	D3	8.02	oui
A118	D1	6.37	non
	D2	9.80	oui
	D3	9.28	oui
A119	D1	9.63	oui
A120	D1	10.15	oui
	D2	4.17	non
	D3	1.19	non
	D4	1.51	non
	D5	0.18	non
	D6	1.89	non
A121	D1	9.80	oui
	D2	1.09	non
	D3	2.38	non
A122	D1	9.63	oui
	D2	8.05	oui
	D3	0.11	non
	D4	1.72	non
A123	D1	3.19	non
	D2	9.03	oui
	D3	1.79	non
	D4	12.22	oui
	D5	0.46	non
	D6	4.62	non
A124	D1	3.15	non
	D2	3.15	non
	D3	3.85	non
	D4	3.50	non
	D5	7.70	oui
	D6	3.22	non

A124	D1	3.15	non
	D2	3.15	non
	D3	3.85	non
	D4	3.50	non
	D5	7.70	oui
	D6	3.22	non
A125	D1	3.57	non
	D2	8.75	oui
	D3	1.02	non
	D4	1.93	non
A126	D1	10.36	oui
	D2	0.53	non
	D3	8.30	oui
A127	D1	7.67	oui
	D2	3.15	non
	D3	8.16	oui
A128	D1	0.67	non
	D2	5.18	non
	D3	9.80	oui
A129	D1	13.65	oui
	D2	13.65	oui
	D3	10.15	oui
A130	D1	6.44	non
	D2	10.26	oui
	D3	5.88	non
A131	D1	8.44	oui
	D2	10.85	oui
A132		12.64	oui
A133	D1	14.35	oui
	D2	5.95	non
	D3	7.35	non
	D4	7.70	oui
A134	D1	1.40	non
	D2	9.45	oui
A135	D1	6.30	non
	D2	3.85	non
	D3	5.60	non
A136	D1	6.13	non
	D2	9.45	oui
	D3	6.39	non
A135	D1	2.80	non
	D2	1.05	non
	D3	5.08	non
	D4	4.38	non
	D5	0.35	non
A138	D1	5.60	non
	D2	6.30	non
A139	D1	11.05	oui
	D2	7.35	non
	D3	9.10	oui
A140	D1	3.50	non
	D2	3.85	non
A141	D1	9.45	oui
	D2	9.10	oui
	D3	9.10	oui
A142	D1	5.78	non

A138	D1	5.60	non
	D2	6.30	non
A139	D1	11.05	oui
	D2	7.35	non
	D3	9.10	oui
A140	D1	3.50	non
	D2	3.85	non
A141	D1	9.45	oui
	D2	9.10	oui
	D3	9.10	oui
A142	D1	5.78	non
A143	D1	1.05	non
A144	D1	5.08	non
	D2	4.38	non
	D3	14.35	oui
A145	D1	4.46	non
	D2	7.04	non
	D3	10.76	oui
A146	D1	14.35	oui
	D2	9.80	oui
	D3	6.65	non
A147	D1	8.40	oui
	D2	9.80	oui
	D3	11.45	oui
A148	D1	4.87	non
	D2	3.82	non
	D3	2.70	non
A149	D1	0.63	non
	D2	8.30	oui
	D3	15.26	oui
	D4	2.42	non
A150	D1	5.18	non
	D2	8.30	oui
A151	D1	8.93	oui
	D2	0.98	non
A152	D1	10.43	oui
A153	D1	9.10	oui
A154	D1	8.75	oui
A155	D1	8.58	oui
A156	D1	10.85	oui
A157	D1	9.80	oui
A158	D1	8.40	oui
A159	D1	10.15	oui
A160	D1	11.55	oui
A161	D1	10.85	oui
A162	D1	7.70	oui
A163	D1	8.75	oui
A164	D1	11.90	oui
A165	D1	10.85	oui
	D2	0.35	non
	D3	4.90	non
	D4	1.40	non
A166	D1	2.45	non
	D2	1.40	non
	D3	3.50	non
	D4	4.20	non
	D5	3.85	non

A167	D1	8.40	oui
	D2	8.75	oui
A168	D1	9.10	oui
A201	D1	6.30	non
	D2	7.70	oui
	D3	8.75	oui
A202	D1	3.15	non
	D2	9.10	oui
A203	D1	7.00	non
	D2	7.35	non
A204	D1	5.95	non
	D2	3.15	non
	D3	6.65	non
	D4	3.50	non
A205	D1	6.30	non
	D2	5.95	non
A206	D1	5.81	non
	D2	7.70	oui
	D3	9.10	oui
A207	D1	8.40	oui
	D2	7.70	oui
	D3	5.95	non
A208	D1	8.40	oui
	D2	1.40	non
A2049	D1	7.35	non
	D2	2.45	non
	D3	5.60	non
	D4	7.35	non
A210	D1	2.10	non
	D2	7.35	non
A211	D1	4.90	non
	D2	6.65	non
A212	D1	9.45	oui
	D2	8.75	oui
A213	D1	6.65	non
	D2	3.50	non
	D3	5.95	non
A214	D1	9.45	oui
	D2	9.80	oui
A215	D1	7.35	non
A216	D1	7.00	non
	D2	12.60	oui
A217	D1	5.60	non
	D2	5.95	non
	D3	1.75	non
A218	D1	10.15	oui
	D2	8.05	oui
	D3	3.15	non
	D4	4.55	non
A219	D1	7.35	non
A220	D1	6.30	non
A221	D1	6.65	non
A222	D1	3.50	non
	D2	2.80	non
	D3	3.15	non
A223	D1	7.00	non
	D2	1.40	non

A214	D1	5.25	non
	D2	3.85	non
A225	D1	6.65	non
	D2	5.60	non
	D3	9.80	oui
	D4	3.50	non
A226	D1	7.35	non
	D2	14.70	oui
A227	D1	7.35	non
	D2	4.20	non
	D3	3.15	non
A228	D1	5.60	non
	D2	4.90	non
A227	D1	5.25	non
	D2	8.40	oui
	D3	8.75	oui
A230	D1	5.25	non
	D2	5.60	non
	D3	2.80	non
A231	D1	4.55	non
	D2	5.60	non
A232	D1	5.95	non
	D2	3.15	non
A233	D1	7.00	non
	D2	6.30	non
A234	D1	7.00	non
	D2	8.05	oui
	D3	2.80	non
A234	D1	6.30	non
A235	D1	6.83	non
A301	D1	0.67	non
	D2	10.71	oui
	D3	1.40	non
A302	D1	7.35	non
	D2	4.10	non
	D3	6.76	non
	D4	0.74	non
A303	D1	5.60	non
	D2	5.95	non
	D3	5.60	non
	D4	6.30	non
A304	D1	12.25	oui
A305	D1	4.55	non
	D2	7.35	non
A306	D1	6.30	non
	D2	2.80	non
A307	D1	4.20	non
A308	D1	12.95	oui
	D2	4.20	non
	D3	8.05	oui
	D4	4.20	non
A309	D1	0.70	non
	D2	5.95	non
	D1	4.20	non

A310	D1	4.20	non
	D2	2.80	non
	D3	3.15	non
	D4	9.80	oui
A311	D1	4.90	non
	D2	7.35	non
A312	D1	5.25	non
	D2	5.60	non
	D3	6.65	non
	D4	3.15	non
	D5	5.25	non
A313	D1	7.70	oui
	D2	4.90	non
A314	D1	5.25	non
A315	D1	2.80	non
	D2	11.20	oui
A316	D1	7.70	oui
	D2	5.60	non
A317	D1	4.90	non
	D2	6.65	non
	D3	4.55	non
	D4	7.00	non
A318	D1	4.20	non
	D2	4.55	non
	D3	6.30	non
A319	D1	5.95	non
	D2	4.55	non
	D3	4.90	non
A320	D1	5.25	non
	D2	6.30	non
A321	D1	8.40	oui
	D2	6.65	non
A322	D1	4.73	non
A323	D1	6.65	non
	D2	5.95	non
A324	D1	4.90	non
	D2	5.60	non
	D3	4.20	non
	D4	6.65	non
	D5	8.75	oui
A325	D1	5.95	non
A326	D1	9.45	oui
A327	D1	3.50	non
	D2	8.05	oui
	D3	2.45	non
A328	D1	7.35	non
	D2	4.90	non
	D3	4.55	non
	D4	1.40	non
	D5	3.85	non
A329	D1	6.65	non
	D2	2.80	non
A330	D1	3.50	non
A331	D1	3.85	non
A332	D1	1.40	non
	D2	5.25	non
	D3	7.35	non

A329	D1	6.65	non
	D2	2.80	non
A330	D1	3.50	non
A331	D1	3.85	non
A332	D1	1.40	non
	D2	5.25	non
	D3	7.35	non
	D4	3.50	non
	D5	7.00	non
A333	D1	5.95	non
	D2	6.30	non
A334	D1	15.75	oui
	D2	4.20	non
	D3	4.55	non
A335	D1	4.55	non
A329	D1	2.80	non
	D2	4.20	non
A337	D1	4.90	non
	D2	6.30	non
	D3	9.80	oui
	D4	6.13	non
A338	D1	4.20	non
	D2	3.68	non
	D3	10.15	oui
A339	D1	9.98	oui
A340	D1	7.35	non
	D2	12.78	oui
	D3	0.00	non
A341	D1	8.40	oui
A342	D1	9.98	oui
	D2	9.10	oui
A343	D1	8.40	oui
A344	D1	0.00	non
A342	D1	10.33	oui
	D2	0.00	non
A346	D1	7.35	non
	D2	0.00	non
A347	D1	0.00	non
A348	D1	0.00	non
	D2	0.00	non
	D3	0.00	non
A349	D1	0.00	non
	D2	0.00	non
A350	D1	0.00	non
	D2	0.00	non
A351	D1	0.00	non
	D2	0.00	non
	D3	0.00	non
A352	D1	0.00	non
	D2	0.00	non
	D3	0.00	non
A401	D1	6.65	non
	D2	6.30	non
A402	D1	2.98	non
	D2	6.48	non
	D3	5.95	non

A403	D1	0.00	non
	D2	0.00	non
	D3	0.00	non
	D4	0.00	non
	D5	0.00	non
	D6	0.00	non
	D7	7.00	non
	D8	7.35	non
	D9	9.63	oui
A404	D1	3.15	non
A405	D1	11.20	oui
	D2	2.98	non
A406	D1	7.00	non
	D2	8.05	oui
	D3	3.85	non
	D4	5.60	non
A407	D1	3.50	non
	D2	1.75	non
	D3	6.83	non
	D4	5.95	non
A408	D1	3.85	non
	D2	9.10	oui
	D3	6.65	non
	D4	2.80	non