



Liste des figures	2
Liste des tableaux	3
Liste des abréviations	4
Remerciements	6
Introduction générale.....	7
Chapitre 1 : Présentation de La Régie Autonome intercommunale de Distribution d'Eau et d'Electricité de la wilaya de Fès	8
Chapitre 2 : Présentation du réseau d'éclairage public	11
1. Description	12
2. Reconnaissance des différentes parties constituant un R.E.P	13
2.1. Les postes MT/BT.....	13
2.1.1. Les cellules	13
2.1.2. Le transformateur	14
2.1.3. Tableau urbain	15
2.1.4. Tableau de commande	16
2.2. Câbles de distribution	19
2.3. Candélabre ou supports.....	20
2.4. Luminaires :	24
3. Technologies utilisées dans l'éclairage public	25
3.1. Technologie obsolète	26
3.2. Les technologies utilisées	28
Chapitre 3 : Economie d'énergie.....	32
1. Présentation des solutions	33
Webographie & Bibliographie	44



Liste des figures

Figure 1 : l'organigramme de la RADEEF	10
Figure 2 : La répartition du réseau selon la typologie.....	12
Figure 3 : Cellules MT	14
Figure 4 : transformateur.....	15
Figure 5 : Tableau urbain (T8)	15
Figure 6 : tableau de commande	17
Figure 7 : Sectionneur fusibles.....	17
Figure 8 : Le compteur	18
Figure 9 : Horloge astronomique	18
Figure 10: interrupteur	19
Figure 11 : Contacteurs	19
Figure 12: les composants d'un candélabre	20
Figure 13 : Crosse Cassée-cintrée	21
Figure 14 : Crosse cassée	21
Figure 15 : Crosse cintré	21
Figure 16: Types de candélabres	22
Figure 17 : Méthode d'enfoncement.....	23
Figure 18 : Méthode semelle de fixation.....	23
Figure 19: catégories des luminaires	24
Figure 20 : Histoire de l'éclairage résumé en images	26
Figure 21 : lampe à Sodium à basse pression.....	26
Figure 22 : lampe à incandescence classique	27
Figure 23 : lampe à vapeur de mercure	28
Figure 24 : Lampe à sodium haute pression (SHP).....	28
Figure 25 : lampe à Iodures Métalliques	29
Figure 26 : LED de faible puissance	30
Figure 27 : LED de forte puissance.....	30
Figure 28 : LED bicolores	30
Figure 29 : LED à plus de deux couleurs	31
Figure 30 : Le régulateur – réducteur de tension	35
Figure 31 : Consommation journalière avant et après la télégestion	40
Figure 32 : système solaire intelligent.....	42



Liste des tableaux

Tableau 1 : comparaison entre les LEDs et les lampes à incandescence	33
Tableau 2 : Consommation journalière avant et après la télégestion	39



Liste des abréviations

RADEEF : La Régie Autonome intercommunale de Distribution d'Eau et d'Electricité Fès

REP : Réseau Eclairage Public

MT : Moyen Tension

BT : Basse Tension

SHP : Sodium Haute Pression

HM/IM : Halogénures/Iodures Métalliques

MM : Mercure Métalliques

LED : Diode Electroluminescentes

SBP : Sodium basse Pression

RBC : Ratio Bénéfice Cout



Dédicaces

A nos chers parents,

Pour avoir sacrifié vos vies afin de donner un meilleur goût aux nôtres. Vous étiez et êtes toujours à nos côtés pour nous prodiguer des conseils, nous soutenir et nous donner envie de persévérer pour un lendemain meilleur.

A nos frères, sœurs, familles

Pour l'amour, la confiance et le respect que vous nous avez toujours octroyés.

A nos amis et connaissances

Pour le soutien moral, les encouragements dont vous avez fait preuve.

A nos encadrants,

Pour votre aide et votre accompagnement qui nous ont permis de mener à bien notre projet.

Nous vous dédions ce travail en témoignage de notre profonde reconnaissance et symbole de notre grand amour.

A celui qui m'a aidé tant et qui a été toujours là pour moi, mon cher ami El ghazi Tariq, je le dis merci de tout mon cœur et que Dieu te protège et te procure de la santé(ton amie fidèle Imane).



Remerciements

Nous ne pouvons pas entamer ce présent rapport sans exprimer nos sincères remerciements à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à l'aboutissement de ce projet.

Tout d'abord, nous tenons à présenter nos remerciements à **Mr. Mohammed Mokhtari**, responsable de l'éclairage public à la RADEEF, pour nous avoir fait partager toute son expérience et ses compétences, pour le temps qu'il nous a consacré tout au long de cette période de stage, sachant répondre à toutes nos interrogations, sans oublier sa participation à la réalisation de ce mémoire.

Nos profonds remerciements vont à notre encadrante à la FST **Mme Najiba El Amrani** qui a accepté d'encadrer nos travaux durant ces 2 mois de stage, par leur encouragement, leur soutien moral, leur aide et leurs précieux conseils.

Nous adressons aussi nos sincères remerciements à toute l'équipe pédagogique de la faculté des sciences et techniques Fès FSTF et les intervenants professionnels responsables de la filière génie électrique (GE).

Nous tenons aussi à remercier l'ensemble du personnel de La RADEEF pour l'aide et le temps qu'ils nous ont octroyés. Nos sincères remerciements s'adressent à tous les agents, de nous avoir fait profiter de leurs compétences, précieux conseils et de bienveillants encouragements.

Enfin nous remercions nos camarades, parents, amis pour leurs encouragements.



Introduction générale

Les stages pratiques représentent, pour l'étudiant, le meilleur moyen d'adaptation aux exigences des sociétés et des établissements en matière de qualification, ils permettent :

- La découverte du monde de travail.
- L'adaptation à la vie d'une entreprise : horaire, encadrement et disciplines.

Au cours de notre stage, nous avons pu avoir une fenêtre sur le monde de distribution d'électricité et cela grâce au contact pratique réalisé au sein de la régie Autonome de distribution de l'Eau de l'Electricité. La RADEEF est chargée d'assurer la gestion du réseau électrique, l'exploitation des captages et adductions d'eau appartenant à la ville et la distribution de l'eau et de l'électricité ainsi que la gestion du réseau d'assainissement liquide à l'intérieur de la ville de Fès.

Durant cette période de stage, notre travail portait sur l'économie d'énergie dans le secteur d'éclairage public, ce rapport s'articule autour de trois chapitres, dans le premier nous présenterons la société où a été effectué notre stage « la RADEEF », son secteur d'activité, et particulièrement le département Exploitation Electricité. Le deuxième chapitre sera dédié au cas pratique de la ville de Fès et à la reconnaissance des différentes parties qui constituent un réseau d'éclairage public. On terminera notre rapport par la présentation de l'étude effectuée sur l'économie d'énergie et des solutions que nous avons proposées.



Chapitre 1 : Présentation de La Régie Autonome intercommunale de Distribution d'Eau et d'Electricité de la wilaya de Fès



La Régie Autonome intercommunale de Distribution d'Eau et d'Electricité de la wilaya de Fès (RADEEF) est un établissement public à caractère industriel et commercial, doté de la personnalité morale et de l'autonomie financière, placé sous la tutelle du Ministère de l'Intérieur.

Le conseil d'administration est composé :

- D'un président : le Wali de Fès,
- Huit membres représentant le conseil communal de la Wilaya,
- Des représentants du ministère de l'intérieur, des finances, des travaux publics et de l'énergie.

Le comité de direction comprend :

- Le président : en la personne du secrétaire général de la Wilaya de Fès,
- Quatre conseillers désignés par le conseil d'administration,
- Les représentants du ministre de l'intérieur et de finance.

Ce comité est chargé de veiller sur la gestion de la régie, et éventuellement toutes les tâches pour lesquelles il a reçu une délégation de la part du conseil d'administration.

La direction, assure sous l'autorité et le contrôle du conseil d'administration ou du comité de direction, le bon fonctionnement de la régie. Elle a sous son autorité :

Département exploitation d'électricité :

S'occupe principalement des études techniques, des équipements et des travaux concernant l'activité Electricité, il se compose de quatre divisions :

Division travaux : cette division fait la maintenance et l'équipement du réseau HTA et BT. Ces travaux sont maintenus par soit le personnel de la RADEEF ou par l'entreprise soumissionnée.

Division des abonnés HTA : répondre aux besoins des abonnés MT et même prendre le relevé du comptage MT.

Division d'éclairage public : cette division prend en charge dans les conditions du cahier des charges appliquées à la régie, le suivi des travaux des entreprises pour la réalisation des travaux du réseau de distribution et d'éclairage public et l'entretien d'éclairage public.

Division conduite et gestion de réseau : cette division a pour rôle d'assurer la continuité d'électricité, de protéger et réparer le matériel en cas de défaut.

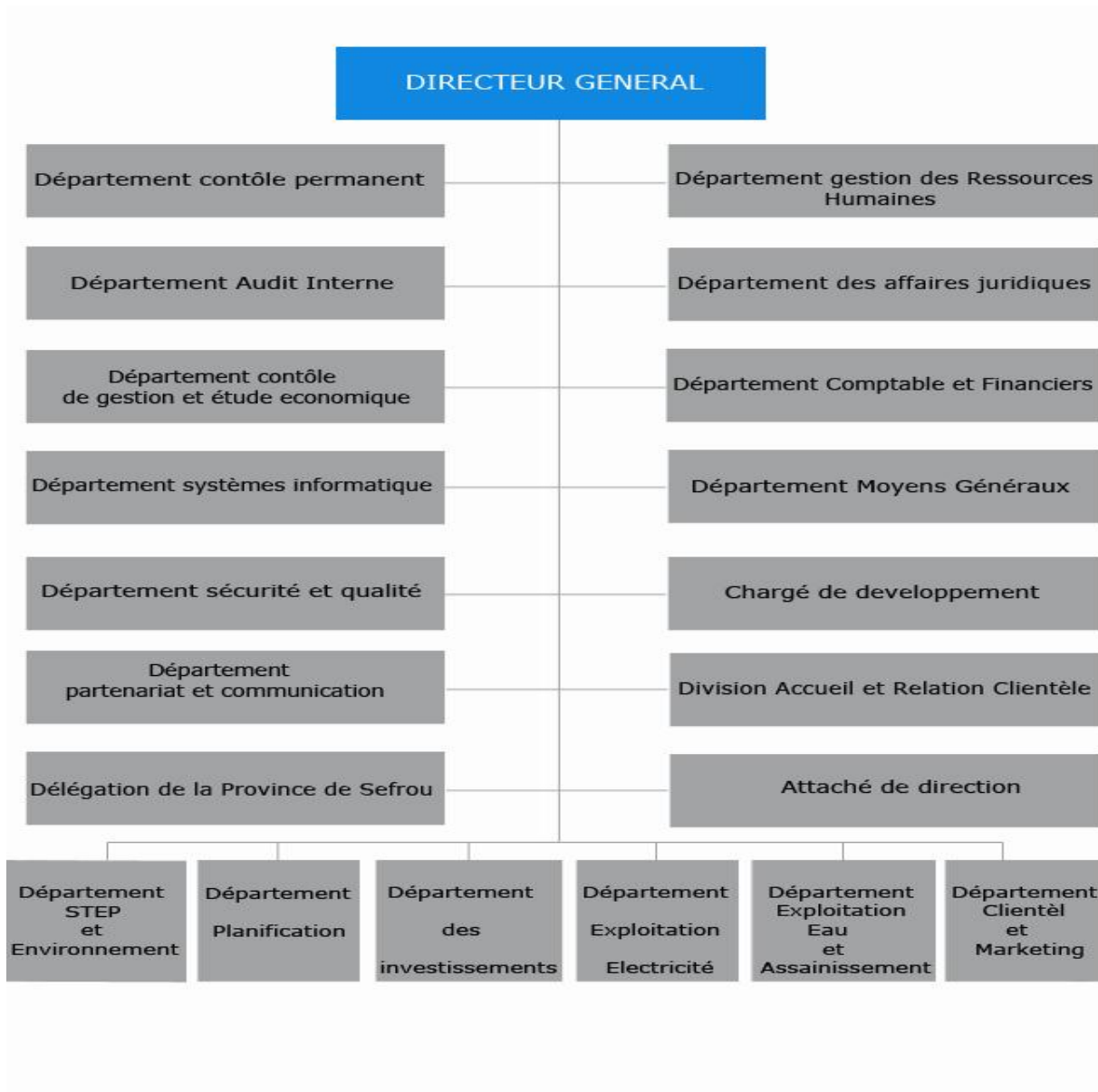


Figure 1 : l'organigramme de la RADEEF



Chapitre 2 : Présentation du réseau d'éclairage public

1. Description

- La ville de Fès est en face d'un secteur énergivore par excellence : l'éclairage public.
- Fès est la 2^{ème} plus grande ville du Maroc avec une population de 1 112 072 habitants selon le recensement de 2014 et s'étend sur une superficie de 271 hectares. Une ville qui vit sous la pression du besoin en lumière.
- Le parc de l'éclairage public de Fès nécessite des efforts considérables et des moyens financiers pour le gérer efficacement afin de faire face aux actions nocturnes liées au vandalisme, crimes et à la délinquance.
- L'éclairage public coûte à la ville de Fès 53 millions de DH chaque année. Il est géré par la Régie autonome de distribution de l'eau et de l'électricité de Fès (RADEEF). Selon la convention spéciale signée avec la commune.
- La RADEEF a pour mission de gérer un parc de 65 000 points lumineux, d'une capacité de presque 10 MW : candélabres (50%), sur façades (35%), poteaux (15%). Le réseau est à présent dans un état vétuste à hauteur de 45%.

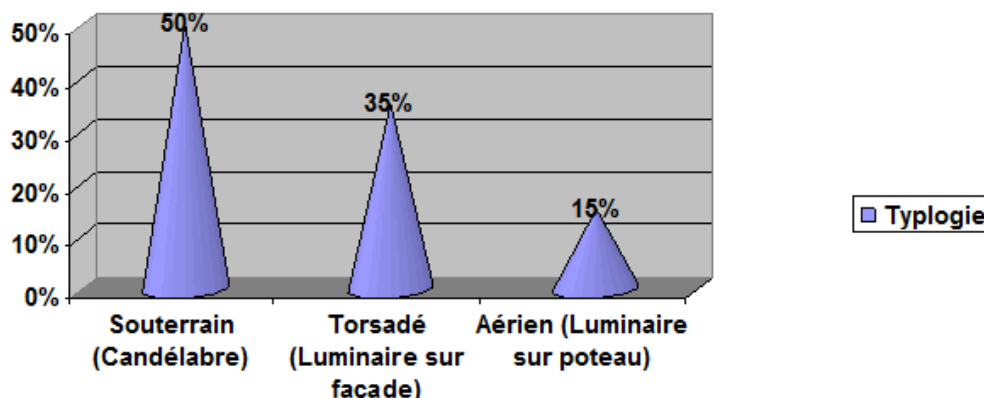


Figure 2 : La répartition du réseau selon la typologie.

- Le réseau des feux de signalisations tricolores se compose de 65 armoires de gestion des temps d'allumage (65 ronds-points gérés).

Ces armoires sont dans leur majorité, vétustes et présentent plusieurs anomalies surtout au niveau de l'intervention (manque de console de programmation, verrouillage de l'accès au programme pour modification, matériel obsolète...).

Il faut signaler aussi, que ces armoires ne sont pas dotées de l'automatisme manuel/auto. Cet automatisme est très utile surtout lors des Visites Royales où le besoin de télécommander ces armoires est très utile (à la demande de la sûreté nationale et de la sécurité royale).



- L'utilisation des lampes de nouvelles technologie, des horloges astronomiques, d'un système de gestion intégré, des armoires de réduction et de stabilisation de la tension d'alimentations, etc. : « l'ensemble de ces mesures ont permis à Fès d'économiser 15 à 20 % sur sa facture de consommation », selon Mohamed El MOKHTARI, responsable de la Division Travaux et Exploitation Electricité & Eclairage Public à la RADEEF.

2. Reconnaissance des différentes parties constituant un R.E.P

Il existe deux types de réseau d'éclairage public :

- Réseau souterrain :

Dans ce type de réseau les luminaires sont fixés sur des candélabres, leur alimentation est réalisée par un câble souple situé à l'intérieur du candélabre et branché au-dessous de ce dernier à une plaque à bornes qui sert au raccordement du câble armé et qui porte des fusibles pour la protection des luminaires

- Réseau aérien :

Pour ce réseau les luminaires sont fixés sur des consoles et branchés directement entre la ligne EP et le neutre. On distingue deux types de réseau aérien :

- * Réseau aérien des câbles nus.
- * Réseau aérien des câbles torsadés : pour le branchement de luminaires dans ce réseau on utilise des connecteurs.

2.1. Les postes MT/BT

Les postes de transformations permettent de ramener la tension des réseaux éclairage public du niveau MT au niveau BT.

Un poste de transformation est constitué des :

- Cellules
- Transformateur MT
- Tableau urbain réduit
- Tableau d'éclairage Public

2.1.1. Les cellules

Les cellules permettent de réaliser la partie MT des postes de transformation MT/BT de distribution publique et des postes de livraison ou de répartition MT.

Il existe Trois cellules :

- Deux cellules interruptrices, une **Cellule Arrivée**, une **Cellule Départ**. Elles permettent d'assurer la continuité du réseau MT.
- Une **Cellule de protection Transformateur**, qui comme son nom l'indique, sert à protéger le transformateur local du poste. Elle comporte trois fusibles de protection qui sont reliés au transformateur à l'aide d'un câble unipolaire en cuivre.



Figure 3 : Cellules MT

2.1.2. Le transformateur

Appelé transformateur local MT poste. Il permet de transformer la moyenne tension 20KV en une basse tension 220/380 (tension simple = 220V, tension composée = 380V). La puissance du transformateur est choisie dans la gamme suivante : 160, 250, 315, 400 et 630 KVA

Le transformateur comporte un thermomètre à cadran qui permet de mesurer la température du transformateur ainsi qu'un indicateur du niveau d'huile permettant la détection des fuites d'huile. Il est à signaler que le côté MT possède un couplage triangle tandis que dans le côté BT, on trouve un couplage étoile (trois phases et neutre).



Figure 4 : transformateur

2.1.3. Le Tableau urbain

C'est un tableau Basse Tension, permettant de distribuer et protéger le réseau BT, pour les postes souterrains.

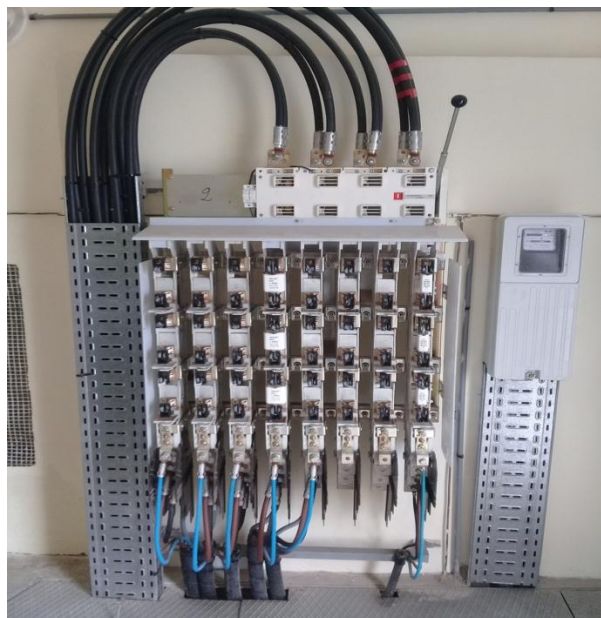


Figure 5 : Tableau urbain (T8)



Caractéristiques principales : Tableaux BT Urbains Réduits TUR assurent et garantissent la protection des transformateurs de 100 à 1000 kVA ainsi que la répartition de la charge sur différents départs de réseaux situés en aval du poste de transformation.

Equipés de capteurs et de fonction de monitoring, le tableau de distribution BT peut informer l'exploitant sur les données fonctionnelles du poste.

Il assure également l'alimentation de l'éclairage public

Il existe 5 modèles disponibles:

- un tableau de 800 A, contient 4 blocs et 8 blocs départ au maximum.
- Un tableau de 1200 A, contient 4 blocs et 8 blocs départ au maximum.
- Un tableau de 1800 A, contient 8 blocs départ max,

Leurs Equipements de base sont comme suit :

- Appareil de coupure
- Jeu de barres tétra polaires placées sur isolateur, destinées à recevoir les unités de départ.
- Châssis métallique
- Coupe-circuit pour raccorder le circuit d'éclairage du poste.
- Ecran supérieur de protection arrivée transformateur
- 2 écrans latéraux préservant des contacts accidentels
- 1 sachet de boulonnerie destiné aux raccordements des câbles d'arrivée
- Equipements spécifiques sur demande (départ pour éclairage public, panneau de réservation, panneau de condamnation, panneau de mise en court-circuit)

2.1.4. Le tableau de commande

Il est situé à l'intérieur des postes de transformation. Il a pour rôle de relier le réseau d'éclairage public au réseau basse tension en assurant sa protection, sa commande et le comptage des consommations engendrées. Il comprend, comme indiqué sur la figure 5 :

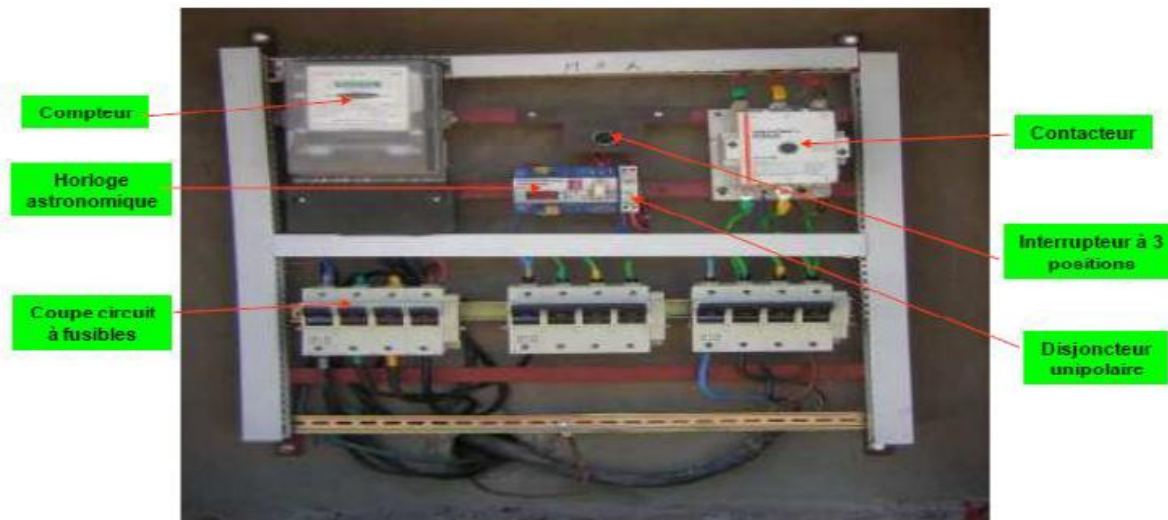


Figure 6 : tableau de commande

Un **Sectionneur à fusible**, comme schématisé sur la figure 6, c'est un appareil électrique de protection, capable d'ouvrir ou de fermer un circuit sous l'action manuelle d'un technicien afin d'isoler les circuits électriques d'alimentation du réseau. Le sectionneur porte-fusibles a deux fonctions :

- La fonction consignation-isolement réalisée par le sectionneur.
- La fonction complémentaire de protection par fusible qui est souvent ajoutée. Cette fonction protège la ligne d'alimentation.



Figure 7 : Sectionneur fusibles

Un **compteur électrique** : il s'agit d'un organe électrotechnique, tel que représenté sur la figure 7 qui sert à mesurer la quantité de l'énergie électrique consommée dans un lieu : habitation, industrie ... il est utilisé par les fournisseurs d'électricité afin de facturer la consommation d'énergie au client. A l'origine ces appareils étaient de conception électromécanique, ils sont remplacés dorénavant par des modèles électroniques. Les nouvelles versions de compteurs électriques sont des compteurs communicants appelés parfois compteurs intelligents.



Figure 8 : Le compteur

Une **Horloge astronomique** : Elles exercent un contrôle temporel, ces horloges sont très précises et déterminent automatiquement-par des calculs mathématique – l'heure à laquelle il est nécessaire de déclencher l'allumage de l'éclairage et de l'extinction. Contrairement aux horloges mécaniques, l'horaire d'allumage varie donc de jour en jour, puisqu'il s'accorde en fonction des cycles diurnes et nocturnes. Ces horloges offrent la possibilité d'enregistrer des programmations afin de mettre en place un éclairage réduit ou interrompu. Il n'est donc pas nécessaire qu'elles soient reliées à des cellules photoélectriques pour assurer l'allumage et l'extinction d'un réseau d'éclairage public.



Figure 9 : Horloge astronomique

Un **interrupteur** : l'interrupteur général dit de puissance illustré dans la figure 9 permet d'isoler un circuit en charge ou à vide. Il doit être équipé d'un système de cadenassage pouvant recevoir plusieurs cadenas



Figure 10: interrupteur

Un **contacteur** : est un appareil électrotechnique qui permet de commuter automatiquement par un faible courant des commandes, des intensités importantes. Il peut être associé à un relais thermique ou magnétique. En éclairage public les contacteurs sont commandés par l'horloge, qui met en ou hors tension le réseau EP.

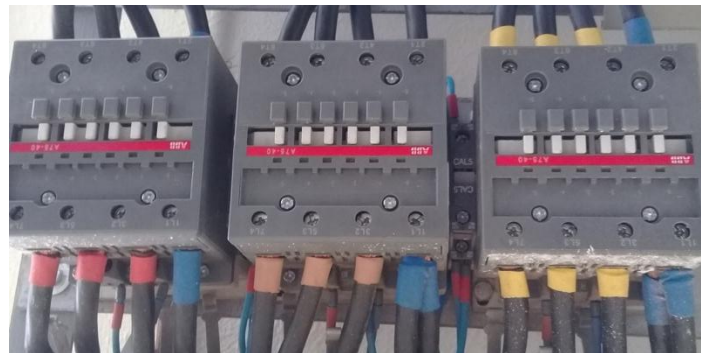


Figure 11 : Contacteurs

Les **départs** : Ce sont les sorties des câbles à partir du poste. On distingue deux types de départs : départ pour réseau EP souterrain et départ pour réseau EP aérien.

2.2. Câbles de distribution

Le réseau éclairage public est réalisé avec des câbles électriques selon 3 principes :

- **Le réseau enterré**, sans entrainer un surcoute excessif, présente d'autres avantages, tel que l'absence de fils apparents dans le paysage urbain et une meilleure sécurité
- **Le réseau aérien sur poteau** pratiquement, abandonné dans les nouvelles installations car inesthétique. Il est constitué de câbles reliant les candélabres entre eux.
- **Réseau aérien en façade** comporte des câbles torsadés à l'aide de colliers ou de pince d'ancrage sur les immeubles bordant la voirie. Il permet d'alimenter les appareils fixés sur les bâtiments.

2.3.Candélabre ou supports

Tous les luminaires sont installés sur des supports: mâts, candélabres, consoles... Ces supports doivent répondre à plusieurs contraintes. Il est nécessaire qu'ils soient solides, qu'ils résistent aux efforts dus aux vents, et également aux chocs dits normaux, aux intempéries et attaques physiques (corrosion)... Il faut également qu'ils permettent un entretien aisé et ne contraignent pas la maintenance des luminaires.

Les éléments d'un candélabre

Un candélabre peut supporter un ou plusieurs luminaires et en général, comme indique la figure 11, se compose de plusieurs parties :

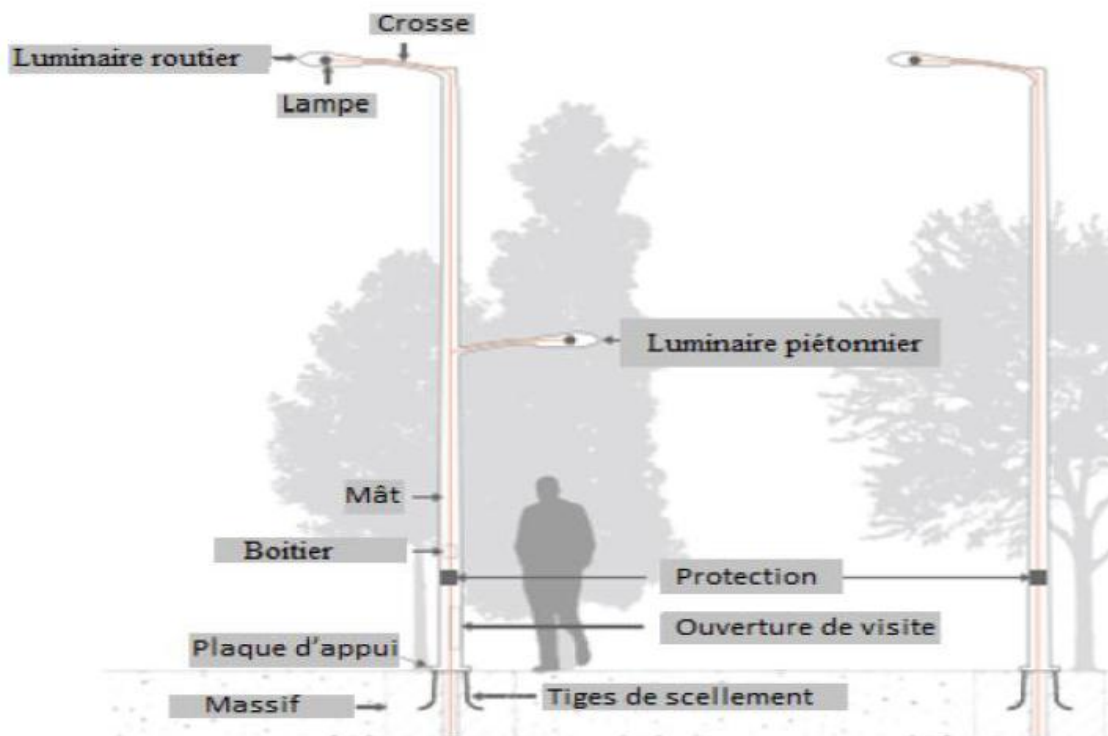


Figure 12: les composants d'un candélabre

Le mât

Partie principale ou unique d'un candélabre, dans laquelle est disposé un portillon d'accès à une plaque à bornes, muni de fusibles et assurant le lien entre le réseau de distribution et l'alimentation propre de luminaire. Le mât doit également être disposé d'une borne pour permettre la mise à terre de l'installation.

La plaque d'appui

Cette plaque assure la liaison entre le massif de fondation et le mât. Le lien entre le mât et la plaque doit faire l'objet d'une attention particulière.

La crosse

Elle assure le déport du luminaire au-dessus de la chaussée, les figures ci-dessous représentent les différents types de crosse



Figure 13 : Crosse Cassée-cintrée



Figure 14 : Crosse cassée



Figure 15 : Crosse cintrée

Divers types de candélabres

Candélabres en acier

Ils ont l'avantage d'avoir une bonne résistance aux chocs et a la corrosion s'ils sont traités correctement a savoir :

- protection par peinture anti corrosion extérieure et intérieure.
- protection par galvanisation à chaud.

Candélabres en alliage d'aluminium

Ils ont une excellente tenue a la corrosion même en atmosphère polluée et ne nécessitent aucun entretien

Autres candélabres

on trouve des candélabres en béton dont l'avantage est l'absence d'entretien mais qui ont l'inconvénient d'être lourds et pas toujours très esthétique. D'autres matériaux sont utilisés dans des cas particuliers : fonte, bois, lamellé-collé, fibres synthétique.

la figure ci-dessous montre quelques silhouettes courantes de candélabres

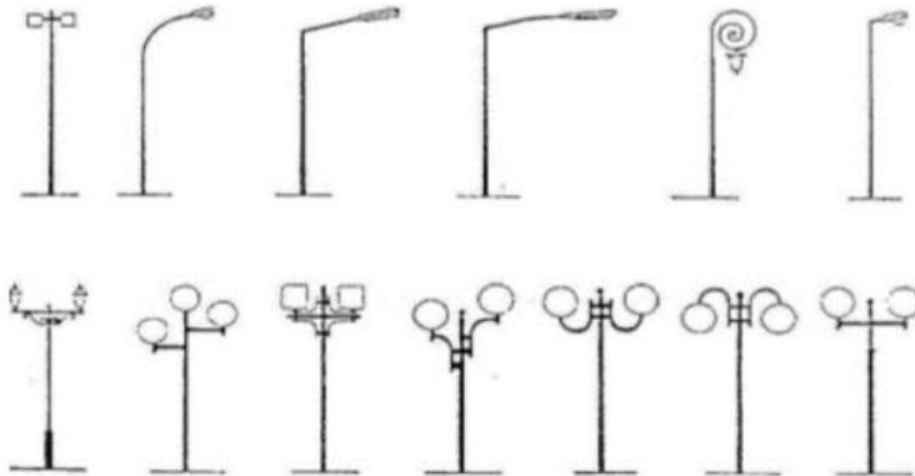


Figure 16: Types de candélabres

Installation des mâts :

Deux méthodes sont utilisées pour fixer les mâts et candélabres qu'ils soient en acier, aluminium, inox, fibre de verre Elles se réalisent soit par enfoncement (le mât est directement enfoncé dans le sol), soit sur semelle de fixation (le mât est soudé sur une semelle de fixation, qui elle-même est fixée sur une fondation en béton qui assure la stabilité de ensemble).

Installation des mâts par enfoncement

Le principe est très simple et économique. Le mât est enterré dans le sol directement, il ne repose pas sur un massif de fondation en béton. Le mât peut toutefois être pris dans du béton pour assurer une meilleure stabilité. L'inconvénient de ce type d'installation réside dans le fait que par de possibles mouvements de terrains, les mâts ont tendance à la longue à pencher. Les candélabres fonctionnels installés par enfoncement sont souvent des mats à rétreint (comme l'atteste l'exemple ci-après)



Figure 17 : Méthode d'enfoncement

Installation des mâts sur fondation

En étant installés sur une fondation en béton, la stabilité des supports est accrue. Cependant les temps et coûts d'installation sont augmentés. En effet, si le massif en béton est coulé sur le site, il faut prévoir un délai de séchage du béton. Lorsque le massif est coulé, il faut que dans le béton soit prises les tiges de scellement. Afin de les positionner correctement dans le béton frais, il existe des gabarits de scellement. Actuellement, il existe des massifs en béton préfabriqués en usine. Cette solution est plus rapide car comme les massifs sont déjà préparés, le temps de séchage est supprimé. Il suffit juste d'amener les supports en béton (munis de tiges de scellement) sur le site d'installation et de les enterrer. Le fût pourra y être rapidement fixé dessus. Sur la photographie, on remarque la présence de sortes de rigoles, elles servent au passage de câbles d'alimentation électrique.



Figure 18 : Méthode semelle de fixation

2.4. Luminaires :

Ce sont les éléments principaux d'un réseau EP ils servent à produire la lumière. Pour l'éclairage des voies ou des rues on utilise des luminaires, les projecteurs sont réservés à l'éclairage des grands espaces et des carrefours importants. Ils doivent répondre aux objectifs suivants :

- Distribuer le flux lumineux en assurant aux lampes une conservation des caractéristiques.
- Contrôler le flux en évitant toute gêne d'éblouissement.

Les différentes catégories de luminaires d'éclairage extérieur :

- Les luminaires fonctionnels.
- Les luminaires décoratifs.
- Les luminaires destinés aux ponts et tunnels.
- Les projecteurs réservés aux grands espaces.

La figure 18 montre ces catégories



Figure 19: catégories des luminaires

Éléments déterminants du choix d'un luminaire :

Les éléments déterminants le choix d'un luminaire sont nombreux et relèvent de plusieurs considérations. Il est essentiel de les examiner avec soin, leur ordre d'importance étant fonction des circonstances locales, ils sont :

Esthétiquement

- Harmonie avec le cadre d'utilisation
- Equilibre et simplicité

Techniquement

- Conservation des qualités optiques
- Nature et puissance des lampes



- Nature et performance optique
- Répartition du flux lumineux

Electrique et thermique

- Qualité et sécurité des contacts
- Protection contre les échauffements
- Qualité d'isolation électrique

Mécaniquement

- Dimension du luminaire
- Qualité et nature des matériaux
- Raccordement au support
- Résistance à la corrosion et aux effets de vibration
- Simplicité de réglage et de fixation
- Protection des lampes

Economiquement

- Coût global de l'installation
- Coût de maintenance

Les composants d'un luminaire sont :

Une Lampe : source de la lumière.

Un Ballast : c'est un dispositif pour faire fonctionner des lampes, il crée un pic de tension afin d'allumer l'ampoule. Il s'assure également que la tension soit constante afin que l'ampoule reste éclairée.

Un Amorceur : il sert à l'amorçage de la lampe.

Une Douille : pour fixer la lampe au luminaire.

Un Réflecteur : pour disperser le flux lumineux émis par la lampe.

Un Vasque : pour protéger la lampe et le réflecteur contre la poussière.

Un Couvercle : pour renfermer l'ensemble des accessoires.

Un Colis : pour fixer le luminaire au candélabre ou à la console.

3. Technologies utilisées dans l'éclairage public

L'Eclairage public a évolué avec le temps comme le montre les schémas ci-dessous





Figure 20 : Histoire de l'éclairage résumé en images

3.1. Technologie obsolète

Parmi les technologies obsolètes il existe :

- Sodium base pression
- Les lampes à incandescence classique
- Les lampes à vapeur de mercure

Sodium à basse pression, illustré sur la figure 20, est une lampe à décharge pour laquelle la luminance est produite dans une vapeur de sodium. On distingue les lampes à vapeur de sodium basse pression, qui émettent une lumière dont la couleur tire sur l'orange, et les lampes à vapeur de sodium haute pression, de couleur un peu plus jaune-orangé. Ces lampes sont couramment utilisées pour l'éclairage public. Ces lampes sont surtout utilisées pour l'éclairage des routes.



Figure 21 : lampe à Sodium à basse pression

La lampe à incandescence classique, inventée en 1879 produit de la lumière en portant à incandescence un filament de tungstène, le métal qui a le plus haut point de fusion

(3 422 °C). À l'origine, un filament de carbone était utilisé, mais ce dernier en se sublimant puis en se condensant sur le verre de la lampe, opacifiait assez rapidement le verre.

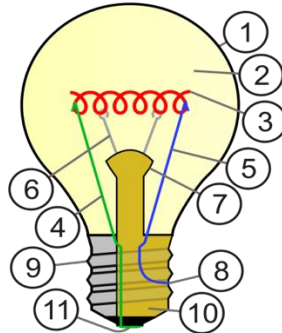


Figure 22 : lampe à incandescence classique

1. Ampoule de verre, aussi appelée globe, bulbe ou enveloppe
2. Gaz inerte
3. Filament de tungstène
4. Fil conducteur (contact avec le plot central)
5. Fil conducteur (contact avec le culot)
6. Fil de support du filament
7. Monture ou support en verre
8. Culot (contact électrique)
9. Culot (filetage ou baïonnette, etc.)
10. Isolant
11. Plot central (contact électrique)

Les lampes à vapeur de mercure, comme illustré sur la figure 22, Elles produisent une lumière blanche-bleutée, grâce à une décharge électrique à travers la vapeur de mercure à haute pression (500 fois la pression des tubes fluorescents) contenue dans l'ampoule. Grâce à cette pression plus élevée, elles émettent plus de lumière visible et moins d'ultraviolet que les tubes fluorescents. Ces lampes consomment beaucoup d'énergie.



Figure 23 : lampe à vapeur de mercure

3.2. Les technologies utilisées

Parmi les technologies utilisées il existe :

- Les lampes à sodium haute pression
- Les lampes à Halogénures/Iodures Métalliques (HM/IM)
- Les LEDs

SHP Les lampes à sodium haute pression, comme indique la figure 23, Le fonctionnement des lampes à vapeur de sodium haute pression (SHP) nécessite un ballast et un amorceur (à l'exception de quelques types de lampes de petites puissances dont l'amorceur peut être incorporé dans la lampe).

Ces lampes présentent une durée de vie moyenne qui normalement peut atteindre les 30 000 heures et une efficacité lumineuse puissante, de qualité.

Economiques et efficaces, elles fournissent un maximum de lumière pour un espace réduit.

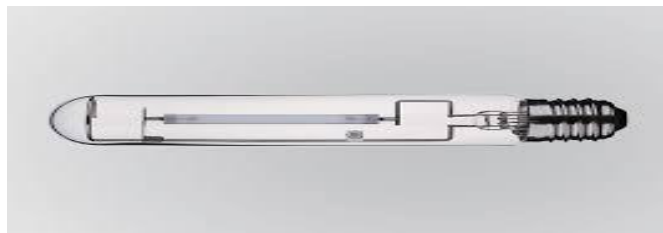


Figure 24 : Lampe à sodium haute pression (SHP)

Les lampes à Halogénures/Iodures Métalliques (HM/IM), représentées sur la figure 24, La Lampe à iodure métallique est très puissante. Elle restitue 3 à 4 fois plus de lumière qu'une lampe halogène de puissance identique. Elles sont appréciées dans l'éclairage commercial par leur puissance lumineuse qui les rend adéquate aux volumes rencontrés dans ce type de locaux.

Lampe à haute pression, leur indice de rendu des couleurs est proche de la lumière du jour. Elles sont dotées d'une grande efficacité lumineuse et les couleurs sont homogènes pendant toute la durée de vie des ampoules qui normalement peut atteindre les 20 000 heures.

Ces lampes à iodure métallique utilisent un brûleur à quartz ou en céramique, ce dernier favorise une durée de vie plus longue et une constance de la qualité du flux lumineux.

Elles permettent de réaliser des éclairages performants, tout en garantissant des coûts d'exploitation énergétique beaucoup plus faibles qu'avec des lampes à filament.



Figure 25 : lampe à Iodures Métalliques

Les lampes LED (Diode Electroluminescentes)

La LED est un composant électronique qui émet une quantité de lumière proportionnelle à l'intensité du courant qui la traverse. Il est possible de balayer toutes les couleurs du spectre visible.

Les LED sont classés :

- Selon leur spectre lumineux :
 - Les LED de couleur, dont le spectre est quasiment monochromatique ;
 - Les LED blanches, dont le spectre est constitué de plusieurs longueurs d'ondes ; la technologie la plus utilisée actuellement pour produire de la lumière blanche avec des LED consiste à ajouter une fine couche de phosphore jaune dans une LED bleue.
- Selon leur puissance :
 - Les LED de faible puissance, inférieure à 1 Watt, sont par exemple utilisées comme voyants lumineux sur les appareils électroménagers ;
 - les LED de forte puissance, supérieure à 1 Watt, supportent des courants plus importants (jusqu'à 5 Ampères) et fournissent davantage de lumière (jusqu'à 220 lumens par watt).

Pour l'éclairage, on utilise des lampes constituées de plusieurs LED de forte puissance accolées.



Figure 26 : LED de faible puissance



Figure 27 : LED de forte puissance

Il existe plusieurs types des LEDs à savoir :

LED bicolores :

Elles sont associées dans un même boîtier transparent, 2 puces émettant chacune une couleur précise : rouge pour l'une, et vert pour l'autre. Les LEDs bicolores peuvent posséder deux pattes (montage des deux LEDs en "parallèle retourné") ou trois pattes

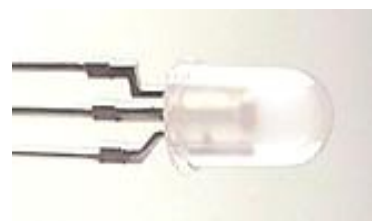


Figure 28 : LED bicolores

L'allumage simultané des deux puces vert et rouge (résultat jaune-orange) est plus facile avec la LED à trois pattes, sous une simple tension continue. Pour la LED à deux pattes, il y a obligation d'inverser la polarité de la tension appliquée, selon la puce que l'on veut utiliser. Une tension alternative est donc requise pour allumer les deux puces en même temps.

LED à plus de deux couleurs :

Elles sont associées dans un même boîtier transparent, 3 ou 4 puces émettant chacune une couleur précise : rouge, vert et bleu. Du fait d'un éclairage généralement moindre de la puce bleue, cette dernière se trouve souvent doublée : 2 puces bleues pour une rouge et une verte. Les deux puces bleues étant électriquement raccordées entre elles, la LED possède en tout quatre pattes : une pour la puce rouge, une pour la puce verte, une pour la ou les puces bleues, et la quatrième enfin pour le point commun.

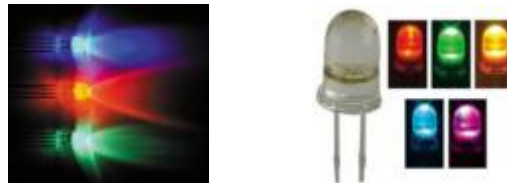


Figure 29 : LED à plus de deux couleurs

Si l'on se contente d'activer en tout ou rien chacune des trois couleurs, nous pouvons faire s'illuminer la LED avec 7 couleurs différentes (8 combinaisons possibles, mais on ne compte pas celle où tout est éteint). Pour obtenir plus de variations possibles, plus de couleurs si vous préférez, il faut rendre variable l'intensité lumineuse de chaque couleur, de façon indépendante. Pour cela, il faut utiliser un système de commande de LED à rapport cyclique variable.

Ce type de LED, qui peut émettre dans l'ensemble des couleurs vue précédemment (les LEDs haute luminosité ne sont pas forcément blanches) constituera sans doute dans un très proche avenir, une solution alternative intéressante à l'éclairage grand public, voir à l'éclairage professionnel de forte puissance.



Chapitre 3 : Economie d'énergie



1. Présentation des solutions

Avec ses 65.000 points lumineux, la facture de l'éclairage public coûte plus de 53 MDH. Pour atténuer les différentes difficultés de ce secteur, on propose les solutions suivantes :

Utilisations des LEDs:

La technologie LED, introduite il y a quelques années seulement, offre d'importantes perspectives de progrès, en particulier pour le contrôle intelligent. Les LED sont considérées comme la solution alternative durable pour atteindre les objectifs d'économies d'énergie dans le secteur de l'éclairage. C'est la première technologie d'éclairage adaptée à tous les domaines (résidentiel, bâtiments de services, infrastructures, etc.) offrant une grande efficacité énergétique et une capacité de gestion intelligente.

Puissance de l'ampoule incandescence	Flux lumineux correspondant	Ampoule LED	Consommation/ans
25W	200 lumens	2W	36KW / 3KW
50W	450 lumens	5 à 6W	73KW / 7KW
60W	600 lumens	7 à 8W	87KW / 10KW
75W	800 lumens	8 à 10W	109KWh / 12KWh
100W	1200 lumens	12W	146KWh / 18KWh

Tableau 1 : comparaison entre les LEDs et les lampes à incandescence

A titre d'exemple

Une Comparaison de la consommation annuelle pour 200 luminaires équipés par des lampes à incandescence de 100 W et d'autres équipés par des LEDs de 12W qui ont la même efficacité lumineuse, (pour les données suivantes)

Nombres d'heures de fonctionnement / J =11h



Nombres de jours/an = 365,25 jours

Prix moyenne de 1Kwh = 1,23 DH

La consommation annuelle (CA) se calcule par :

$$CA = NL * PL * NH * NJ$$

Avec :

NL: Nombre de luminaires

PL :la puissance d'une lampe en (Watt)

NH : nombre d'heures de fonctionnement

NJ : nombre de jours par an

D'où le résultat pour notre cas d'étude : $200 * 100 * 11 * 365,25 = 80\ 355\ \text{KWh}$

Le coût annuel (CoA) se calcule par :

$$CoA = CA * PM$$

PM : Prix moyenne de 1Kwh

Pour notre cas d'étude le coût annuel est de $80\ 355 * 1,23 = 98\ 836,65\ \text{DH}$

Pour les LEDs, le calcul conduit aux résultats suivant :

Consommation annuelle : $200 * 12 * 11 * 365,25 = 9\ 642,6\ \text{KWh}$

Coût annuel: $9\ 642,6 * 1,23 = 11\ 860,398\ \text{DH}$

Soit un gain de **86 976.252 DH**

Application à un réseau réel de luminaire LED

- Lieu : Ruelle Champs de Course Fès
- Puissance installée : 8 luminaires 100 W SHP
- Luminaire de substitution : 8 luminaires à LED de puissance 36 W

- Durée de l'essai : 2 jours à raison de 13,5 heures de fonctionnement par jour

	Index du 03/12/2013	Index du 05/12/2013	Index du 07/12/2013	Consommation en KWH
Eclairage LED	0000,0	00016,5		16,5
Eclairage SHP		00016,5	00039,0	22,50

L'économie énergétique réalisée sur deux jours est donc de 6 kWh soit une réduction de :
 $6/22,5=26,67\%$

Le régulateur – réducteur de tension :



Figure 30 : Le régulateur – réducteur de tension

Ce sont des appareils installés à l'intérieur d'un coffret de commande d'éclairage public. Ils permettent de réduire l'intensité lumineuse en abaissant la tension pendant la nuit, sur une plage horaire la moins fréquentée, tout en assurant la continuité lumineuse sur la voie publique

Les régulateurs-réducteurs de tension, installés sur les postes d'éclairage public, fonctionnent sur le principe suivant : ils abaissent la tension sur ces postes pendant la nuit, sur une plage horaire à déterminer. De plus, ces appareils sont équipés d'une horloge astronomique, laquelle garantit la maîtrise du temps de fonctionnement. Le flux lumineux est ainsi légèrement réduit pendant cette plage horaire, diminuant les consommations pour réaliser jusqu'à 30%



d'économies d'énergie. Des gains financiers sont alors possibles sur la part « Fourniture » des factures d'énergie

Les autres avantages

Les régulateurs permettent également la protection des lampes et la réalisation de considérables économies d'énergie. En outre, ces appareils qui régulent la tension d'alimentation, contribuent à la maintenance des réseaux d'éclairage public. En effet, conformément au contrat de maintenance « type SIEA », cette régulation de l'alimentation autorise à espacer la cadence des échanges systématiques (de 2 à 3 ans pour les lampes à vapeur de mercure et de 3 à 4 ans pour les lampes à vapeur de sodium haute pression). De plus, cette protection permet de minimiser le nombre de pannes et, par conséquent, les dépannages d'urgence au coût élevé.

A titre d'exemple :

Pour un régulateur stabilisateur de flux lumineux de puissance 45KVA

- utilisation moyenne 8h/jour
- économie du 30%

FORMULE DE L'ENERGIE ECONOMISEE

$$\mathbf{KW \times h \times 365(jour) \times \textit{pourcentage de l'économie}}$$

Appliqué à notre exemple :

$$45 \text{ KW} \times 8\text{h} \times 365 \times 0.30 = \mathbf{39\ 420 \text{ KWh/ans}}$$

Remarque :

Vue qu'un régulateur- réducteur coûte près de 50 000 DMA. Un tel investissement paraît cher, cependant il est vite amorti en 1,25 an. En effet :

Le gain réalisé grâce à un régulateur - réducteur est de : 40 000 DMA par année. Ce qui permet de conclure qu'au bout d'un an et 3 mois on récupéra notre investissement ce qu'on appelle le ratio bénéfice coût.



L'éclairage public représente une part conséquente de la consommation d'énergie d'une agglomération. Aussi toute économie sur cette part d'énergie constitue un gain important pour l'état. C'est pourquoi, nous avons estimé, que se limiter aux deux solutions déjà proposées était en deçà de nos ambitions. Nous avons alors proposé une nouvelle solution qui n'a toujours pas été appliquée au Maroc et qui est très utilisée ailleurs. Il s'agit du DIMMING

Le DIMMING :

Qu'est-ce que le DIMMING ?

Le DIMMING consiste à abaisser temporairement le flux lumineux des lampes et donc le niveau d'éclairage de la route à des fins d'économie énergétiques et environnementales.

Selon le type d'espace public, le DIMMING pourra être envisagé en fonction de paramètres acceptés par les villes et les communes (horaires fixes, présence de piétons, densité du trafic, conditions météorologiques, type de route).

Le choix du DIMMING dépend donc d'une décision concertée des villes et communes, mais doit toujours garantir les buts de l'éclairage public qui sont d'une part la sécurité des usagers (Automobilistes, cyclistes et piétons), et d'autre part la mise en valeur des espaces et des sites.

Peut-on appliquer le DIMMING sur tous les types de lampe?

La réponse est **Non**.

Actuellement, les modèles de lampes dimmables les plus courants, sont les lampes Sodium Haute Pression (SHP) offrant une lumière jaune, et les lampes à brûleur céramique donnant une lumière blanche. Les lampes SHP voient leur efficacité diminuer lorsqu'elles sont dimmées, surtout pour les lampes de faible puissance (70 W). Pour les lampes MIHP, le rendement énergétique est moins influencé par le DIMMING.

Des essais sur site montrent que les lampes Sodium Basse Pression (SBP) de forte puissance sont dimmables. Le DIMMING des lampes SBP de faible puissance ($\leq 55W$) n'est pas envisagé vu leurs faibles consommations initiales.

Le DIMMING des lampes à vapeur de mercure haute pression (MMHP) Ne sont pas également envisagées car son utilisation tend à disparaître en raison de leur faible efficacité énergétique.

Jusqu'où peut-on dimmer les lampes ?

Cela dépend de plusieurs paramètres dont principalement :,

Les limitations techniques. En effet, les fabricants de lampes conseillent, fonction du type de lampe (SHP ou MIHP), de ne pas descendre en dessous d'un certain pourcentage de la puissance nominale des lampes (en Watt).

- Les considérations liées à la sécurité, car la diminution de la puissance de la lampe va entraîner une perte de flux lumineux. Ce point est traité dans la réponse à la question suivante :



Avec le DIMMING, le nombre d'incidents va-t-il augmenter ?

Non, aucune corrélation n'a encore été démontrée.

Le but premier de l'éclairage public est d'éclairer l'espace public afin d'aider les usagers. Il faut donc continuer à garantir cette fonction lorsque l'installation est dimmée.

A l'heure actuelle, les normes et recommandations sont en cours d'adaptation afin de spécifier jusqu'à quel point il est envisageable de diminuer l'éclairage des routes et sites tout en garantissant une sécurité suffisante aux usagers et cela, en fonction du type de lieu ou route, de la densité du trafic et des conditions météorologiques.

Le fait de dimmer les lampes va-t-il augmenter leur durée de vie ?

A l'heure actuelle, rien ne permet de dire que le DIMMING va permettre d'augmenter ou de diminuer la durée de vie des lampes.

De manière à ne pas affecter la durée de vie des lampes, certains fabricants de lampes donnent des consignes à respecter lors du DIMMING :

- En fonction du type de lampe, le DIMMING doit être limité afin de ne pas descendre en dessous d'un certain pourcentage de la puissance nominale de la lampe
- Dans tous les cas, lors du démarrage de l'installation d'éclairage, le système de DIMMING doit alimenter les lampes à leur puissance nominale (sans DIMMING) pendant 15 minutes au minimum avant de dimmer.

La télégestion de l'éclairage public

Les systèmes de télégestion désignent les outils servant à gérer, commander et surveiller les réseaux d'éclairage public. Ces systèmes de télécommunication permettent de gérer les armoires ou les luminaires individuellement et à distance, de façon à tirer le meilleur parti de leurs paramètres de fonctionnement. Ils offrent de nouvelles manières de veiller à l'utilisation efficace de l'énergie dans l'éclairage public. En conjonction avec d'autres éléments spécifiques, cette technologie facilite en effet une variation précise et sélective de l'intensité lumineuse des luminaires. Chaque luminaire reçoit les informations de configuration qui conviennent le mieux à sa fonction spécifique. Il est possible de configurer avec précision la quantité d'éclairage requise dans n'importe quelles circonstances en maîtrisant la qualité d'énergie consommée.

Principales fonctions de la télégestion

Les principales fonctions d'un système de télégestion sont :

- La gestion de l'allumage et de l'extinction de manière globale ;
- Les allumages et extinctions ponctuelles pour l'événementiel par exemple ;



- La télésurveillance : détection des défauts en temps réel ;
- La mesure du vieillissement des lampes ;
- Une réduction de la puissance consommée par les installations ;
- Une meilleure utilisation des sources lumineuses (moins de lampes = moins de déchets).

Objectifs de la télégestion

Les principaux objectifs d'un système de gestion intelligente de l'éclairage public sont :

- Accroître la qualité de service et améliorer la sécurité du public ;
- Améliorer la maintenance et l'économie des coûts qui y sont associés ;
- Promouvoir le développement durable et les économies d'énergie ;
- Améliorer l'efficacité énergétique dans l'éclairage public.

Dans notre cas, on fera une projection de l'économie d'énergie en supposant un scénario d'abaissement de 40% de **22h00 à 05h00**

	Consommation avant	Consommation après	Economie	Gain en DHs
LED	200 887,5	120 532,5	80 355	98 836,5
Télégestion avec LED	200 887,5	89 851,5	111 036	136 574,28

Tableau 2 : Consommation journalière avant et après la télégestion

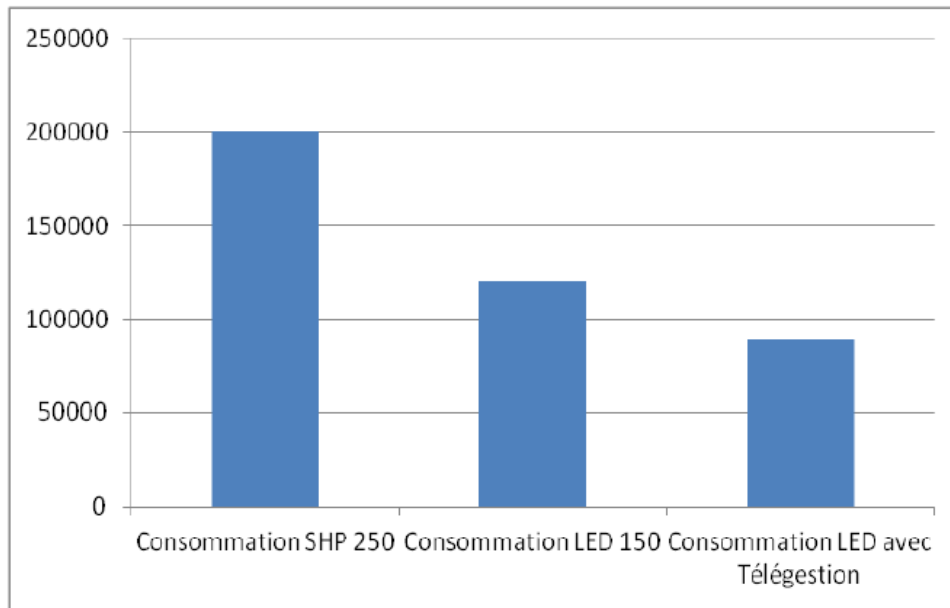


Figure 31 : Consommation journalière avant et après la télégestion

Système solaire intelligent (figure 30)

Introduction

Actuellement où le coût de l'énergie ne cesse d'augmenter, il est nécessaire de mettre en action tous les moyens d'économies d'énergie. L'éclairage public représente un gisement considérable d'économie d'énergie car sa consommation s'élève à au moins 30% de la consommation d'une commune. Ainsi, il est préférable de faire appel aux énergies renouvelables tel que l'énergie solaire afin d'alimenter ses voies publiques.

Nous proposons dans cette partie une étude détaillée d'une lampe solaire intelligente considérée comme une solution dans le futur proche pour l'économie d'énergie dans l'éclairage public. Ces lampes solaires sont déjà largement utilisées en Europe. Au Maroc, elles commencent à être déployer dans certaines régions

Etude et dimensionnement du système solaire proposé

Marche à suivre

Le dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome précis est un processus relativement complexe car il y a des nombreux paramètres à prendre en considération, tel que :

Le fonctionnement du système



Pour notre solution nous proposons le mode de fonctionnement suivant :

- Entre 7h et 19 h : stockage d'énergie, Le panneau solaire va produire de l'électricité pendant la journée et la stocker dans une batterie via un régulateur, l'électricité va ensuite servir à alimenter le luminaire.
- Entre 19h et 22h : fonctionnement à 100% d'énergie, l'horloge intégrée dans le régulateur déclenche l'éclairage et alimente le luminaire avec 100% d'énergie demandée.
- Entre 22h et 5h : fonctionnement économie d'énergie : on propose un mode de fonctionnement avec une consommation de 70% de l'énergie demandée.
- Entre 5h et 6h : fonctionnement à 100% d'énergie

Le besoin énergétique

La définition du besoin électrique est un travail préalable important impactant le dimensionnement du module photovoltaïque et du parc de batteries. Une sous-estimation du besoin électrique provoquera des défauts de fonctionnement (coupure électrique, vieillissement prématuré des batteries), alors que sa surévaluation aura pour effet d'augmenter considérablement le coût de l'installation.

L'Énergie journalière consommée E (KWh/j) peut être calculé à partir de l'équation ci-après :

$$E = P \cdot T$$

P : représente la puissance consommée par les équipements (en KW)

T : le temps d'utilisation par jour (h/j)

Avec une Lampe LED de 150W calculons la consommation d'énergie journalière E pendant la nuit :

$$E = 3 \times 150 + 70\% \times 7 \times 150 + 1 \times 150 = 1\ 335\ \text{Wh}$$



Figure 32 : système solaire intelligent



Conclusion

Au cours de notre stage que nous avons effectué à la RADEEF (Régie Autonome intercommunale de Distribution d'Eau et d'Electricité de la wilaya de Fès), il nous a été demandé de trouver des solutions contribuant à l'économie d'énergie dans le secteur éclairage public, car il est indispensable

Nous avons alors retenu des solutions collectives qui consistent à utiliser des LEDs, les régulateurs –réducteurs, le DIMMING, la télégestion et comme solution futur le système solaire intelligent. Nous signalons qu'avec ces solutions la RADEEF va réduire sa consommation énergétique pour l'éclairage public de près de 65%.

En guise de conclusion, ce stage nous a permis d'ouvrir une fenêtre sur le monde de travail, de mettre en application nos connaissances techniques et d'enrichir notre vocabulaire technique, sans oublier les nouvelles relations humaines que nous avons établis au sein de la régie.



Webographie & Bibliographie

- <http://www.radeef.ma/> consulté le 14/04/2018
- <http://www.eclairagepublic.eu/luminaires1.html> consulté le 18/04/2018
- <http://eclairagepublic.eu/fonctionnement.html> consulté le 18/04/2018
- <http://eclairagepublic.eu/supports-eclairage1.html> consulté le 18/04/2018
- https://fr.wikipedia.org/wiki/Lampe_%C3%A0_incandescence consulté le 15/05/2018
- <https://www.groupe-cahors.com/fr-france/tableau-basse-tension-urbain-reduit-tur.html> consulté le 23/04/2018
- DES DOCUMENTS DE LA RADEEF
- COURS DE ELECTROTECHNIQUES-Mr markhi
- https://www.leclubled.fr/smartblog/16_tableau-de-correspondance-des-ampoules





Logo de l'entreprise

**LICENCE SCIENCES ET TECHNIQUES
Génie Electrique**

RAPPORT DE FIN D'ETUDES

Intitulé :

**L'économie de l'énergie dans le
secteur éclairage public**

**Réalisé Par :
Zai Chaimae
Elkhomsni Imane**

Encadré par :

Pr El Amrani Najiba (FST FES)
Mr El Mokhtari Mohammed (La RADEEF)

Soutenu le 07 Juin 2018 devant le jury

Pr Najiba El Amrani (FST FES)
Pr Mhamed Lahbabi (FST FES)
Pr Mfadel Bouayad (FST FES)