



HAL
open science

Diagnostic des réseaux d'éclairage public

Guillaume Faure

► **To cite this version:**

Guillaume Faure. Diagnostic des réseaux d'éclairage public. Energie électrique. 2012. dumas-01252551

HAL Id: dumas-01252551

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01252551>

Submitted on 7 Jan 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET METIERS

CENTRE REGIONAL ASSOCIE DE RHONE-ALPES

MEMOIRE

présenté en vue d'obtenir

le DIPLOME D'INGENIEUR CNAM

SPECIALITE : ENERGETIQUE

OPTION : ELECTROTECHNIQUE

par

Guillaume FAURE

Diagnostic des réseaux d'éclairage public

Soutenu le 21 juin 2012

JURY

PRESIDENT : Monsieur Jean-Luc THOMAS *Directeur de la chaire Electrotechnique*

MEMBRES : Monsieur Pascal TIXADOR *Responsable de la filière à Grenoble*
Madame Nathalie GAUDIN *Directrice des études à Grenoble*
Monsieur Michel CELETTE *Enseignant au CNAM Grenoble*
Monsieur Pierre COUDOUR *Directeur administratif ING'EUROP*

Remerciements

Je tiens à remercier les membres du jury pour avoir accepté de consacrer du temps à la lecture de ce document ainsi que d'assister à la présentation qui retrace mon parcours durant les mois de stage qui viennent de s'écouler.

Je remercie également le personnel du CNAM de Grenoble qui m'a permis de suivre la formation pour devenir ingénieur. Une formation qui m'a permis d'acquérir des compétences transversales, notamment en matière de management, qui me seront utiles dans mon futur parcours professionnel.

J'exprime toute ma gratitude envers l'entreprise ING'EUROP, au sein de laquelle j'ai pu réaliser ce stage et qui a mis à ma disposition les moyens nécessaires à sa bonne réalisation.

Enfin, je remercie tout particulièrement ma femme qui a su être là dans les moments d'hésitation et qui m'a apporté un soutien lorsque j'avais des doutes sur le chemin à suivre.

A tous, merci.

Liste des abréviations

A : Ampère

AD : Accompagnement Disjoncteur (pour les fusibles)

ADEME : Agence De l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie

AFE : Association Française de l'Eclairage

AM : Accompagnement Moteur (pour les fusibles)

BT : Basse Tension

DDA : Dispositif de Déconnexion Automatique

DDR : Dispositif Différentiel Résiduel

EP : Eclairage Public

HPC : Haut Pouvoir de Coupure (pour les fusibles)

HT : Haute Tension

IK : Indice de protection Mécanique

IM : Iodures Métalliques

IP : Indice de Protection

K : Kelvin

LED : Light Emitting Diode (en français DEL pour Diode électro-luminescente)

NF : Norme Française

PEN : Protection Earth Neutral (Conducteur de neutre et de protection)

SHP : Sodium Haute Pression

TPC : Tube de Protection de Câbles

UTE : Union Technique de l'Electricité

V: Volt

VA : Volt-Ampère

W : Watt

Glossaire

FOYER LUMINEUX : il s'agit de l'ensemble composé du luminaire, de son appareillage et de la lampe.

LED : composant électronique capable d'émettre de la lumière lorsqu'il est parcouru par un courant électrique.

NF C 15-100 : norme française régissant les installations basse tension.

NF C 17-200 : norme française régissant les installations d'éclairage extérieure.

PULSADIS : système qui repose de l'injection sur le réseau de signaux à des fréquences données afin de déclencher notamment les changements de tarifs.

SOURCE : en matière d'éclairage, il s'agit de la lampe d'où provient la lumière.

UTE : organisme français de normalisation électrotechnique.

Table des matières

Partie 1 Technologies actuelles	3
1.1 Armoire d'alimentation	4
1.1.1 Installation de puissance au plus égale à 36 kVA	4
1.1.2 Installation de puissance comprise entre 36 kVA et 250 kVA	5
1.1.3 Alimentation en HTA – distribution en BTA	6
1.1.4 Alimentation en HTA – distribution en HTA-EP (Eclairage Public)	7
1.1.5 Comparaison entre une installation en BTA ou en HTA-EP	7
1.2 Réseau de distribution	7
1.2.1 Schémas des liaisons à la terre	7
1.2.1.1 Cas du schéma TN-C	9
1.2.1.2 Cas du schéma TN-S	11
1.2.1.3 Cas du schéma TT	12
1.2.2 Réseaux aériens	16
1.2.3 Réseaux souterrains	17
1.3 Sources d'éclairage	17
1.3.1 Lampes à incandescence	17
1.3.2 Lampes à décharge	18
1.3.3 Les diodes électroluminescentes (LED Light Emetting Diode)	18
1.3.3.1 Pourquoi les diodes électroluminescentes ont-elles un avenir en éclairage public ?	19
1.3.3.2 Retour d'expérience	21
1.3.4 Comparatif des différentes technologies	23
1.4 Luminaires	24
1 ^{er} chiffre : protection contre les corps solides	24
2 ^{ème} chiffre : protection contre les liquides	24
1.4.1 Application	26
1.5 Appareillage	28
1.5.1 Ballasts	29
1.5.2 Amorceurs et starters	29
1.5.3 Condensateurs	29
1.6 Supports	30
1.6.1 Candélabres	30
1.6.2 Consoles	32
Partie 2 Méthodologie	33
2.1 Inventaire technique	34
2.1.1 Les coffrets	34
2.1.2 Les foyers	36
2.2 Inventaire financier	38
2.3 Présentation du résultat	42
Partie 3 Diagnostic technique du réseau	43
3.1 Préambule	44
3.2 Les armoires	44
3.2.1 Sectionnement	45
3.2.2 Commande	47
3.2.2.1 Contacteur	47
3.2.2.2 Interrupteur crépusculaire	48
3.2.2.3 Interrupteur horaire	50
3.2.2.4 Pulsadis	51
3.2.3 Protections	51
3.2.3.1 Fusible	51

3.2.3.2	Disjoncteur	53
3.2.3.3	Système différentiel	55
3.2.4	Facteur de puissance	56
3.2.5	Application	58
3.2.5.1	Sectionnement	58
3.2.5.2	Protection générale	58
3.2.5.3	Commande	60
3.2.5.4	Protection contre les surintensités	61
3.3	Les foyers lumineux	63
3.3.1	La classification des matériels	63
3.3.1.1	Classe I	63
3.3.1.2	Classe II	65
3.3.2	Protection contre les contacts directs	67
3.3.2.1	Dispositif de déconnexion automatique (DDA)	67
3.3.3	Protection contre les contacts indirects	68
3.4	Les réseaux d'alimentation	69
3.4.1	Classification des installations d'éclairage public	69
3.4.2	Masses et éléments conducteurs simultanément accessibles	69
3.4.3	Détermination de la section des conducteurs et choix des dispositifs de protection	71
3.4.3.1	Le courant d'emploi IB	71
3.4.3.2	Le courant d'allumage IA	71
3.4.3.3	La protection contre les surintensités	72
3.4.3.4	La vérification des chutes de tension	72
3.4.3.5	La protection contre les courts-circuits	72
3.4.3.6	Principe de calcul	73
3.4.4	Etudes de cas	75
3.4.4.1	Exemple 1 :	75
3.4.4.2	Exemple 2 :	77
3.4.5	Mise à la terre et équipement interne des candélabres	81
3.4.6	Canalisations souterraines	82
3.4.7	Canalisations aériennes sur poteaux et façades	82
3.4.8	Vérifications des installations à la mise en service	83
3.4.8.1	Résistance d'isolement	83
3.4.8.2	Résistance des prises de terre	83
3.4.8.3	Continuité des conducteurs de protection	83
3.5	Etude d'une extension de réseau	84
3.5.1	Choix de la technologie	84
3.5.1.1	Sodium Haute Pression (SHP)	84
3.5.1.2	CosmoPolis	84
3.5.1.3	Diodes électroluminescentes (LED)	85
3.5.2	Caractéristique du projet	86
3.5.2.1	Coût du matériel	86
3.5.2.2	Consommation	87
3.5.2.3	Remplacement des lampes	88
3.5.3	Bi-puissance	89
3.5.4	Coût global	90

Introduction

Si l'on occulte les lampes à huile de l'époque médiévale, l'éclairage public n'a connu son premier essor industriel qu'à la seconde moitié du XIX^{ème} siècle, sous l'impulsion du préfet Haussmann. Pressé de rattraper un retard de près de vingt ans sur Londres, Paris a installé plus de 50 000 réverbères au gaz, mis en service chaque soir par près de 1 000 allumeurs.

L'électricité, apparue dès 1884, place de la Concorde à Paris, a mis près d'un siècle à supplanter le gaz comme source d'énergie. La première grande étape de développement des réseaux souterrains a été la période 1920-1939. Pour ne s'en tenir qu'à la région parisienne, la capitale développe alors une alimentation individuelle de chaque foyer d'éclairage public par le réseau de distribution basse tension. Elle innove en créant pour alimenter les grandes voies du bois de Boulogne le premier réseau haute tension. Les communes de la petite couronne parisienne la suivent dans cette technique nouvelle. Ce fut une grande époque de construction des réseaux, dont certains des éléments subsistent encore. L'année 1939 en marque le terme avec la mise en état de veille de l'éclairage consécutive à la guerre.

La révolution technique qui a vu en vingt ans, de 1950 à 1970, le remplacement quasi-total des sources à incandescence par les ballons fluorescents n'a guère eu d'incidence sur les réseaux car les puissances installées étaient presque toujours plus faibles. Par contre, dès la fin des années soixante, le développement de l'urbanisation et la création des villes nouvelles ont entraîné la création de nouveaux réseaux. De nouveaux matériels sont apparus, tant dans le domaine des câbles que dans celui des accessoires (boîtes, transformateurs). Ces installations sont maintenant plus que trentenaires et de sérieux problèmes de maintenance se posent. La moitié des réseaux enterrés d'éclairage public ont plus de trente ans, leur durée de vie normale. Les travaux de terrassement gênent les administrés et coûtent cher, sans aucune amélioration clairement visible. Pourtant, les défauts sur les réseaux d'éclairage public sont responsables des trois quarts des interruptions de service en éclairage public, la lampe et ses accessoires ne représentant que le quart restant.

Le renouvellement des réseaux d'éclairage public est déterminé par un souci de maintien en état du patrimoine, conduisant à des programmes cadencés selon les méthodes de maintenance industrielle. Tout d'abord, les câbles ne vieillissent pas de façon uniforme comme en laboratoire. Selon leur localisation, ils peuvent être plus ou moins agressés :

- Physiquement par les mouvements de terrain consécutifs à des travaux au voisinage ;
- Voire chimiquement par la nature du sol ;
- Ou la présence saisonnière de nappes phréatiques.

Ensuite, ce n'est qu'exceptionnellement, suite à des défauts multiples et fréquents, que le choix de la rue à moderniser sera déterminé par l'état du câble. Bien d'autres raisons prévalent le plus souvent sur celle-là. Par exemple, l'intégration dans une opération de voirie, le souci de renforcer l'éclairage dans une zone sensible ou de prestige, une opération d'enfouissement de réseaux par ailleurs subventionnée.

A l'heure où les Etats s'engagent à maîtriser l'effet de serre, alors que les budgets publics sont étudiés à la loupe, il n'est plus possible d'ignorer les lampes et luminaires avec alimentations électroniques, ainsi que les systèmes de commande et de gestion qui permettent de réduire l'impact de l'éclairage sur la facture et sur l'environnement. Sans compter que choisir une lumière plus économique, c'est aussi l'occasion d'améliorer le confort visuel et le bien-être des utilisateurs. Et si chacun connaît maintenant les lampes dites « à économies d'énergie » ou fluo-compactes destinées aux usages domestiques, il faut savoir qu'il existe également et spécialement conçues pour des utilisations professionnelles, des sources de lumière encore plus avantageuses.

Plus les lampes installées à l'origine sont énergivores et les durées d'utilisation importantes, plus le résultat du calcul de temps de retour sur investissement sera favorable aux systèmes d'éclairage intégrant l'électronique et des sources de nouvelles générations (LED). Pour bénéficier d'un éclairage performant, il est indispensable de prendre en compte deux paramètres :

l'amélioration de la qualité de la lumière et le coût global de l'installation. Un mauvais éclairage n'est pas seulement une installation qui éclaire mal, c'est aussi une installation qui coûte cher. L'éclairage représente 50 % des dépenses énergétiques relatives à l'électricité pour une commune. Si l'on prend toutes les sources d'énergie confondues (électricité, carburants, gaz, ...), la part de l'éclairage public se situe aux alentours des 18 %. Des économies dans ce domaine permettent donc d'alléger le budget des communes à un moment où les organismes publics doivent réduire leurs dépenses. La société ING'EUROP a décidé de se lancer dans le domaine des économies d'énergies et financières en matière d'éclairage.

ING'EUROP est une entreprise d'ingénierie qui emploie plus de 700 personnes. Elle désire faire du conseil aux collectivités publiques (mairie, communauté de communes, syndicats) mais aussi s'implanter sur les grands sites industriels en tant qu'expert dans le domaine de l'éclairage. Bien que possédant des compétences en installation électrique, la société n'a que rarement participé à des missions contenant un volet éclairage. Elle a donc cherché quelqu'un avec des références dans ce domaine pour pouvoir démarrer cette activité.

Pour réussir à se faire connaître dans le milieu, il faut se créer de solides références. Dans un premier temps, il est nécessaire de faire des recherches sur l'état de l'art en matière d'éclairage afin de délimiter le périmètre de notre action. Il faut se former au matériel utilisé avec les avantages et les inconvénients de chaque technologie. La première partie de ce mémoire s'attachera donc à faire un état des lieux des technologies actuelles afin de se créer une bibliothèque de documents relatifs à l'éclairage et d'acquérir les compétences visées par les normes NF C15-100, NF C17-200 et EN 13-201.

Les portes d'entrée envisagée étant les collectivités et les grands industriels, nos missions seront attribuées par un marché public. Que cela soit pour de la maîtrise d'œuvre ou pour de l'assistance à maîtrise d'ouvrage, une méthodologie est nécessaire afin de démontrer au client que nous possédons toutes les qualités requises pour effectuer de manière efficiente les tâches qui nous seront confiées. Dans un premier temps, la société commencera par l'assistance à maîtrise d'ouvrage et plus particulièrement dans le conseil pour rénover les réseaux ou diagnostics éclairage public. En effet, les missions de maîtrise d'œuvre sont plus difficiles à obtenir car elles nécessitent un réseau professionnel avec les entreprises de travaux pour pouvoir obtenir des contrats.

La troisième partie de ce mémoire sera un cas concret d'application de toutes les connaissances acquises lors de ce stage et leur mise en pratique pour la réalisation d'un premier diagnostic technique d'un réseau d'éclairage public. Cette partie fera également appel au domaine de la distribution publique et les réseaux de distribution d'électricité en général.

Partie 1
Technologies actuelles

Avant de se lancer dans le diagnostic technique et énergétique d'une installation existante d'éclairage, il faut se renseigner sur ce qui se fait techniquement en la matière. A savoir les différentes technologies disponibles avec leurs avantages et inconvénients, les tendances actuelles en matière d'installation et les futures solutions disponibles.

Une installation d'éclairage est composée de plusieurs organes :

- une armoire ou un coffret d'alimentation ;
- un réseau de distribution ;
- une source d'éclairage (que l'on appelle aussi lampe) ;
- un luminaire contenant l'appareillage ;
- un support (candélabre, poteau béton, ...).

La première partie de mon étude va s'attacher à définir suivant les différents organes, les technologies disponibles.

1.1 Armoire d'alimentation

Le mode d'alimentation dépend de plusieurs facteurs comme la définition technique de l'installation (nature, puissance, répartition des points lumineux), des contraintes d'insertion des différents organes sur le site, des possibilités de livraison d'énergie électrique sur le secteur, des analyses techniques et économiques. La détermination des caractéristiques électriques des matériels doit tenir compte de la puissance des lampes et de leurs appareillages, du facteur de puissance, de l'appel de courant lors de la mise sous tension, des chutes de tension, de la protection contre les courts-circuits, des réserves de puissance pour faire face à des évolutions éventuelles.

Suivant la puissance appelée, les normes qui s'appliquent diffèrent. Les normes dont on doit tenir compte en éclairage sont suivant les cas :

- NF C 13-100 : Installations à haute tension – Postes de livraison ;
- NF C 13-200 : Installations électriques à haute tension – Règles ;
- NF C 14-100 : Installations de branchement à basse tension ;
- NF C 15-100 : Installations électriques à basse tension – Règles ;
- NF C 17-200 : Installations d'éclairage public – Règles.

Les deux premières sont des normes concernant les installations haute tension (champ d'application : poste de livraison, industriels, distribution en haute tension). Les deux suivantes concernent les installations basse tension (champ d'application : distribution basse tension, électricité domestique). La dernière est une norme essentiellement dédiée aux installations d'éclairage public, elle est un complément à la norme NF C 15-100 avec les particularités dues à l'éclairage.

Ces normes et leurs domaines d'application impliquent que l'on peut trouver quatre principales solutions d'alimentation en éclairage :

- installation de puissance au plus égale à 36 kVA ;
- installation de puissance comprise entre 36 et 250 kVA ;
- alimentation en HTA – distribution en BTA
- alimentation et distribution en HTA.

1.1.1 Installation de puissance au plus égale à 36 kVA

Ce réseau de distribution d'éclairage public est réalisé en souterrain ou en aérien, il est de faible ou moyenne puissance. Ce type de distribution est la plus commune en France, puisqu'elle représente environ la moitié des installations existantes. Les fusibles HPC (Haut Pouvoir de Coupure) de branchement sont de type aD (Accompagnement Disjoncteur) de calibre approprié. Le comptage est un tarif bleu éclairage public.

Dans le cas d'un branchement à puissance limitée, compte tenu de la présence de fusible aD, un pouvoir de coupure de 3 kA est suffisant pour les dispositifs de protection contre les courts-

circuits en aval du point de livraison (norme NF C 14-100). Le disjoncteur D est un disjoncteur de branchement conforme à la norme NF C 62-411 de calibre approprié et différentiel de sensibilité 500 mA sélectif (« S »). Il peut être installé un disjoncteur non différentiel dans les cas suivants :

- en classe I si les départs divisionnaires sont équipés de disjoncteurs différentiels ;
- si l'installation est en aérien et que les luminaires sont alimentés par des conducteurs isolés pré-assemblés électriquement séparés et/ou physiquement séparés.

Le fusible HPC doit être accessible depuis le domaine public sans franchissement d'accès contrôlé. Le point O situé aux bornes aval du disjoncteur D est le point d'origine de l'installation.

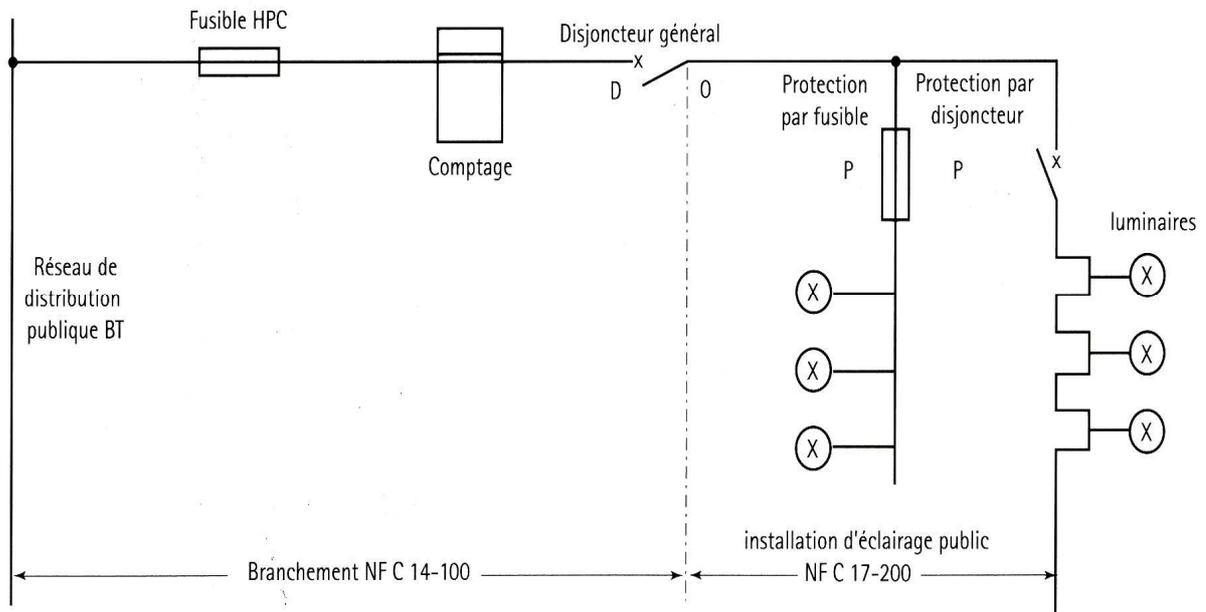


Figure 1 : schéma d'une alimentation de puissance inférieure ou égale à 36 kVA (AFE, 2002)

1.1.2 Installation de puissance comprise entre 36 kVA et 250 kVA

Ce réseau de distribution d'éclairage public est réalisé en souterrain. Il est mis en œuvre dans les zones très denses en points lumineux d'éclairage public et d'illuminations (centre-ville, site touristique, ...). Les fusibles HPC de branchement sont de type aD de calibre approprié. Le comptage est un tarif jaune.

En cas d'une grande extension du réseau, les sections et les longueurs des circuits sont calculées selon les règles du guide UTE C 17-205 qui tient compte des chutes de tension et des courants de court-circuit minimaux.

Le pouvoir de coupure doit être adapté au courant de court-circuit présumé au point d'installation des armoires d'éclairage public. Les paramètres permettant de calculer le courant de court-circuit sont obtenus auprès du distributeur d'électricité. La protection différentielle des départs divisionnaires doit être adaptée aux règles de la norme NF C 17-200.

Les mesures de protection contre les surintensités et les contacts indirects des départs divisionnaires sont assurées :

- soit par des disjoncteurs non différentiels dont le courant de réglage est fonction de l'impédance de la boucle de défaut ;
- soit par des disjoncteurs différentiels pour les circuits de grandes longueurs.

Le point S est un sectionneur, le point O, aux bornes aval de S est le point d'origine de l'installation. Le disjoncteur D est un disjoncteur de branchement comme pour le tarif bleu.

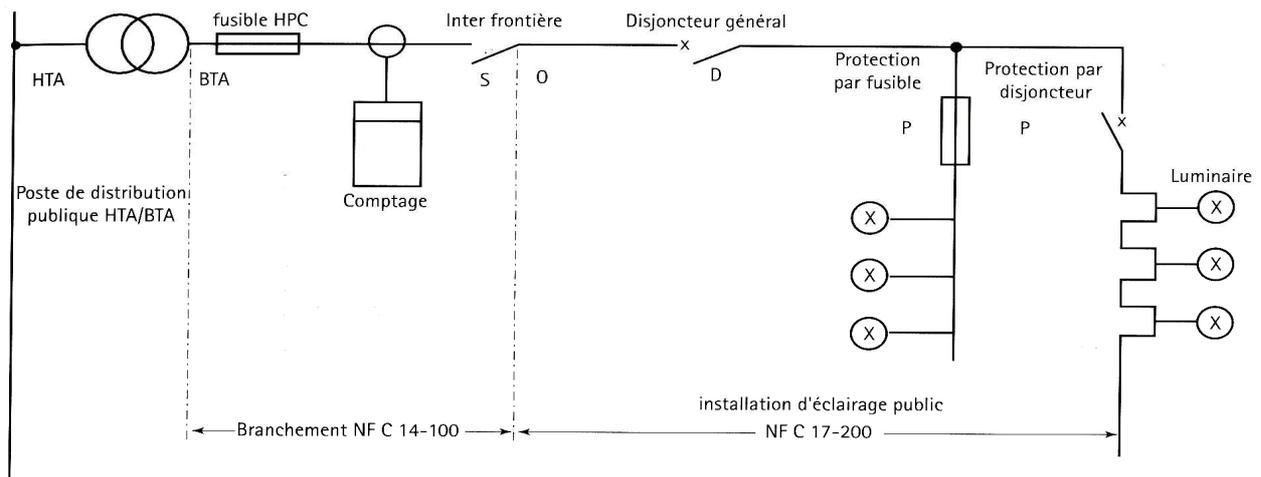


Figure 2 : schéma d'une alimentation de puissance comprise entre 36 kVA et 250 kVA (AFE, 2002)

Cependant, les longueurs des circuits distribués dépendent des conditions électriques d'emploi des câbles basse tension, en particulier par rapport aux chutes de tension en bout de réseau.

1.1.3 Alimentation en HTA – distribution en BTA

L'origine de l'alimentation est le point de raccordement au réseau HTA de distribution publique en 20 kV. Ce réseau de distribution éclairage public est généralement réalisé en souterrain. Il permet depuis un seul poste de transformation d'alimenter et de desservir les installations des bâtiments administratifs, sportifs, d'éclairage public et d'illuminations. Les circuits sont réalisés en basse tension depuis le poste HTA/BTA. La puissance contractuelle est définie en accord avec le distributeur d'énergie. Le comptage est un tarif vert basse tension.

Les mesures de protection contre les surintensités et les contacts indirects sont les mêmes que celles définies pour le tarif jaune. Le point R est l'origine du raccordement au réseau haute tension de distribution publique. Le point A est un sectionneur haute tension. Le disjoncteur D1 assure la protection haute tension. Le point O est l'origine de l'installation. Le disjoncteur D2 est un disjoncteur de branchement.

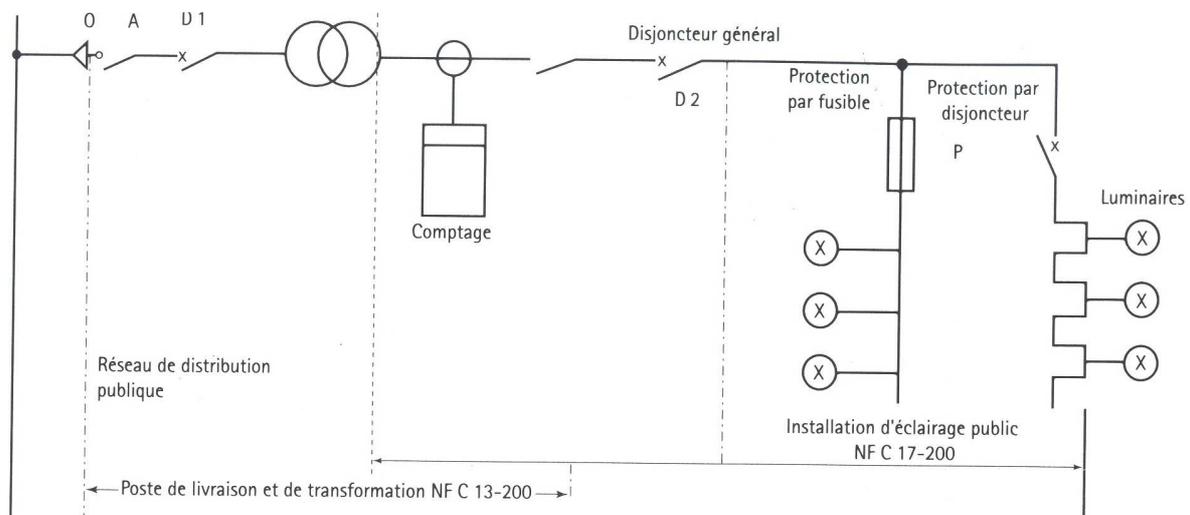


Figure 3 : schéma d'une alimentation en HTA et d'une distribution en BTA (AFE, 2002)

1.1.4 Alimentation en HTA – distribution en HTA-EP (Eclairage Public)

Ce type de réseau est adapté aux installations importantes et lorsqu'elles sont susceptibles d'être étendues en puissance et en longueur. Le comptage et les conditions d'exploitation sont celles de la haute tension.

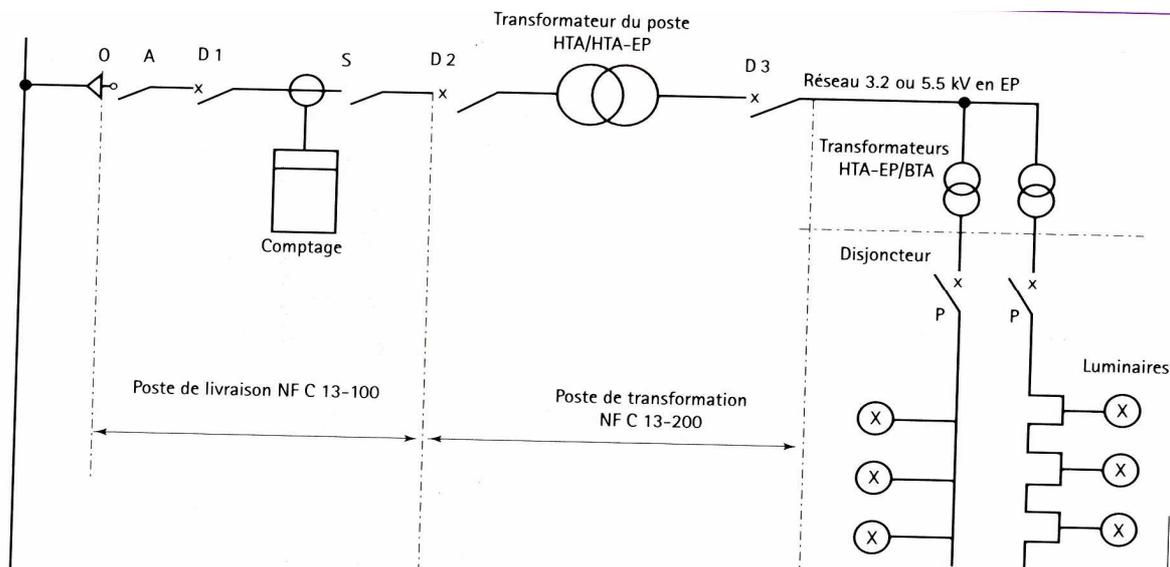


Figure 4 : schéma d'une alimentation en HTA et d'une distribution en HTA-EP (AFE, 2002)

1.1.5 Comparaison entre une installation en BTA ou en HTA-EP

Compte tenu de la simplicité de mise en œuvre, les installations d'éclairage public, en zone urbaine, résidentielle ou rurale, sont généralement réalisées en BTA. Ce type de distribution permet d'alimenter directement les appareillages et les lampes couramment utilisés en éclairage public.

Dans le cas de projets d'une certaine importance, lorsque les installations comportent un grand nombre de foyers distribués sur de grandes distances, le choix entre un réseau en HTA ou en BTA est déterminé par une étude technique et économique comparative. Les principaux avantages de la distribution en haute tension sont de disposer d'une puissance importante, d'avoir des possibilités d'extension (en longueur et en puissance car les chutes de tension sont négligeables). En revanche, une installation en haute tension fait appel à des techniques d'installation et de maintenance propre à la haute tension. Pour cette raison, la HTA-EP est principalement utilisée pour les grands échangeurs d'autoroutes, les voies rapides urbaines ou les parkings de grande superficie.

1.2 Réseau de distribution

1.2.1 Schémas des liaisons à la terre

Les types de schémas des liaisons à la terre utilisés en éclairage public (installations à basse tension) sont de deux genres. Le schéma TT est le schéma de la distribution publique à basse tension ; par conséquent, il est généralement utilisé lorsque les installations sont directement issues d'un branchement. Dans ce schéma, le point neutre de la source de courant est mis à la terre et les masses de l'installation (candélabres, mobiliers urbains) sont reliées à une ou des prises de terre différentes de celle du neutre. Dans ce cas, le courant de défaut est limité par les résistances des

prises de terre des masses de l'installation et du neutre, ce qui nécessite de prévoir des dispositifs de protection complémentaire ou des dispositions évitant l'apparition d'un courant de défaut.

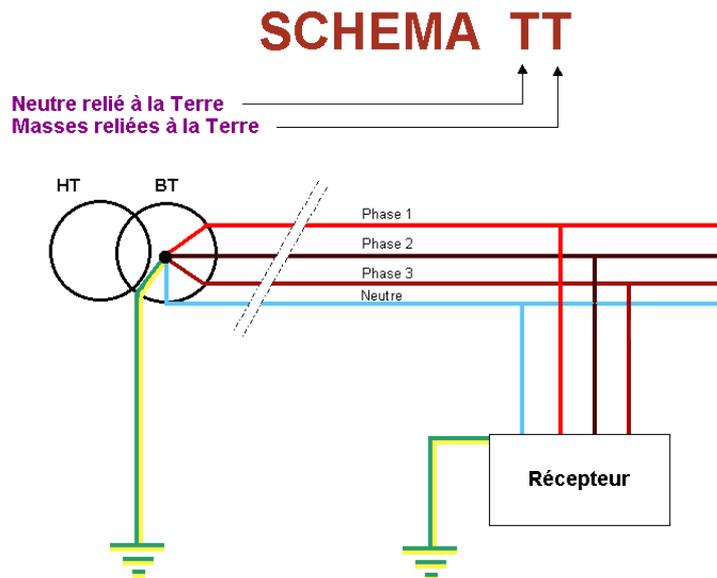


Figure 5 : schéma de liaisons à la terre TT (martin.michel47.free.fr)

Le schéma TN est celui dans lequel le point neutre de la source est mis à la terre et les masses des appareils sont reliées au neutre. On distingue le schéma TN-C dans lequel les fonctions de conducteur de neutre et de conducteur de protection sont combinées en un seul conducteur que l'on appelle PEN ; le schéma TN-S dans lequel un conducteur de protection distinct de celui du neutre est utilisé. Cette solution permet la coupure du neutre qui entraîne la mise hors tension par sectionnement de tous les conducteurs actifs. Dans le schéma TN, un courant de défaut dans un appareil entre un conducteur de phase et la masse devient un courant de court-circuit phase-neutre et est normalement éliminé par les dispositifs de protection contre les surintensités prévus dans l'installation. Ce schéma implique cependant la maîtrise du neutre au niveau de la sortie du transformateur.

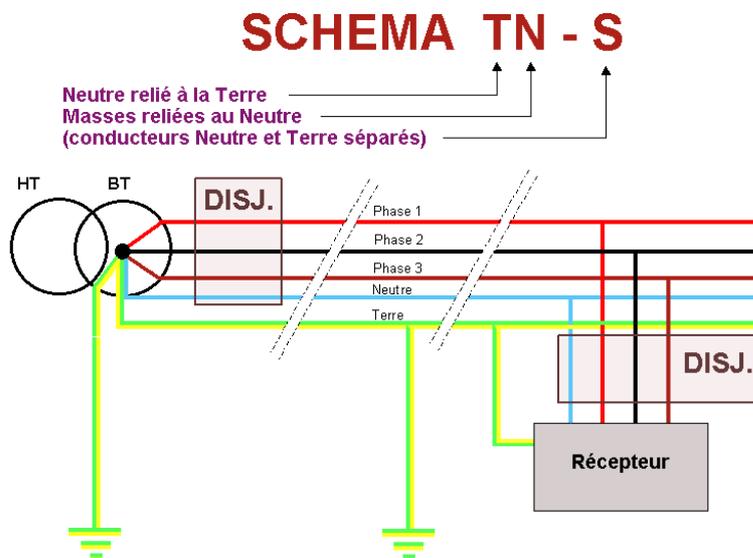


Figure 6 : schéma de liaisons à la terre TN (martin.michel47.free.fr)

L'installation de mise à la terre assure à la fois la protection des personnes contre les chocs électriques et la protection des équipements contre les surtensions. Le réseau des conducteurs d'équipotentialité et de mise à la terre doit présenter une faible impédance pour dériver les courants de défauts. La distribution du conducteur de mise à la terre par interconnexion est illustrée dans l'exemple ci-dessous pour deux types d'équipement, l'un relatif à l'utilisation d'appareil de classe I, l'autre relatif à l'utilisation de matériels de classe II ou d'équipements équivalents à la classe II.

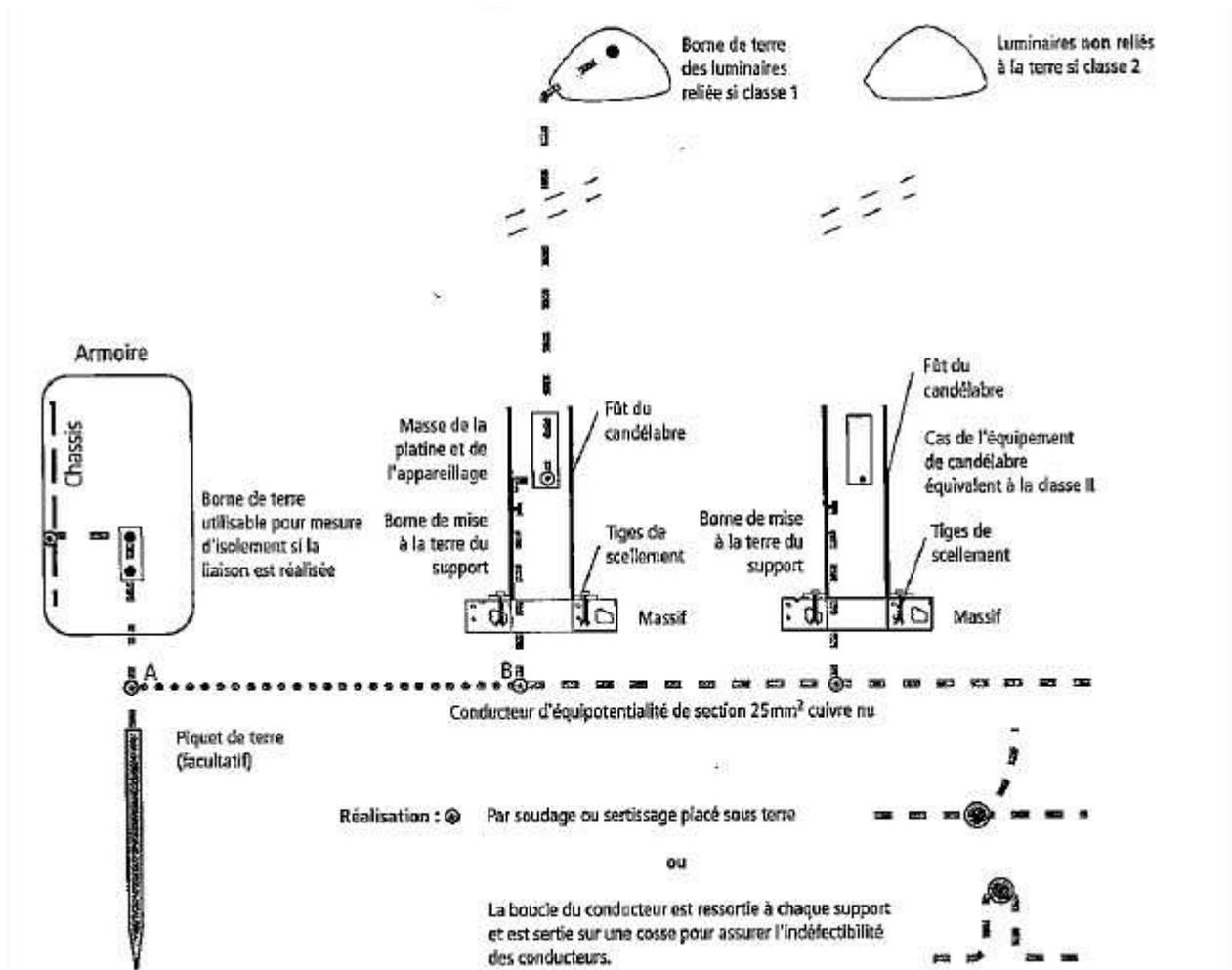


Figure 7 : mise à la terre par un conducteur d'équipotentialité (AFE, 2002)

Le conducteur est enfoui en pleine terre pour obtenir la meilleure conductivité possible, même en sous-sol hétérogène. La liaison AB est facultative en schéma TT mais obligatoire en schéma TN.

La valeur de la résistance de prise de terre est généralement inférieure à 5 ohms même si le terrain est constitué de matériaux hétérogènes, par exemple les remblais.

Cette solution permet d'obtenir la valeur la plus faible de résistance de mise à la terre, elle présente par conséquent l'avantage de permettre le meilleur écoulement d'un courant de foudre bien que les phénomènes aléatoires ne soient pas parfaitement maîtrisables.

1.2.1.1 Cas du schéma TN-C

Ce schéma appliqué à la basse tension en éclairage public présente deux inconvénients :

- il ne permet pas le sectionnement du neutre ;
- le conducteur PEN ne doit jamais être coupé (dans ce cas il y a risque de montée des masses en potentiel).

De ce fait, il n'est pas recommandé en éclairage public. Par ailleurs, il ne présente pas un réel intérêt économique car les puissances installées relativement peu importantes n'obligent pas à l'emploi de conducteurs de fortes sections. Cependant, certaines installations ayant quatre conducteurs sont rénovées en appliquant le schéma TN-C avec trois conducteurs de phase et un conducteur PEN.

1.2.1.1.1 Boucle de défaut en schéma TN-C

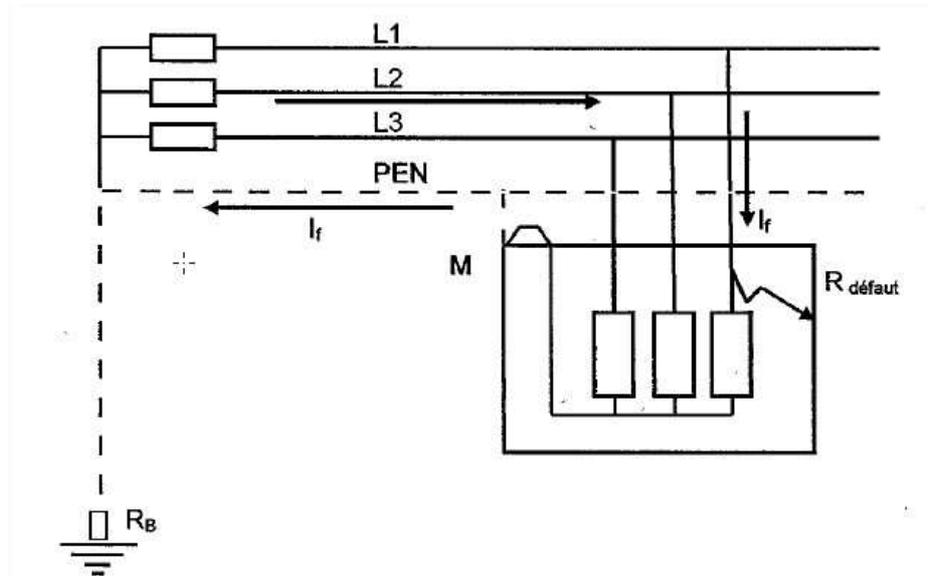


Figure 8 : boucle de défaut (FORMAPELEC, 2007)

Lors d'un défaut d'isolement entre une phase et la masse, le courant de défaut retourne au point neutre de la source par le conducteur de protection PE. Le courant de défaut est un courant de court-circuit phase / neutre :

$$I_f = U_0 / Z$$

Équation 1 : courant de défaut

Z : impédance de la boucle de défaut

La coupure automatique sera réalisée par les dispositifs de protection contre les surintensités. Il est donc nécessaire de vérifier que le temps de coupure du dispositif est compatible avec les temps de coupure indiqués dans la norme NF C 15-100. Pour les circuits terminaux, les temps de coupure sont définis à partir des études sur les effets du courant électrique sur le corps humain :

Temps de coupure	50 v < U ₀ ≤ 120 v		120 v < U ₀ ≤ 230 v		230 v < U ₀ ≤ 400 v		U ₀ > 400 v	
	alternatif	continu	alternatif	continu	alternatif	continu	alternatif	continu
Schéma TN ou IT	0,8 s	5 s	0,4 s	5 s	0,2 s	0,4 s	0,1 s	0,1 s
Schéma TT	0,3 s	5 s	0,2 s	0,4 s	0,07 s	0,2 s	0,04 s	0,1 s

Tableau 1 : temps de coupure suivant la tension de contact et le schéma des liaisons à la terre

1.2.1.2 Cas du schéma TN-S

Le choix d'un schéma TN-S présente l'avantage d'autoriser l'absence de dispositifs différentiels à des niveaux sensibles. Il faut toutefois respecter certaines conditions :

- un examen préalable avec le distributeur d'énergie si l'alimentation est issue du réseau de distribution publique (information sur la possibilité technique) ;
- la détermination des calibres de protection à partir du calcul des courants de court-circuit et des conditions de protection contre les contacts indirects.

Dans le schéma TN, afin que le courant de défaut, qui est un courant de court-circuit entre phase et neutre, assure le fonctionnement du dispositif de protection dans le temps prescrit (0,4 secondes en 230 volts), l'impédance Z_d de la boucle de défaut doit être au plus égale à :

$$Z_d \leq 230 / I_d$$

Équation 2 : impédance maximale de la boucle de défaut

I_d étant le courant assurant le fonctionnement instantané du dispositif de protection si celui-ci est un disjoncteur, le courant assurant la fusion en 0,4 secondes si le dispositif est un fusible. En pratique, cette condition est vérifiée si la longueur totale L de la canalisation entre l'origine de l'installation et le candélabre le plus éloigné est au plus égale à :

$$L \leq 0,8 U_0 S / 2\rho I_d$$

Équation 3 : longueur maximale de canalisation

Soit en 230 volts, $L \leq 4000 S / I_d$

La protection en schéma TN-S par des dispositifs contre les surintensités doit correspondre aux critères suivants :

- les dispositifs de protection sont soit des fusibles gG, soit des petits disjoncteurs divisionnaires de type B ;
- toutes les dispositions doivent être prises pour assurer la continuité du conducteur de protection ;
- lorsque l'installation intérieure du candélabre est de classe I, il est obligatoire de connecter le conducteur de protection de l'équipement électrique du candélabre à la borne de terre du candélabre ;
- lorsque l'installation intérieure du candélabre est de classe II, la borne de terre du candélabre ne doit pas être intentionnellement isolée de la terre comme en schéma TT. Les conditions de protection sont celles du schéma TN-S en amont et jusqu'aux bornes du coffret. En aval, l'ensemble doit satisfaire aux prescriptions de la classe II. Les câbles d'alimentations (R2V ou RVFV) doivent être disposés de façon à empêcher tout contact des conducteurs actifs et du revêtement métallique des câbles RVFV avec le candélabre.

1.2.1.2.1 Schéma TN : à partir d'une alimentation dite « borne poste »

Dans ce mode de protection, il faut assurer impérativement la continuité de l'interconnexion du connecteur d'équipotentialité.

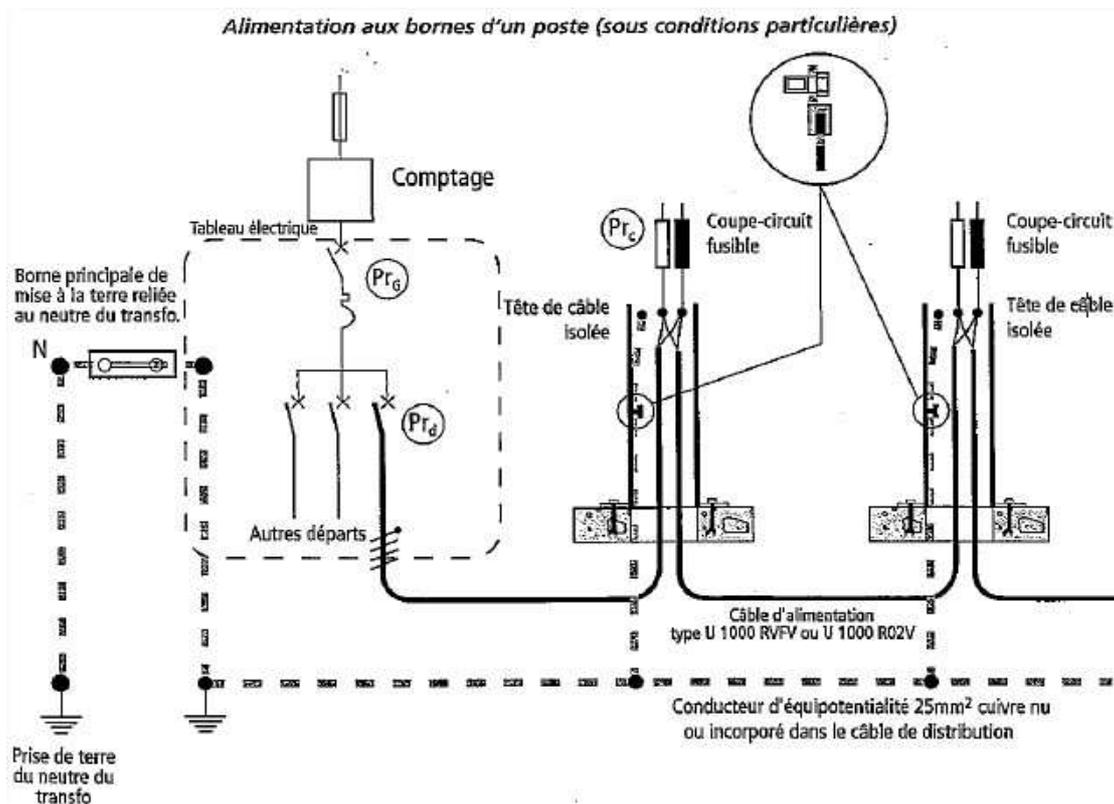


Figure 9 : schéma TN-S à partir d'une alimentation dite « borne poste » (AFE, 2002)

1.2.1.3 Cas du schéma TT

L'alimentation considérée lorsqu'elle est issue du réseau de distribution publique ou privée en schéma TT doit être protégée par un dispositif dont le courant différentiel résiduel assigné est approprié à la résistance R de la prise de terre à laquelle sont reliées les masses des appareils de classe I de telle façon que :

$$R \leq 50 / I_{\Delta n}$$

Équation 4 : résistance de terre

La tension de 50 volts est la tension limite conventionnelle de contact qu'il est admis de pouvoir maintenir indéfiniment dans les conditions d'influences externes. $I_{\Delta n}$ est le courant différentiel résiduel assigné du dispositif (ne pas confondre avec son courant assigné, qui doit être au moins égal au courant d'emploi du circuit). En outre, la sélectivité doit être assurée par rapport aux dispositifs éventuels protégeant individuellement chaque équipement. Le courant résiduel différentiel assigné du dispositif est au plus égal aux valeurs ci-après en fonction de la résistance de la prise de terre des masses.

Courant différentiel résiduel maximal assigné du dispositif $I_{\Delta n}$ (en ampères)	Valeur maximale de la résistance de la prise de terre (en ohms)
3	17
1	50
0,5	100
0,3	167
0,1	500
0,03	> 500

Tableau 2 : choix du dispositif différentiel résiduel (DDR) en fonction de la valeur de la prise de terre

Les valeurs de prise de terre sont généralement très inférieures (< 50 ohms) lorsque l'interconnexion des masses est réalisée. Lorsque les masses ne sont pas interconnectées ou lorsque les mises à la terre sont incertaines, l'emploi de dispositifs différentiels est néanmoins préconisé car il permet de se prémunir contre les aléas et les risques occasionnels inhérents aux réseaux souterrains. Cette possibilité concerne les installations existantes, pour les installations neuves ou à l'occasion des rénovations comprenant celle des canalisations souterraines, les interconnexions doivent être réalisées.

Dans une ville, la conception d'une installation doit être telle qu'un défaut localisé ne doit pas provoquer l'interruption de l'éclairage sur l'ensemble des foyers d'un secteur, d'une voie de circulation importante ou d'un carrefour. Pour ce faire, la sensibilité du dispositif différentiel résiduel au niveau considéré doit être en rapport avec le nombre de luminaires distribués sur le même circuit. A ce sujet, il faut noter que la somme des courants de fuite produits par l'appareillage électrique est susceptible d'être supérieure à la moitié du courant différentiel assigné du différentiel, auquel cas, ces courants de fuite peuvent provoquer l'ouverture du différentiel. A titre indicatif, l'appareillage électrique auxiliaire de chaque luminaire de classe I peut produire un courant de fuite de 3,5 mA.

Au niveau de l'alimentation générale ou à celui des départs distribués, le dispositif différentiel peut être à fonctionnement de type S, pour assurer la sélectivité avec les dispositifs différentiels éventuellement placés en aval. Ce dispositif de type S a un retard d'environ 40 millisecondes, ce qui permet aux dispositifs situés en aval de s'ouvrir sans que le dispositif de type S ne s'ouvre lui-même.

1.2.1.3.1 Boucle de défaut en schéma TT

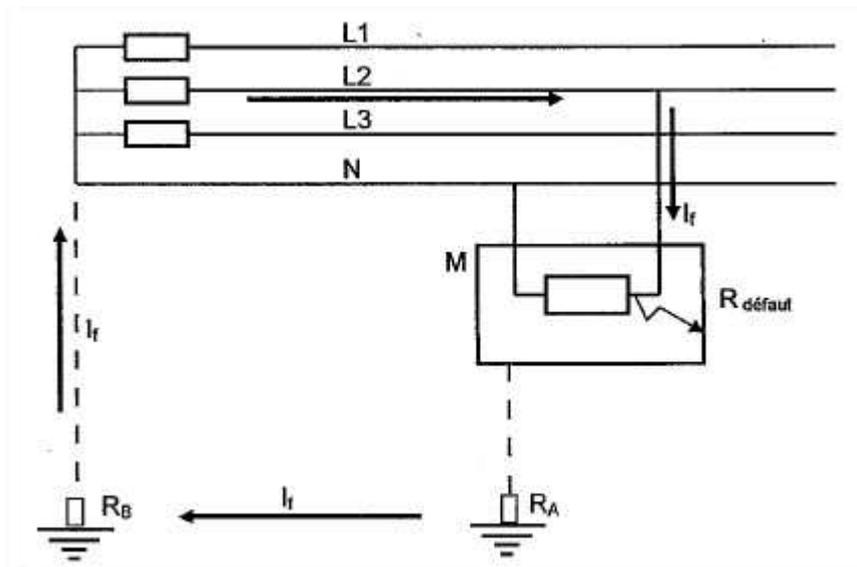


Figure 10 : boucle de défaut en schéma TT (FORMAPELEC, 2007)

Le courant de fuite I_f circule dans la phase 2 et se referme au neutre par l'intermédiaire des prises de terre.

$$I_f = U_0 / (R_A + R_B)$$

Équation 5 : courant de fuite en cas de défaut phase-phase

En pratique, seules les résistances R_A et R_B interviennent dans le calcul du courant de fuite, en effet, la résistance de défaut R_d et l'impédance de la boucle de défaut Z sont négligeables devant la valeur des résistances des deux prises de terre. Une personne en contact avec la masse du récepteur M sera soumise à une tension de contact U_C telle que :

$$U_C = U_0 \times R_A / (R_A + R_B)$$

Équation 6 : tension de contact

Le courant de défaut est limité par la valeur des résistances de terre au neutre et des masses de l'installation, ce qui exclut l'utilisation des dispositifs de protection contre les surintensités dont le temps de coupure serait trop long. En schéma TT, la protection par coupure automatique de l'alimentation est réalisée par un dispositif différentiel.

1.2.1.3.2 Protection par dispositif différentiel

L'installation est alimentée à partir d'un point de livraison de courant du réseau de distribution publique. Les masses des candélabres sont interconnectées par un conducteur d'équipotentialité en cuivre 25 mm² ou par le conducteur de protection (PE) incorporé dans la même canalisation que les conducteurs actifs du circuit correspondant.

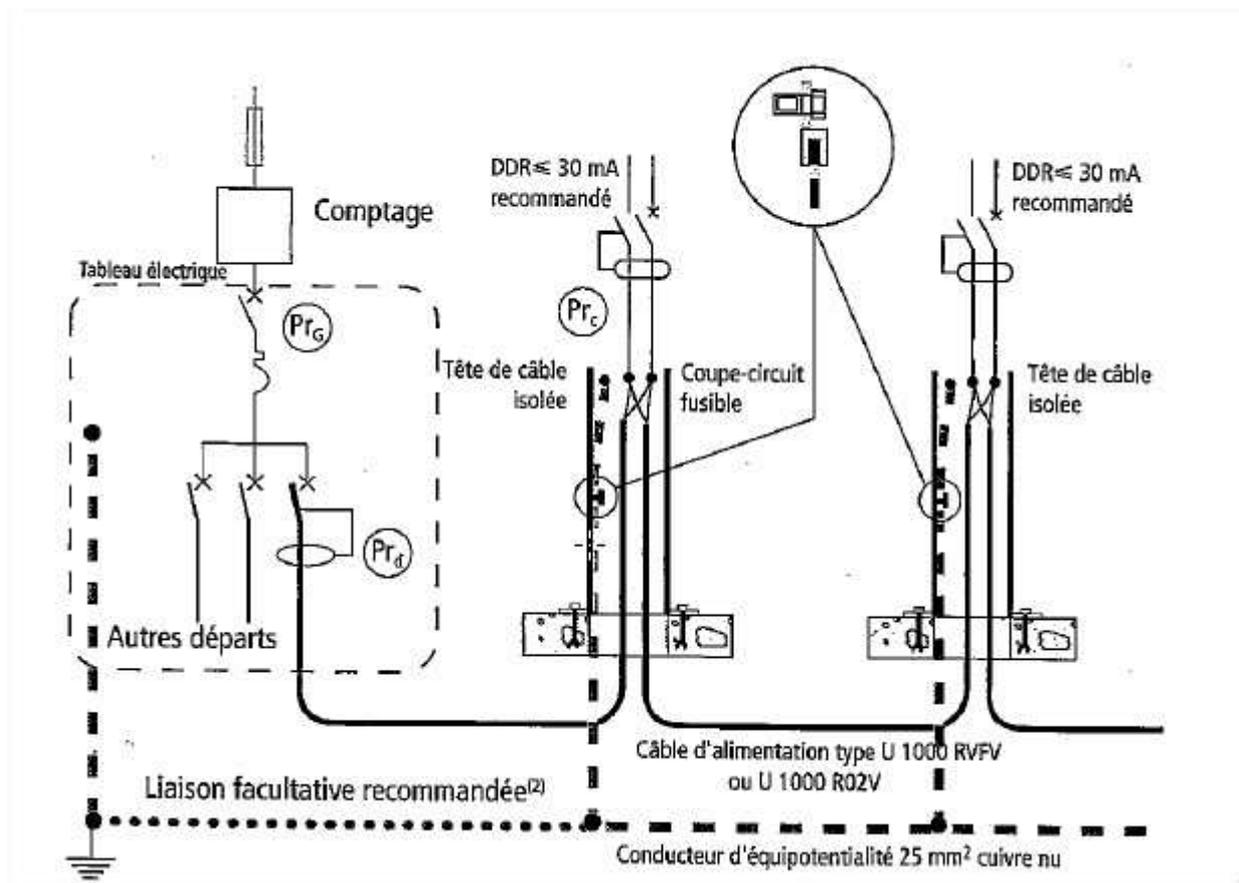


Figure 11 : schéma TT avec protection par dispositif différentiel (AFE, 2002)

(2) Lorsque les masses des candélabres sont interconnectées par le conducteur de protection incorporé dans le câble d'alimentation, elles doivent être impérativement reliées à la prise de terre de l'installation.

Dans le cas où Pr_G ou Pr_D est associé à un DDR, on veillera à assurer la sélectivité avec les éventuels dispositifs DR situés en aval.

1.2.1.3.3 Protection par dispositif de protection de terre

L'installation est alimentée à partir d'un point de livraison de courant du réseau de distribution publique. Les masses des candélabres sont interconnectées par un conducteur d'équipotentialité en cuivre 25 mm² ou par le conducteur de protection (PE) incorporé dans la même canalisation que les conducteurs actifs du circuit correspondant.

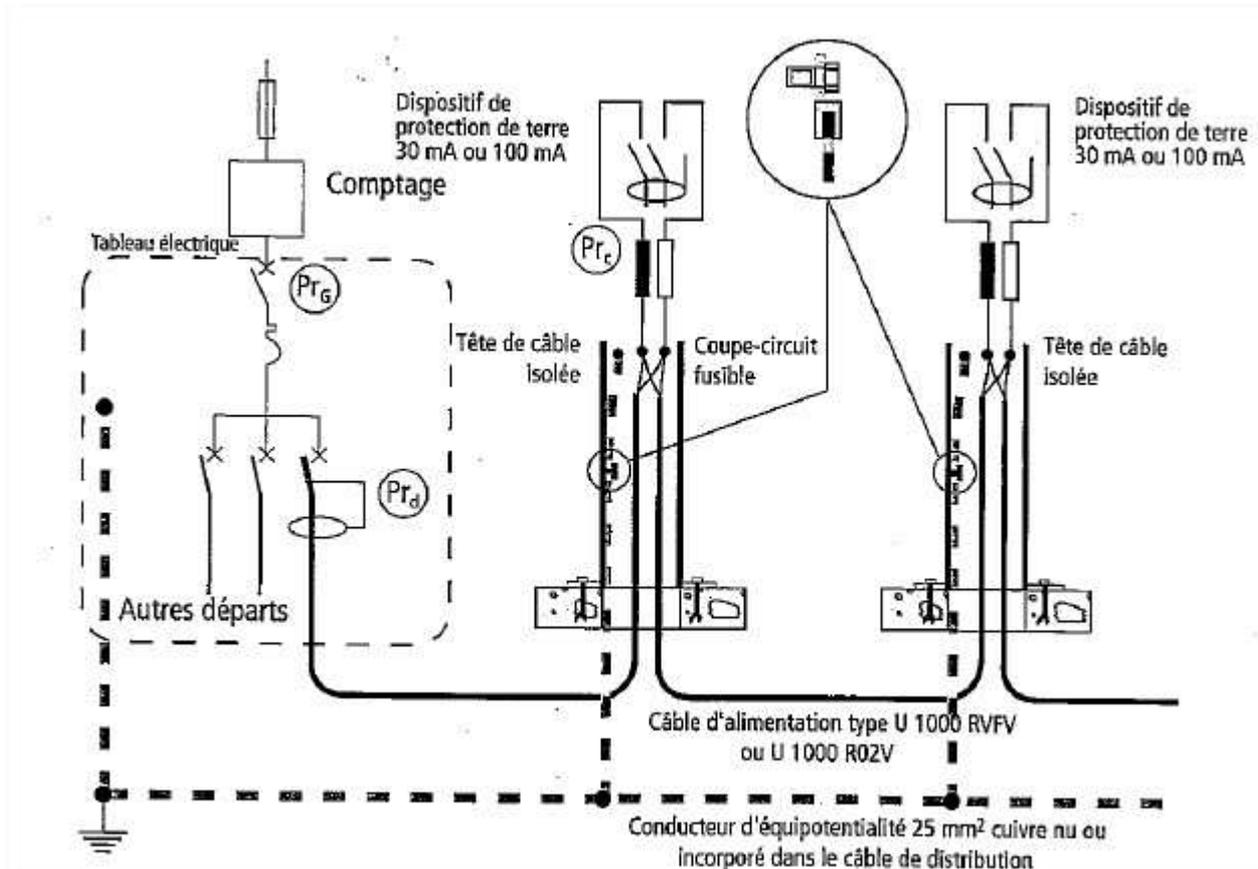


Figure 12 : schéma TT avec protection par dispositif de protection de terre (AFE, 2002)

1.2.1.3.4 Installation existante

Lorsque l'interconnexion des prises de terre n'est pas possible ou incertaine (nécessitant l'ouverture de tranchées par exemple), les dispositions ci-dessous, bien que n'ayant de valeur réglementaire, doivent être mise en place pour assurer la sécurité.

L'installation est alimentée à partir d'un point de livraison de courant du réseau basse tension de distribution publique (poste de transformation ou un point quelconque du réseau). Les prises de terre sont individuelles où il y a incertitude sur leur interconnexion.

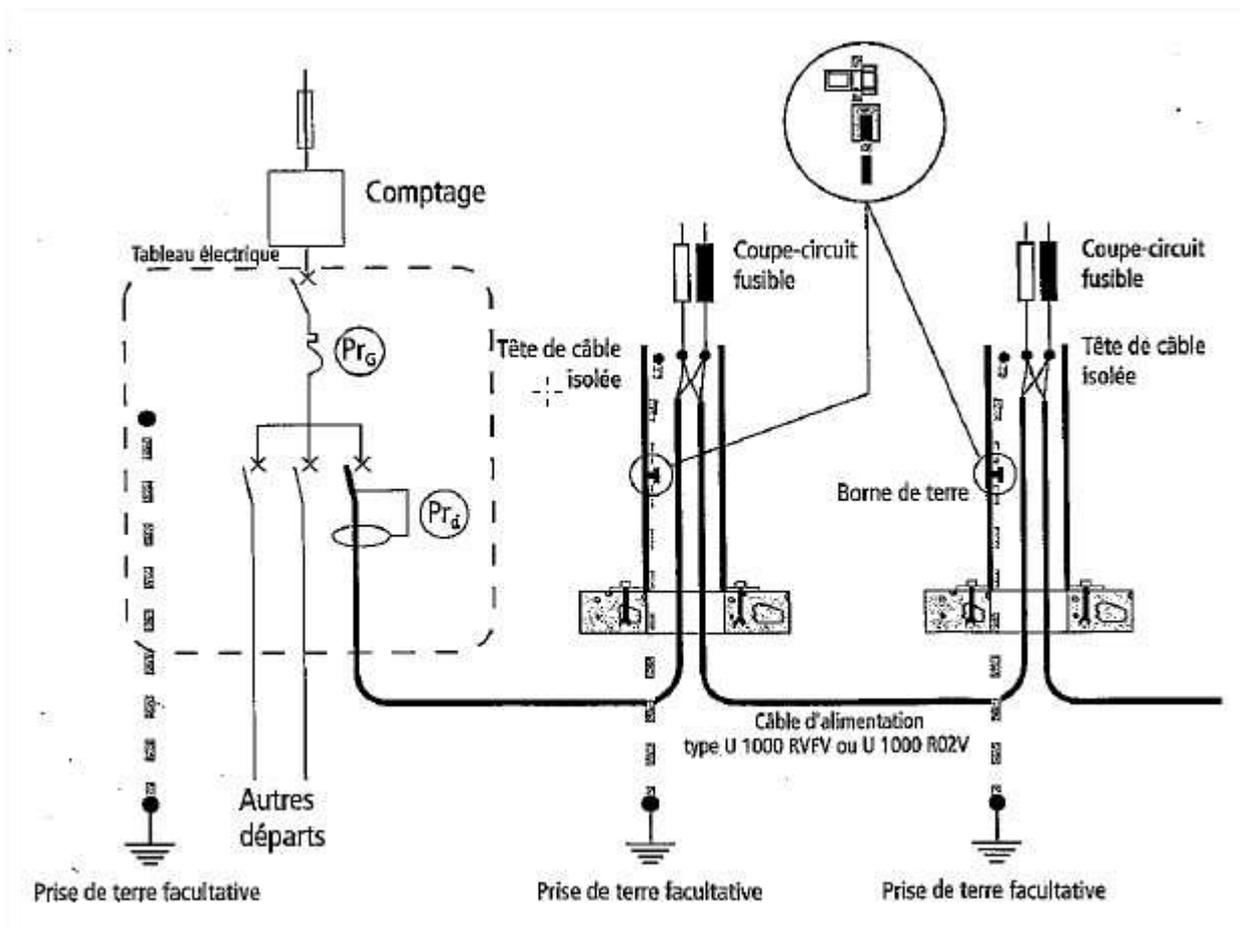


Figure 13 : application du schéma TT sur une installation existante (AFE, 2002)

Pr_G : protection par différentiel résiduel de type S dans le cas de puissance limitée ($P < 36$ kVA) ; dispositif non différentiel résiduel dans le cas d'une puissance surveillée ($P \geq 36$ kVA).

Pr_D : protection à l'origine de l'installation par disjoncteur associé à un dispositif différentiel résiduel (type S ou non, de sensibilité 300 mA, si la valeur de la prise de terre la plus élevée ne dépasse pas 167 ohms).

Le dispositif différentiel résiduel n'assure pas la protection dans les conditions de la norme NF C 15-100, mais elle apporte néanmoins un élément de protection contre les aléas et les risques divers pouvant affecter le réseau de distribution. Dans cette configuration, le déclenchement oblige à localiser le défaut.

1.2.2 Réseaux aériens

Dans la plupart des cas, le recours à ce mode de distribution trouve sa justification dans l'utilisation de supports communs à ceux du réseau aérien de distribution publique BTA. De ce fait, il est fortement répandu dans les zones urbaines de faible et moyenne densité et dans les zones rurales. Les supports fréquemment employés dans ce genre de distribution sont les poteaux béton, les potelets métalliques et les poteaux bois. Un accord préalable du distributeur est obligatoire. La distribution peut être faite de 3 sortes :

- éclairage électriquement non séparé ;
- éclairage électriquement séparé ;
- éclairage physiquement séparé.

L'éclairage est électriquement non séparé lorsque le neutre est commun à l'éclairage et au réseau de distribution publique. Cette solution est interdite en travaux neufs.

L'éclairage est électriquement séparé lorsque le circuit d'éclairage et celui de distribution publique n'ont pas de conducteur commun, mais ont un support commun.

Enfin, l'éclairage est physiquement séparé lorsqu'il n'a pas de conducteur commun avec la distribution publique, les circuits sont réalisés en conducteurs isolés et non inclus dans la torsade du réseau de distribution publique.

1.2.3 Réseaux souterrains

Lorsque des conditions environnementales sont mises en avant, comme en milieu urbain, le réseau est réalisé en souterrain. On utilise alors des câbles U 1000 R2V (U car ces câbles répondent aux normes de l'Union Technique de l'Electricité, 1000 pour la tension assignée de 1000 V et R2V pour le matériau de l'isolant) de tension assignée 0,6 kV/1 kV ; l'utilisation de ces câbles nécessite une protection mécanique complémentaire réalisée généralement par des fourreaux. On trouve également des câbles U 1000 RVFV de tension assignée 0,6 kV/1 kV ; ces câbles comportent une armature feuillard acier et peuvent par conséquent être enterrés directement dans le sol. Toutefois leur passage sous fourreau s'avère nécessaire dans certains cas (remontée à l'intérieur des massifs de fondation, proximité par rapport à d'autres réseaux, protection renforcée contre les charges lourdes).

En voirie, les conduits les plus utilisés sont généralement des fourreaux TPC de couleur rouge, TPC indiquant la sorte de PVC utilisé. Une lettre peut être placée à la suite de l'indication TPC, soit la lettre N pour utilisation normale, soit la lettre C pour une utilisation cintrée.

1.3 Sources d'éclairage

Les sources lumineuses que l'on utilise en éclairage se regroupent en trois grandes familles : lampe à incandescence, lampe à décharge et diodes électroluminescentes.

1.3.1 Lampes à incandescence

Un filament (généralement en tungstène) est porté à température élevée par le courant qui le parcourt et émet une lumière dite « incandescente ». Le filament est installé dans une enceinte en verre dans laquelle on fait le vide ou qui est remplie d'un gaz inerte (argon, azote, krypton, etc.) afin d'éviter l'oxydation du métal avec l'oxygène de l'air.

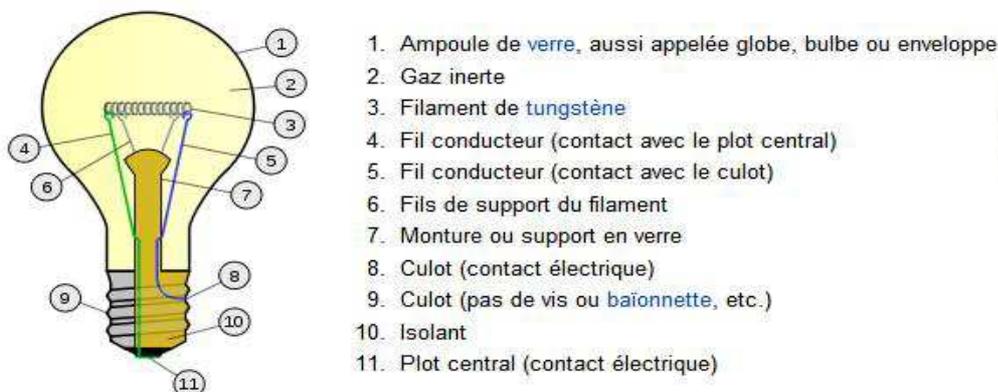


Figure 14 : constitution d'une lampe à incandescence (fr.wikipedia.org)

L'addition d'iode ou de brome au gaz de l'ampoule provoque une réaction chimique avec le tungstène qui limite l'évaporation de celui-ci, ce qui permet une durée de vie plus longue et une efficacité lumineuse plus élevée (lampes aux halogènes).

1.3.2 Lampes à décharge

Dans le cas des lampes à décharge, la lumière ne provient pas de l'élévation de température d'un filament, mais des phénomènes lumineux liés au passage d'un courant électrique dans un gaz ou une vapeur métallique. Un tube comportant deux électrodes métalliques est vidé d'air et rempli d'un gaz ou d'une vapeur sous une certaine pression. Si on applique aux bornes des électrodes une tension croissante, on obtient à partir d'une certaine tension (tension d'amorçage) une décharge lumineuse due à l'ionisation des atomes (émission d'électrons créant un courant entre les électrodes).

Les lampes à décharge sont dites à « résistance négative » ; la résistance du milieu gazeux diminuant lorsque l'intensité augmente. Il est donc nécessaire de limiter le courant par un dispositif extérieur (ballast) pour éviter la destruction de la lampe. Une lampe à décharge ne peut donc être alimentée directement par le réseau et nécessite un appareillage auxiliaire.

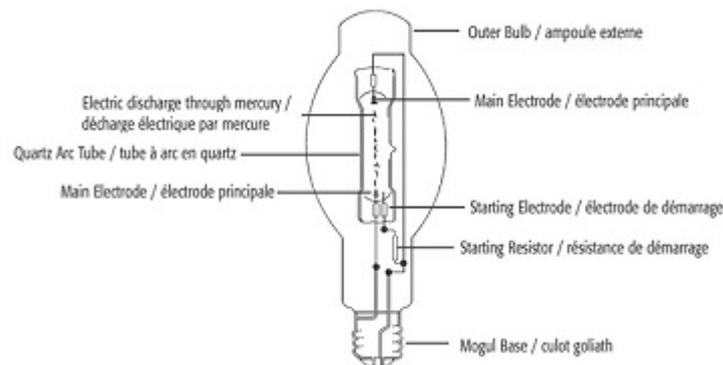


Figure 15 : constitution d'une lampe à décharge (fr.wikipedia.org)

1.3.3 Les diodes électroluminescentes (LED Light Emitting Diode)

La diode électroluminescente est une invention plutôt récente (1952 pour la première diode électroluminescente à spectre visible) Elle est basée sur la technologie des semi-conducteurs : une puce semi-conductrice contient une couche de type N « dopée en électrons » et une couche de type P ayant au contraire un déficit en électrons (on dit qu'elle a un excès de trous).

Une diode électroluminescente ne laisse passer le courant électrique que dans un seul sens (comme une diode classique). Elles ont la propriété d'être lumineuses lorsqu'elles sont polarisées en sens direct (les couleurs que l'on trouve généralement sont rouge, jaune, vert et bleu). On trouve également des LED tricolores : elles sont rouges lorsqu'elles sont polarisées en sens passant, vertes en sens inverse et jaunes lorsqu'elles sont alimentées en tension alternative. Elles sont de couleurs blanches quand elles ne sont pas alimentées.

Les LED sont présentées dans un boîtier en matière plastique transparent et généralement associées à une lentille pour que l'émission de lumière soit très directive. De par leur aspect extérieur, elles sont facilement reconnaissables. Généralement, une rainure, au bas du boîtier plastique sur la périphérie, permet de reconnaître le sens de polarisation de la diode (la cathode est située du côté de la rainure et est toujours du côté de la broche la plus courte).

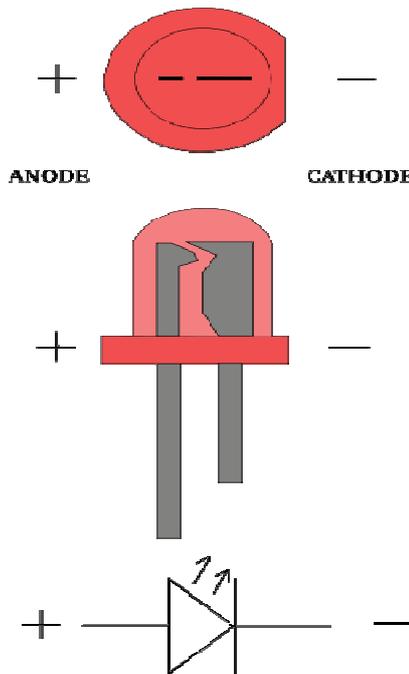
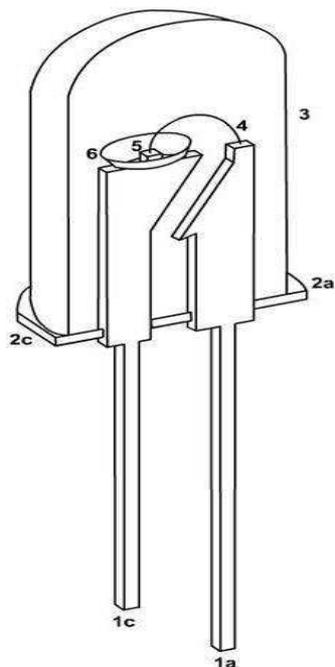


Figure 16 : une diode électroluminescente (web-in-pocket.blogspot.com)

1.3.3.1 Pourquoi les diodes électroluminescentes ont-elles un avenir en éclairage public ?

Une LED est un composant optoélectronique. Ceci signifie concrètement qu'une LED est un composant électronique qui émet de la lumière. Le mot LED signifie en Anglais "Light Emitting Device" ou "Light Emitting Diode". En Français on emploie le mot DEL, acronyme de "Diode électroluminescente". Une LED est constituée des éléments détaillés ci-dessous :



1 : contacts d'alimentation
 1a : anode. Se branche au + de l'alimentation
 1c : cathode. Se branche au - de l'alimentation

2a : bord de la LED arrondi
 2c : bord de la LED avec encoche

3 : lentille (boîtier coloré ou transparent)

4 : fil de bonding

5 : puce (émet la lumière)

6 : coupelle réflectrice (permet de diriger les rayons lumineux)

Figure 17 : constitution d'une diode électroluminescente (www.led-fr.net)

Les concepteurs des produits dont la fonction est "éclairer" utilisant les technologies qui sont à leur disposition, il est tout à fait logique que les produits d'éclairage adoptent les évolutions technologiques qui sont disponibles au moment de leur conception. Depuis plusieurs décennies, le passage de l'analogique au numérique fait que les technologies progressent rapidement. Ce passage a été amorcé par les transistors dans les années 40-50 et s'est poursuivi par l'évolution des formats de stockage de contenus. Il est donc tout à fait logique que l'éclairage suive ce mouvement : qu'il effectue le passage de l'analogique au numérique. Depuis leur invention, les LEDs ne cessent de voir leurs performances évoluer : leur flux lumineux a doublé tous les 18 à 24 mois depuis 30 ans. Parallèlement, grâce à leurs caractéristiques radicalement différentes des sources lumineuses traditionnelles, les LEDs ont pénétré des marchés "niche". On citera les voyants lumineux, les feux tricolores, le flash des téléphones mobiles ou bien encore le rétro-éclairage des écrans.

Cette évolution de l'éclairage n'est donc pas un mythe ou une prophétie d'illuminé mais seulement une réalité future parfaitement explicable. D'ici quelques années, les consommateurs pourront commander leur éclairage, aussi bien quantitativement que qualitativement. Il sera alors possible d'asservir la quantité de lumière en fonction des apports extérieurs. Mais aussi de contrôler la température de couleur afin de se réveiller avec une lumière qui possède les mêmes caractéristiques que le soleil qui se lève, à l'aube... Les rayons de couchers de soleil seront alors reproductibles à l'infini, chez soi.

Quant aux OLEDs (LED organiques), qui constituent des sources étendues, elles pourront être disposées sur des pans entiers de murs. Il sera alors possible d'afficher ce que l'on souhaite, où l'on veut, au gré de nos désirs. Nous pourrions alors tous nous créer des univers personnalisables à l'infini. Allant de la pièce à coucher immergée dans les profondeurs sous-marines, au salon avec vue sur les plus beaux monuments du monde. Quant au plafond, les lustres pourront être mis au rebus : vous pourrez programmer la teinte de ce dernier, et choisir le type de nuages. Il sera même possible d'afficher en temps réel les ciels de différents endroits du monde. De belles nuits à la belle étoile à domicile en perspectives. L'amélioration du rendement des LED permet de les employer en remplacement de lampes à incandescence ou fluorescence, à condition de les monter en nombre suffisant.



Figure 18 : lampes à LED

La préservation de la planète fait partie des grands défis du XXI^{ème} siècle. Actuellement l'éclairage ne représente pas une part considérable dans la consommation d'électricité mondiale puisqu'elle représente en moyenne 19%, soit 2650TWh, ce chiffre tombe à 3% si l'on considère l'ensemble des formes d'énergies, en effet l'électricité ne représente que 16.2% de la production totale d'énergie mondiale. Néanmoins, une diminution conséquente de la consommation des systèmes d'éclairage représenterait des économies colossales puisque chiffrables à plusieurs centaines de TWh/an, voire plus.

En France, la consommation électrique pèse 40 TWh/an sur les 400 TWh produits chaque année, soit 10% de la consommation d'électricité. Ces 40 TWh se répartissent comme suit :

- 24,5 TWh dans le tertiaire, l'industrie, le commerce et l'enseignement ;

- 10 TWh dans le domestique ;
- 5,5 TWh en éclairage public.

Afin que la filière de l'éclairage puisse contribuer au développement durable, il est nécessaire d'optimiser les technologies utilisées. Cette optimisation ne se limite ni à la source lumineuse (l'ampoule) ni au luminaire : il faut optimiser l'installation dans son ensemble. A ces fins, un certain nombre de mesures ont été prises à différents niveaux :

- interdiction échelonnées des sources lumineuses les moins efficaces, directive européenne ;
- les ballasts (alimentations des lampes à décharge) ont été classifiés et des interdictions échelonnées ont été prises ;
- organisation de la filière du recyclage des sources lumineuses et des luminaires par le biais de Recylum ;
- RT2005 avec des seuils de kWh/an/m².

L'empreinte écologique de la LED n'est évidemment pas nulle. Bien que participant plus au développement durable que certaines technologies, la LED reste un composant électronique et tout ce que cela implique.

La technologie des diodes électroluminescentes ouvre des perspectives intéressantes en matière d'éclairage économe : bon rendement énergétique des diodes (jusqu'à 135 lm/W en laboratoire pour les LED dites super lumineuses), durée de vie importante (jusqu'à 50 000 heures pour les lampes à LED contre 1 000 h pour les ampoules à incandescence et 8 000 h pour les lampes basse consommation), fonctionnement en très basse tension, insensibilité aux chocs, possibilité de couleurs sans filtres, facilité de montage et absence de mercure. Elles admettent des cycles d'allumage et d'extinction fréquents et sont recyclables. En matière d'éclairage public, les LED ont l'avantage d'admettre une alimentation en courant continu (ce qui rend possible l'utilisation de sources d'énergies renouvelables) et un allumage très rapide ; elles bénéficient d'une bonne étanchéité (www.afe-eclairage.com)

1.3.3.2 Retour d'expérience

Les industriels de l'éclairage sont aujourd'hui en phase d'apprentissage face à cette technologique d'origine électronique, tandis que les milieux de l'électronique cherchent à appréhender les besoins de l'éclairage pour y adapter la technologie LED. Quatre grands fabricants se répartissent le marché mondial des LED : Philips Lumileds (Etats-Unis), Osram (Etats-Unis et Allemagne) et Nichia (Japon) et Seoul Semiconductor.

1.3.3.2.1 Los Angeles

Tout a commencé par les feux de signalisation. En 2002, la « California Energy Commission » a adopté des normes exigeant que les feux de circulation de l'Etat soient plus économes en énergie. Après deux ans de dispute entre le département de la ville en charge de l'eau et de l'énergie et celui en charge des transports, pour savoir qui devait financer la mise aux normes, le maire de l'époque entamait timidement l'installation de diodes électroluminescentes tricolores (LED).

En 2006, le nouveau maire était hissé dans les airs et remplaçait une ampoule à incandescence d'un feu de carrefour par une diode. Au passage, il annonçait que d'ici 5 ans tout l'éclairage des feux de signalisation de Los Angeles serait assuré par des LEDs de couleur.

Près de 3 ans plus tard, et suite à une évolution technologique soutenue dans le domaine, la deuxième ville d'un pays où sont installés plus de 35 millions de points d'éclairage public pense désormais, non plus à installer des LEDs tricolores pour les feux, mais des luminaires fonctionnant avec des LEDs à lumière blanche.

Même si les intensités lumineuses des derniers modèles de luminaires à LEDs atteignent désormais les normes en vigueur, le manque de retour d'expérience sur site extérieur fait que Los Angeles fait figure de pionnier avec cette expérimentation à grande échelle.

Ainsi, en 2014, les 140 000 points d'éclairage de la ville devraient fonctionner avec des LEDs à lumière blanche. Ce qui, à terme, pourrait permettre, d'après les protagonistes, de réduire de 40% la consommation d'électricité pour l'éclairage public de Los Angeles. Côté finances, alors que le budget de la ville est dans le rouge, avec une dette de plusieurs centaines de millions d'euros, le maire se veut rassurant. Lors de l'annonce, il a déclaré que « Ce projet sera entièrement payé par les économies d'énergie, et la réduction des coûts de maintenance de la technologie LED » (www.lefigaro.fr).

1.3.3.2 Marseille

Le projet d'éclairage à LEDs de la rue Thubaneau, voie semi-piétonne du centre-ville de Marseille, s'inscrit dans le cadre du programme Energie efficace signé entre la Ville et EDF. Cette opération expérimentale réalisée dans le cadre des Trophées des Lumières de Marseille grâce au mécénat d'entreprises est portée par la filière professionnelle de l'éclairage au sein de l'association Lumicom (partenaire de la Ville). L'intérêt était d'offrir à cette technologie en pleine évolution un champ d'expérimentation en centre-ville, dans sa dimension technique et sociale, sans que la municipalité n'ait engagé les deniers publics.

L'objectif est de diviser par deux la consommation d'énergie et de multiplier par quatre la durée de vie des lampes en utilisant un produit standard. Une douzaine de luminaires, équipés de lampes sodium haute pression 150 W, d'une puissance totale de 176 W, ont été remplacés par des luminaires équipés de 70 LEDs, d'une durée de vie prévisionnelle de 50 000 heures et d'une puissance totale de 91 W. L'expérimentation fait l'objet d'un suivi grâce aux mesures photométriques et à l'analyse de la consommation électrique réalisées par EDF. Par ailleurs, ces lanternes sont évolutives. Le module LED étant interchangeable, la Ville pourra bénéficier des avancées technologiques à venir, sans hypothéquer l'avenir. C'est un point important car tout va très vite dans ce domaine et les normes ne sont pas encore définies. Un autre avantage des sources LEDs est que l'intensité lumineuse est modulable. Marseille a déjà commencé à mettre en place des régulateurs d'intensité.

Placés comme les précédentes lanternes à six mètres de haut, tous les 24 mètres, ces nouveaux luminaires diffusent une lumière blanche et uniforme de 4 000° K. Leur efficacité lumineuse est de 80 Lm / W. Les LEDs sont reconnues pour émettre beaucoup moins de pollution lumineuse. Une enquête de satisfaction auprès des riverains est programmée (Venturino, 2010).

1.3.4 Comparatif des différentes technologies

Types de lampes	LED	Lampe à vapeur de sodium (haute pression)	Lampe Philips Cosmopolis (haute pression)
Type de lampe	Une LED n'est pas une lampe mais un semi-conducteur	à décharge	à décharge
Forme de la lampe / apparence	Cylindrique, cylindrique face demi-sphère, cubique / Claire, opale	Ballon, tubulaire / claire, poudrée	Tubulaire / claire
Prix public (€ HT)	20 à 70	30 à 250	80 à 400
Durée de vie (h)	50.000 à 100.000	12.000 à 22.000	12.000 à 16.000
Échauffement	Inexistant	moyen	moyen
Solidité	Très bonne	Mauvaise	Mauvaise
Taille	Faible	Moyenne à grande	Petite à Moyenne
Puissances normalisées (W)	≤ 3	40 à 1.000	60, 90, 140
Efficacité lumineuse (lm/Watt)	12 à 60	80 à 138	100 à 118
Flux lumineux (lm)	5 à 20	5.900 à 130.000	6.600 à 16.500
Température de couleur (K)	LED blanche: ~ entre 7000 et 10000K	2000 à 2200	2.000 à 2.850
Rendu des couleurs (IRC)	Moyen à bon	20 ou 65 (de luxe) / Mauvais	20 à 70 / Moyen à excellent
Temps d'allumage (en min.)	instantané	5	Quelques minutes
Temps de réamorçage (en min)	instantané	1	Quelques minutes
Courant amorçage	X	1,4 à 1,5 In	?

Tableau 3 : comparatifs des différentes technologies

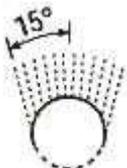
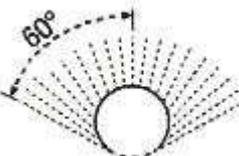
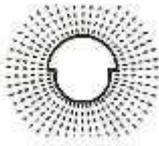
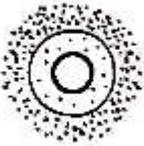
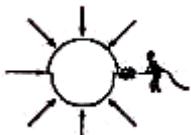
1.4 Luminaires

Un luminaire est un appareil ayant pour destination première l'éclairage d'un lieu. Selon l'Association Française d'Éclairage « un luminaire est un appareil servant à répartir, filtrer ou transformer la lumière d'une ou de plusieurs lampes et comprenant, à l'exclusion des lampes elles-mêmes, toutes les pièces nécessaires pour fixer et protéger les lampes et, éventuellement, les circuits auxiliaires ainsi que les dispositifs de connexion au circuit d'alimentation. »

Les luminaires doivent satisfaire aux prescriptions des normes les concernant. La norme générale qui les régit est la norme CEI/EN/NFEN 60598-1. Des normes complémentaires s'appliquent également suivant l'environnement ou le type d'utilisation du luminaire (luminaire encastré, immergé, portable, etc.).

Le luminaire contenant l'appareillage de la lampe, il est soumis comme tout appareil électrique aux indices de protection découlant de la norme NF C 15-100 qui sont choisis en fonction des influences externes auxquelles ils seront soumis : présence d'eau, présence de corps solides.

L'IP indique l'Indice de Protection contre la pénétration de corps solides et l'accès aux parties dangereuses (premier chiffre) et contre la pénétration d'eau (deuxième chiffre).

1 ^{er} chiffre : protection contre les corps solides			2 ^{ème} chiffre : protection contre les liquides		
IP	Tests	Définition	IP	Tests	Définitions
0		Pas de protection.	0		Pas de protection.
1		Protégé contre les corps solides supérieurs à 50mm. <i>Exemple</i> : contact involontaire de la main.	1		Protégé contre les chutes verticales de gouttes d'eau. <i>Exemple</i> : condensation.
2		Protégé contre les corps solides supérieurs à 12mm. <i>Exemple</i> : doigt de la main.	2		Protégé contre les chutes de gouttes d'eau jusqu'à 15° par rapport à la verticale.
3		Protégé contre les corps solides supérieurs à 2,5mm. <i>Exemple</i> : outils, fils.	3		Protégé contre les chutes de gouttes d'eau jusqu'à 60° par rapport à la verticale.
4		Protégé contre les corps solides supérieurs à 1mm. <i>Exemple</i> : outils fins, petits fils.	4		Protégé contre les projections d'eau de toutes les directions.
5		Protégé contre les poussières. Pas de dépôt nuisible.	5		Protégé contre les jets d'eau à la lance de toutes directions.

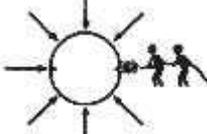
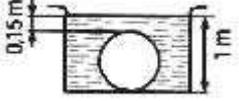
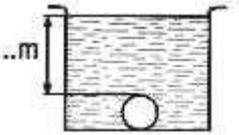
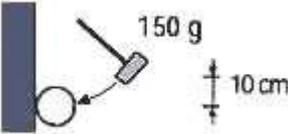
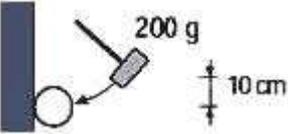
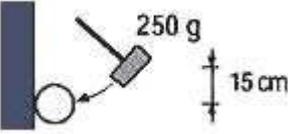
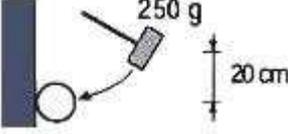
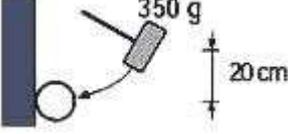
	6		Protégé contre les projections d'eau assimilables aux paquets de mer.
	7		Protégé contre les effets de l'immersion entre 0,15 et 1m.
	8		Protégé contre les effets de l'immersion prolongée sous pression.

Figure 19 : signification de l'indice de protection (IP) (AFE, 2002)

Le code IK définit le degré de protection contre les chocs mécaniques. Les indices vont de 0 (aucune protection) à 10 (protection contre les chocs de 20 joules).

IK	Tests	Définition
00		Pas de protection.
01		Energie de choc 0,15J.
02		Energie de choc 0,20J.
03		Energie de choc 0,37J.
04		Energie de choc 0,50J.
05		Energie de choc 0,70J.

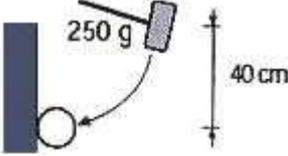
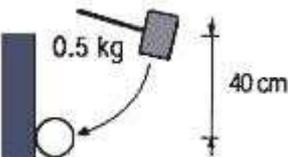
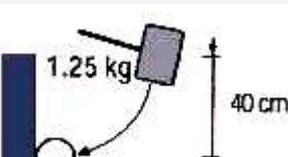
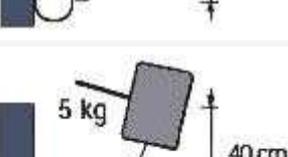
06		Energie de choc 1J.
07		Energie de choc 2J.
08		Energie de choc 5J.
09		Energie de choc 10J.
10		Energie de choc 20J.

Figure 20 : signification de l'indice de protection contre les chocs mécaniques (IK) (AFE, 2002)

1.4.1 Application

La mesure du facteur de puissance de l'installation est un bon indicateur de l'état des appareillages des luminaires. En effet, si le facteur de puissance de l'installation est en-dessous de 0,8, cela signifie bien souvent que les ballasts ferromagnétiques des lampes sont en fin de vie et qu'ils entraînent une surconsommation d'énergie qui n'est pas nécessaire. Ces mauvais facteurs de puissance sur les installations actuelles sont souvent associés à des luminaires ayant une trentaine d'années utilisant des lampes à vapeur de mercure.

En plus de consommer plus en fin de vie, les lampes à vapeur de mercure ont un rendement plus faible que les lampes au sodium haute pression ou les lampes à iodures métalliques. Le rendement des lampes à vapeur de mercure est compris entre 25 et 55 lumen / watt, pour les lampes à sodium haute pression, il est compris entre 40 et 140 lumen / watt et entre 50 et 120 lumen / watt pour les lampes à iodures métalliques.

Elles sont installées dans des luminaires comme le modèle ci-dessous où la lampe n'est pas protégée contre les poussières. Elle a donc tendance à se salir.



Figure 21 : luminaire avec une lampe à vapeur de mercure

Il est donc nécessaire de prévoir le remplacement de ces luminaires par des luminaires plus performants utilisant des lampes soit à sodium haute pression, soit à iodures métalliques. Si le sodium haute pression est aujourd'hui majoritairement utilisé sur les réseaux d'éclairage public, il présente l'inconvénient non négligeable d'avoir un mauvais rendu de couleur (Indice de Rendu de Couleur). L'indice de rendu de couleur des lampes sodium est de 75 pour les meilleures sachant que 100 correspond à un rendu de couleur telle que la lumière du Soleil. Ce mauvais indice est dû au sodium qui émet principalement dans les longueurs d'onde de la couleur orange. Pour les lampes aux iodures métalliques l'indice est de 90. Elles ont donc tendance à venir remplacer les lampes au sodium sur les nouvelles installations. Le seul inconvénient qu'on peut leur trouver est que leur durée de vie est plus faible (de l'ordre de 12 000 heures contre plus de 20 000 heures pour les lampes au sodium). Elles doivent donc être remplacées plus souvent ce qui entraîne des coûts de maintenance plus élevée. De plus, elles sont aujourd'hui plus chères à l'achat, mais les progrès technologiques tendent à rapprocher de plus en plus les performances des lampes à iodures métalliques des lampes au sodium haute pression.

Le remplacement des lampes au vapeur de mercure oblige également le remplacement du luminaire car les appareillages et les culots de lampe ne sont pas les mêmes mais comme nous l'avons vu, les lampes à vapeur de mercure sont généralement utilisées dans des luminaires vétustes qu'il est nécessaire de remplacer de toute façon. Nous allons faire une simulation de remplacement pour juger de l'intérêt des lampes nouvelles technologies.

Un luminaire moderne équipé d'une lampe sodium haute pression ainsi que son appareillage coûte à l'achat environ 150 € pour un luminaire d'entrée de gamme avec une enveloppe et une vasque en polycarbonate. Ce prix peut dépasser les 1000 € par luminaire dans le cas de certains luminaires fabriqués en aluminium. Le prix de revient avec les coûts d'installation est d'environ 350 € par luminaire. Prenons le cas d'un départ alimentant à l'heure actuelle 10 luminaires équipés de lampes 125 W à vapeur de mercure. Les appareillages ferromagnétiques des lampes à vapeur de mercure consomment environ 20 % en plus de la puissance de la lampe. Nous allons faire l'étude de cas sur une durée de 20 ans, soit la durée de vie d'un luminaire.

Consommation des luminaires sur par an :

$$10 \times 125 \times 1,2 \times 4080 \times = 6\,120 \text{ kWh}$$

La Commission de Régulation de l'Energie (CRE) se base sur une augmentation du prix de gros de l'électricité de 4% par an (pour une inflation de 2%).

Le tarif actuel de l'électricité pour l'éclairage est de 0,07 € / kWh ce qui nous donne sur 20 ans :

$$6\ 120 \times 0,07 \times 29 = 12\ 424 \text{ €}$$

Avec 29 le coefficient correspondant à 4% d'augmentation du prix de l'électricité pour une durée de 20 ans

Les durées de vie des lampes à vapeur de mercure comme des lampes à sodium haute pression sont identiques. En général, on les remplace tous les 4 ans soit après environ 16 000 heures de fonctionnement. Sur 20 ans, cela revient à remplacer 5 fois les 10 lampes soit 50 lampes à vapeur de mercure à acheter. Les coûts de remplacement seront volontairement omis car ils sont sensiblement les mêmes quelle que soit la technologie des lampes. Une lampe à vapeur de mercure compte environ 15 € contre 30 € pour les lampes à sodium haute pression.

$$50 \times 15 = 750 \text{ €}$$

Le coût de l'installation sur 20 ans est donc (hors coût de maintenance et sur la base d'un tarif fixe du matériel) de 13 174 €.

Maintenant voyons le coût d'une installation en sodium haute pression. Nous prendrons un prix de luminaire installé de 350 € par luminaire. Les appareillages seront électroniques et consommeront environ 5 % en plus de la puissance de la lampe. De plus, comme le rendement des lampes sodium est meilleur, les lampes 125 W vapeur de mercure seront remplacées par les lampes 100 W sodium haute pression.

$$10 \times 100 \times 1,05 \times 4080 = 4\ 284 \text{ kWh par an}$$

$$\text{Soit } 8\ 696 \text{ € (} 4\ 284 \times 0,07 \times 29 \text{).}$$

Le coût des luminaires est 3 500 € (10 x 350) et le coût de remplacement des lampes est de 1 500 € (50 x 30). Le coût total (hors maintenance et sur la base d'un tarif fixe du matériel) sur 20 ans est donc de :

$$8\ 696 + 1\ 500 + 3\ 500 = 13\ 696 \text{ €}$$

Le coût d'une installation sodium haute pression est donc légèrement supérieure (à cause de l'investissement pour les luminaires neufs) de l'ordre de 4 %, il n'est donc pas forcément plus rentable dans le cadre d'une rénovation. Cependant, plus le nombre de luminaires remplacés est important, plus l'économie d'énergie engendrée par la baisse de puissance des lampes rend l'investissement intéressant. Enfin, la réglementation européenne va interdire les lampes contenant du mercure à l'horizon de 2012 et les ballasts ferromagnétiques devront être remplacés par des appareillages électroniques pour 2015. Le remplacement des lampes à vapeur de mercure par une nouvelle technologie sera donc obligatoire.

1.5 Appareillage

A l'exception des lampes fluo-compactes à ballast intégré, les lampes à décharge exigent un ballast extérieur qui stabilise leur fonctionnement. De plus, certaines lampes ont besoin d'un amorçeur ou d'un starter pour provoquer l'allumage. L'ensemble de ces équipements doit être compatible avec les lampes utilisées. Une compensation par condensateur est également utilisée pour améliorer le facteur de puissance. Ces accessoires sont généralement montés sur une platine placée soit dans le luminaire, soit dans un coffret à proximité de ce dernier, ou encore dans le fût des candélabres, selon les possibilités du matériel ou les contraintes d'entretien.

Ces appareillages ont une consommation propre. Par exemple, pour une lampe 58 W alimentée par un ballast standard (ferromagnétique), il faut compter environ 12 W de consommation supplémentaire.

1.5.1 Ballasts

Les ballasts sont constitués d'éléments inductifs. Il permet de stabiliser le courant à une valeur convenable. Dans certains cas il participe également à l'amorçage. Le ballast peut être électromagnétique (constitué d'une bobine de réactance, d'un autotransformateur ou d'un transformateur) ou électronique. Par rapport aux ballasts électromagnétiques, ils présentent les avantages d'une meilleure dissipation thermique, d'une réduction de la consommation totale de la lampe et du ballast à flux équivalent, une intégration des fonctions d'amorçage, de stabilisation et de correction du facteur de puissance. Cependant, ils sont plus sensibles aux températures que les ballasts électromagnétiques. Afin de s'assurer qu'ils fonctionnent dans de bonnes conditions, il est nécessaire de vérifier la température maximale admise sur le boîtier. Néanmoins, ils sont très peu sensibles aux variations de la tension du réseau.

Sur 50 millions de tubes fluorescents vendus chaque année en France, plus de 80 % utilisent des ballasts ferromagnétiques. Les autres utilisent des ballasts électroniques. Certes, les luminaires avec ballasts électroniques coûtent plus cher à l'achat mais leurs performances permettent de réaliser d'importantes économies de consommation. De plus, les ballasts électroniques prolongent la durée de vie des lampes. Les interventions de changement de lampes sont par conséquent moins fréquentes. Les coûts de maintenance s'en trouvent d'autant plus réduits, et la solution qui apparaissait au départ la plus coûteuse se révèle la plus rentable au bilan global.

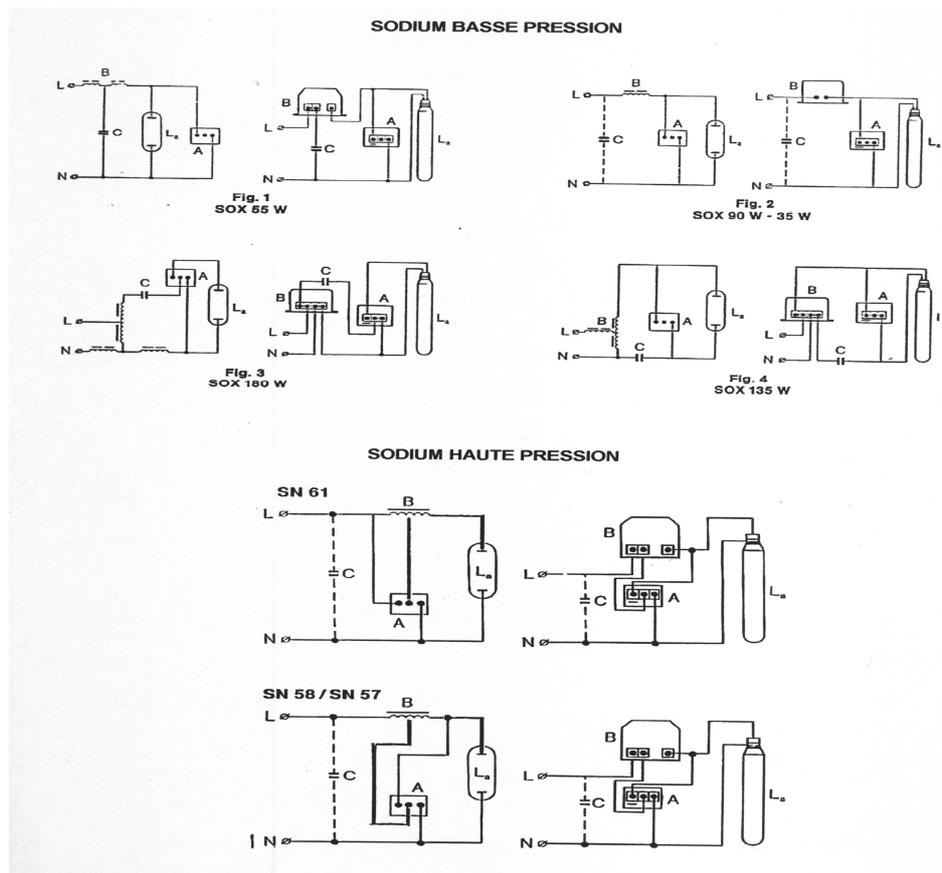
1.5.2 Amorceurs et starters

Ces dispositifs permettent l'amorçage des lampes à décharge. Les amorceurs assurent l'allumage des lampes à décharge à haute pression. Ils permettent de délivrer une tension élevée, sous forme d'impulsions pouvant atteindre plusieurs kilovolts. La position de l'amorceur par rapport à la lampe et au ballast est souvent dictée par la longueur des câbles qui ne doit pas être trop importante. Certains amorceurs sont équipés d'une temporisation qui coupe l'amorçage des lampes lorsque celles-ci ne s'amorcent pas après plusieurs tentatives.

Les starters généralement utilisés sont du type «à lueur» (il existe aussi des starters électroniques). Ils assurent l'amorçage des lampes fluorescentes rectilignes et fluo-compactes à dispositif d'alimentation externe. Certains sont équipés d'un disjoncteur qui coupe l'amorçage des lampes lorsque celles-ci sont en fin de durée de vie.

1.5.3 Condensateurs

Les condensateurs sont utilisés pour augmenter le facteur de puissance de l'installation. La valeur capacitive totale des condensateurs doit être telle que le facteur de puissance de l'ensemble lampe-ballast soit supérieur à la valeur minimale demandée par le distributeur d'énergie. En effet, un circuit composé de la lampe et d'un ballast a un mauvais facteur de puissance ($\cos \varphi \approx 0,45$). Ils doivent porter l'indication d'une tension maximale de service supérieure à la tension du réseau d'alimentation. Cette tension de service est généralement de 270V pour un montage en compensation parallèle. Le condensateur est le point faible de l'installation en éclairage public car sa durée de vie est de l'ordre de 15000 heures environ suivant le niveau des harmoniques.



A : amorceur ; B : ballast ; C : condensateur ; L : phase ; L₀ : lampe ; N : neutre

Figure 22 : quelques exemples d'appareillage (AFE, 2002)

1.6 Supports

Les luminaires pour l'éclairage extérieur sont fixés sur des supports qui peuvent être de différents types (candélabres, consoles, poteau bois, poteau béton). Dans certains cas les luminaires peuvent également être encastrés (luminaires de balisage par exemple) ou être posés directement au sol (bornes, projecteurs d'illumination).

Les supports d'éclairage permettent de mettre le luminaire dans la meilleure position possible pour diffuser la lumière sur la zone à éclairer. Le support est donc soumis à des conditions difficiles. Il doit résister au vent ; aux intempéries, à la corrosion et aux agents de dégradation (insectes, champignons, sel, etc.), assurer la sécurité (ne pas permettre l'accès à des conducteurs sous tension ou être mis à la terre pour prévenir tout contact indirect). Il doit offrir l'espace éventuellement nécessaire pour la mise en place des équipements électriques. Son entretien doit également être facile. L'aspect esthétique est de plus en plus à prendre en compte car le candélabre devient un décor urbain.

1.6.1 Candélabres

Les candélabres en acier constituent la majeure partie des candélabres d'éclairage public. On trouve cependant des candélabres en aluminium, en fonte ou encore en béton. Les modèles proposés par les fabricants se diversifient par leur forme et leurs caractéristiques dimensionnelles.

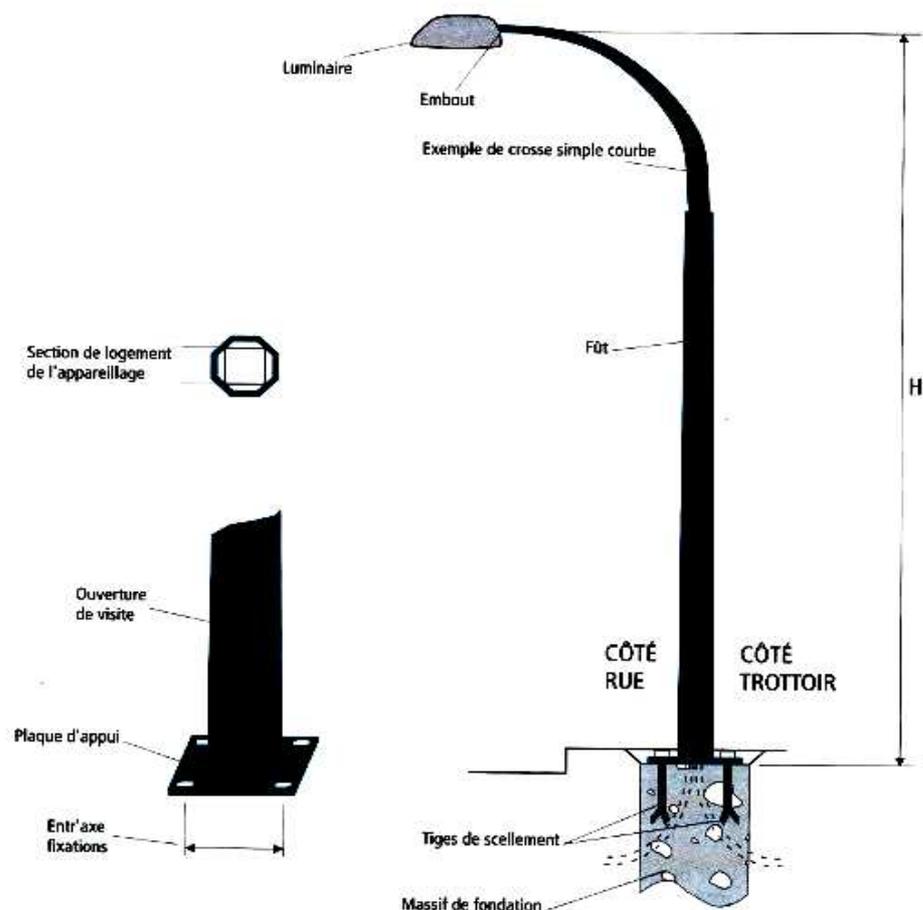


Figure 23 : caractéristiques d'un candélabre (AFE, 2002)

Les candélabres en acier présentent les avantages suivants :

- bonne résistance à la corrosion s'ils sont traités (galvanisation et peinture) ;
- entretien réduit ;
- formes élancées car bonne résistance du matériau aux efforts ;
- bonne rigidité ce qui permet des formes sinueuses mais résistants aux efforts mécaniques ;
- bonne tenue aux chocs, capacité importante d'absorption en cas de chocs violents avec des véhicules ;
- prix de revient économique ;
- poids permettant un levage sans engin pour les petites hauteurs.

Le point de pénétration des câbles dans le candélabre constitue une zone exposée au risque de déchirure ou de dégradation de l'isolation des câbles par cisaillement ou autres contraintes mécaniques. Afin d'éviter ce risque ainsi que la pénétration de l'eau dans les conduits, il convient de faire remonter les fourreaux à l'intérieur des candélabres, au passage dans le trou réservé de la plaque d'appui. Par ailleurs, une protection supplémentaire peut être obtenue localement au niveau des appareillages électriques (protection fusible) situés dans l'ouverture de la trappe de visite à la base des candélabres. A cet effet, on utilise des boîtiers pré-équipés, réputés de classe II. Cette mesure permet également d'obtenir un degré de protection minimal en cas d'absence accidentelle de porte ou de dégradation du candélabre.



Figure 24 : boîtiers de classe II pour éclairage public (www.sogexi.fr)

1.6.2 Consoles

Les consoles disposées sur façade représentent en centre-ville un pourcentage très élevé de supports. Elles sont préconisées lorsqu'il y a présence d'immeubles de hauteur suffisante à l'alignement avec des façades acceptant les ancrages susceptibles de supporter la charge, là où il y a des voies étroites et que la mise en place de candélabres ne permettrait pas de respecter les dispositions légales relatives à l'accessibilité des personnes à mobilité réduite.

Dans ce cas, le choix du type et de l'inclinaison de la saillie par rapport à l'immeuble doit être particulièrement bien appréhendé car les contraintes de secteur, d'environnement et de propriété doivent être considérées. En effet, dans ce mode d'éclairage, la source lumineuse se trouve toujours à une distance assez proche des fenêtres des habitations. L'installation d'un ensemble console-luminaire sur les façades nécessite l'autorisation des propriétaires concernés.

Une autre chose à prendre en compte et que dans cette solution, les canalisations électriques d'alimentation sont disposées le long des façades, ou en remontées sur celles-ci.

Partie 2
Méthodologie

Du fait de l'implantation géographique de la société à Valence, le périmètre que nous avons décidé de cibler est le Sud-est de la France (régions Rhône-Alpes et Provence Alpes Côte d'Azur). L'Ouest et le Centre de la France étant assez mal desservis par le train depuis Valence, les frais engagés ne nous permettront pas d'être compétitif dans ces secteurs.

De par nos compétences actuelles en matière d'éclairage dans le domaine technique et juridique, les missions qui sont susceptibles de nous intéresser sont :

- la maîtrise d'œuvre pour la création d'installations d'éclairage public ;
- l'assistance à maître d'ouvrage pour la rédaction de cahier des charges ou de contrat de partenariat public-privé ;
- le diagnostic technique et financier de l'existant.

D'autres missions plus ponctuelles telles que de la cartographie ou des mesures d'éclairage pourraient nous intéresser mais ne permettraient pas d'avoir une part de marché suffisamment importante par rapport aux frais engagés.

L'éclairage public appartient aux mairies, notre cible est donc par conséquent les collectivités (mairies, syndicats, ...) Suivant les départements, les communes ont délégué leurs compétences à des syndicats d'énergie. Par exemple, le Syndicat Départemental d'Energies de la Drôme (SDED) gère la maîtrise d'œuvre pour l'ensemble des 370 communes de la Drôme mais les grandes municipalités (Valence, Pierrelatte, Romans, Montélimar) préfèrent se tourner vers des bureaux d'études privés avec des honoraires plus faibles. D'autres syndicats comme le Sigerly (Lyon) possède les compétences en travaux neufs mais également en maintenance, les communes paient une taxe sur l'éclairage public au lieu de payer leurs coûts directement.

Ces clients potentiels utilisent les marchés publics pour trouver une entreprise, il est donc nécessaire de préparer un document qui servira à répondre à ces offres. Ce document doit être assez générique afin de s'adapter au contexte des différentes collectivités. Il doit présenter la société, ses compétences en matière d'éclairage ainsi que sa méthodologie pour réaliser les différentes missions qui pourront lui être confiées.

Cette partie consiste à expliquer en détail, les différentes étapes à suivre pour pratiquer un inventaire technique et financier des réseaux d'éclairage public, pour analyser les données afin d'en sortir des préconisations d'amélioration des installations.

2.1 Inventaire technique

2.1.1 Les coffrets

On appelle coffret, l'endroit physique où l'électricité est livrée. Le coffret contient les organes de protection, de commande ainsi que le compteur du réseau d'éclairage public. Pour être en adéquation avec les besoins exprimés dans le cahier des charges de l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME)¹, il faut relever les éléments suivants :

- l'emplacement du coffret sur le fond de plan cadastral en lui donnant un code (incrémentation ou fourni par la collectivité) ;
- l'adresse où il se situe (exemple : rue de ...).

Il faut juger l'état de l'enveloppe extérieure du coffret. Une photographie peut servir d'appui en cas de doute. Il y a deux états qui correspondent aux critères suivants :

- Bon : coffret récent où dont l'enveloppe est encore en bon état, impossibilité de toucher la platine, le dispositif de fermeture est fonctionnel, la platine est encore protégée contre la pluie ;

¹ Le cahier des charges de l'ADEME est en annexe 1. Il fixe les règles à respecter par le bureau d'études pour que la collectivité puisse être subventionnée.

- A revoir : la fermeture ne fonctionne plus ce qui signifie que le coffret est accessible au public, ou la porte ne tient plus ce qui gêne la maintenance, ou la vitre est cassée, ou l'enveloppe présente des signes importants d'usure.

Nous procédons également au relevé du :

- type de coffret (S20, S300, S17)
- mode de pose (encastré, en saillie,...)
- type de fermeture (triangle, cadenas,...).

Il faut juger de l'état des composants électriques ainsi qu'à la bonne fixation de la platine. Une photographie est nécessaire afin de pouvoir vérifier les données au bureau. Deux états caractérisent l'état des composants électriques :

- Bon : coffret récent dont les pièces sous tension ne peuvent être accessibles (IP 2X), le dispositif de commande est en bon état (pas de noircissement de la cellule photoélectrique), les fusibles ne sont pas des fusibles en porcelaine, les porte-fusibles fonctionnent mécaniquement, il n'y a pas de câble nu non fixés autour de la platine
- A revoir : la platine n'est pas bien fixée à l'enveloppe du coffret, ou des parties sous tension peuvent être accessibles, ou les matériels électriques employés sont vétustes (fusibles porcelaines, contacteur sans marche forcée ou marche forcée qui ne fonctionne plus).

Nous procédons également au relevé du type de dispositif de commande (cellule, horloge, etc.). Nous notons s'il y a présence ou non d'un dispositif de protection générale et s'il y en a un le type et le calibre des protections. Nous vérifions si le coffret est mis à la terre et si le neutre est distribué ou commun avec le réseau de distribution électrique. Nous relevons le type de compteur (triphase, monophasé, mécanique ou électronique,...) ainsi que son matricule ce qui permet de le retrouver dans les factures d'énergie et d'accéder à la puissance souscrite.

Pour chaque départ, nous identifions le type et le calibre des protections, la nature et la section des câbles et nous procédons à une mesure de puissance afin de relever tension, courant, facteur de puissance et puissance réactive.

Tous ces éléments doivent être notés sur une feuille conforme à la « fiche de relevé » fournie par l'ADEME afin que le diagnostic puisse être subventionné.

Nom de l'armoire :

N° de l'armoire :

Adresse :

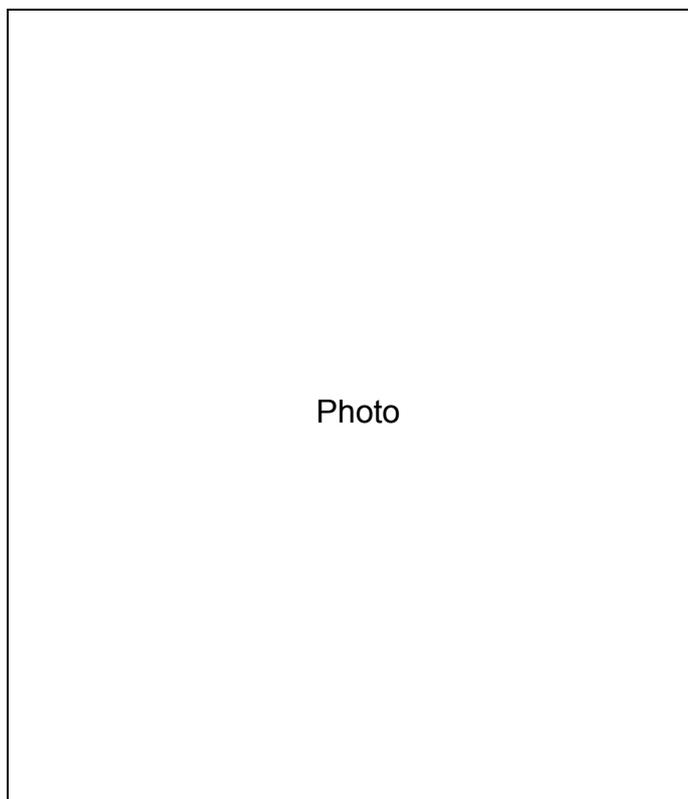
N° de compteur :

N° de contrat :

Puissance souscrite : KVA

Puissance installée : KW

Code Tarif :



Tension : Volts

Mono. Triph.

Protection générale :

Caractéristiques techniques

Commande d'allumage :

Distribution du neutre : Oui Non

Mise à la terre : Oui Non

Enveloppe type :

Mode de pose :

Type de fermeture :

Etat général de l'enveloppe : Bon A revoir

Etat équipement électrique : Bon A revoir

Nombre de départs installés / utilisés :

N° du départ	Protection du départ	Intensité mesurée	Commentaire sur la protection	Nature et section du câble

Tableau 4 : fiche de relevé de coffret type ADEME (ADEME, 2003)

2.1.2 Les foyers

On appelle foyer, l'ensemble constitué d'une lampe, d'un luminaire et de son support. Pour être en adéquation avec les besoins exprimés dans le cahier des charges type « ADEME », il faut relever au minimum les éléments suivants :

- l'emplacement du foyer sur le fond de plan cadastral ;
- donner un code (incrémentation ou fourni par le client) ;
- l'adresse où il se situe (rue de ...) ;
- le type de luminaire (marque et modèle) ;
- s'il possède une vasque (IP66) ;
- l'état de son enveloppe ;
- si l'appareillage est incorporé au luminaire ou s'il se situe dans le candélabre.

Nous relevons le type de lampe (Sodium Haute Pression, Vapeur de Mercure, Iodures Métalliques, etc.). Les lampes au sodium sont oranges, les vapeurs de mercure sont blanches avec des ampoules opaques et les lampes à iodures métalliques sont blanches avec une enveloppe translucide. Nous relevons également la puissance de la lampe, pour cela nous nous servons du contexte (hauteur du foyer, similitude sur la commune) mais également de nos connaissances (taille de la lampe, les puissances en fonction de la technologie). En cas de doute, nous procédons à une mesure de puissance en pied de candélabre. Dans tous les cas, la mesure de puissance au coffret, nous permet de vérifier que les puissances concordent.

Nous inventorions le support, son type (candélabre, poteau, façade), s'il y a une crosse ou une console pour déporter le luminaire, la hauteur du foyer lumineux, si le support est mis à la terre. Nous ouvrons certains candélabres (sondage) pour vérifier la conformité à la norme NF-C17-200, notamment la présence d'un boîtier fusible dans le candélabre, on répertorie le type d'alimentation (aérienne, souterraine) et le type de câble (4G,2G,...). Pour les réseaux aériens, nous traçons le réseau en suivant les portées et pour les réseaux souterrains, le tracé est estimé ou déduit à partir de plan de récolement.

Ces différents éléments permettent d'établir une fiche par coffret qui liste l'ensemble des luminaires alimentés par ce coffret.

Réseau				Luminaire					Support					
Numérotation du point	Adresse	Réseau	Longueur de câble (m)	Type de luminaire	Fermé	Nature de la lampe	Puissance (W)	Appareillage	Conformité NFC 17-200	Support	Hauteur	Avancée	Mise à la terre	Date de pose

Tableau 5 : fiche de relevé des luminaires

2.2 Inventaire financier

Le but de l'inventaire financier est d'avoir un état actuel des dépenses afin de pouvoir le comparer à l'état futur résultant des travaux de rénovation préconisé par l'étude. Pour pouvoir faire un inventaire financier nous avons besoin d'avoir accès aux factures d'énergie sur les trois dernières années si possibles (afin de faire une moyenne et d'éviter une année exceptionnelle). Ces factures nous permettent d'établir une fiche par coffret reprenant les différents éléments.

Nom de l'armoire :

N° de l'armoire :

Adresse :

Abonnement

N° de contrat :

N° de compteur :

Puissance souscrite :

Code Tarif :

Montant annuel estimé de la prime fixe :

Consommation

	2008	2009	2010
Consommation (kWh) :			

Remarque :

	2008	2009	2010
Dépenses (€ TTC) :			

Remarque :

	2008	2009	2010
Prix moyen du kWh (Cts€ TTC) :			

Remarque :

	2008	2009	2010
Rapport entre prime fixe et consommation			

Tableau 6 : fiche d'information : données financières par coffret

Le traitement des données peut être réalisé en parallèle à l'inventaire technique ce qui permet d'agir rapidement en cas d'anomalies sur les relevés. Une fois les données saisies, on obtient pour chaque coffret trois fiches : une fiche foyer, une fiche coffret et une fiche inventaire financier qui correspondent aux modèles ci-dessus.

Il faut alors établir une fiche par coffret qui listera les économies envisageables selon le modèle suivant :

Abonnement			
	Actuel	Futur	Ecart
Puissance souscrite (en KVA) :			
	Actuel	Futur	Ecart
Montant de la prime fixe annuelle (€ HT) :			
Gestion du parc			
	Actuel	Futur	Ecart
Heures de fonctionnement annuelles :			
	Investissements (€ HT)	Economies (€ HT/an)	Temps de retour (ans)
Economies annuelles envisageables :			
Sources lumineuses			
	Actuel	Futur	Ecart
Consommation annuelle (en KWh) :			
	Investissements (€ HT)	Economies (€ HT/an)	Temps de retour (ans)
Economies annuelles envisageables :			
Equipements de réduction de puissance			
	Actuel	Futur	Ecart
Consommation annuelle (en KWh) :			
	Investissements (€ HT)	Economies (€ HT/an)	Temps de retour (ans)
Economies annuelles envisageables :			

Tableau 7 : fiche de synthèse : économies envisageables par coffret

Il faut comparer la puissance souscrite avec la puissance mesurée afin de voir si l'abonnement souscrit est conforme. Sinon il faut chiffrer les économies ou les dépenses supplémentaires afin d'avoir la bonne puissance souscrite.

Il faut estimer le nombre d'heures annuelles de fonctionnement (en mesurant le moment d'allumage avec un luxmètre). La valeur recommandée est de 4100 heures par an. Si la valeur

relevée correspond à une durée plus importante, nous calculons les économies en fonction du tarif et de la consommation.

Dans cette partie, il faut chiffrer le remplacement des sources à vapeur de mercure (BF) par des sources en sodium haute pression (SHP) ou iodures métalliques (IM). En terme de puissance les remplacements sont les suivants :

- 250W BF devient 150W SHP/IM ;
- 125W BF devient 100W SHP/IM ou 70W SHP/IM ;
- 80W BF devient 70W SHP/IM.

Pour les remplacements, il faut déterminer :

- le coût d'investissement (base moyenne 350€ par luminaire) ;
- l'économie annuelle de consommation ;
- la durée de retour sur investissement.

Si nous jugeons que la puissance par foyer est trop importante à certains endroits ou que la fréquentation durant la nuit est faible, il faut préconiser l'installation d'un réducteur de puissance soit dans le coffret (si toutes les sources du coffret utilisent la même technologie SHP ou IM) soit par candélabre. Il faut chiffrer le coût en demandant les prix au fabricant (Schneider, Merlin Gerin,...) et estimer les économies suivant le matériel. L'investissement et les économies de consommation permettent de déterminer la durée de retour sur investissement.

Une fois les préconisations par coffret établies, nous regroupons les différentes informations sous forme de tableaux et de graphiques qui sont plus facilement compréhensibles et qui permettent d'avoir un accès global suivant le type de rénovation. Les différents tableaux reprennent les éléments suivants :

- répartition des technologies de lampes ;
- état des matériels ;
- investissement pour la sécurité électrique et la mise en conformité ;
- durée d'éclairage ;
- ajustement des puissances souscrites ;
- réduction de puissance.

Type de luminaire	Etat du luminaire			Total
	Correct	Moyen	Vétuste	
Mazda EPA			2	2
thorn pilot		5		5
lanterne de style	2		3	5
Europhobe VM			6	6
boule claire		4		4
	2	9	11	22
	9%	41%	50%	100%

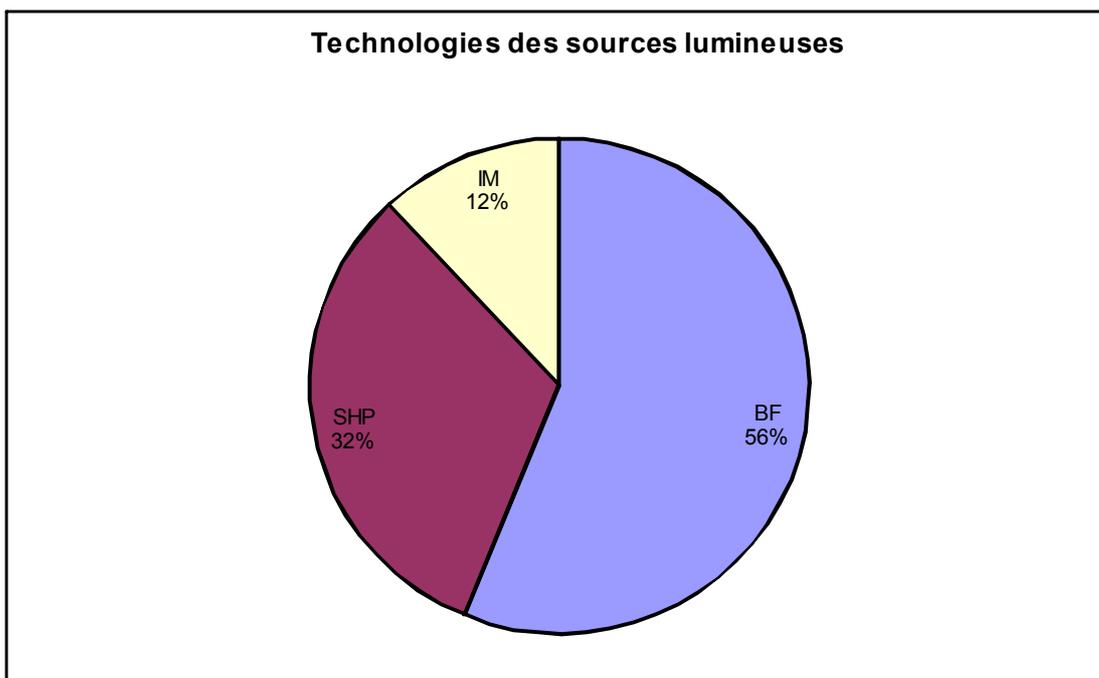


Figure 25 : exemples de tableaux et graphiques

Ces tableaux donnent lieu à l'élaboration de deux tableaux de synthèses.

Nature interventions	Description	Economies d'électricité (kWh/an)	Economie de puissance de pointe (kW)	Economies financières (€ TTC/an)	Montant des investissements (€ TTC)	Délai de réalisation (Mois)
Sur tarification et comptage						
Sur gestion du parc						
Sur sources lumineuses						
Sur équipements de réduction de puissance						
Autres à préciser						
Autres à préciser						

Tableau 8 : fiche de synthèse globale des économies envisageables (ADEME, 2003)

Postes	Actuel	Degré 1	Degré 2	Degré 3	Degré 4
Go : Intérêts des emprunts					
G1 : Coût énergétique					
G2 : Maintenance systématique					
G3 : Maintenance conditionnelle					
G4 : investissements					
Totaux HT					
TVA					
Totaux TTC					

Tableau 9 : Comparaison états actuel et futur suivant investissements (ADEME, 2003)

- degré 1: Investissements indispensables liés à la mise en conformité éventuelle et à la sécurité des personnes ;
- degré 2 : Investissements liés à des économies énergétiques (ou de maintenance) ;
- degré 3 : Investissements générés par des améliorations qualitatives (matériels et niveaux d'éclairage en particulier) ;
- degré 4 : Investissements souhaités par la Collectivité (voies nouvelles et/ou opérations communes avec d'autres concessionnaires : eau, gaz, téléphone, électricité).

2.3 Présentation du résultat

Le résultat est un rapport papier et sur support informatique. Ce rapport est composé de trois parties :

- PARTIE 1 ;
 - inventaire technique,
- PARTIE 2 ;
 - inventaire financier de l'existant, (investissement + fonctionnement), comportant l'analyse des dépenses sur les deux dernières années,
 - inventaire financier de l'état futur préconisé,
- PARTIE 3 ;
 - récapitulatif destiné aux élus ,
 - récapitulatif de l'inventaire technique de l'existant,
 - récapitulatif de l'inventaire financier de l'existant,
 - schéma directeur de rénovation avec phasage,
 - incidence sur le budget annuel (Investissement + fonctionnement) suivant les 4 degrés d'urgence.

Partie 3

Diagnostic technique du réseau

3.1 Préambule

Le diagnostic électrique du réseau est en grande partie décrit dans le cahier des charges de l'ADEME. Ce cahier des charges définit une méthodologie destinée aux collectivités locales désireuses d'effectuer (ou de faire effectuer) un diagnostic éclairage public. Lorsque ce dernier est réalisé avec une participation financière de l'ADEME, son respect est obligatoire.

Le diagnostic doit constituer un élément décisionnel fiable pour la collectivité, son aboutissement étant la proposition d'un schéma directeur de rénovation chiffré, tant en investissement qu'en fonctionnement, qu'en phasage (y compris économies d'énergies), c'est-à-dire en coût global. Pour atteindre cet objectif, le diagnostic comporte quatre chapitres :

- inventaire technique de l'existant ;
- inventaire financier de l'existant (investissement et fonctionnement) ;
- schéma directeur de rénovation chiffré en coût global ;
- comparatif des avantages techniques et/ou financiers au regard de la situation actuelle.

Cette étude intègre et prend en compte des mesures de niveaux d'éclairage sur la base de l'identification des réels besoins en période nocturne, la sécurisation de l'ensemble des installations d'éclairage public, l'assurance d'une efficacité énergétique durable dans le temps et la limitation des puissances lumineuses générées par le réseau d'éclairage public (ADEME, 2003).

Les plans ou schémas des installations actuelles, dans la mesure où ils existent, sont fournis par la collectivité. Ce point constituant l'élément de travail indispensable pour effectuer les opérations relatives au diagnostic technique. S'ils n'existent pas, il faut réaliser une campagne de relevés « terrain » afin d'obtenir un plan à jour du réseau avec les éléments caractéristiques suivants :

- implantation des sources d'alimentation (armoires) ;
- implantation des points lumineux avec leurs caractéristiques et numérotations ;
- éclairages annexes (feux de circulation, illuminations, ...) ;
- repérage des départs et circuits par armoire.

L'objectif est d'obtenir une cartographie interactive où chaque entité graphique sera couplée à des données numériques représentatives des caractéristiques. Le report sur cartographie du réseau, des armoires de commande, des départs et des points lumineux doit faire appel à un code couleur, permettant une parfaite lecture spatiale du patrimoine et la visualisation géographique aisée des informations déduites des données relevées avec classement par thématique (natures de sources lumineuses, répartition des puissances des lampes et de l'état des luminaires, nature du support, nature de l'alimentation, ...).

Dans cette partie, nous allons nous pencher sur la première partie du diagnostic qui est l'inventaire technique de l'existant et les propositions d'amélioration qui en découlent.

3.2 Les armoires

Voici ci-dessous un exemple de fiche coffret. Une fiche est réalisée par point d'alimentation, elle reprend les caractéristiques techniques de l'armoire de commande.

Nom de l'armoire :																			
N° de l'armoire :																			
Adresse :																			
N° de compteur :																			
N° de contrat :																			
Puiss. souscrite : KVA	Puiss. installée : W																		
Code Tarif :																			
Simple Tarif ->	<input type="text"/>	Double Tarif ->	<input type="text"/>																
Tension : Volts	Mono->	<input type="checkbox"/>	Triph->																
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																
<u>Protection Générale :</u>	Disj. ->	<input type="checkbox"/>	Inter->																
	C/C ->	<input type="checkbox"/>	Sans->																
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																
Calibre->	<input type="text"/>	Amp.	Diff. ->																
			<input type="text"/>																
			mA																
Photographie de l'armoire																			
(Avec identification lisible sur la photo.)																			
CARACTERISTIQUES TECHNIQUES																			
Principe d'Allumage: Cellule: <input type="checkbox"/> Horloge Astro: <input type="checkbox"/> Horloge Stand.: <input type="checkbox"/> Marche forcée: <input type="checkbox"/>																			
Départs secondaires	départ 1	P->	<input type="checkbox"/>	NP->	<input type="checkbox"/>	C/C->	<input type="checkbox"/>	Unip.->	<input type="checkbox"/>	Multip->	<input type="checkbox"/>	Disj.->	<input type="checkbox"/>	Calib.->	<input type="text"/>	A	Diff.->	<input type="text"/>	mA
	départ 2	P->	<input type="checkbox"/>	NP->	<input type="checkbox"/>	C/C->	<input type="checkbox"/>	Unip.->	<input type="checkbox"/>	Multip->	<input type="checkbox"/>	Disj.->	<input type="checkbox"/>	Calib.->	<input type="text"/>	A	Diff.->	<input type="text"/>	mA
	départ 3	P->	<input type="checkbox"/>	NP->	<input type="checkbox"/>	C/C->	<input type="checkbox"/>	Unip.->	<input type="checkbox"/>	Multip->	<input type="checkbox"/>	Disj.->	<input type="checkbox"/>	Calib.->	<input type="text"/>	A	Diff.->	<input type="text"/>	mA
	départ 4	P->	<input type="checkbox"/>	NP->	<input type="checkbox"/>	C/C->	<input type="checkbox"/>	Unip.->	<input type="checkbox"/>	Multip->	<input type="checkbox"/>	Disj.->	<input type="checkbox"/>	Calib.->	<input type="text"/>	A	Diff.->	<input type="text"/>	mA
	départ 5	P->	<input type="checkbox"/>	NP->	<input type="checkbox"/>	C/C->	<input type="checkbox"/>	Unip.->	<input type="checkbox"/>	Multip->	<input type="checkbox"/>	Disj.->	<input type="checkbox"/>	Calib.->	<input type="text"/>	A	Diff.->	<input type="text"/>	mA
Distribution du Neutre : OUI: <input type="checkbox"/> NON: <input type="checkbox"/> Mise à la Terre : OUI: <input type="checkbox"/> NON: <input type="checkbox"/>																			
Enveloppe Type: Armoire-> <input type="checkbox"/> Coffret-> <input type="checkbox"/> S300-> <input type="checkbox"/> Acier-> <input type="checkbox"/> PVC-> <input type="checkbox"/> Marque <input type="text"/>																			
Portes-> <input type="checkbox"/> Compart-> <input type="checkbox"/> Haut-> <input type="text"/> Larg-> <input type="text"/> Prof-> <input type="text"/>																			
Mode de pose: P.B.A-> <input type="checkbox"/> Façade-> <input type="checkbox"/> Intérieur local-> <input type="checkbox"/> Intégré poste-> <input type="checkbox"/> Socle-> <input type="checkbox"/>																			
Observations :																			
Etat général Enveloppe : Bon-> <input type="checkbox"/> A Revoir-> <input type="checkbox"/> Etat Equip. Electrique : Bon-> <input type="checkbox"/> A Revoir-> <input type="checkbox"/>																			
Mesures d'intensité :		Autres Observations :																	
Ph. 1 :	<input type="text"/>	Ampères																	
Ph. 2 :	<input type="text"/>	Ampères																	
Ph. 3 :	<input type="text"/>	Ampères																	

Figure 26 : Exemple de fiche coffret (ADEME, 2003)

3.2.1 Sectionnement

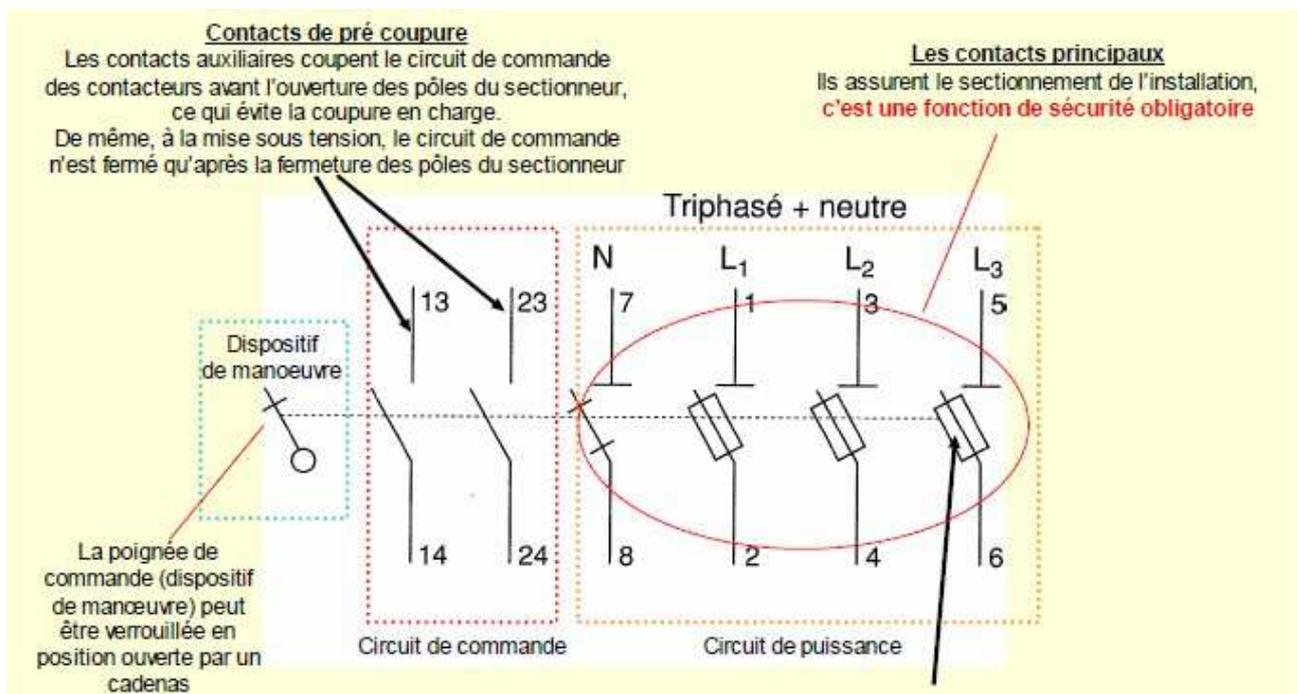
Tout circuit doit pouvoir être sectionné sur chacun des conducteurs afin d'assurer sa mise hors tension lors d'interventions (recherche de défauts, travaux, remplacement de lampes ...). Les dispositifs de sectionnement doivent couper tous les conducteurs actifs du circuit, à l'exception du conducteur PEN dans le schéma TN-C. Le sectionnement peut être réalisé par les dispositifs de protection (disjoncteurs, fusibles) ou de commande s'ils sont à coupure omnipolaire et satisfont aux conditions de la fonction de sectionnement telles que définies dans la norme NF C 15-100.

Le sectionnement peut être assuré par un dispositif assurant la coupure de tous les conducteurs actifs ou par un ensemble de dispositifs assurant la coupure de chacun des conducteurs ; dans ce dernier cas, les dispositifs concernant un même circuit doivent être disposés côte à côte et clairement identifiés. Il est recommandé d'assurer le sectionnement par un seul dispositif assurant la coupure de tous les conducteurs actifs par une seule manœuvre. En pratique, un (ou des) dispositif(s) de sectionnement doit être prévu :

- à l'origine des canalisations d'alimentation, dans l'armoire placée à l'origine de l'installation ;
- dans le coffret au pied de chaque candélabre (soit par le disjoncteur s'il est à coupure bipolaire ; soit par le fusible ou disjoncteur placé sur le conducteur de terre, s'il est unipolaire, et par une barrette de sectionnement placée sur le conducteur de neutre).

Le sectionneur est un appareil électromécanique permettant de séparer, de façon mécanique, un circuit électrique et son alimentation, tout en assurant physiquement une distance de sectionnement satisfaisante électriquement. L'objectif peut être d'assurer la sécurité des personnes travaillant sur la partie isolée du réseau électrique ou d'éliminer une partie du réseau en dysfonctionnement pour pouvoir en utiliser les autres parties. Le sectionneur, à la différence du disjoncteur ou de l'interrupteur, n'a pas de pouvoir de coupure, ni de fermeture. Il est impératif d'arrêter l'équipement aval pour éviter une ouverture en charge. Dans le cas contraire de graves brûlures pourraient être provoquées, liées à un arc électrique provoqué par l'ouverture. La coupure doit être visible, soit directement par observation de la séparation des contacts, soit par un indicateur de position si les contacts ne sont pas visibles.

En basse tension, cet appareil est souvent muni de fusibles, il est alors appelé sectionneur porte-fusibles. Certains sectionneurs comportent aussi des contacts à pré-coupure permettant de couper la commande des organes de puissance afin d'éviter une manœuvre en charge. Un sectionneur possède différents organes. Les contacts principaux servent à couper un circuit électrique en isolant la source du consommateur. Les contacts auxiliaires servent à couper le circuit de commande. Le sectionneur peut également disposée d'une poignée de commande, qui peut être verrouillée par un cadenas en position ouverte. L'ouverture du sectionneur est impérative lors de toute intervention hors tension sur un équipement électrique.



les fusibles assurent la protection contre les surcharges et les courts-circuits

Figure 27 : les différents organes d'un sectionneur

La performance principale qui caractérise un sectionneur est sa tenue au courant de court-circuit, c'est-à-dire le courant maximal qu'il est capable de supporter lorsqu'il est fermé. Les valeurs de tenue au courant de court-circuit sont comprises entre 25 kA et 63 kA . La tenue diélectrique est un autre paramètre important, caractérisant la capacité à isoler du sectionneur, même en présence de surtensions.

Le choix d'un sectionneur doit s'effectuer suivant plusieurs critères :

- nombre de pôles : nombre de contacts de puissance (unipolaire, bipolaire, tétrapolaire) ;
- tension d'emploi : tension maximale entre deux pôles de l'appareil ;
- calibre : intensité maximale que l'appareil peut supporter pendant un temps limité ;
- nature des cartouches fusibles (gG, aM) ;
- nombre de contacts de pré-coupure (généralement 1 ou 2) ;
- dispositif de cadenassage : accessoire permettant la consignation.



Figure 28 : un sectionneur 3 pôles cadenassable (www.schneider-electric.com)

3.2.2 Commande

3.2.2.1 Contacteur

Un contacteur est un appareil électrotechnique destiné à établir ou interrompre le passage du courant, à partir d'une commande électrique ou pneumatique. Le contacteur permet de mettre en service une installation en charge à distance par différents systèmes. En éclairage, les systèmes de commande sont :

- les détecteurs de luminosité (Lumandar, etc.) ;
- les récepteurs d'ordre 175 Hz (Pulsadis, ...) ;
- les calculateurs astronomiques (Radiolite, Helian, ...).

Il a la même fonction qu'un relais électromécanique, avec la différence que ses contacts sont prévus pour supporter un courant beaucoup plus important. Ainsi, des contacteurs sont utilisés afin d'alimenter des moteurs industriels de grande puissance (plus de 0,5 kW) et en général des consommateurs de fortes puissances. Ils possèdent un pouvoir de coupure important.

Ils sont aussi utilisés en milieu domestique pour alimenter des appareils électriques comme le chauffage ou le chauffe-eau, car les organes de commande (thermostat, interrupteur horaire et autres contacts de commande) risqueraient d'être rapidement détériorés par le courant trop important.

Sur les contacteurs de puissance élevée les bobines de commande sont souvent interchangeables, permettant de commander le contacteur avec différentes tensions (24 V, 48 V, 110 V, 230 V, 400 V). Les contacteurs tripolaires comportent la plupart du temps un contact auxiliaire, tandis que les contacteurs tétrapolaires n'en ont en général pas (la place du contact auxiliaire étant occupée par le quatrième contact de puissance 7-8). La différence entre contact de puissance et contact auxiliaire réside dans le fait que le contact de puissance est prévu pour résister à l'apparition d'un arc électrique issu d'un fort courant, à l'ouverture ou à la fermeture du circuit ; de ce fait, c'est ce contact qui possède un fort pouvoir de coupure. Le contact auxiliaire n'est doté que d'un très faible pouvoir de coupure ; ce dernier faisant partie de la commande du montage dont les courants restent faibles face à la partie puissance.

Ainsi, la seule différence qui existe entre un relais électromécanique et un contacteur est la présence ou non de contacts de puissance, pouvant établir ou interrompre de forts courants. On peut considérer un contacteur comme étant un « relais de puissance », ou bien un relais comme étant un « contacteur dépourvu de contacts de puissance ».

Chaque borne est repérée par un nombre. Un seul chiffre pour les bornes de puissance et deux pour les bornes des contacts auxiliaires. Chaque borne de puissance possède un chiffre impair pour les bornes supérieures, et un chiffre pair pour les bornes inférieures. Les bornes des contacts auxiliaires possèdent deux chiffres : le chiffre des unités indique le type du contact : 1-2 pour un NC (Normally Closed), 3-4 pour un NO (Normally Opened), 5-6 et 7-8 pour des contacts spéciaux, notamment sur les blocs temporisés, le chiffre des dizaines permettant d'identifier chaque contact (il n'y a qu'un seul contact 13-14, 23-24...).

Les critères de choix d'un contacteur sont nombreux et importants, principalement les suivants :

- tension du circuit de puissance et du circuit de commande ;
- catégorie d'emploi du contacteur (que doit-il mettre en service ou couper) ;
- nombre de contacts à utiliser et leur type (puissance ou auxiliaire) ;
- température d'utilisation (norme NF C 17-200) ;
- nombre d'enclenchements, de déclenchements et la durée de fonctionnement.

3.2.2.2 Interrupteur crépusculaire

Un interrupteur crépusculaire est un dispositif de commande électrique qui agit (change d'état) en fonction de la luminosité ambiante. En schématisant à l'extrême, on peut le considérer comme un interrupteur qui se ferme quand il fait nuit et s'ouvre quand il fait jour. Le fonctionnement inverse est également possible.

L'application la plus courante est la commande d'éclairage extérieur une fois la nuit tombée (parking, enseignes lumineuses, ..). L'interrupteur crépusculaire est rarement employé seul. Il est en effet le plus souvent associé à une horloge programmable, permettant dès lors de déterminer des jours de fonctionnement, par exemple du lundi au vendredi seulement, ainsi que des plages horaires en dehors desquels les appareils desservis ne s'allumeront pas (horaires de fermeture, ..). Certains modèles d'interrupteurs crépusculaires comme l'IC 2000P de Schneider Electric intègrent l'horloge programmable.

L'inter crépusculaire comprend au minimum une photorésistance (LDR - Light Dependant Resistor, un potentiomètre et un contact. La photorésistance est un capteur chargé de renseigner l'interrupteur crépusculaire sur la luminosité ambiante. Techniquement la photorésistance est constituée d'un matériau semi-conducteur dont la résistance (exprimée en ohms) varie selon l'éclairement (en Lux). Plus il fait sombre et plus la résistance de la cellule est importante. Elle peut être intégrée ou extérieure au boîtier, donc à raccorder sur ce dernier.

Le potentiomètre se caractérise par une vis ou molette de réglage servant à régler, le seuil de luminosité sollicité pour commander les appareils électriques. Il est par conséquent possible de choisir avec précision à quel niveau d'éclairement ambiant les appareils devront s'allumer ou s'éteindre. L'intensité lumineuse pourra selon les modèles être exprimée en lux (unité de mesure de l'éclairement lumineux) ou caractérisée par les symboles de lune et de soleil. Des modèles évolués proposent plusieurs plages permettant un réglage plus fin encore de la luminosité, Schneider Electric par exemple avec son IC 7502, qui en outre inclut une temporisation le rendant insensible aux variations de luminosité de durée inférieure à 40 secondes. Voici à titre indicatif les équivalences lux / niveau d'ensoleillement donnés par le constructeur Schneider Electric :



Figure 29 : équivalence lux / niveau d'éclairement

Les contacts servent à commander les appareils électriques, tel un interrupteur classique relié à un circuit d'éclairage. Les contacts changent d'état chaque fois que le seuil pré-réglé est franchi. Certains interrupteurs crépusculaires ne fournissent non pas un contact proprement dit mais une alimentation. Le contact dans ce cas est relié en interne à la phase servant à l'alimentation de l'interrupteur crépusculaire. D'autres fournissent des contacts indépendants, appelés « contacts secs ». Les contacts secs permettent notamment l'alimentation séparée de l'interrupteur crépusculaire et des appareils à commander. Nous pourrions par exemple avoir un interrupteur crépusculaire fonctionnant sous 230 V et des lampes basses tension.

Les interrupteurs crépusculaires peuvent proposer selon les modèles et marques différentes options : temporisation avant changement d'état du contact, horloge intégrée ou réglages plus ou moins fins de la luminosité. Ils se présentent également sous différentes formes :

- les interrupteurs modulaires conçus pour être intégrés dans un tableau électrique ;
- sous forme de simples boîtiers, davantage destinés à être à logés dans des boîtes de dérivation, dans des boîtiers encastrés ou intégrés directement dans les appareils comme les luminaires. A noter que certains luminaires avec détecteurs de présence intégrés disposent également d'interrupteurs crépusculaires ;
- sous forme d'appareillages électriques, s'apparentant à des interrupteurs classiques, avec photorésistance et potentiomètre de réglage apparents.

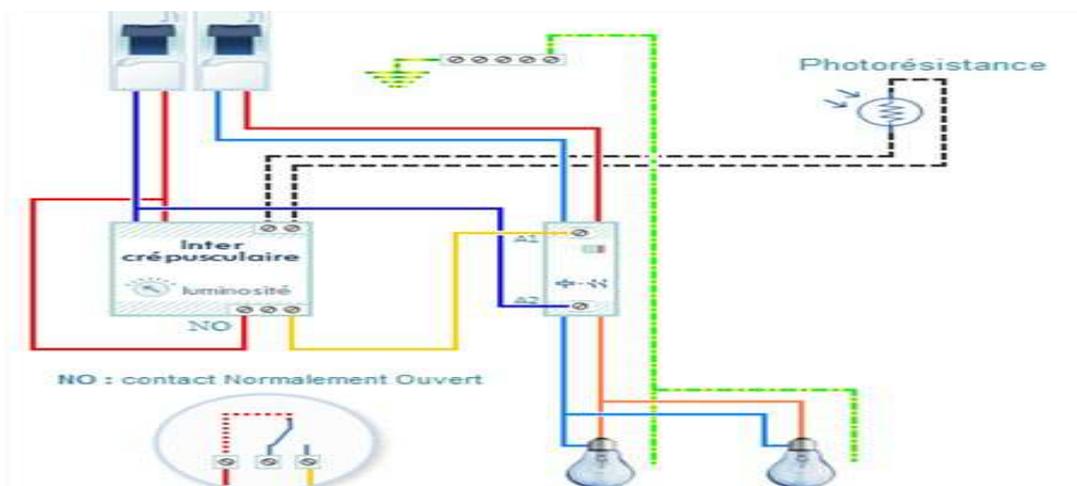


Figure 30 : circuit d'éclairage avec contacteur commandé par un interrupteur crépusculaire

3.2.2.3 Interrupteur horaire

L'interrupteur horaire ou horloge doit être alimenté entre phase et neutre pour faire fonctionner le moteur de l'horloge. Le raccordement des récepteurs se fait sur les contacts du cadran horaire et éventuellement sur les contacts du cadran hebdomadaire. A la différence de l'interrupteur crépusculaire où le déclenchement est dicté par la photorésistance, ici les contacts s'enclenchent suivant une heure réglée sur le cadran à l'aide de picots ou à l'aide du menu sur les programmeurs électroniques. La programmation horaire permet la mise en marche d'équipements électriques de façon automatique. Les horloges à programmation digitale permettent une programmation précise avec des fonctionnalités enrichies comme le changement été/hiver automatique.



Figure 31 : un interrupteur horaire (www.schneider-electric.com)

Un calculateur astronomique calcule en permanence les heures crépusculaires. Les coordonnées du lieu d'installation (longitude, latitude, numéro de carte IGN) doivent être rentrées dans l'appareil. Des appareils combinent à la fois un calculateur astronomique et un interrupteur horaire. Dans certains endroits il peut être envisagé de mettre sous tension l'éclairage toute la nuit pendant le week-end ou pendant les périodes de vacances alors qu'en semaine ou hors vacances, l'éclairage se coupe au bout d'un certain temps (à minuit par exemple). Sur ce genre d'appareil, la partie horaire a l'avantage de commande sur la partie astronomique.



Figure 32 : un interrupteur astronomique (www.schneider-electric.com)

3.2.2.4 Pulsadis

Depuis quelques dizaines d'années, EDF utilise un système de télécommande appelé Pulsadis qui permet depuis les centres de distribution à moyenne tension de déclencher le changement de tarif des compteurs à l'heure voulue, et facultativement d'autres services comme l'éclairage public. Ce système repose sur l'injection dans le secteur de signaux selon un code que les récepteurs reconnaissent et qui leur donne l'ordre d'effectuer les commutations correspondant aux signaux qu'ils sont censés reconnaître. Le signal porteur est à 175 Hz avec une amplitude minimum de 0,9% de la tension nominale du secteur, soit 2,3V.

Il est modulé par des impulsions binaires selon le code suivant : Un top de 1 seconde suivi d'un silence de 2,75 secondes indique le début de trame. Le récepteur reconnaît ce top et commence à compter le temps à partir de ce moment. La trame comporte 40 emplacements d'impulsions de 2,5 secondes et sa durée totale est de 102,25 secondes. Chaque emplacement d'impulsion se compose d'une durée de 1 seconde pendant laquelle il peut y avoir ou non émission de la porteuse à 175 Hz, et d'un silence de 1,5 seconde servant de séparateur avec l'emplacement suivant. Si le top est présent, il déclenche dans les récepteurs un basculement.

Une autre impulsion est prévue pour produire le basculement inverse. Si aucune de ces deux impulsions n'est présente, le récepteur ne change pas d'état. Les impulsions étant associées par paires (l'une démarre, l'autre arrête), ou bien par trio (l'une active, les deux autres arrêtées), 20 canaux maximum sont disponibles pour autant de types différents de télécommande. Le diagramme suivant représente la trame type. On y a montré deux impulsions manquantes, la 2 et la 4.

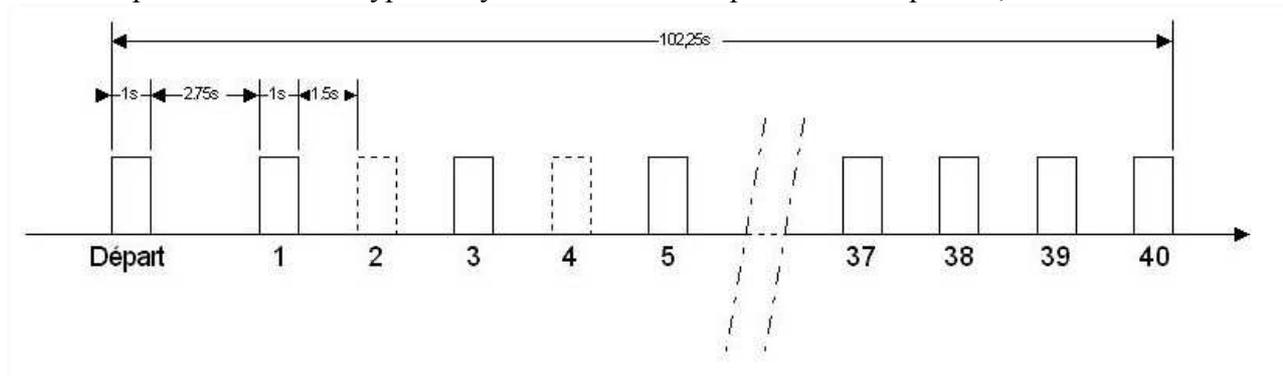


Figure 33 : diagramme des signaux 175 Hz

Le décodage de la trame exige donc de réaliser les fonctions suivantes :

- détecter le signal 175 Hz ;
- repérer le top de départ ;
- définir les instants prévus d'apparition des impulsions attendues ;
- noter leur présence ou leur absence ;
- effectuer les actions qui en découlent.

3.2.3 Protections

3.2.3.1 Fusible

Les fusibles sont des points faibles volontairement insérés dans les installations électriques qui ont pour rôle de se détruire en cas de surcharge protégeant ainsi les canalisations. Le fusible est un élément thermique qui rentre en fusion lors des surcharges ou court-circuit, il est en général inséré dans un support permettant son remplacement rapide.

Il est généralement constitué d'un support cylindrique ou carré disposant de contacts à ses extrémités. A l'intérieur, on trouve un élément conducteur métallique, c'est l'élément de fusion. Cet

élément est noyé dans du sable pour les cartouches de puissance. Le dimensionnement des fusibles est calculé en fonction des caractéristiques de la ligne à protéger.

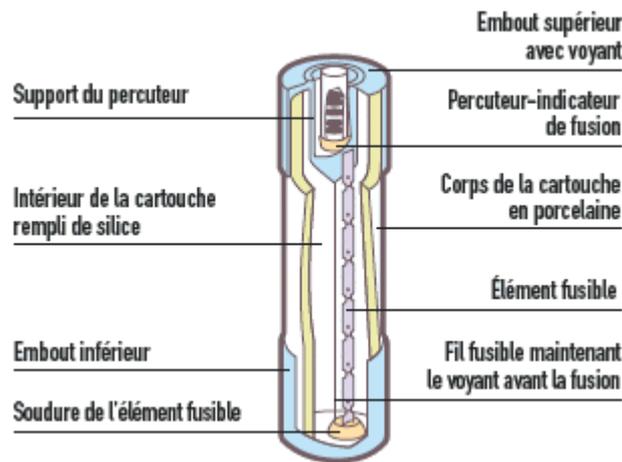


Figure 34 : constitution d'un fusible avec voyant d'état

Ces caractéristiques déterminent la contrainte thermique maximum qui peut être supportée par la ligne. La première lettre qui le caractérise indique la zone de coupure :

- éléments de remplacement « g » (éléments de remplacement pouvant couper tous les courants) ;
- éléments de remplacement « a » (éléments de remplacement pouvant couper une partie des courants seulement).

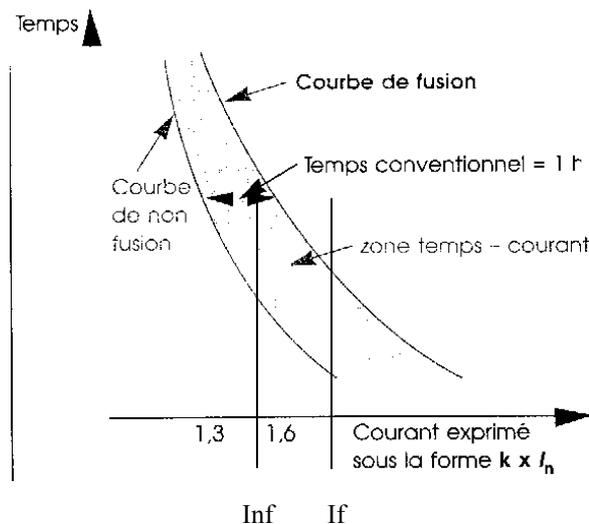
La deuxième lettre doit indiquer la catégorie d'utilisation. Cette lettre définit avec précision les caractéristiques temps courant / temps et courants conventionnels. Par exemple, les fusibles gG désignent les éléments de remplacement pour usage général pouvant couper tous les courants. Les fusibles aM désignent les éléments de remplacement pour la protection des circuits de moteurs et ne pouvant couper qu'une partie des courants.

Type	Courbe de fusion	Utilisation
Très rapide (Prosistor)		Utilisé pour les protections des semi-conducteurs.
Standard Type gG (écriture en noire)		Utilisation générale.
Lent Type aM		Utilisé pour les forts courants transitoires : - démarrage des moteurs,

(écriture en verte)		- primaire des transformateurs.
---------------------	--	---------------------------------

Tableau 10 : classification des fusibles

Les fusibles adaptés aux réseaux d'éclairage public sont donc les fusibles gG.



avec I_{nf} , l'intensité de non fusion et I_f , l'intensité de fusion.

Figure 35 : caractéristiques temps/courant d'un fusible

Calibres	Inf. intensité de non-fusion	I_f intensité de fusion	t = temps conventionnel
$I_n \leq 4 \text{ A}$	$1,5 I_n$	$2,1 I_n$	1 h
$4 < I_n \leq 10$	$1,5 I_n$	$1,9 I_n$	1 h
$10 < I_n \leq 25$	$1,4 I_n$	$1,75 I_n$	1 h
$25 < I_n \leq 63$	$1,3 I_n$	$1,6 I_n$	1 h
$63 < I_n \leq 100$	$1,3 I_n$	$1,6 I_n$	2 h
$100 < I_n \leq 160$	$1,2 I_n$	$1,6 I_n$	2 h
$160 < I_n \leq 400$	$1,2 I_n$	$1,6 I_n$	3 h
$400 < I_n$	$1,2 I_n$	$1,6 I_n$	4 h

Tableau 11 : exemple de caractéristiques des fusibles gG

3.2.3.2 Disjoncteur

Les disjoncteurs assurent l'ouverture automatique non destructive en cas de défaut sur le circuit contrôlé de type surintensité ou court-circuit. La surintensité est une valeur d'intensité traversant le disjoncteur supérieure à la valeur du courant nominal de réglage. Lors d'une

surintensité, c'est en général l'élément de contrôle thermique qui assure l'ouverture du circuit. Cet élément thermique peut être relativement précis mais par contre d'un temps de réponse long. Le court-circuit est une valeur très élevée de l'intensité traversant le disjoncteur survenant brutalement lors du contact accidentel direct entre deux fils de polarité différente ou entre un fil et une masse reliée à la terre. Dans ce cas, c'est la protection magnétique, rapide mais peu précise qui assure l'ouverture du circuit en défaut.

La norme NF C 61- 410 fixe les caractéristiques des disjoncteurs de protection contre les surintensités de valeur inférieure à 125 A pour les installations domestiques et analogues. La norme IEC 947 – 2 fixe les caractéristiques des disjoncteurs de protection contre les surintensités de valeur supérieure à 125 A.

Ils sont caractérisés par une plage de déclenchement :

- type B : au-dessus de 3 In et jusqu'à 5 In inclus ;
- type C : au-dessus de 5 In et jusqu'à 10 In inclus ;
- type D : au-dessus de 10 In et jusqu'à 20 In inclus.

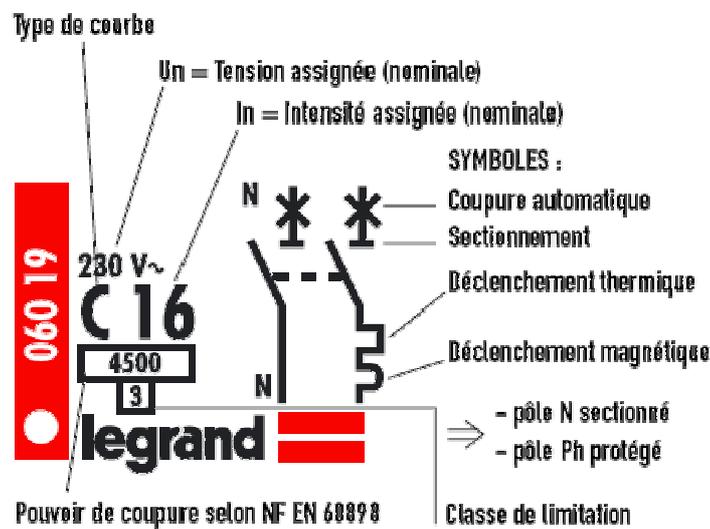


Figure 36 : caractéristiques principales d'un disjoncteur

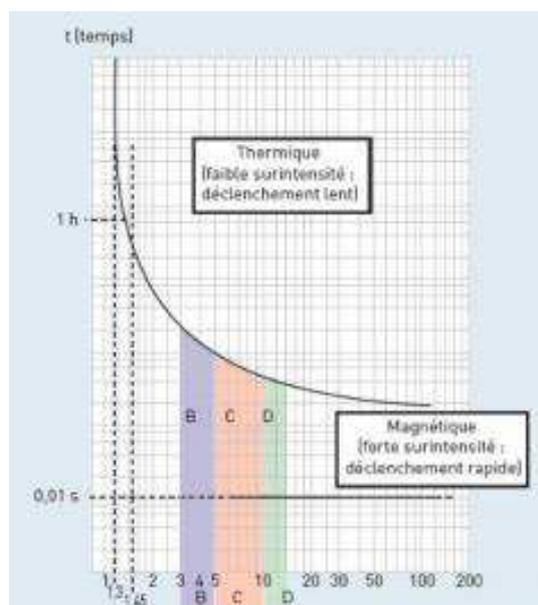


Figure 37 : courbes typiques de fonctionnement des disjoncteurs

3.2.3.3 Système différentiel

Le système différentiel est utilisé pour assurer la protection des personnes contre les contacts indirects. En fonctionnement normal, l'intensité qui rentre dans le récepteur est identique à celle qui en ressort, donc pas de déclenchement. Lorsqu'il y a un défaut à la terre, l'intensité entrante est plus importante que celle sortante d'où le déclenchement.

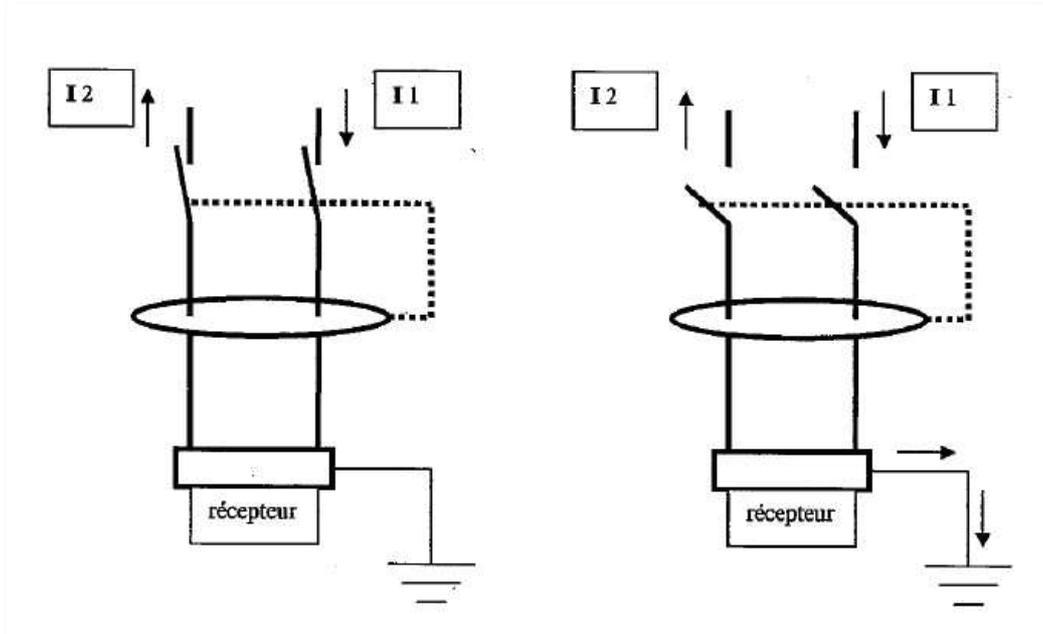
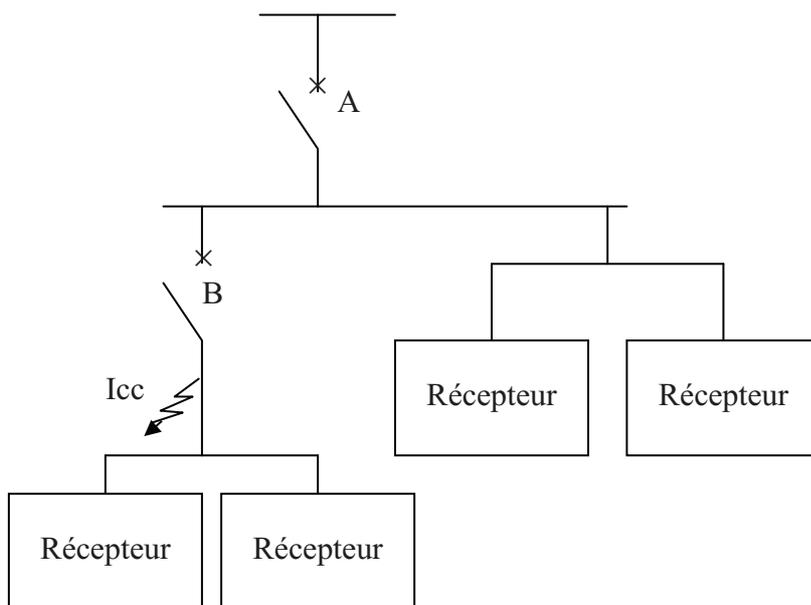


Figure 38 : principe de fonctionnement d'un dispositif différentiel

Une bonne coordination des protections d'une alimentation électrique doit entraîner le déclenchement de l'appareil de protection situé immédiatement en amont du défaut et de lui seul. Cette capacité du réseau à rendre la surface perturbée la plus petite possible, donc à assurer une bonne continuité de service, est caractérisée par ce que l'on appelle : la sélectivité (totale ou partielle).



- ☞ Si seul B s'ouvre, quelle que soit la valeur du courant I_{cc} , c'est la sélectivité totale.
- ☞ Si B s'ouvre jusqu'à un courant présumé de court-circuit $I_{cc}' < I_{cc}$ et ensuite A s'ouvre, donc A et B sont ouverts. C'est la sélectivité partielle.

Figure 39 : sélectivité entre deux disjoncteurs

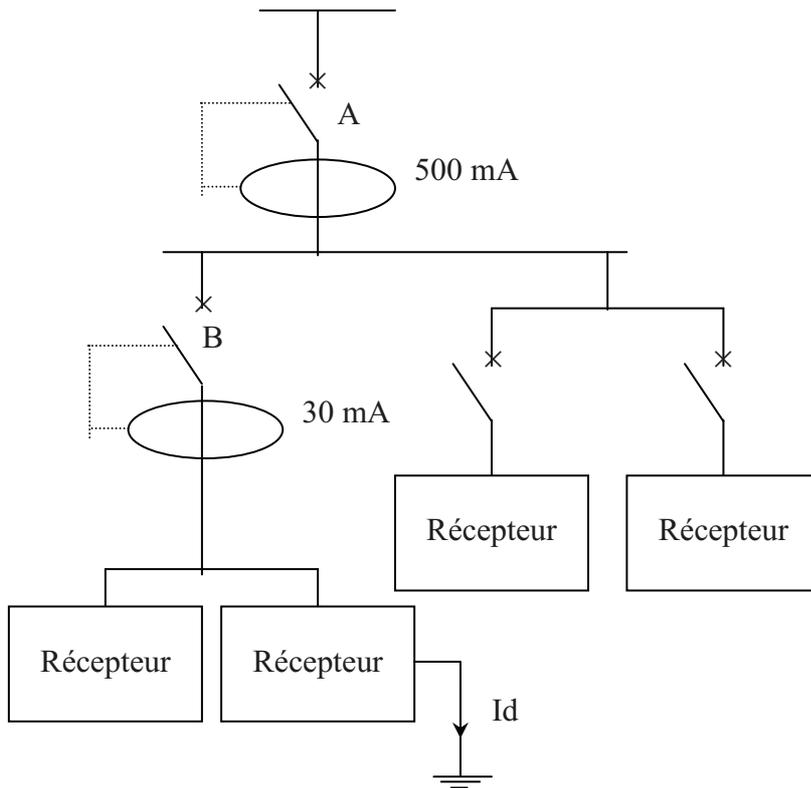


Figure 40 : sélectivité entre deux disjoncteurs différentiels

Remarque :

Les disjoncteurs conçus pour assurer la protection des personnes contre les contacts indirects sont équipés de déclencheur instantané avec des temps de déclenchement constant (30 ms) dès que le courant de défaut est situé dans leur plage de déclenchement.

- ☞ Si I_d est compris entre 30 et 100 mA, seul B s'ouvre.
 - ☞ Si $I_d > 500$ mA, A et B s'ouvrent en même temps. Il n'y a donc pas une bonne sélectivité.
- La solution consiste donc à utiliser un différentiel retardé (sélectif) pour A.

De ce fait, le différentiel retardé encore désigné par un disjoncteur de branchement différentiel sélectif, doit être placé en tête d'une installation où tous les départs divisionnaires (c'est-à-dire les circuits alimentant les appareils terminaux) sont protégés par des différentiels instantanés de façon à assurer une bonne sélectivité des protections.

3.2.4 Facteur de puissance

Le facteur de puissance, ou $\cos \varphi$, indique le décalage de l'intensité par rapport à la tension. Il est toujours inférieur à 1 sauf pour une résistance pure. Du point de vue de l'utilisateur, la puissance active P est la seule puissance transformable en puissance mécanique, calorifique ou chimique.

$$P = U \times I \times \cos \varphi$$

- U est la tension efficace
- I est le courant efficace
- $\cos \varphi$ est le facteur de puissance

Équation 7 : puissance active

Le courant en ligne est égal à :

$$I = P / (U \times \cos \varphi)$$

Équation 8 : courant de ligne

Nous constatons donc que pour une puissance active donnée, le courant est inversement proportionnel au facteur de puissance. Les pertes en ligne et dans les machines (par effet Joule) sont d'autant plus grandes que le facteur de puissance est plus faible. Les conséquences d'un faible $\cos \varphi$ sont une mauvaise utilisation des lignes de distribution électrique. EDF pénalise les installations qui ont un $\cos \varphi < 0,928$. Pour l'utilisateur, il y a également les pertes par effet Joule, mais aussi la nécessité de prévoir des circuits et installations plus importantes (sections des lignes, transformateurs ...). Le facteur de puissance peut être amélioré. Cela se fait par l'installation de batteries de condensateurs qui produisent l'énergie réactive dont les récepteurs ont besoin localement et partiellement, ce qui réduit l'énergie réactive fournie par le réseau : c'est le principe de la compensation de l'énergie réactive ou de l'amélioration du facteur de puissance.

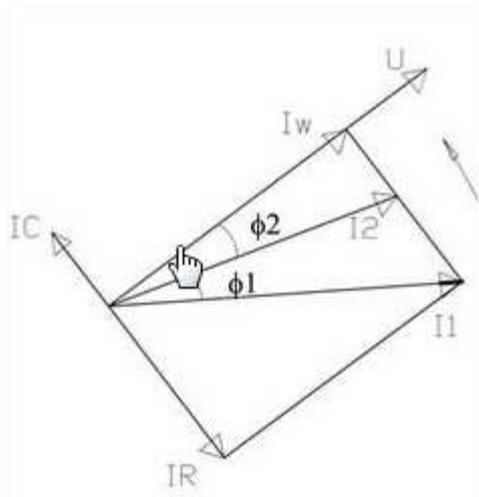


Figure 41 : correction du facteur de puissance

En mettant en parallèle un condensateur de courant IC, donc en opposition avec le courant IR, le courant inductif consommé par le récepteur est réduit de la résultante de IR-IC, ce qui fait passer l'angle de φ_1 à φ_2 , améliorant le $\cos \varphi$. Le courant consommé par le récepteur et ainsi réduit de I1 à I2.

Dans le cas d'un circuit de 25 lampes de 150 W sous 230 V (soit 176 W avec la puissance du ballast), l'intensité absorbée dépend du facteur de puissance de l'installation.

cos φ	0,928	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4
I en A	20,6	21,3	23,9	27,3	31,9	38,3	47,8

Tableau 12 : intensité absorbée pour différentes valeurs du facteur de puissance

On constate que l'intensité absorbée croît rapidement lorsque le facteur de puissance diminue.

En France, le $\cos \varphi$ moyen sur les installations existantes équipées de ballasts ferromagnétiques est de l'ordre de 0,7, soit une augmentation de l'intensité absorbée de 32 % par rapport à un $\cos \varphi > 0,9$ sur les installations neuves équipées de ballasts électroniques.

3.2.5 Application



Figure 42 : coffret de commande de la commune de Saint Jean de Maurienne

3.2.5.1 Sectionnement

Ce coffret ne dispose pas de moyen de sectionnement. Il serait préférable d'en installer un afin de faciliter la consignation du réseau lors des opérations de maintenance. De plus, ce sectionneur pourrait disposer d'une poignée cadenassable permettant de verrouiller le sectionneur en position ouverte. Ce sectionneur devra être tétrapolaire afin de pouvoir sectionner les trois phases et le conducteur de neutre en une seule manœuvre.

3.2.5.2 Protection générale

Ce coffret est équipé d'une protection générale par un disjoncteur différentiel tétrapolaire de sensibilité 500 mA. Toutefois, ce disjoncteur différentiel ne permet pas la protection des personnes contre les contacts indirects car dans le cas d'un contact indirect la tension de contact serait :

$$U_{\text{contact}} = R_{\text{humain}} \times I_{\text{défaut}}$$

Équation 9 : tension de contact

$$U_{\text{contact}} = 2000 \times 0,5 = 1000 \text{ V}$$

2000 ohms étant la résistance moyenne du corps humain

Une personne qui toucherait donc une masse mise accidentellement sous tension verrait une tension de contact de l'ordre de 1000 V. Suivant la durée d'exposition à cette tension, les effets sur le corps humain peuvent être dramatiques comme le montre le diagramme ci-dessous.

Intensité	Perception des effets	durée
0,5 à 1 mA	Seuil de perception suivant l'état de la peau	
8 mA	Choc au toucher, réactions brutales	
10 mA	Contraction des muscles des membres - crispations durables	4 minutes et 30 secondes
20 mA	Début téτανisation cage thoracique	60 secondes
30 mA	Paralysie ventilatoire	30 secondes
40 mA	Fibrillation ventriculaire	3 secondes
75 mA	Fibrillation ventriculaire	1 seconde
300 mA	Paralysie ventilatoire et fibrillation ventriculaire	110 millisecondes
500 mA	Paralysie ventilatoire et fibrillation ventriculaire	100 millisecondes

Tableau 13 : effets du passage d'un courant alternatif sur le corps humain (FORMAPELEC, 2007)

Le passage du courant de défaut de 500 mA pendant 0,1 seconde entraînerait donc l'arrêt du cœur. Afin de prévenir cela, il faut limiter la tension de contact à 50 V, seuil de perception sans risque pour le corps humain. Il faut donc que la résistance des prises de terre sur ce coffret d'éclairage soit telle que :

$$R \leq U_{\text{contact}} / I_{\text{défaut}}$$

Équation 10 : valeur minimale de la prise de terre

$$R \leq 50 / 0,5$$

$$R \leq 100$$

Les prises de terre des masses de l'ensemble du circuit doivent donc avoir une valeur maximale de 100 ohms.

Le disjoncteur différentiel installé ne possède pas de bouton test, il pourrait être préférable de le remplacer par un nouveau disposant d'un bouton test. Ce bouton permet de vérifier que le disjoncteur est toujours en état de marche et qu'il réagira bien si un courant de défaut supérieur à son calibre se produit. Le bouton test sert à mettre en contact deux pôles qui simulent à l'intérieur du différentiel un courant de défaut. Ce bouton doit être vérifié régulièrement (1 fois par mois selon les constructeurs).

3.2.5.3 Commande

La commande de ce coffret est réalisée par trois organes :

- un contacteur ;
- un interrupteur crépusculaire ;
- un interrupteur.

Le contacteur installé est un contacteur possédant 4 contacts principaux (pour les trois phases et le neutre). Il possède également un contact auxiliaire pour assurer la commande. Sur ce contact auxiliaire sont reliés l'interrupteur crépusculaire et l'interrupteur. L'interrupteur sert à mettre le réseau en marche forcée. Il possède deux positions (0 pour sans effet et 1 pour marche forcée). La marche forcée permet de mettre sous tension le circuit d'éclairage alors que l'interrupteur crépusculaire ne donne pas l'ordre au contacteur. La marche forcée est très utile pour la maintenance du réseau. En effet, elle permet de mettre sous tension le circuit alors qu'il fait encore jour, ce qui permet d'allumer les lampes et donc de détecter et de pouvoir remplacer celle qui ne fonctionne plus. Il existe aujourd'hui des contacteurs où la commande de marche forcée est intégrée. Ce genre de contacteur possède un bouton avec trois positions (0 pour couper le réseau, 1 pour marche forcée et Auto pour marche automatique, c'est-à-dire commandée par un interrupteur crépusculaire ou une horloge).



Figure 43 : contacteur avec bouton 3 positions

L'interrupteur installé sur ce coffret est un Lumandar 1000, c'est l'interrupteur crépusculaire le plus installé en France sur les installations d'éclairage public.



Figure 44 : interrupteur crépusculaire Lumandar 1000

L'inconvénient de ce genre de dispositif est que la cellule photoélectrique doit être exposée à l'extérieur du coffret à un endroit où aucun obstacle ne gêne la visibilité. Par conséquent, la cellule a tendance à se salir et cela entraîne dans le temps des dérives par rapport au moment où elle devrait normalement s'allumer.

Le niveau d'éclairage recommandé par l'Association Française de l'Eclairage (AFE) pour lequel le réseau d'éclairage doit être mis sous tension est de 5 lux, ce qui correspond à environ 4080 heures de fonctionnement par an, en tenant compte des changements d'horaires été/hiver et de la durée des jours plus longues en été qu'en hiver. Si la cellule se salit cela entraîne qu'elle détecte un niveau d'éclairage plus faible qu'il ne l'est réellement, la cellule déclenche donc la mise sous tension plus tôt le soir et éteint le réseau plus tard le matin. Sur ce coffret, nous avons relevé le moment auquel la cellule déclenche la mise sous tension. Le niveau d'éclairage à ce moment-là est de 50 lux (soit environ 10 minutes avant le niveau de 5 lux). Cette dérive entraîne un allongement de la durée annuelle qui passe à 4200 heures au lieu des 4080 heures normales. Cet allongement entraîne pour la collectivité un coût supplémentaire.

Par exemple, pour un coffret alimentant 30 lampes de 100 W, avec la puissance des appareillages, on arrive à environ 3450 W de puissance appelée. Sur 4080 heures par an cela représente une consommation annuelle de 14 MWh (4080 x 3450). Maintenant si ce circuit fonctionne 4200 heures par an, la consommation passe à 14,5 MWh. Le prix moyen théorique en tarif bleu éclairage public est d'environ 0,07 € / kWh (consommation et abonnement). Pour 14 MWh, le prix par an est donc de 980 € (14 000 x 0,07). Pour 14,5 MWh, le prix par an est de 1015 €. La différence est donc de 35 € par an.

La commune de Saint Jean de Maurienne dispose de 61 coffrets de commande de l'éclairage public. La grande majorité de ces coffrets utilisent un interrupteur crépusculaire semblable au Lumandar 1000 dont le vieillissement de la cellule fait que la mise sous tension se produit trop tôt. Sur l'ensemble de la commune, les économies annuelles estimées ont été chiffrées à 30 000 kWh. Avec un prix de 0,07 € / kWh, on obtient une économie annuelle de 2100 €. Sachant que la consommation totale de la commune pour l'éclairage est de 1 150 000 kWh soit environ 80 500€ par an, l'économie envisageable par un meilleur réglage de la commande de l'éclairage est de 2,6 % (2100 / 80 500).

3.2.5.4 Protection contre les surintensités

Ce coffret ne dispose que d'un seul départ triphasé. Chaque phase est protégé par un fusible gG de calibre 20 A. Les fusibles gG sont ceux qui doivent être utilisés en éclairage public, dans le cas où l'on trouverait des fusibles aM ou aD, il faut prévoir leur remplacement, ces fusibles ayant des utilisations spécifiques que nous avons vues au chapitre 4. Les mesures réalisées sur chaque phase sont les suivantes :

Code Coffret	N° de départ	Nombre de foyers	Type de protection	Protection Calibre (A)	Tension (V)	Intensité mesurée (A)	Cosinus phi	Puissance active mesurée (kW)
2	a1	7	Fusible gG	20	230	1,2	0,85	0,23
2	a2		Fusible gG	20	230	1,2	0,86	0,24
2	a3		Fusible gG	20	230	1,3	0,85	0,25

Tableau 14 : mesures électriques du coffret

Ces mesures ont été réalisées une fois le courant stabilisé, c'est-à-dire une quinzaine de minutes après la mise sous tension du réseau.

Le courant dans les lampes à décharge possède 3 phases :

- le courant transitoire ;
- le courant de préchauffage ;
- le courant en régime permanent.

Le courant d'appel représente le courant absorbé par une lampe électrique suite à la mise sous tension. Le courant d'appel est strictement dépendant de la tension d'entrée appliquée, de l'impédance de la source et des paramètres internes de l'alimentation. Les causes de ce régime transitoire peuvent être différentes en fonction des chaque technologie de lampes. On peut avoir des courants d'appel suite à des variations des résistances (pour les lampes à incandescence) ou des courants d'appel causés par la saturation des circuits magnétiques des ballasts / transformateurs ferromagnétiques. Dans le cas d'utilisation des ballasts électroniques, le régime transitoire à la mise sous tension est lié à la charge initiale des condensateurs de filtrage (condensateur installé dans le ballast en sortie du pont de diode d'entrée). En fonction des impédances de câblage, le courant d'appel pour un ensemble de lampes est de l'ordre de 5 à 10 fois le courant nominal pendant quelques millisecondes. Ce courant étant très important, il joue un rôle significatif dans le choix des équipements de protection et des composants électriques qui se situent en amont de ces charges tels que le disjoncteur ou fusibles, contacteur, connecteurs et section des fils. On retrouvera un courant d'appel plus élevé si le ballast commence à être alimenter quand la tension est maximum.

Toutes les lampes à décharge (fluorescentes et haute intensité) nécessitent une phase d'ionisation du gaz et des électrodes avant l'allumage qui engendre une surconsommation sur le réseau. Ce courant est généralement deux fois supérieur au courant nominal de fonctionnement d'une lampe. Dans la pratique, il est également possible de trouver des courants de préchauffage plus petits que le courant nominal, la limitation du courant de préchauffage est due à l'utilisation d'un dispositif du type « soft-start » intégré dans le ballast.

Lorsqu'il n'y a plus de perturbations dans le système, celui-ci a atteint son état d'équilibre, on dit qu'il est en régime permanent.

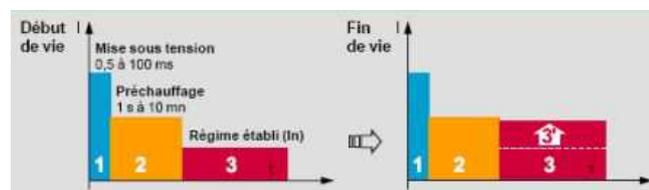


Figure 45 : courbe de courant absorbé à l'allumage des lampes à décharge

Le dispositif de protection doit donc permettre de laisser passer le courant d'appel soit environ 10 fois le courant nominal. Sur notre exemple, le courant nominal sur chaque phase est de 1,2 A. Le courant d'appel se situe donc à environ 12 A. Ce courant élevé doit donc être supporté pendant 100 ms par le fusible. Voici les caractéristiques des fusibles gG.

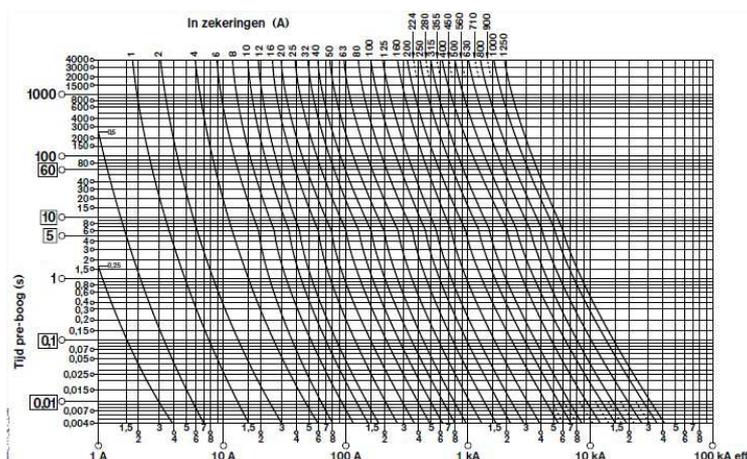


Figure 46 : caractéristiques de fonctionnement temps / courant des fusibles gG

Nous savons que le courant d'appel de 12 A sur ce circuit doit être tenu pendant 0,1 seconde. D'après les caractéristiques ci-dessus, un fusible gG 2 A peut assurer ce rôle. Par la suite, le courant de préchauffage doit aussi être tenu. Le courant de préchauffage des lampes à décharge utilisées en éclairage public est de l'ordre de 1,4 fois le courant nominal. Cela signifie que le courant de préchauffage sur chaque phase est d'environ 1,68 A (1,2 x 1,4). Ce courant doit être tenu par le fusible pendant une dizaine de minutes. D'après les caractéristiques ci-dessus, un fusible gG 2 A peut également assurer ce rôle. Il serait donc judicieux de remplacer les fusibles gG 20 A présents sur chaque phase par des fusibles gG 2 A qui seraient suffisant pour assurer la protection contre les surintensités sur le réseau.

3.3 Les foyers lumineux

Selon le cahier des charges de l'ADEME, les informations à relever pour chaque foyer sont au minimum les suivantes :

SUPPORT	Signification
Date de pose	
Numéro du support	Numéro du point lumineux
Numéro de voirie	C'est l'adresse postale de l'immeuble le plus proche du point lumineux et du même côté
Numéro de l'armoire et nom du poste	Numéro de l'armoire et nom du poste
Hauteur du support	
Hauteur de feu	
Type de support	Acier, aluminium, galvanisé, poteaux EDF etc.
CABLE	
Date de pose	
Type du câble d'alimentation	
Longueur câble	
Type de pose	
LUMINAIRE	
Date de pose	
Type de luminaire et marque	
Fermé ou ouvert	
Appareillage	
Hauteur	
Avancée	
Inclinaison	
Type de lampe	
Puissance lampe	

Tableau 15 : exemple de fiche de relevé de foyer (ADEME, 2003)

3.3.1 La classification des matériels

3.3.1.1 Classe I

La classe I concerne les matériels qui possèdent une isolation principale et dont les parties métalliques accessibles sont interconnectées et reliées à une borne de terre. Cette borne de terre est reliée par un conducteur de terre à une prise de terre. La protection, en cas de défaut d'isolement,

est assurée par l'association de la prise de terre et d'un dispositif de coupure automatique de l'alimentation dans des conditions définies suivant le schéma des liaisons à la terre.

3.3.1.1.1 Solution avec disjoncteur différentiel à courant résiduel (DDR)

L'installation entre le boîtier du candélabre et le luminaire est de classe I, un DDR à déclenchement instantané sur chaque candélabre assure la sélectivité avec le DDR de type S placé à l'origine du circuit. L'installation comprend les matériels suivants :

- l'armoire alimente des luminaires de classe I et de classe II ;
- la distribution est réalisée en câbles U1000R2V sous fourreau ;
- mise en œuvre de DDR individuel instantané ;
- le câblage interne des candélabres est en classe I et II ;
- en pied de chaque candélabre, il est préconisé d'installer un coffret classe II.

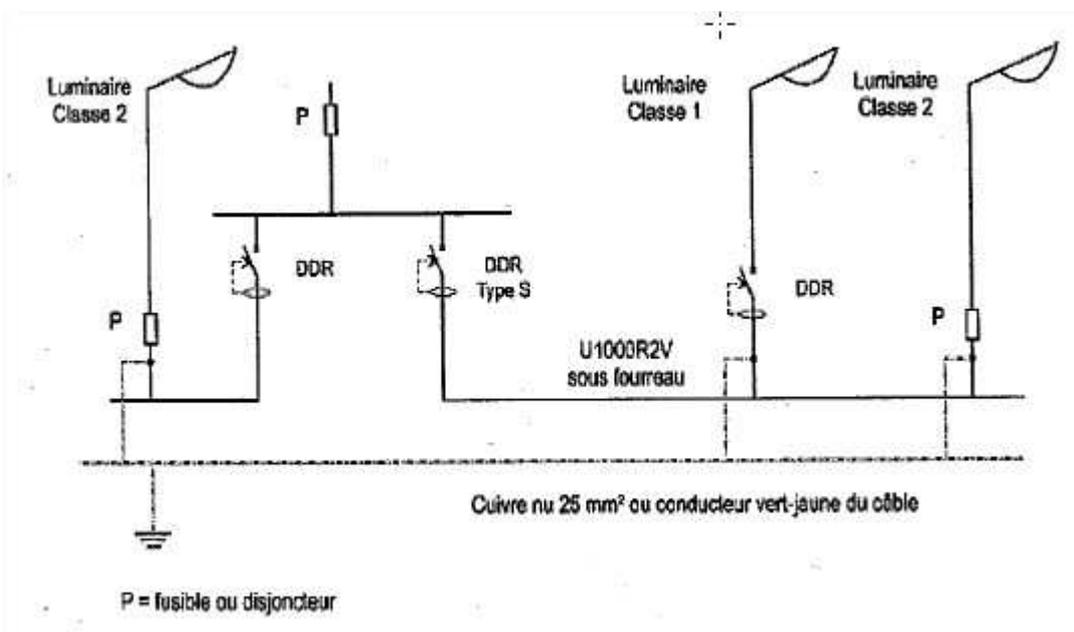


Figure 47 : exemple de mise en œuvre de la classe I avec des DDR (FORMAPELEC, 2007)

3.3.1.1.2 Solution avec dispositif à déconnexion automatique (DDA)

L'installation entre le boîtier du candélabre et le luminaire est de classe I, un DDA installé sur chaque candélabre assure la sélectivité avec le DDR de type S placé à l'origine du circuit. L'installation comprend les matériels suivants :

- l'armoire alimente des luminaires de classe I et de classe II ;
- la distribution est réalisée en câbles U1000R2V sous fourreau ;
- mise en œuvre de DDA individuel instantané ;
- le câblage interne des candélabres est en classe I et II ;
- en pied de chaque candélabre, il est préconisé d'installer un coffret classe II.

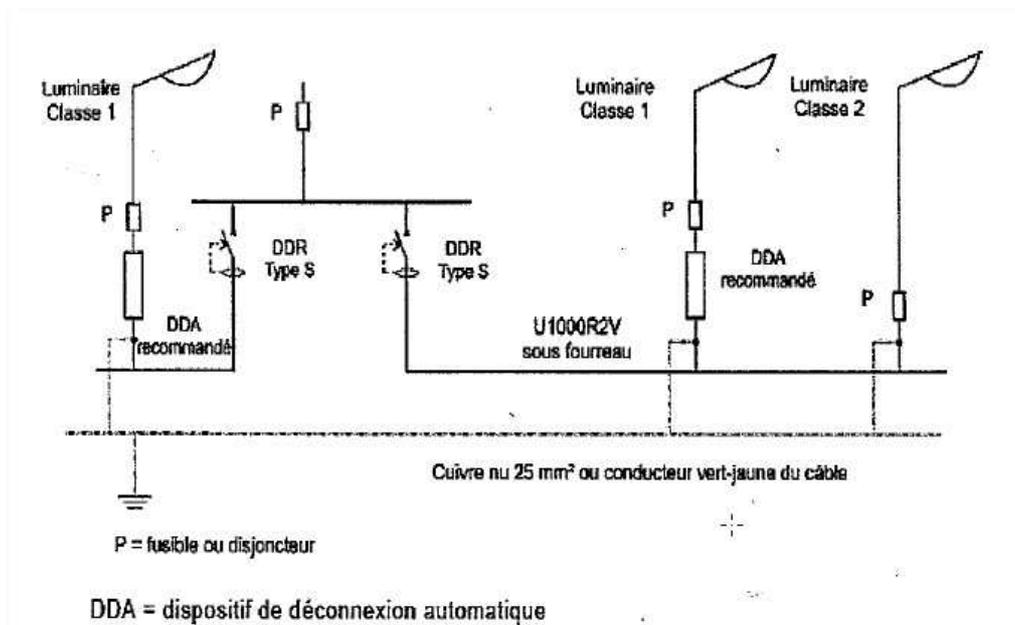


Figure 48 : exemple de mise en œuvre de la classe I avec des DDA (FORMAPELEC, 2007)

3.3.1.2 Classe II

La classe II concerne le matériel dans lequel la protection contre les chocs électriques ne repose pas uniquement sur l'isolation principale mais qui comporte des mesures supplémentaires de sécurité, telles que la double isolation ou l'isolation renforcée. Ces mesures ne comportent pas de moyen de mise à la terre ni de connexion du conducteur de protection (PE) et ne dépendent pas des conditions d'installation.

Le principe de la classe II est qu'elle assure par elle-même sa propre sécurité et qu'elle ne nécessite aucune autre disposition pour assurer la protection contre les contacts indirects. Ceci signifie que le matériel est conçu de telle manière que tout défaut entre les parties actives et les parties accessibles soit rendu improbable. Il existe deux types de matériels de classe II équivalents du point de vue de la sécurité et de la protection contre les contacts indirects :

- les matériels à double isolation ou à isolation renforcée, déjà reconnus dans les normes des appareils domestiques, des outils portatifs, des petits transformateurs ou des luminaires ;
- les matériels comportant des dispositions constructives assurant une sécurité équivalente, ces dispositions devant être définies et précisées pour chaque matériel par les normes correspondantes. Cette catégorie concerne les appareils électroniques, les câbles et certains appareillages.

3.3.1.2.1 Réalisation de la classe II en pied de candélabre

La principale difficulté pour réaliser une installation d'éclairage public en classe II se situe en pied de candélabre, car il faut réaliser une protection équivalente à la classe II en mettant en œuvre correctement différents matériels définis ci-après :

- les extrémités des câbles d'alimentation qui seront munis d'embouts thermorétractables ou de manchons d'étanchéité ;
- les borniers de raccordement et de dérivation alimentant la platine d'appareillage du luminaire ;
- la protection individuelle par disjoncteur ou fusible ;

- la borne de mise à la terre du candélabre connectée sur un bornier vert / jaune ;
- le coffret classe II contenant tous ces matériels.

La remontée des câbles internes dans le candélabre doit être réalisée en câble U1000R2V ou H 07 RN-F de section minimale 1,5 mm², il est préconisé de mettre un surgainage autour de ces câbles dans les parties où il risque d'être blessé.

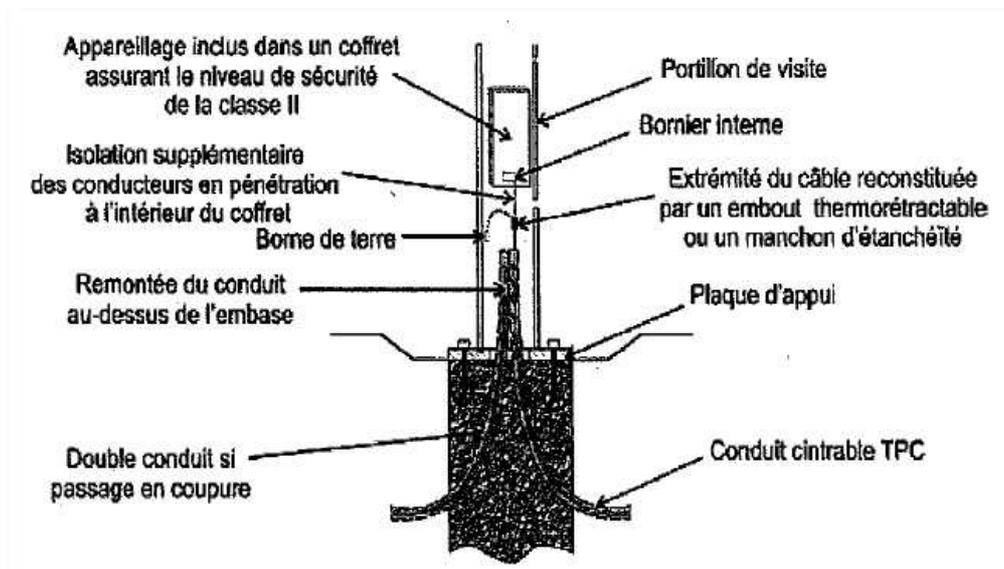


Figure 49 : exemple de mise en œuvre de la classe II au niveau du candélabre (AFE, 2002)

La mise en œuvre intégrale d'un réseau d'éclairage extérieur en classe II est difficile à appliquer à l'ensemble de l'installation d'éclairage d'une ville, du fait de la disparité des types de luminaires installés. Toutefois, elle peut concerner :

- un ensemble candélabre avec luminaire et équipement auxiliaire ;
- une console avec luminaire montée sur façade ou poteau ;
- un luminaire suspendu ;
- une alimentation en dérivation alimentant un candélabre ;
- un mobilier urbain ou un équipement analogue ;
- un luminaire et son support montés sur une paroi métallique (passerelle ou bâtiment industriel).

En pratique, les installations d'éclairage extérieur se composent essentiellement des éléments suivants :

- le luminaire proprement dit de classe II conforme aux normes NF EN 60598-2-3 et NF EN 60598-2-13 ;
- les canalisations à l'intérieur du candélabre ou de la console entre la platine de raccordement et le luminaire, pour lesquelles la norme NF C 15-100 précise les canalisations pouvant être considérées comme étant de classe I ;
- l'appareillage, y compris les connecteurs et les borniers enfermés dans un coffret de classe II ;
- les canalisations d'alimentation qui doivent, à leur pénétration dans le candélabre, être munies d'un manchon isolant.

3.3.1.2.2 Installation de classe II

Le schéma ci-après donne un exemple d'installation de classe II qui permet d'assurer la protection contre les contacts indirects. Dans ce cas, l'installation entre le boîtier du candélabre et le

luminaire doit être de classe II ; un seul DDR dans l'armoire est suffisant. L'installation comprend les matériels suivants :

- l'armoire d'alimentation exclusivement des luminaires de classe II ;
- la distribution est réalisée en câbles U1000R2V sous fourreau ;
- le câblage interne des candélabres est en classe II ;
- en pied de chaque candélabre est installé un coffret de classe II
- un conducteur de protection, soit en cuivre nu, soit isolé de double coloration vert/jaune.

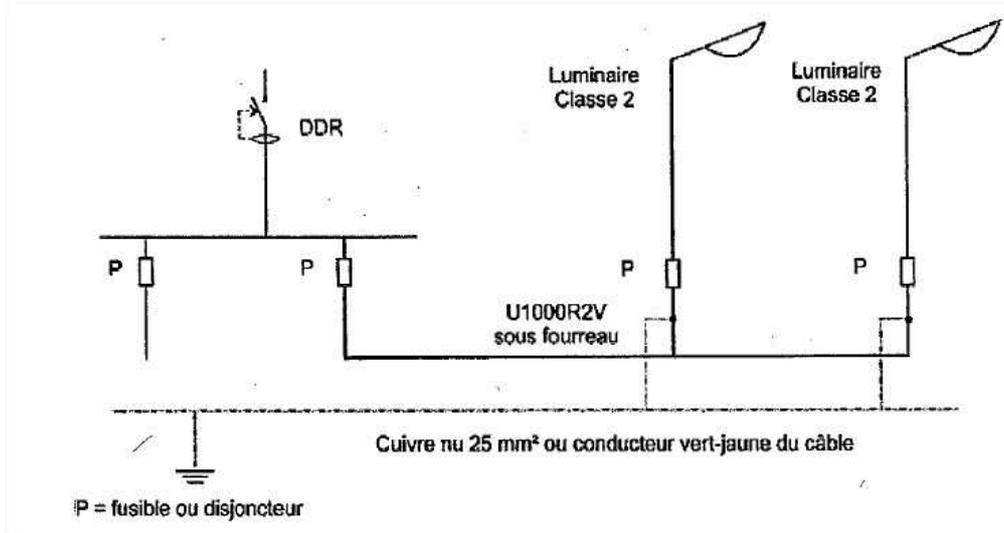


Figure 50 : exemple d'installation de classe II (FORMAPELEC, 2007)

3.3.2 Protection contre les contacts directs

Toutes les parties sous tension doivent être protégées par isolation ou par des obstacles contre tout contact direct, fortuit ou non. Cette protection est généralement assurée par l'enveloppe des matériels (gaines de câbles, enveloppes des coffrets et des luminaires, ...) qui possède au moins le degré de protection IP 2x. Les armoires et coffrets contenant des parties sous tension doivent pouvoir être fermés à l'aide d'une clé ou d'un outil. L'ouverture de visite des candélabres doit être munie d'une porte ne pouvant être ouverte qu'à l'aide d'une clé ou d'un outil.

Lorsque la protection contre les contacts directs, c'est-à-dire la protection contre les contacts avec les parties actives, impose une protection supérieure à celle prévue pour la pénétration des corps solides et des poussières, les chiffres après les lettres IP sont suivis d'une lettre additionnelle :

- A = protection contre l'accès avec le dos de la main ;
- B = protection contre l'accès avec un doigt ;
- C = protection contre l'accès avec un outil ;
- D = protection contre l'accès avec un fil.

Ainsi, si la protection contre la pénétration des corps solides nécessite le degré IP 1x, la protection contre les contacts directs impose un degré IP 1xB.

3.3.2.1 Dispositif de déconnexion automatique (DDA)

Les dispositifs de déconnexion automatique sont destinés, en particulier, à l'équipement individuel des luminaires pour garantir la continuité de l'éclairage d'une rangée de luminaires en cas de défaut à la terre de l'un d'entre eux. Leur fonction consiste à mettre hors tension, de façon

temporaire ou permanente, un luminaire présentant un courant de défaut à la terre, de manière à l'isoler du réseau sans provoquer l'extinction d'une rangée complète de luminaires.

Ils ne sont pas destinés à assurer la protection contre les contacts indirects, car ils ont des caractéristiques constructives qui les différencient des dispositifs différentiels :

- ils s'enclenchent automatiquement à la mise sous tension du circuit d'éclairage ;
- ils peuvent réaliser des ré-enclenchements automatiques après déclenchement sur défaut ;
- ils ne possèdent pas systématiquement un organe de test ;
- ils ne possèdent pas d'organe de manœuvre manuel ;
- la coupure réalisée ne répond pas aux caractéristiques de sectionnement des dispositifs différentiels.

En conséquence, ils doivent en schéma TT être coordonnés avec des dispositifs différentiels de type S ou retardés de telle façon que le temps de fonctionnement total ne dépasse pas 150 ms (retard non réglable). Ces dispositifs placés en amont, assurent la protection contre les contacts indirects des installations d'éclairage public. Par ailleurs, ils doivent être associés individuellement à un dispositif de protection contre les surintensités, par exemple fusibles gG correctement calibrés.

3.3.3 Protection contre les contacts indirects

La protection contre les contacts indirects, c'est-à-dire contre les conséquences d'une présence accidentelle de tension sur une masse (candélabre par exemple) due à un défaut d'isolement doit être assurée :

- soit par une coupure automatique de l'alimentation, la coupure étant assurée par un dispositif de protection qui coupe automatiquement l'alimentation de l'appareil défectueux ou de son circuit d'alimentation dans un temps compatible avec la sécurité des personnes ;
- soit en réalisant l'installation de telle manière que tout défaut entre parties sous tension et parties accessibles soit improbable et que les risques correspondants puissent être négligés.

La première mesure est liée aux dispositions de mise à la terre des masses dans l'installation, le schéma des liaisons à la terre constitue l'élément essentiel de la détermination du choix des procédés à cet effet. La seconde mesure fait appel à l'emploi de matériels de la classe II et à l'isolation. Les deux mesures peuvent être combinées entre elles.

Une solution peut être de prévoir un dispositif différentiel pour chaque candélabre. Il est possible d'utiliser des dispositifs électroniques dénommés dispositifs de protection de terre dans lesquels les courants de défaut à la terre provoquent l'interruption du courant dans le conducteur sur lequel il se trouve. Ces dispositifs étant unipolaires et ne comportant pas d'organe de coupure, leur installation doit respecter les conditions suivantes :

- ils doivent être placés sur le conducteur de phase ;
- un dispositif de protection contre les surintensités (fusible ou petit disjoncteur) doit être installé sur le conducteur de phase ;
- un dispositif de sectionnement doit être prévu sur tous les conducteurs actifs, y compris le conducteur de neutre.

En outre, cette disposition n'est utilisable que dans le cas d'une mise à la terre par un conducteur de liaison équipotentielle.

3.4 Les réseaux d'alimentation

3.4.1 Classification des installations d'éclairage public

Suivant les conditions de maintien en fonctionnement, on classe les installations en deux types :

- type 1 : installation dont le maintien en fonctionnement est nécessaire pour la sécurité des usagers ;
- type 2 : installation dont le non fonctionnement ne met pas en cause la sécurité des usagers.

Pour les installations de type 1, les mesures de protection contre les chocs électriques doivent être choisies et conçues de telle manière qu'elles ne nuisent pas à la sécurité des usagers du domaine public, par exemple par des fonctionnements intempestifs des dispositifs de protection. Elles concernent l'éclairage public en général. Par ailleurs, entrent dans cette classification les équipements lumineux nécessaires au guidage visuel et, pour des raisons de sécurité de première importance, les systèmes de signaux de circulation routière. La classification de type 2 concerne les mobiliers urbains dotés d'un équipement électrique.

La classification en types n'est pas applicable à tous les cas d'installations extérieures sur le domaine public pour diverses raisons. Les règles de protection contre les risques électriques édictées par la norme NF C 15-100 doivent toutefois être observées.

3.4.2 Masses et éléments conducteurs simultanément accessibles

Différents cas peuvent se produire dans la pratique. La réalisation d'une liaison équipotentielle entre les masses et les éléments conducteurs simultanément accessibles est généralement recommandée dans les installations électriques du fait qu'une telle équipotentialité évite l'apparition de tension de contact. Dans les installations d'éclairage public, la situation est la grande étendue des éléments conducteurs peuvent rendre plus dangereuse la réalisation de telles liaisons que leur absence.

Cas 1 : si l'élément conducteur ne comporte pas d'équipement électrique, il n'y a pas lieu de relier le candélabre à celui-ci. En effet, ces éléments se trouvent tout à fait au potentiel de la terre et une liaison équipotentielle n'apporterait pas de sécurité supplémentaire.

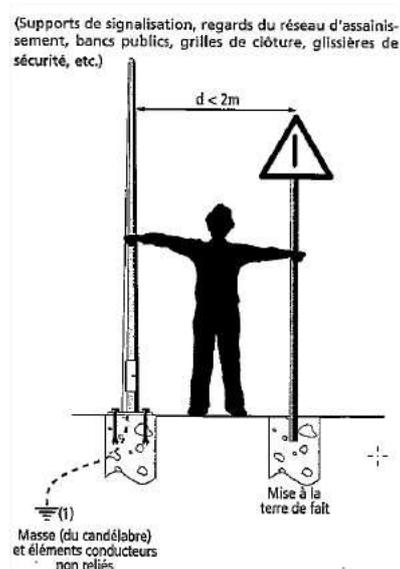


Figure 51 : élément conducteur sans équipement électrique (AFE, 2002)

(1) : la valeur de la résistance de la prise de terre et celle du dispositif différentiel résiduel qui y est associé doit satisfaire aux valeurs du tableau page 60.

Cas 2 : Le mobilier urbain (cabine téléphonique, abri de bus, panneaux de signalisation lumineux, ...) est une masse comme le candélabre. Ces masses sont à relier de façon à assurer leur équipotentialité. L'alimentation du mobilier urbain doit être protégée par un dispositif différentiel à 30mA.

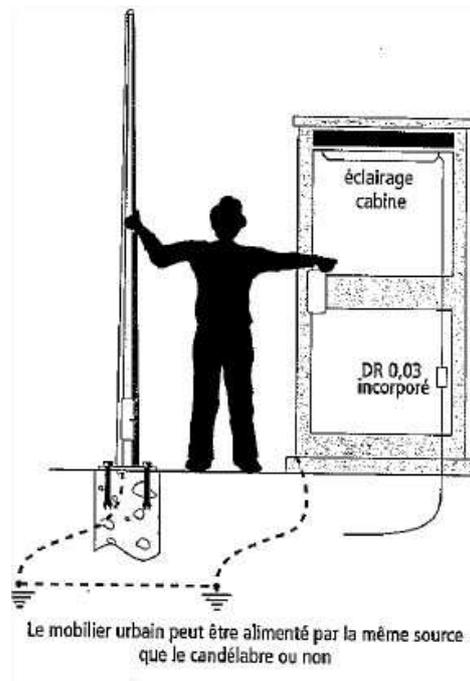


Figure 52 : mobilier urbain comportant un équipement électrique (AFE, 2002)

Cas 3 :

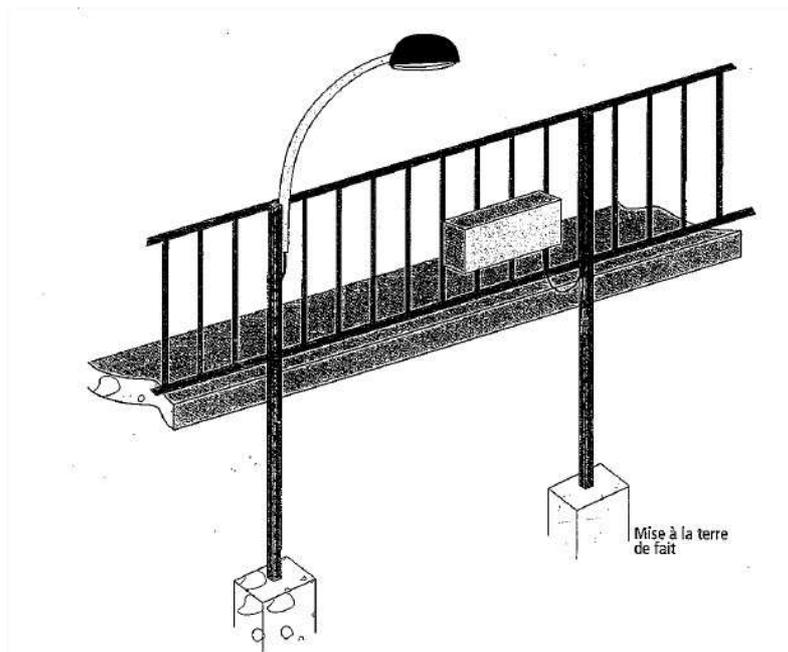


Figure 53 : élément mis à la terre par construction (AFE, 2002)

L'installation doit être réalisée selon les modalités de la classe II. Il est à noter que quel que soit le mode d'alimentation de l'installation, il faut prévoir une isolation supplémentaire par un fourreau isolant (isolation renforcée) au niveau du point de pénétration des câbles d'alimentation dans le candélabre.

3.4.3 Détermination de la section des conducteurs et choix des dispositifs de protection

La méthode du guide pratique UTE C 17-205 permet de prendre en compte les différents paramètres nécessaires à la détermination des sections des conducteurs et au choix des dispositifs de protection suivant les indications d'un diagramme comprenant :

- la détermination du courant d'emploi ;
- la détermination du courant d'allumage ;
- le choix des dispositifs de protection contre les surintensités ;
- la vérification de la chute de tension ;
- la protection contre les courts-circuits ;
- la protection contre les contacts indirects dans le cas du schéma TN.

3.4.3.1 Le courant d'emploi I_B

Le courant d'emploi dans une canalisation d'éclairage public est déterminé en fonction du courant absorbé par les lampes en régime établi. Il tient compte du rendement et du facteur de puissance. On y intègre un facteur de prévision d'extension généralement égal à 1,2 mais qui peut être différent suivant les caractéristiques de l'installation.

Le courant d'emploi I_B d'une canalisation est égal à : $I_B = d \cdot I_{tot}$

d étant un facteur tenant compte des prévisions d'extension, pris au moins égal à 1,2 sauf indication plus précise.

I_{tot} étant le courant total passant dans la canalisation, soit :

$$I_{tot} = \frac{\sqrt{P_{tot}^2 + Q_{tot}^2}}{V}$$

$$P_{tot} = \sum_k P_k \quad \& \quad Q_{tot} = \sum_k Q_k = \sum_k P_k \operatorname{tg} \varphi_k$$

Équation 11 : courant absorbé en régime établi

3.4.3.2 Le courant d'allumage I_A

Le courant d'allumage des lampes est déterminé en tenant compte du courant maximal absorbé par les lampes lors de leur mise sous tension. Il n'est pas pris en compte pour le calcul de la chute de tension. Le courant d'allumage d'une canalisation est égal à :

$$I_A = \sum i_A$$

Équation 12 : courant absorbé à l'allumage

i_A étant le courant absorbé par une lampe pendant le régime transitoire d'allumage.

3.4.3.3 La protection contre les surintensités

Les conducteurs des installations d'éclairage public doivent être protégés contre les surintensités par des dispositifs de protection dont le courant assigné est choisi en fonction du courant d'emploi de la canalisation. Le courant assigné du dispositif de protection doit être au moins égal au courant d'allumage des lampes du circuit qu'il protège. Cette protection est assurée au niveau de l'installation qui convient par des fusibles HPC (Haut Pouvoir de Coupure) de type gG ou par des disjoncteurs. Les disjoncteurs sont de type B dont le courant de fonctionnement instantané est compris entre 3 et 5 fois le courant assigné du disjoncteur. En éclairage public, il n'est pas conseillé d'utiliser de disjoncteurs de courbe C car la longueur de la canalisation admise pour cette courbe est moindre.

Dans les installations d'éclairage public, le conducteur neutre a la même section que les conducteurs de phase.

3.4.3.4 La vérification des chutes de tension

Les chutes de tension doivent permettre le fonctionnement correct des lampes ainsi que leur allumage. C'est pourquoi la chute de tension entre l'origine de l'installation et le candélabre le plus éloigné ne doit pas être supérieure à :

- 3% dans les installations alimentées directement par un réseau de distribution publique à basse tension, soit 6,9 volts en 230 volts ;
- 5% dans les installations alimentées aux bornes d'un poste de distribution publique basse tension, par un poste de transformation privé HT/BT, soit 11,5 volts en 230 volts.

Dans les circuits triphasés, il est recommandé de répartir les luminaires de façon aussi équilibrée que possible sur les trois phases, par exemple en les raccordant alternativement sur chaque phase. Il convient d'éviter les circuits monophasés, notamment en extrémité d'installation, du fait qu'ils nécessitent une augmentation des sections de tous les circuits en amont pour limiter les chutes de tension. Lorsqu'un circuit monophasé est issu de cette distribution, cela conduit à une augmentation de section en amont afin de tenir compte des courants établis dans la phase la plus chargée.

3.4.3.5 La protection contre les courts-circuits

Les longueurs des canalisations doivent être compatibles avec la contrainte thermique admissible des conducteurs, compte tenu de la nature de l'âme des conducteurs et de celle de l'enveloppe isolante. En pratique, dans les installations d'éclairage public, il n'est pas prévu de dispositif de protection aux changements de section. Cette protection doit donc être vérifiée pour la plus petite section protégée.

Les valeurs de ce tableau sont établies suivant la méthode conventionnelle, méthode utilisable notamment dans les installations alimentées directement par un réseau de distribution publique à basse tension. En pratique, lorsque la section S_b est augmentée pour limiter la chute de tension par rapport à la section S_a déterminée en fonction du courant d'emploi I_B , la longueur L_b de canalisation protégée contre les courts-circuits peut être prise égale à :

$$L_b = \frac{L_a S_b}{S_a}$$

Équation 13 : longueur de canalisation protégée

L_a étant la longueur de canalisation de section S_a protégée contre les courts-circuits par le même dispositif de protection. Lorsque le dispositif de protection protège plusieurs canalisations successives de sections décroissantes, il convient d'appliquer la méthode du triangle, telle qu'elle est présentée dans le guide UTE C 17-205.

3.4.3.6 Principe de calcul

La section S des conducteurs doit être égale ou supérieure à la plus grande des sections S_a , S_b , S_c , S_d suivantes :

S_a

Le courant assigné I_n du dispositif de protection est au moins égal au courant maximal d'allumage I_a des lampes du circuit. La section S_a est déterminée en fonction de ce courant I_n .

S_b

La section S_b est déterminée en fonction de la chute de tension de chaque circuit calculée pour le courant d'emploi I_B .

S_c

La section S_c est déterminée en fonction des conditions de protection contre les courts-circuits.

S_d

Lorsque l'installation est réalisée suivant le schéma TN-S, il y a lieu de vérifier :

- si la protection est assurée par disjoncteur, que le courant de défaut I_d entre phase et neutre à l'extrémité de l'installation est au moins égal au courant de fonctionnement instantané du disjoncteur I_m :
- si la protection est assurée par des fusibles gG, que le courant de défaut I_d entre phase et neutre à l'extrémité de l'installation est au moins égal au courant assurant la fusion du fusible en 0,4 seconde.

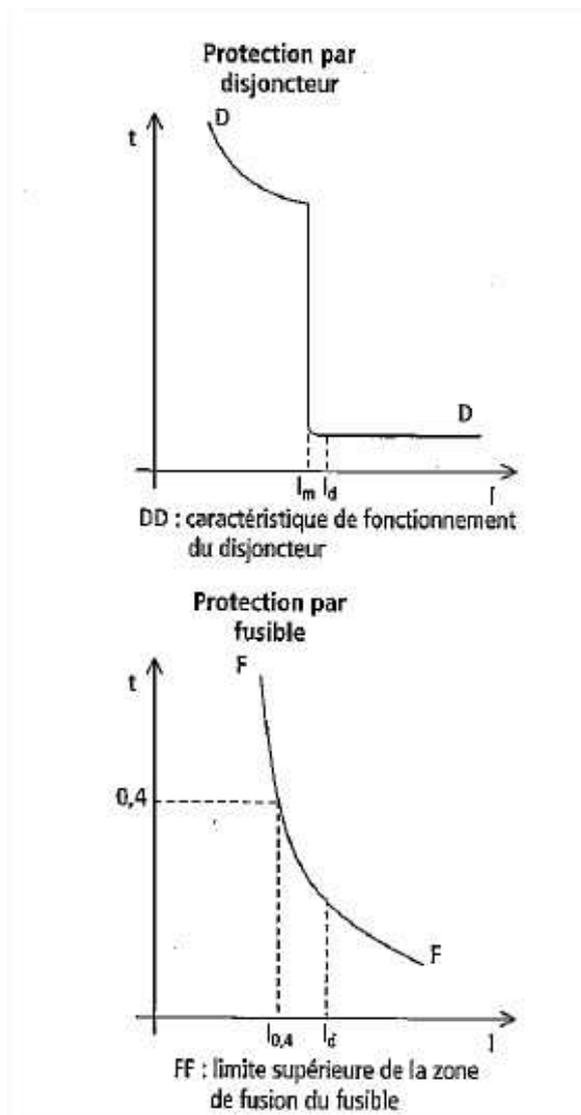


Figure 54 : courbes de fonctionnement des dispositifs de protection

Les installations d'éclairage public sont caractérisées :

- d'une part, par de grandes longueurs de canalisations alimentant des luminaires répartis plus ou moins régulièrement ;
- d'autre part, par des changements de sections sans présence de dispositif de protection aux réductions de section.

Il en résulte qu'en général :

- la limitation de la chute de tension conduit à augmenter la section des conducteurs par rapport à la section nécessaire pour le courant d'emploi : $S_b \gg S_a$;
- le courant assigné du dispositif de protection contre les surintensités est choisi uniquement en fonction du courant maximal d'allumage des lampes I_A ;
- les courants de court-circuit et de défaut au point le plus éloigné des canalisations ont des valeurs faibles et il est nécessaire de vérifier que ces courants assurent le fonctionnement du dispositif de protection placé à l'origine de l'installation dans un temps compatible avec les contraintes thermiques des conducteurs (protection contre les courts-circuits minimaux S_c) ou pour respecter les conditions de protection contre les contacts indirects (section S_d).

Ceci conduit généralement à augmenter la section des conducteurs sans modifier le courant assigné des dispositifs de protection.

3.4.4 Etudes de cas

3.4.4.1 Exemple 1 :

L'installation comporte 10 points lumineux équipés en SHP (Sodium Haute Pression) 100 W, alimentés à partir d'une armoire A se séparant au point B en deux départs selon le schéma ci-dessous.

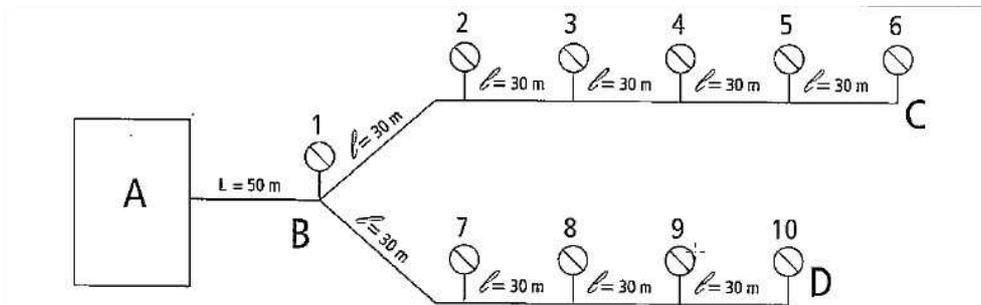


Figure 55 : schéma de l'installation

L'alimentation et la distribution sont en monophasé en schéma TT. Les espacements moyens entre points lumineux sont de 27 mètres, plus 2 remontées verticales de 1,50 m, soit 30 m de canalisation entre ceux-ci.

3.4.4.1.1 Détermination du courant d'emploi I_B

Le courant d'emploi I_B d'un circuit comportant n points lumineux correspond au courant absorbé par les lampes en régime établi. Il est déterminé par la formule (attention ceci n'est valable que si toutes les lampes ont le même facteur de puissance) :

$$I_B = d \cdot e \cdot \sum (a \cdot P)$$

P étant la puissance nominale de chaque lampe en kW.

a étant égal à $\frac{1}{\cos \varphi}$, $\cos \varphi$ étant le facteur de puissance de chaque lampe.

d étant un facteur tenant compte des prévisions d'extension, pris au moins égal à 1,2 sauf indication plus précise.

e étant un facteur de conversion des puissances en intensité, suivant la tension nominale.

Dans le cas considéré :

- P = 0,1 kW ;
- a = 1,35 (facteur extrapolé suivant la norme NF C 17-200) ;
- d = 1,2 ;
- e = 4,35 (cette valeur est déterminée dans le guide UTE C 15-105).

$$I_B = 1,2 \times 4,35 \times 10 \times 1,35 \times 0,1 = 7,05 \text{ A}$$

Nous retenons la valeur à l'arrondi supérieur (8 A).

3.4.4.1.2 Détermination du courant d'allumage I_A

Le courant d'allumage est le courant maximal absorbé par les lampes lors de leur mise sous tension. Il est déterminé par la formule (attention ceci n'est valable que si toutes les lampes ont le même facteur de puissance) :

$$I_A = e \sum a \cdot k \cdot P$$

k étant un facteur tenant compte du courant maximal d'allumage des lampes en fonction de leur puissance. Ici, nous le prendrons égal à 1,5 (dans le tableau de la norme NF C 17-200, k a une valeur comprise entre 1,34 et 2).

$$I_A = 4,35 \times 10 \times 1,35 \times 1,5 \times 0,1 = 8,8 \text{ A}$$

Le circuit devra donc être protégé par un fusible 10 A de type gG ou un disjoncteur de courbe B de calibre 10 A. En conséquence, la section S_a de la canalisation pourrait être de 1,5 mm².

3.4.4.1.3 Détermination des sections des conducteurs S_b d'après la chute de tension

Le circuit est monophasé. Nous prendrons pour hypothèse l'emploi d'une même section entre le point A (alimentation) et le point C (le plus éloigné). La section des conducteurs pour une chute de tension maximale de 6,9 V (3% de 230 V) est déterminé par :

$$S_b = 2 \cdot \rho [N \cdot L + n \cdot (n-1) \times l/2] \times \frac{d \cdot I_b}{\Delta u}$$

Équation 14 : section des conducteurs

L : longueur de la canalisation entre l'armoire A et le point B de dérivation des circuits

d : facteur égal à 1,2 tenant compte des prévisions d'extension

ρ : résistivité du cuivre (0,023 ohm.mm²/m)

N : nombre total de luminaires

n : nombre de luminaires sur la partie considérée (partie la plus longue BC)

I_b : courant absorbé par un foyer en régime établi

L : longueur de la canalisation entre deux points lumineux

Δu : chute de tension de 3%

Soit ici :

$$S_b = 2 \times 0,023 \times [10 \times 50 + 6 \times (6-1) \times 30 / 2] \times 1,2 \times 0,62 / 6,9 = 4,71 \text{ mm}^2$$

Nous retenons la section normalisée immédiatement supérieure, soit 6 mm² (pour du cuivre). Celle-ci est augmentée par rapport à la valeur correspondante au courant d'allumage I_A afin de limiter la chute de tension au point le plus éloigné de l'alimentation (cas général en éclairage public).

3.4.4.1.4 Protection contre les courts-circuits S_c

La protection contre les courts-circuits est assurée si l'on se réfère aux longueurs maximales précalculées dans le guide UTE C 17-205. Pour une section de 6 mm² cuivre et un courant assigné

du dispositif de protection de 10 A, $F = 554 \text{ m}$ et $B = 480 \text{ m}$, toutes deux plus longues que la longueur totale de notre circuit (200 m). Le circuit ABC de section 6 mm^2 est donc protégé contre les courts-circuits.

3.4.4.2 Exemple 2 :

L'installation comporte 24 points lumineux équipés de lampes SHP 150 W avec une alimentation A-B de longueur $L = 40 \text{ m}$ et une répartition telle que représentée dans le schéma ci-après.

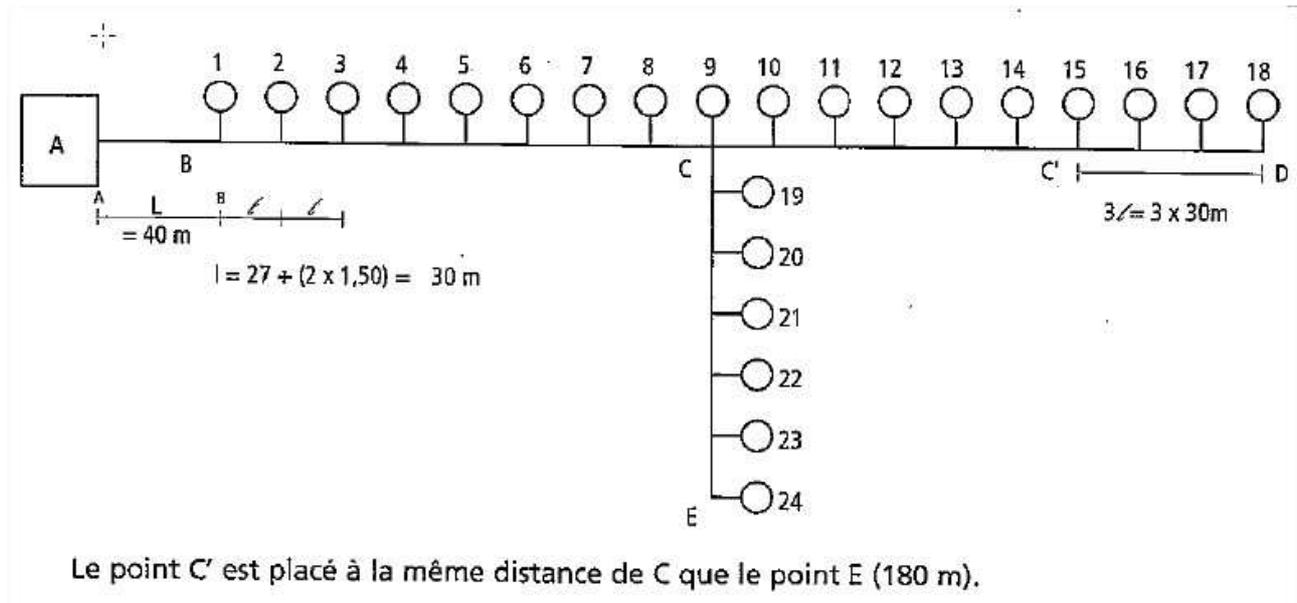


Figure 56 : schéma de l'installation

L'alimentation est en triphasé avec neutre. Chaque point lumineux est alimenté entre une phase et le neutre, l'ensemble des luminaires étant également réparti sur chacune des phases.

3.4.4.2.1 Détermination du courant d'emploi I_B par phase

Dans le cas considéré (attention ceci n'est valable que si toutes les lampes ont le même facteur de puissance) :

- $P = 0,15 \text{ kW}$;
- $a = 1,35$ (facteur extrapolé suivant la norme NF C 17-200) ;
- $d = 1,2$;
- $e = 4,35$ (cette valeur est déterminée dans le guide UTE C 15-105).

$$I_B = 1,2 \times 4,35 \times 24 / 3 \times 1,35 \times 0,15 = 8,46 \text{ A}$$

3.4.4.2.2 Détermination du courant d'allumage I_A par phase

$$I_A = 4,35 \times 24 / 3 \times 1,35 \times 1,5 \times 0,15 = 10,57 \text{ A}$$

(attention ceci n'est valable que si toutes les lampes ont le même facteur de puissance)

En principe, nous protégerons le circuit soit par des fusibles gG 16 A, soit par un disjoncteur 16 A de courbe B.

3.4.4.2.3 Section des conducteurs d'après la chute de tension

Dans le cas d'un projet, l'opération sera de déterminer, par une approche pragmatique, les sections de conducteurs qui conviendront le mieux possible aux caractéristiques de l'installation selon les critères de meilleure efficacité. Nous procéderons donc à une division par tronçons. Il s'agit en premier lieu de répartir de façon efficace la chute de tension à chacun des tronçons, par exemple :

- tronçon AC, chute de tension de 4,7 V ;
- tronçon CE et CC', chute de tension de 1,45 V ;
- tronçon C'D, chute de tension de 0,75 V.

Pour un circuit triphasé alimentant des lampes régulièrement réparties suivant un nombre total n multiple de 3 (cas de chacun des tronçons), la section S_b est donnée par la formule :

$$S_b = \rho \cdot n \cdot (n+3) / 6 \cdot l \cdot (d + I_b) / \Delta u$$

En conséquence, le calcul de la section des conducteurs du tronçon AC est composé de S_{AC1} et de S_{AC2} où S_{AC1} représente la section des conducteurs calculée pour le tronçon BC et S_{AC2} , la section des conducteurs calculée pour le tronçon AB.

$$S_{AC1} = 0,023 \times 24 \times (24 + 3) / 6 \times 30 \times (1,2 + 0,82) / 4,7 = 15,6 \text{ mm}^2$$

Comme cette partie du circuit comporte en amont une canalisation de longueur L n'alimentant aucune lampe, la section des conducteurs du tronçon AB est calculée avec la formule suivante :

$$S_b = \rho \cdot n \cdot (L - l) / 3 \cdot (d + I_b) / \Delta u$$

$$S_{AC2} = 0,023 \times 24 \times (40 - 30) / 3 \times (1,2 + 0,82) / 4,7 = 0,39 \text{ mm}^2$$

Les conducteurs du tronçon AC doivent donc avoir une section au moins égale à $15,6 + 0,39 = 15,99 \text{ mm}^2$. La section normalisée immédiatement supérieure sera de 16 mm^2 .

Section des conducteurs du tronçon CE :

$$S_{CE} = 0,023 \times 6 \times (6 + 3) / 6 \times 30 \times (1,2 + 0,82) / 1,45 = 4,21 \text{ mm}^2$$

On prendra donc une section de 6 mm^2 .

Section des conducteurs du tronçon CC' :

$$S_{CC'} = 0,023 \times 9 \times (9 + 3) / 6 \times 30 \times (1,2 + 0,82) / 1,45 = 8,43 \text{ mm}^2$$

On prendra donc une section de 10 mm^2 .

Section des conducteurs du tronçon C'D :

$$S_{C'D} = 0,023 \times 3 \times (3 + 3) / 6 \times 30 \times (1,2 + 0,82) / 0,75 = 2,72 \text{ mm}^2$$

On prendra donc une section de 4 mm^2 .

Les sections sont décroissantes et sans protection intermédiaire. La règle du triangle est appliquée pour vérifier la contrainte thermique des conducteurs.

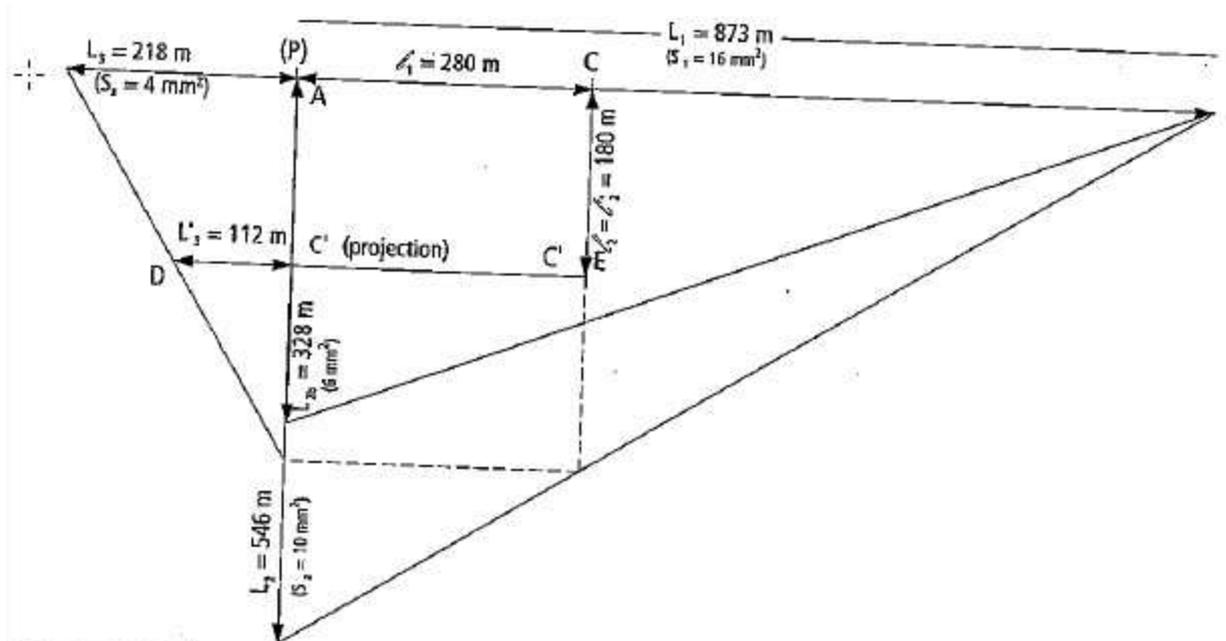


Figure 57 : la méthode du triangle

3.4.4.2.4 Protection par fusible gG 16 A

Pour le tronçon C'D, la section est de 4 mm². La longueur maximale protégée contre les courts-circuits est :

$$L = (0,8 \times U_0 \times S_{C'D}) / (2 \times \rho \times I_5)$$

Pour une protection par fusible gG 16 A, on a $\rho = 0,028$ ohms.mm²/m et $I_5 = 60,17$ A (courant de fusion du fusible gG 16 A en 5 secondes), ce qui donne :

$$L_3 = (0,8 \times 230 \times 4) / (2 \times 0,028 \times 60,17) = 218 \text{ m}$$

Pour les autres sections :

$$L_1 = 873 \text{ m}$$

$$L_2 = 546 \text{ m}$$

$$L'_3 \leq L_3 [1 - ((L_1 \cdot L_2) / (L_2 \times (L_1 - L_1)))] \approx 112 \text{ m}$$

L'_3 correspond aux points lumineux 15 à 18. $C'D < 112$ m donc la protection contre les courts-circuits est assurée. De même, la protection de la partie CE est assurée puisque le point E est inclus dans le triangle.

3.4.4.2.5 Protection par disjoncteur 16 A de courbe B

Pour le tronçon C'D, la section est de 4 mm². La longueur maximale protégée contre les courts-circuits est :

$$L = (0,8 \times U_0 \times S_{C'D}) / (2 \times \rho \times I_m)$$

Pour une protection par disjoncteur 16 A de courbe B, on a $\rho = 0,023 \text{ ohms.mm}^2/\text{m}$ et $I_m = 80 \text{ A}$ (courant de court retard du disjoncteur), ce qui donne :

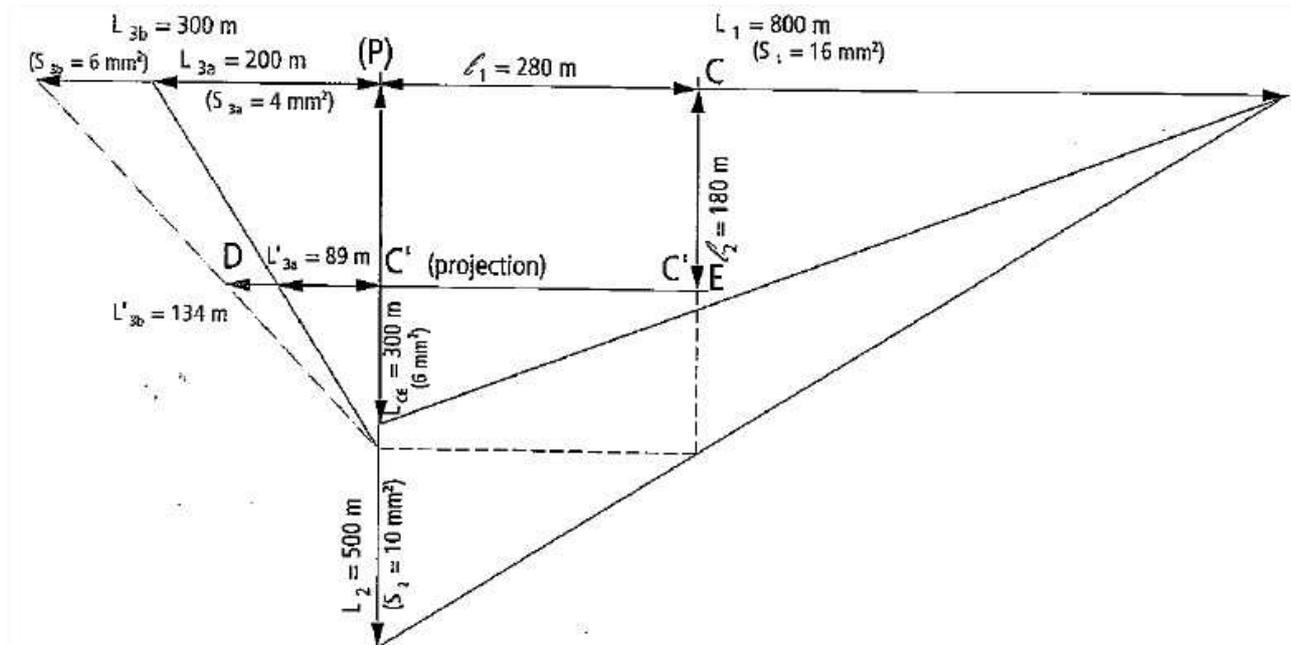


Figure 58 : la méthode du triangle appliqué à l'installation

$$L_{3a} = (0,8 \times 230 \times 4) / (2 \times 0,023 \times 80) = 200 \text{ m}$$

$$L'_{3a} \leq L_{3a} [1 - ((L_1 \cdot l_2) / (L_2 \times (L_1 - l_1)))] \approx 89 \text{ m}$$

L'_{3a} correspond aux points lumineux 15 à 18. $C'D > 89 \text{ m}$ donc la protection contre les courts-circuits n'est pas assurée pour des conducteurs de 4 mm² protégés par un disjoncteur 16 A de courbe B.

En remplaçant les conducteurs de 4 mm² par des conducteurs de 6 mm², on s'aperçoit que la canalisation C'D est protégée ce qui peut être vérifié par le calcul :

$$L_{3b} = (0,8 \times 230 \times 6) / (2 \times 0,023 \times 80) = 300 \text{ m}$$

$$L'_{3b} \leq L_{3b} [1 - ((L_1 \cdot l_2) / (L_2 \times (L_1 - l_1)))] \approx 134 \text{ m}$$

La longueur C'D est bien inférieure à 134 m, la protection contre les courts-circuits est assurée pour des conducteurs de 6 mm².

3.4.5 Mise à la terre et équipement interne des candélabres

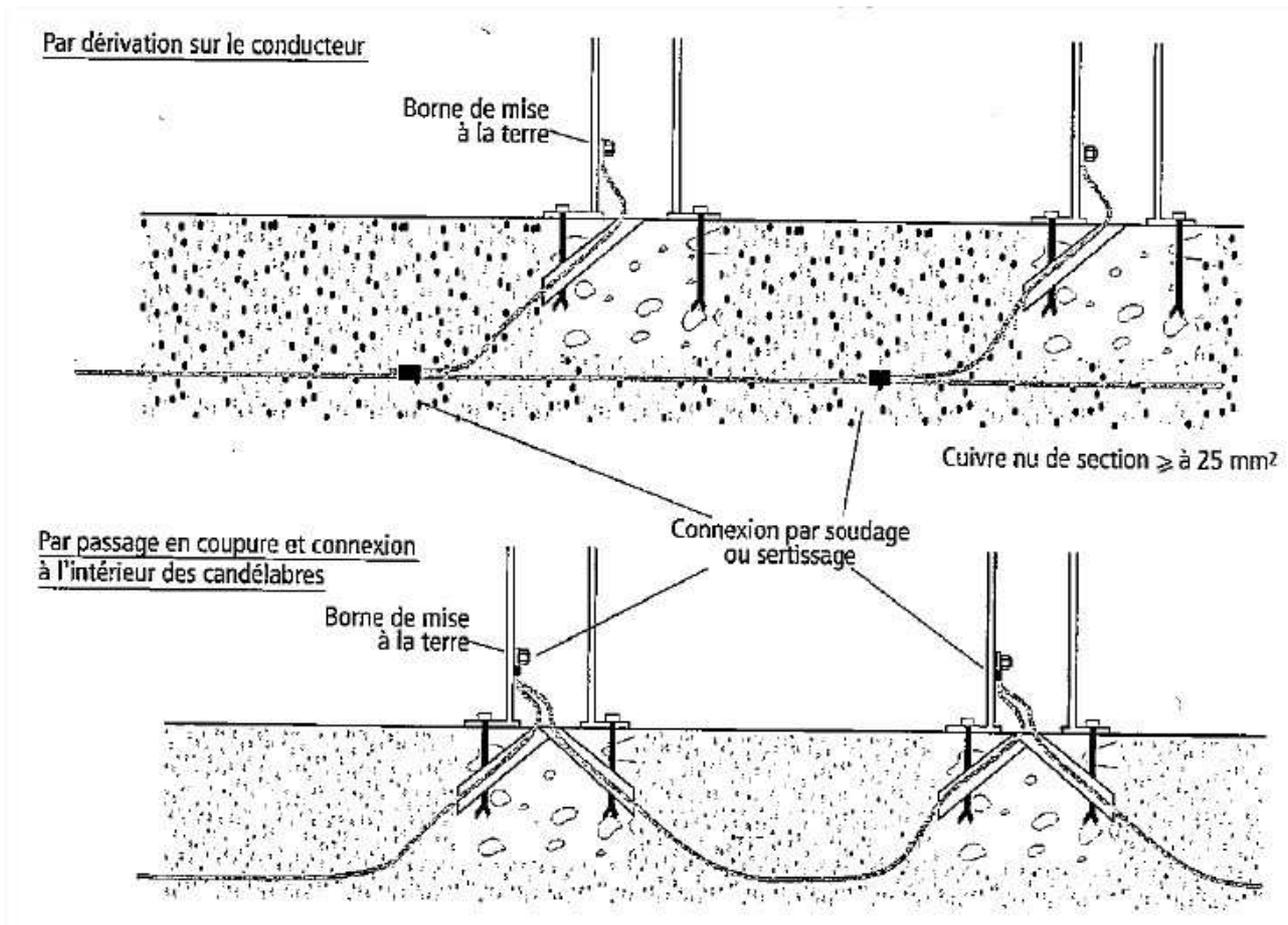


Figure 59 : mise à la terre par un conducteur d'équipotentialité (AFE, 2002)

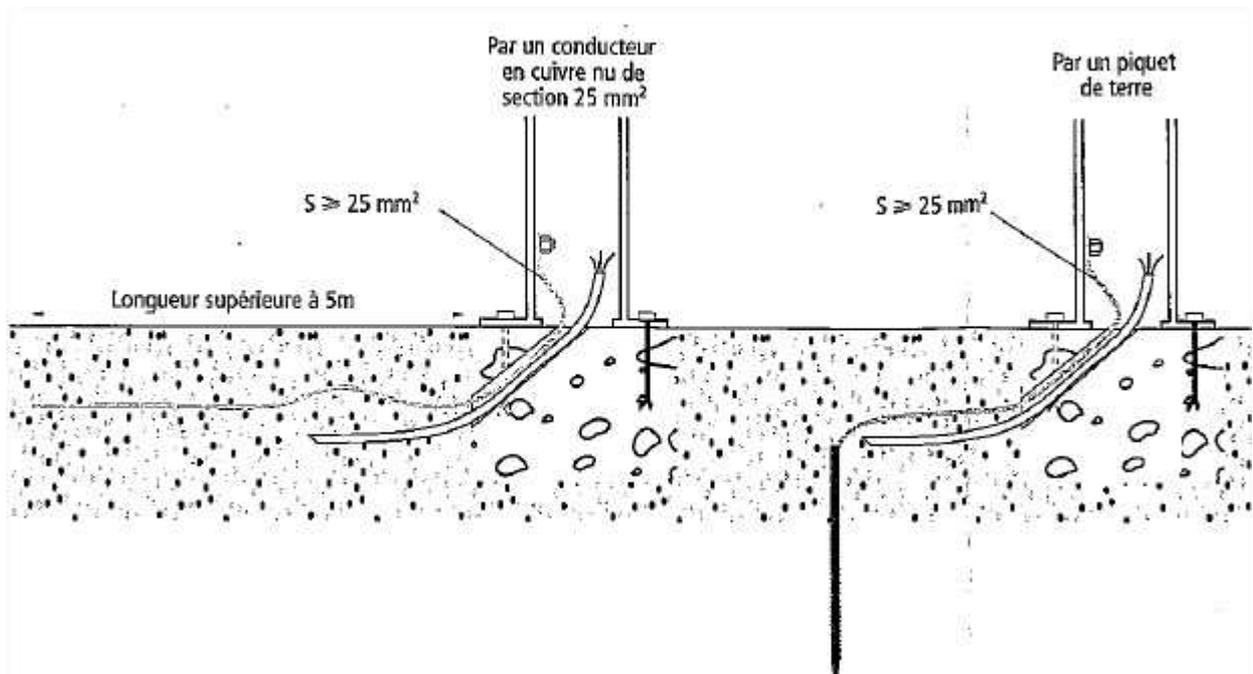


Figure 60 : mise à la terre par prise de terre individuelle (AFE, 2002)

Les extrémités de câbles d'alimentation constituent le point le plus vulnérable à la pénétration d'humidité et par conséquent sont le siège privilégié des défauts d'isolement. Afin de s'en prémunir, le meilleur moyen est de protéger ces extrémités au moyen d'un embout thermo-rétractable. Cette protection est obligatoire pour obtenir les conditions équivalentes à la classe II.

Les canalisations situées dans les candélabres entre le coffret de raccordement et le luminaire sont constitués de câbles H07RN-F (câble constitué de conducteurs à âme souple) de préférence ou U1000R2V. Les conducteurs ont une section de 2,5 mm² pour des raisons de tenue mécanique. Des sections supérieures peuvent être nécessaires pour des candélabres de grande hauteur ou pour des luminaires de forte puissance. Les câbles ne doivent pas être cintrés selon un rayon de courbure inférieur à celui indiqué par le constructeur (généralement 6 à 10 fois le diamètre extérieur).

3.4.6 Canalisations souterraines

Les canalisations électriques enterrées doivent être protégées contre les avaries que pourraient occasionner le tassement des terres, le contact de corps durs et le choc d'outils métalliques. A titre indicatif, sans présumer de conditions contraignantes particulières, les dispositions de l'arrêté technique du 17 mai 2001 concernant la mise en place des canalisations basse tension d'éclairage public sont :

- profondeur d'enfouissement :
 - 0,50 m en terrain normal ;
 - 0,85 m sous les traversées des voies automobiles et sous les trottoirs ;
- voisinage entre canalisations :
 - 0,20 m aux points de croisement entre deux canalisations électriques ;
 - 0,20 m lorsqu'une canalisation de puissance chemine en parallèle avec une canalisation de communication sous fourreau ;
 - 0,20 m entre une canalisation électrique et une conduite d'autres fluides (dans certains cas, cette distance peut être augmentée).

Lorsque certaines conditions l'imposent (exiguïté des espaces disponibles, encombrement des sols, etc.), les dérogations aux règles doivent s'accompagner des mesures adaptées aux situations (fourreaux, protections mécaniques, dispositifs d'avertissement, ...).

3.4.7 Canalisations aériennes sur poteaux et façades

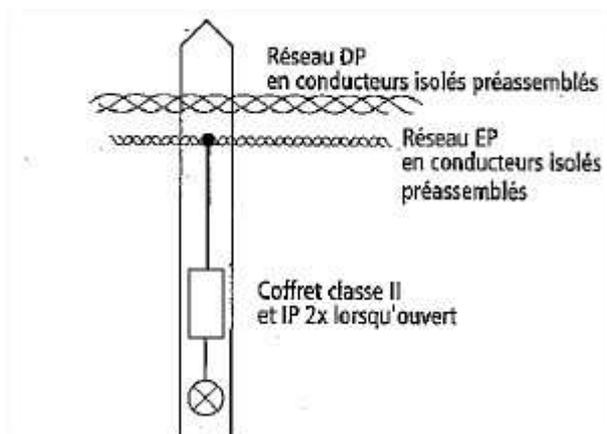


Figure 61 : alimentation par des conducteurs séparés (AFE, 2002)

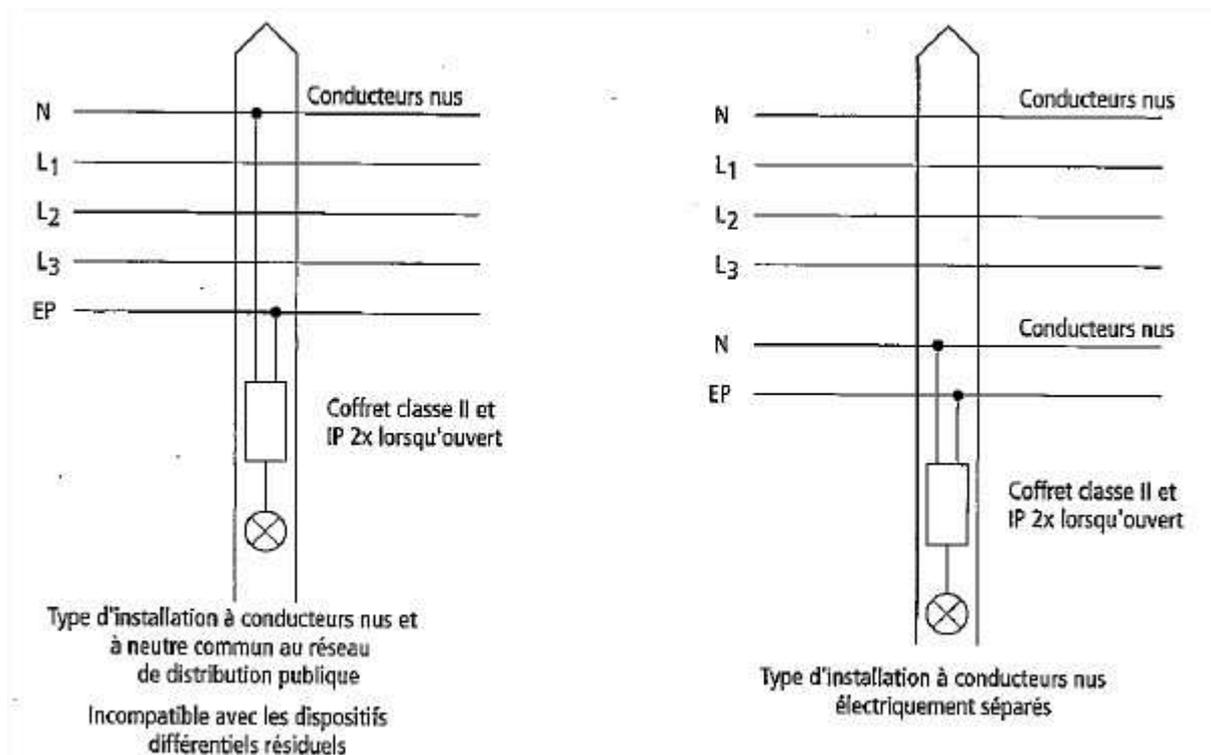


Figure 62 : alimentation aérienne par des conducteurs nus (AFE, 2002)

3.4.8 Vérifications des installations à la mise en service

3.4.8.1 Résistance d'isolement

L'isolement est mesuré entre chaque conducteur actif et la terre à l'aide d'un ohmmètre à courant continu, sous 500 V minimum. Les valeurs de résistance d'isolement ne doivent pas être inférieures à 500 000 ohms. (norme NF C 15-100). L'isolement général d'une installation neuve doit normalement être très supérieur à cette valeur (au moins 2 mégohms). Si cela n'est pas le cas, il y a lieu d'en déceler la cause et d'y remédier.

3.4.8.2 Résistance des prises de terre

La méthode traditionnelle pour la résistance des prises de terre consiste à mesurer les mises à la terre au moyen d'un ohmmètre de terre (appelé telluromètre) avec deux piquets de mesures auxiliaires (méthode dite des 62 % ou méthode du triangle). Les mesures s'effectuent hors tension.

Une seconde méthode consiste à mesurer la boucle phase-terre au poste d'alimentation. Celle-ci est dite « de boucle ». Elle ne nécessite pas de piquets auxiliaires de mesure. Le résultat de cette mesure contient la terre à mesurer, la terre du poste, la résistance du transformateur de distribution et la résistance des câbles. Les mesures s'effectuent sous tension.

3.4.8.3 Continuité des conducteurs de protection

La vérification de la continuité des conducteurs de protection est effectuée par une mesure de la résistance des conducteurs à l'aide d'une source ayant une tension à vide de 4 V à 24 V et sous courant d'au moins 0,2 A.

3.5 Etude d'une extension de réseau

Le projet a consisté à fournir un projet d'installation de nouveaux foyers lumineux pour une zone d'activité industrielle. Il a fallu comparer les différentes solutions envisageables et présenter un choix argumenté.

3.5.1 Choix de la technologie

3.5.1.1 Sodium Haute Pression (SHP)

Les lampes au Sodium Haute Pression sont utilisées pour des applications que l'on veut économique où le rendu des couleurs n'a aucune importance. Très appréciées dans les espaces publics et urbains, ces lampes peuvent être utilisées pour les illuminations décoratives et l'éclairage des zones industrielles. Leur efficacité élevée y est alors particulièrement appréciée. Elles émettent une lumière jaune-orangé qui donne une ambiance chaleureuse.

Elles sont adaptables à la plupart des luminaires actuels :



Figure 63 : luminaire THORN Oracle

Principaux avantages :

- distribution photométrique réduisant au minimum les nuisances lumineuses et la contribution au halo lumineux nocturne ;
- conçue pour une fixation et un raccordement efficace avec un accès à la lampe simplifié ;
- Oracle a été développé dans un esprit citoyen de respect de l'environnement avec des matériaux durables et recyclables ;
- double étanchéité IP 66 : enveloppe et optiques (breveté sous le nom de Optibloc), résistance élevée aux chocs (IK 08 - verre, IK 10 – enveloppe du luminaire).

3.5.1.2 CosmoPolis

Développé par Philips, le système CosmoPolis est la dernière génération de lampe à décharge pour l'éclairage extérieur. Ce système se décline en deux familles de lampes : CosmoWhite (lumière blanche, décorative) et CosmoGold (lumière jaune, fonctionnelle) associées à deux systèmes d'alimentation électronique dédiés. Elles offrent une efficacité lumineuse très élevée et permettent d'obtenir des ensembles lampes/luminaires très compacts. De plus, elles sont respectueuses de l'environnement en comparaison des systèmes actuels (efficacité système, très faible taux de mercure).

La technologie de ces lampes étant récente, seuls certains luminaires sont pour le moment prévus pour leur utilisation.



Figure 64 : luminaire COMATELEC Falco

Principaux avantages :

- matériaux recyclables : aluminium et verre ;
- réflecteur multicouche de la seconde génération développé pour les lampes les plus récentes ;
- accès sans outils : maintenance aisée et sécurisée ;
- séparation des compartiments lampe et auxiliaires pour une meilleure gestion thermique des composants électroniques.

3.5.1.3 Diodes électroluminescentes (LED)

Utilisée depuis longtemps en électronique, les LED sont nouvelles dans le domaine de l'éclairage public. La technologie LED haute puissance est d'une efficacité exceptionnelle avec un retour en économie allant de 50 à 80% par rapport aux lampes traditionnelles au sodium ou au mercure. Sur une base moyenne d'utilisation de 10 heures par jour, les lampes LED ont une durée de vie de plus de 13 ans ou 50 000 heures.



Figure 65 : luminaire JOLIET Street 2

Principaux avantages :

- durée de vie nettement plus importante que les lampes à décharge ;
- produit un éclairage uniforme grâce à un système optique focalisé ;
- pas de temps d'attente pour atteindre le niveau d'éclairage optimum ;
- peu de pollution environnementale.

3.5.2 Caractéristique du projet

Ce projet a pour but l'éclairage des voiries d'une zone d'activités comportant une voie principale et plusieurs voies secondaires, où les usagers se déplaceront principalement en voiture. Les solutions envisagées sont par conséquent un éclairage de type fonctionnel, par des luminaires routiers sur des supports de grande hauteur.

La longueur du réseau à créer a été estimée à 1 600 mètres avec une possibilité d'une voie supplémentaire pour un rajout de 250 mètres.

La solution envisagée est de prévoir des interdistances de l'ordre de 30 mètres entre chaque candélabre (d'après les recommandations de l'Association Française de l'Eclairage pour les installations d'éclairage public), ce qui équivaut à implanter 55 points lumineux (foyers). 7 foyers supplémentaires seront à prévoir pour l'option avec la voie supplémentaire. De plus, afin d'éclairer également la piste cyclable, il est préférable de prévoir l'installation d'un deuxième foyer arrière par support.

La solution avec un seul luminaire ne permettrait pas d'éclairer suffisamment la piste cyclable uniquement avec le flux arrière, cette solution s'apparenterait plus à du jalonnage que de l'éclairage.

3.5.2.1 Coût du matériel

Solution chaussée seule

	SHP		CosmoPolis		LED	
	Voie principale	Voies secondaires	Voie principale	Voies secondaires	Voie principale	Voies secondaires
Nombre de foyers	18	37	18	37	18	37
Hauteur de feu (m)	8	7	8	7	8	7
Interdistances (m)	32	28	32	28	32	28
Puissance de la lampe (W)	150	100	140	90	118	118
Flux lumineux (lm)	15 000	9 000	16 500	10 450	8 400	8 400
Prix d'un luminaire (€ HT)	350	300	450	400	850	850
Coût total des luminaires, lampes incluses (€ HT)	17 400,00		22 900,00		46 750,00	
Coût du support (€ HT)	1 000,00	900,00	1 000,00	900,00	1 000,00	900,00
Coût total des supports (€ HT)	51 300,00		51 300,00		51 300,00	
Coût total du matériel (€ HT)	68 700,00		74 200,00		98 050,00	

Solution chaussée + piste cyclable

	SHP		CosmoPolis		LED	
	Chaussée	Piste cyclable	Chaussée	Piste cyclable	Chaussée	Piste cyclable
Nombre de foyers	55	55	55	55	55	55
Hauteur de feu (m)	7	3,5	7	3,5	7	3,5
Interdistances (m)	28	28	28	28	28	28
Puissance de la lampe (W)	100	70	90	60	118	56
Flux lumineux (lm)	15 000	9 000	10 450	06 850	8 400	4 200
Prix d'un luminaire (€ HT)	300	300	400	400	850	600
Coût total des luminaires, lampes incluses (€ HT)	33 000,00		44 000,00		79 750,00	
Coût du support (€ HT)	900,00		900,00		900,00	
Coût total des supports (€ HT)	49 500,00		49 500,00		49 500,00	
Coût total du matériel (€ HT)	82 500,00		93 500,00		129 250,00	

Tableau 16 : calcul du coût du matériel

*Ce prix comprend le candélabre en acier galvanisé thermo laqué RAL au choix + deux crosses, boîtier Classe II avec Dispositif de Disjonction Automatique (DDA).

Conclusion : d'un point de vue financier, la technologie la moins onéreuse à l'achat serait la solution en Sodium Haute Pression.

3.5.2.2 Consommation

Solution chaussée seule

	SHP		CosmoPolis		LED	
	Voie principale	Voies secondaires	Voie principale	Voies secondaires	Voie principale	Voies secondaires
Nombre de foyers	18	37	18	37	18	37
Hauteur de feu (m)	8	7	8	7	8	7
Interdistances (m)	32	28	32	28	32	28
Puissance la lampe (W)	150	100	140	90	118	118
Puissance par foyer : lampe + appareillage (W)	165	110	147	95	118	118
Puissance totale appelée (kVA)	7,0		6,1		6,5	
Nombre d'heures annuelles de fonctionnement (h)	4 080		4 080		4 080	
Consommation annuelle (kWh)	28 723		25 061		26 479	
Facture annuelle d'énergie : abonnement + consommation (€ TTC)*	2 217,00		1 935,00		2 044,00	
Facture d'énergie sur 20 ans (€ TTC actualisé)**	64 293,00		56 115,00		59 276,00	

Solution chaussée + piste cyclable

	SHP		CosmoPolis		LED	
	Chaussée	Piste cyclable	Chaussée	Piste cyclable	Chaussée	Piste cyclable
Nombre de foyers	55	55	55	55	55	55
Hauteur de feu (m)	7	3,5	7	3,5	7	3,5
Interdistances (m)	28	28	28	28	28	28
Puissance la lampe (W)	100	70	90	60	118	56
Puissance par foyer : lampe + appareillage (W)	110	77	95	63	118	56
Puissance totale appelée (kVA)	10,3		8,7		9,6	
Nombre d'heures annuelles de fonctionnement (h)	4 080		4 080		4 080	
Consommation annuelle (kWh)	41 963		35 343		39 046	
Facture annuelle d'énergie : abonnement + consommation (€ TTC)*	3 240,00		2 728,00		3 014,00	
Facture d'énergie sur 20 ans (€ TTC actualisé)**	93 960,00		79 112,00		87 406,00	

Tableau 17 : calcul des consommations

*Ce prix correspond à un prix moyen théorique de 7,72 Cts € TTC / kWh (Tarif Bleu Eclairage Public EDF août 2008).

** 20 ans correspond à la durée de vie annoncée du matériel.

Conclusion : La solution en CosmoPolis est la moins consommatrice d'énergie et par conséquent celle qui présente la facture énergétique la plus faible.

3.5.2.3 Remplacement des lampes

Solution chaussée seule

	SHP		CosmoPolis		LED	
	Voie principale	Voies secondaires	Voie principale	Voies secondaires	Voie principale	Voies secondaires
Nombre de foyers	18	37	18	37	18	37
Hauteur de feu (m)	8	7	8	7	8	7
Interdistances (m)	32	28	32	28	32	28
Puissance la lampe (W)	150	100	140	90	118	118
Durée de vie de la lampe (h)	12 000		16 000		50 000	
Durée de vie de la lampe (an)	3		4		12	
Prix unitaire de la lampe (€ HT)	46,00	40,00	110,00	95,00	500,00	500,00
Nombre de remplacement sur 20 ans	6,7		5		1,7	
Coût total du remplacement des lampes sur 20 ans hors main d'œuvre (€ HT)	15 463,60		27 475,00		46 750,00	

Solution chaussée + piste cyclable

	SHP		CosmoPolis		LED	
	Chaussée	Piste cyclable	Chaussée	Piste cyclable	Chaussée	Piste cyclable
Nombre de foyers	55	55	55	55	55	55
Hauteur de feu (m)	7	3,5	7	3,5	7	3,5
Interdistances (m)	28	28	28	28	28	28
Puissance la lampe (W)	100	70	90	60	118	56
Durée de vie de la lampe (h)	12 000		16 000		50 000	
Durée de vie de la lampe (an)	3		4		12	
Prix unitaire de la lampe (€ HT)	40,00	35,00	95,00	80,00	500,00	250,00
Nombre de remplacement sur 20 ans	6,7		5		2	
Coût total du remplacement des lampes sur 20 ans hors main d'œuvre (€ HT)	27 637,50		48 125,00		82 500,00	

Tableau 18 : calcul du coût de maintenance

Conclusion : Au niveau de la maintenance, la technologie la plus intéressante est la solution en Sodium Haute Pression. Toutefois, les deux autres technologies étant récentes, il y a de fortes chances que leurs coûts de remplacement des lampes diminuent dans les prochaines années.

3.5.3 Bi-puissance

Pour des raisons d'économie d'énergie, il serait judicieux de prévoir d'installer des modules de gradation du flux lumineux. Ces modules électroniques se mettent en lieu et place des appareillages des luminaires. Durant une partie de la nuit, où la circulation est négligeable, ils baissent le flux lumineux jusqu'à 50% de sa valeur nominale. Cela peut engendrer des économies d'énergie allant jusqu'à 30%.

Solution chaussée seule

	SHP		CosmoPolis	
	Voie principale	Voies secondaires	Voie principale	Voies secondaires
Nombre de foyers	18	37	18	37
Hauteur de feu (m)	8	7	8	7
Interdistances (m)	32	28	32	28
Puissance la lampe (W)	150	100	140	90
Puissance par foyer : lampe + appareillage (W)	165	110	147	95
Puissance totale appelée en tension normale (kVA)	7,0		6,1	
Puissance totale appelée en tension réduite (kVA)	5,6		4,9	
Nombre d'heures annuelles de fonctionnement en tension normale (h)	1 980		1 980	
Nombre d'heures annuelles de fonctionnement en tension réduite (h)	2 100		2 100	
Consommation annuelle sans réduction (kWh)	28 723		25 061	
Consommation annuelle avec réduction (kWh)	25 091		22 482	
Facture annuelle d'énergie sans réduction (€ HT)	2 217,00		1 935,00	
Facture annuelle d'énergie avec réduction (€ HT)	1 937,00		1 736,00	
Economie d'énergie annuelle si réduction (€ HT)	280,00		199,00	
Surplus matériel bi-puissance (€ HT)	2 750,00		2 750,00	
Temps de retour (an)	10		14	

Tableau 19 : intérêt de la réduction de puissance

*Dans le cas avec piste cyclable éclairée, nous n'avons pas prescrit de réduction de puissance car les puissances appelées seraient trop faibles pour engendrer des économies non négligeables par rapport aux investissements.

Conclusion : Afin de réaliser des économies d'énergie supplémentaires, l'abaissement de puissance peut être intéressant même si les temps de retour sont plutôt longs à cause du peu de puissance appelée.

3.5.4 Coût global

Solution chaussée seule

		SHP	CosmoPolis	LED
Energie	Facture d'énergie sur 20 ans (€ TTC)	64 293,00	56 115,00	59 276,00
Matériel	Coût total des luminaires (€ HT)	17 400,00	22 900,00	46 750,00
	Coût total des candélabres et crosses (€ HT)	51 300,00	51 300,00	51 300,00
	Coût total du matériel (€ HT)	68 700,00	74 200,00	98 050,00
Relamping	Prix unitaire d'une lampe (€ HT) hors main d'œuvre	46 € - 40 €	110 € - 95 €	500,00
	Nombre de remplacements sur 20 ans	7	5	2
	Coût total du remplacement des lampes sur 20 ans (€ HT) hors main d'œuvre	15 463,60	27 475,00	46 750,00
COÛT GLOBAL SUR 20 ans (hors entretien)		148 456,60	157 790,00	204 076,00

Solution chaussée + piste cyclable

		SHP	CosmoPolis	LED
Energie	Facture d'énergie sur 20 ans (€ TTC)	93 960,00	79 112,00	87 406,00
Matériel	Coût total des luminaires (€ HT)	33 000,00	44 000,00	79 750,00
	Coût total des candélabres et crosses (€ HT)	49 500,00	49 500,00	49 500,00
	Coût total du matériel (€ HT)	82 500,00	93 500,00	129 250,00
Relamping	Prix unitaire d'une lampe (€ HT) hors main d'œuvre	40 € - 35 €	95 € - 80 €	95 € - 80 €
	Nombre de remplacements sur 20 ans	7	5	2
	Coût total du remplacement des lampes sur 20 ans (€ HT) hors main d'œuvre	27 637,50	48 125,00	82 500,00
COÛT GLOBAL SUR 20 ans (hors entretien)		204 097,50	220 737,00	299 156,00

Tableau 20 : calcul du coût global du projet

Conclusion : La solution la plus avantageuse financièrement en coût global est la solution en Sodium Haute Pression. Toutefois du fait de la nouveauté des deux autres technologies, des baisses de prix sont à prévoir dans les années à venir au niveau du coût des lampes ce qui ferait devenir ces solutions plus proches du coût d'une solution en Sodium Haute Pression.

D'autre part, d'un point de vue écologique, la meilleure solution nous semble être la solution en CosmoPolis d'un point de vue énergétique et efficacité.

Conclusion

Bien que travaillant dans le domaine de l'éclairage public depuis ma licence en alternance en 2007, le stage que je viens d'effectuer au sein de la société ING'EUROP m'a permis d'approfondir mon expertise dans ce domaine particulier. En effet, alors que jusqu'à présent, j'occupais des emplois de technicien ou de dessinateur-projeteur, j'ai été cette fois-ci en charge d'un département éclairage que l'entreprise venait de créer. Ce poste m'a donc fait utiliser les nouvelles compétences que j'ai acquises durant ma formation d'ingénieur. J'ai dû faire face pour la première fois à du management. J'ai dû utiliser mes connaissances en management de projet afin de respecter les contrats que nous avons en matière de coûts, de délais et de qualité de service. Sur le plan social, j'ai également beaucoup appris car j'ai dû faire face à des responsabilités. Les décisions que je prenais, engageaient la société. J'ai pu démontrer mes capacités d'orateur en présentant aux clients l'avantage de telles solutions à l'aide d'un discours argumenté.

Sur le plan technique, ce stage m'a également été profitable car j'ai dû me perfectionner en éclairage afin de connaître dans le détail les différentes normes applicables en la matière. J'ai suivi un stage d'habilitation afin de pouvoir travailler en haute et basse tensions. J'ai acquis des connaissances en matière de distribution d'électricité et des réseaux associés. L'éclairage public peut paraître, vu de l'extérieur, un domaine restreint de l'électricité mais en fait, il fait appel à des matériels et des technologies que l'on retrouve également dans le domaine du génie électrique, notamment pour la distribution basse tension avec les différents organes de protection, les câbles, la norme NF C 15-100. En effet, bien que la norme régissant l'éclairage soit la norme NF C 17-200 relative à l'éclairage extérieur, la norme NF C 15-100 doit être maîtrisée car les contraintes règlementaires y font appel. De même, une première approche de la norme NF C 13-100 est nécessaire dans le cas de la création de réseau d'éclairage public directement à partir du poste de transformation HTA.

L'éclairage public fait également appel à des matériels plus spécifiques comme les lampes qui ne sont pas les mêmes que celles que l'on peut trouver en usage domestique. Depuis une dizaine d'années, les leds sont annoncées comme les lampes de l'avenir. Pourtant leur développement technologique met du temps. Les puissances augmentent mais ne permettent pas encore à l'heure actuelle de pouvoir remplacer les sources au sodium ou aux iodures métalliques en usage routier. Par contre, en matière d'illumination, de balisage ou même pour des espaces verts, leur avancée actuelle promet une solution intéressante financièrement et écologiquement dans le cadre de rénovation. Les prix d'achat des luminaires sont encore importants à ce jour, en partie à cause de la complexité des réflecteurs. En effet, une diode électroluminescente produit une lumière très directive, il faut donc plusieurs leds mises côte à côte et dont les flux lumineux sont dirigés vers différentes zones afin d'éclairer uniformément le sol. De nouvelles techniques de fabrication, moins coûteuses sont en cours d'élaboration et comme toutes nouvelles technologies, le prix devrait diminuer en fonction que la demande augmentera.

Un autre aspect qui m'attire dans le domaine de l'éclairage est les économies que l'on peut faire réaliser au client. C'est un plaisir que d'annoncer à un maire que l'on va diminuer sa facture d'électricité de 5 à 10% par an, et cela sans forcément d'investissement conséquent. En agissant seulement sur les commandes et en les réglant correctement ou en les remplaçant par du matériel de type horloge astronomique, on gagne déjà une centaine d'heures de fonctionnement par an. Le temps de retour dépend alors de la puissance appelée sur ce départ mais les temps de retour sont pratiquement toujours inférieurs à cinq ans. Cela peut paraître

simple à mettre en place mais sans l'aide d'un diagnostic et d'une mesure d'éclairage à l'allumage, les collectivités n'ont pas cette idée-là. Il est donc nécessaire de les orienter sur des pistes d'améliorations.

Je pense que l'éclairage comporte des métiers et des perspectives professionnelles intéressantes. Les collectivités n'ont pas toujours les moyens de rénover leur éclairage car il faut pour cela des budgets conséquents. Depuis l'apparition des contrats de partenariat avec l'ordonnance du 17 juin 2004,, la gestion de l'éclairage est en train d'évoluer. Ces contrats ont pour objet de faire appel à l'initiative et au financement privés pour faire naître des équipements nouveaux, ou pour assurer la gestion de leurs équipements actuels. La philosophie de ces contrats est en effet de permettre aux collectivités de tirer profit des capacités de gestion d'une entreprise privée, tenue de trouver les financements les mieux adaptés à son activité, voire d'assurer aux équipements des débouchés autres comme en combinant le réseau d'éclairage à un réseau de vidéosurveillance par exemple. Le recours à ces contrats doit répondre à des motifs d'intérêt général tels que l'urgence qui s'attache à rattraper un retard préjudiciable, ou bien la complexité du projet qui doit tenir compte de caractéristiques techniques, économiques et juridiques à la fois.

Un contrat de partenariat ne peut avoir de sens que sur une certaine durée. Elle est déterminée en fonction de la durée d'amortissement des investissements ou des modalités de financement retenues. Il ne peut y avoir de justification économique pour les deux partenaires à recourir à un contrat de partenariat que sur la durée :

- par la baisse attendue du coût de service (conception, réalisation, exploitation et maintenance par la même personne) ;
- par un meilleur entretien des ouvrages qui allonge leur durée de vie.

Même si le contrat peut varier selon la nature des projets, un délai de cinq ans peut être considéré comme minimal. Cela suppose que la personne publique soit en mesure d'assurer le pilotage de ce contrat sur toute sa durée, qui dépassera le plus souvent celle d'un mandat des élus. Il est donc préférable d'avoir également une mission d'assistance pour le suivi de ce projet sur toute la durée.

Profitant des annonces gouvernementales où les dépenses publiques doivent s'amincir, le recours à un partenariat public-privé devrait tendre à se développer en matière d'éclairage public car les réseaux arrivent à la fin de leur durée de vie et des investissements importants sont à prévoir. Les communes n'ayant pas les moyens ou le souhait de faire face seul à ces investissements, elles pourront partager les risques avec une entreprise privée. Dans le cadre de ce partenariat, un troisième interlocuteur, ayant une vision objective est bien souvent recommandé. C'est vers cela que moi et la société visons à nous déployer désormais.

Bibliographie

Ouvrages imprimés

ADEME. Diagnostic éclairage public – cahier des charges. septembre 2003, 7 p.

ASSOCIATION FRANCAISE DE L'ECLAIRAGE. Recommandations relatives à l'éclairage des voies publiques. Lux Editions, 2002, 186 p.

COMISSION INTERNATIONALE ELECTROTECHNIQUE. NF C15-100 : Installations électriques à basse tension. Union Technique de l'Electricité, 2002 (avec mise à jour de juin 2005), 495 p. (CEI série 60364)

COMISSION INTERNATIONALE ELECTROTECHNIQUE. NF C17-200 : Installations d'éclairage extérieur. Union Technique de l'Electricité, mars 2007, 47 p.

FORMAPELEC. Application de la norme NF C17-200 au niveau des études. octobre 2007, 148 p.

Articles de périodiques imprimés

VENTURINO Hélène. Eclairage Public : Marseille expérimente une solution durable et économe en énergie. *Commun'idée*, Juin 2010, n°12, p. 3

Articles de périodiques électroniques

ASSOCIATION FRANCAISE DE L'ECLAIRAGE. Eclairage et enjeux énergétiques. *Le « Point de vue de l'AFE »*, [en ligne], Mars 2007. Disponible sur : < <http://www.afe-eclairage.com.fr/uploads/documentation/502-ext.pdf>>. (consulté le 28/06/11)

GREEN UNIVERS. Los Angeles, première grande métropole à passer aux LED. *Le Figaro*, [en ligne], 25/02/2009. Disponible sur : <<http://www.lefigaro.fr/vert/2009/02/25/01023-20090225ARTFIG00499-los-angeles-premiere-grande-metropole-a-passer-aux-led-.php>>. (consulté le 28/06/11)

Sites web

LED-FR. Constitution d'une LED, [en ligne]. Disponible sur : < <http://www.led-fr.net/caracteristiques-led.htm>>. (consulté le 28/06/11)

SCHNEIDER ELECTRIC. Le spécialiste mondial de la gestion de l'énergie, [en ligne]. Disponible sur : < <http://www.schneider-electric.com/site/home/index.cfm/fr/>>. (consulté le 28/06/11)

SOGEXI. SOGEXI : l'équipementier de l'éclairage public, [en ligne]. Disponible sur : < <http://www.sogexi.fr>>. (consulté le 28/06/11)

WEB-IN-POCKET. Petites bases sur les LED (électronique), [en ligne]. Disponible sur : <<http://web-in-pocket.blogspot.com/2010/05/petites-bases-sur-les-led-electronique.html>>. (consulté le 28/06/11)

WIKIPEDIA. Eclairage Public, [en ligne]. Disponible sur : <fr.wikipedia.org/wiki/Éclairage>. (consulté le 28/06/11)

MARTIN.MICHEL47. Différents régimes de neutre, [en ligne]. Disponible sur : <http://martin.michel47.free.fr/electr/electricite/documents/differents_regimes_de_neutres.htm>. (consulté le 23/08/11)

Table des annexes

Annexe 1 Cahier des charges de l'ADEME.....	96
Annexe 2 Présentation synthétique de notre méthodologie	118

Annexe 1
Cahier des charges de l'ADEME

A D E M E



Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

DIAGNOSTIC ECLAIRAGE PUBLIC

Partie B

Cahier des charges du diagnostic

Nota : Ce dossier se compose de deux documents indissociables :

- Partie A : Notice explicative de synthèse destinée aux élus
- Partie B : Cahier des charges du diagnostic éclairage public (le présent document)

1 OBJET

Le présent cahier des charges, établi par l'ADEME, a pour objet de définir une méthodologie destinée aux Collectivités locales désireuses d'effectuer (où de faire effectuer) un audit éclairage public.

Lorsque ce dernier sera réalisé avec une participation financière de l'ADEME, son respect sera obligatoire.

Nota : Les tableaux modèles figurant dans le présent document comportent les renseignements minimum nécessaires, étant entendu que le BET chargé de l'audit pourra utiliser ses propres documents pour autant qu'ils comportent les dits renseignements.

2 OBJECTIFS

L'audit doit constituer un élément décisionnel fiable pour la Collectivité, son aboutissement étant la proposition d'un schéma directeur de rénovation chiffré, tant en investissement qu'en fonctionnement (y compris économies d'énergie), c'est à dire en « Coût global ».

Pour atteindre cet objectif, l'audit comportera quatre grands chapitres détaillés ultérieurement :

1. Inventaire technique de l'existant
2. Inventaire financier de l'existant (Investissement + fonctionnement)
3. Schéma directeur de rénovation chiffré en « Coût global » (Investissement + fonctionnement + économies énergétiques)
4. Comparatif des avantages techniques et/ou financiers en regard de la situation actuelle

3 CHAMPS DU DIAGNOSTIC

3.1 PERIMETRE CONCERNE :

L'audit portera sur les seules installations d'éclairage public du domaine communal à savoir :

- Les voies ouvertes à la circulation publique (au sens du code de la route) ainsi que sur leurs dépendances.
- Les domaines publics immobiliers (lotissements, ZAC, HLM, copropriétés etc.) sous réserve que les assemblées délibérantes de ces ouvrages et la Collectivité se soient préalablement prononcées favorablement pour la prise en charge des installations par la Ville.

3.2 LIMITES DU DIAGNOSTIC

Le diagnostic portera sur l'état actuel de l'existant et ses conclusions comporteront des propositions d'amélioration énergétiques, financières et qualitatives. Dans cet esprit, en dehors de l'adjonction de points lumineux destinés à éliminer des « points noirs », les éventuelles études portant sur l'éclairage de voies nouvelles ou projetées (ou sur l'implantation de points lumineux sur des voies existantes mais non éclairées) ne pourront être subventionnées par l'ADEME et feront, le cas échéant, l'objet d'une convention séparée entre la Collectivité et le BET .

4 DEFINITIONS DE LA MISSION DE DIAGNOSTIC

4.1 DEFINITIONS GLOBALES

Le résultat du diagnostic comprendra :

4.1.1 EN PARTIE FIXE OBLIGATOIRE

- L'inventaire des sources d'alimentation
- La nature, longueur, type de pose et section des câbles d'alimentation
- L'inventaire des points lumineux, leurs composants
- La détermination du coût de l'existant comprenant tous les paramètres décrits au § X ci-après
- Le chiffrage en coût global (Investissement + Fonctionnement + Economies d'Energie) des solutions préconisées en regard des dépenses actuelles

4.1.2 EN PARTIE OPTIONNELLE APRES ACCORD DE LA COLLECTIVITE

4.1.2.1 Simultanément au diagnostic

- Les mesures d'éclairage rue par rue où sur secteurs ponctuels définis par la Ville
- Les mesures d'isolement des conducteurs d'alimentation

4.1.2.2 Postérieurement au diagnostic

- La réalisation d'un dossier de consultation des entreprises (DCE)
- Le suivi de l'exécution (mission AMO) pour une période à définir par la Ville
- L'études de points particuliers non inclus dans le présent document tels que : L'éclairage de voies nouvelles ou projetées (ou sur l'implantation de points lumineux sur des voies existantes mais non éclairées), la signalisation tricolore, les manifestations festives ou foraines, les illuminations de fin d'année, les illuminations de bâtiments, etc ...

4.1.3 COMMENTAIRES SUR LA PARTIE OPTIONNELLE DU DIAGNOSTIC

4.1.3.1 Mesures d'éclairage avec camion laboratoire photométrique

Les conditions d'éclairage et surtout d'uniformité sont fonction non seulement des caractéristiques technologiques des sources et des lanternes mais également de l'environnement :

- Nature et couleur de la chaussée
- Coefficient de réfléchissement des façades riveraines (surtout en centre ville)
- Présence d'autres sources lumineuses (enseignes des commerçants par exemple)
- Absence/présence de végétaux, élagués ou non : (influence de la saison)

La procédure la plus complète en ce domaine consiste à utiliser un camion laboratoire photométrique permettant d'appréhender l'ensemble de ces données et, le cas échéant, de les comparer, par la suite, après travaux, avec les résultats obtenus.

Réalisée suivant les préconisations de l'AFE (Association Française de l'Eclairage), cette solution se heurte toutefois à trois problèmes importants :

a) Son coût :

Elle se réalise sur la base moyenne de 25/30 km par nuit, la Ville devant intégrer le coût simultané de deux agents communaux + véhicules, afin d'assurer la protection amont et aval du convoi ainsi que son guidage dans les diverses voies de la Commune. Estimation en valeur 2001 : 25 000,00 HT par nuit soit 84,00 à 100,00 FHT/km, la facturation minimale d'une nuit étant, en général, à prévoir.

b) Son utilité relative pour certaines communes :

De nombreuses collectivités, avec une forte proportion en milieu rural, utilisent les supports EDF comme moyen d'implantation de leur éclairage public. Les impératifs du distributeur l'amènent à installer ses supports en fonction de conditions techniques qui lui sont propres (efforts mécaniques, tension des conducteurs, nombre d'abonnés etc...), conditions d'où la notion d'éclairage est absente.

Pour information : en première approche, pour qu'une bonne uniformité d'éclairage soit obtenue, on considérera que la distance séparant deux lanternes doit être comprise entre 2 et 2,5 fois leur hauteur d'implantation (20 à 25 ml pour des lanternes installées à 10 m de hauteur).

Si la volonté de la collectivité et/ou ses contraintes budgétaires l'amènent à pérenniser l'utilisation des supports EDF, il peut sembler illusoire d'investir dans des mesures d'éclairage dont la probabilité de résultats s'avèrera négative.

c) Le classement des voies par la Collectivité :

En fonction des préconisations de l'AFE (Association Française de l'Eclairage), la Ville se devra de déterminer, pour chacune de ses voies, le classement en cinq catégories (A, B, C, D, E) en fonction de l'utilisation et du volume de trafic. Si l'utilisation de certaines voies se trouve quasiment figée (pénétrantes, rues piétonnes, voies commerçantes, sites propres pour transports en commun etc ...), il n'en va pas de même pour le reste de la voirie communale qui

peut s'avérer évolutive (positivement ou négativement) en fonction de paramètres modifiant l'utilisation initialement prévue.

4.1.3.2 Mesures d'éclairage ponctuelles

Suivant le même principe que celui décrit au § 4.1.3.1 précédent, elles concerneront des points stratégiques, définis par la Collectivité et clairement spécifiés dans la consultation du (des) BET.

4.1.3.3 Mesures d'éclairage au luxmètre

En fonction de ce qui se trouve décrit dans les paragraphes précédents, l'opération consistera plus en des mesures d'intensité lumineuse qu'à des mesures d'éclairage proprement dites. Cette solution peut s'adapter aux mesures d'éclairage ponctuelles (CF : § 4.1.3.2) plus qu'à l'ensemble des voiries communales, dans la mesure où le relevé manuel des intensités lumineuses, à hauteur de chaque lanterne, s'avérera plus coûteuse (et moins fiable) que l'utilisation d'un camion laboratoire photométrique.

4.1.3.4 Mesures d'isolement des conducteurs

Cette opération est optionnelle dans la mesure où :

- Elle ne concerne, a priori, que les seuls réseaux souterrains
- Les constats effectués à l'aide d'une magnéto ne sont pas fiables, car s'ils permettent de constater un défaut, leur nombre et leur nature restent inconnus pouvant ainsi générer des préconisations faussées : (Remplacement total d'un câble pour une « blessure légère » où, au contraire, réparations (boîtes) sur un conducteur endommagé en plusieurs endroits)

Pour résoudre ce problème les mesures se doivent d'être effectuées à l'aide d'un camion laboratoire, durant une minute, à deux fois la tension d'alimentation + 1000 Volts. (Soit # 1500 V pour les réseaux BT).

La procédure décrite ci-dessus, si elle a le mérite « d'affranchir » et de localiser les défauts latents, risque d'aboutir sur une « fiabilité » pouvant entraîner la mise hors circuit d'une majeure partie de l'éclairage de la Ville. D'autre part, un Cabinet d'études n'est pas habilité à effectuer les réparations au fur et à mesure des incidents relevés. Le BET chargé de l'étude se doit d'être suivi par les services chargés de la maintenance (Ville ou Entreprise) afin que ces derniers puissent procéder aux réparations au fur et à mesure des affranchissements.

La budgétisation de ces interventions s'avère impossible puisque résultant du diagnostic lui-même constituant ainsi un point de blocage sur la procédure envisagée. La Ville doit donc se déterminer entre trois choix :

- Faire effectuer les mesures à l'aide d'une magnéto et accepter la préconisation de remplacement total du câble souterrain sur le tronçon concerné.
- N'effectuer les mesures, à la magnéto, que sur les secteurs où de nombreuses pannes sont constatées.
- Intégrer les mesures d'isolement, non dans le coût de l'audit, mais reporter celles-ci dans le cahier des charges de maintenance (qui sera préconisé par le BET), ce cahier des charges étant à respecter quelque soit l'entité chargée de l'exécution des prestations (Régie

communale ou entreprise). Bien entendu, le coût de la maintenance incorporera les mesures elles-mêmes mais également une provision budgétaire destinée à faire face aux réparations.

4.2 OPERATIONS PRELIMINAIRES AU DIAGNOSTIC

4.2.1 COLLECTE DE DOCUMENTS ET/OU RENSEIGNEMENTS

- Figurer définitivement l'opération « diagnostic » en fonction du choix de la Collectivité. Définitions précises des parties fixes et/ou optionnelles.
- Regrouper les éléments techniques nécessaires : plans, schémas, numérotation (voies et points lumineux) si elle existe, rencontre avec l'installateur éventuel, si la Ville l'autorise, etc...
- Regrouper les éléments financiers nécessaires sur les deux dernières années entières : factures d'investissement et de fonctionnement, double du contrat de maintenance, (s'il en existe un), état de la dette relative au poste éclairage public etc..., d'une façon générale tous les éléments financiers permettant d'appréhender la situation financière actuelle du poste « éclairage public » aux fins de comparaisons avec la situation financière future résultant du diagnostic.
- En cas de régie municipale, reconstituer le coût global du service incorporant, outre les investissements et les factures énergétiques, le montant annuel du fonctionnement du service proprement dit (nombre d'agents, salaires, charges, taux d'absentéisme, pourcentage affecté au service, les véhicules -amortissement, entretien, frais d'assurance, frais d'atelier (ou garage), carburant etc..
- Etablissement d'un fichier des voies, avec identification publiques ou privées, et numérotation soit existante, soit par utilisation du code « Rivoli », soit à créer par ordre alphabétique de 0 à n. Ce fichier servira ultérieurement à définir l'inventaire de l'existant (cf. 5), le montant des travaux préconisés voie par voie (cf. § 5.5) et, si nécessaire, la numérotation des points lumineux (cf. § 4.2.3.3)
- Etablissement d'un fichier des armoires de distribution :
 - * à créer (sur relevé des factures EDF)
 - * soit, fonction des relevés « Dialège » EDF

4.2.2 PREPARATION DE DOCUMENTS

4.2.2.1 Plans ou schémas des installations

Ce point constituant l'élément de travail indispensable pour effectuer les opérations relatives à l'audit technique, ils seront fournis, sur calque(s) soit par la Ville (où son installateur) soit réalisés par le BET préalablement à ses relevés « terrain » .

Ils comporteront, au minimum :

- L'implantation des sources d'alimentation : Armoires - ou transformateurs sources et secondaires (si le réseau est du type HT/EP)
- L'implantation des points lumineux numérotés
- Le schéma de distribution des conducteurs (le récolement s'il existe)

- Le repérage des zones non incluses dans le domaine public (parties privatives)

4.2.2.1.1 Cas des plans fournis par la Ville (ou son installateur)

Le BET, dans le cadre de sa remise de prix, prendra en compte la fourniture totale des éléments décrits ci-dessus où, le cas échéant, les compléments à y apporter.

4.2.2.1.2 Cas des plans à réaliser par le BET

Création par le BET des plans suivant le § 4.2.2.1 la numérotation étant celle existante, soit à créer dans le cas contraire. Dans cette dernière hypothèse, le BET utilisera la méthode décrite au § 4.2.2.2 ci-après .

4.2.2.2 La numérotation

4.2.2.2.1 Objectifs

La numérotation doit :

- S'adapter aisément à toute modification (adjonction, modification ou suppression de points lumineux) sans remettre en cause l'ensemble de l'existant.
- Comporter une liaison informatique voie/armoire/points lumineux permettant les calculs techniques (chutes de tension) ou financiers (vérification de la validité de la puissance souscrite et consommée par armoire).

4.2.2.2.2 Principes

La numérotation sera utilisable en deux parties :

- Une partie informatique comprenant la totalité du numéro
- Une partie technique (repérages sur plans et/ou physiques sur le terrain) ne comportant que les trois derniers chiffres au maximum (il ne peut y avoir plus de 999 candélabres dans une seule rue dépendants d'une seule armoire BT (où d'un seul transformateur enterré)

4.2.3 CREATION DES DONNEES

4.2.3.1 Armoires

- 3 caractères pour sa désignation : (Exemple Armoire EP 34 = 034)
- 1 Caractère pour le numéro de départ (si plusieurs départs 1,2 3... n)

4.2.3.2 Voies

- Utilisation du code « Rivoli » s'il existe sur la commune
- Dans le cas contraire numérotation des voies, dans l'ordre alphabétique, de 001 à 999, (où plus si nécessaire).

4.2.3.3 Points lumineux

- Caractères comprenant le numéro de la voie + le numéro du point lumineux (de 1 à n) dans la voie concernée (exemple : le 12^{ème} candélabre de la voie 006 sera repéré 6.12 sur les plans où physiquement sur le support ou la console)
- En cas de support unique comprenant plus d'une lanterne, il sera ajouté, pour ces dernières un indice (a,b,c etc ...) Exemple : si le candélabre 6.12 décrit ci-dessus comportait 3 lanternes l'informatique (et non le repérage sur plans) prendrait en compte les numéros 6.12.a, 6.12.b, et 6.12.c

4.2.3.4 Numérotation

Numérotation informatique				Numérotation sur plan ou physique
Numéro Armoire	Départ dans l'armoire	Numéro voie	Numéro point lunimeux	
Nombre de caractères :				
3	1	3	4	7 maximum
Exemple :				
034	2	006	12	6.12

4.2.3.5 Cas d'une distribution HT/EP

Dans cette hypothèse, la notion d'armoire de distribution basse tension n'existant plus, la source d'alimentation (transformateur enterré) sera numérotée de la façon suivante :

- Une lettre , (A, B, C), désignant le transformateur source primaire
- Un ou deux chiffres (1,2.. n) désignant le départ du transformateur primaire utilisé
- Deux chiffres désignant le numéro d'ordre du transformateur enterré sur le départ primaire concerné, le numéro 1 étant, par convention, le premier depuis le poste.

Par exemple, le huitième transformateur du départ 2 du poste B sera repéré : B.28

Numérotation informatique				Numérotation sur plan ou physique
Repère	Transformateur	Numéro	Numéro point	
Transformateur source	enterré	voie	lunimeux	
Nombre de caractères :				
1	2	3	4	7 maximum
Exemple :				
B	28	006	12	6.12

Remarque : certaines Collectivités, en particulier celles possédant des « écarts » (zones géographiques éloignées de la distribution HT/EP) utilisent les deux systèmes d'alimentation. La méthodologie proposée permet de conserver une numérotation homogène, la seule différence se situant au niveau des bases de données informatiques.

5 REALISATION DU DIAGNOSTIC « TERRAIN »

5.1 RAPPELS

Les fiches de diagnostic ci-après ne constituent que des modèles destinés à indiquer le minimum des champs à renseigner.

Le BET pourra utiliser tout modèle à sa convenance pour autant que :

- Les champs minimum requis y figurent
- Le fichier informatique résultant devra être exploitable sur un logiciel du commerce, par opposition à un logiciel qui serait propriété exclusive du BET.

5.2 LES ARMOIRES DE DISTRIBUTION

Le BET remplira une fiche technique conforme au modèle ci-après :

- La nature du câble (cuivre, aluminium, aérien, souterrain, autre)
- La section du câble
- Le linéaire du câble depuis la source amont (estimation sur plan)
- Les mesures d'isolement (si cette option est retenue par la Ville)

5.4 POINTS LUMINEUX

Pour chaque point création d'un fichier informatisé (sous EXCEL 5 ou similaire) comprenant :

- Numérotation du point
- Adresse par rue
- Type et marque du luminaire
- Nombre de lampe(s) dans le luminaire
- Nature de(s) lampe(s)
- Puissance de la lampe
- Appareillage incorporé ou non
- Lanterne fermée ou non
- Existence circuit de terre
- Conformité NFC 17 -200
- Type de support
- Hauteur support
- Référence du code de la source d'alimentation amont

Note explicative :

Le fichier comprendra, en outre, pour les éléments constitutifs de chaque point lumineux, les dates de pose, étant entendu que ces dernières seront à fournir par les services techniques municipaux (ou seront laissés vierges).

Les dates de pose sont extrêmement importantes tant pour mesurer le degré de vétusté du matériel en phase diagnostic, que pour le Secrétariat Général de la Ville afin de chiffrer la valeur résiduelle du matériel au sens de la comptabilité publique (M14).

Chaque relevé de point lumineux comportera, au moins, les renseignements décrits dans la fiche ci-après.

SUPPORT	Signification
Date de pose	
Numéro du support	Numéro du point lumineux
Numéro de voirie	C'est l'adresse postale de l'immeuble le plus proche du point lumineux et du même côté
Numéro de l'armoire et nom du poste	Numéro de l'armoire et nom du poste
Hauteur du support	
Hauteur de feu	
Type de support	Acier, alu, galva, poteaux EDF etc..
CABLE	
Date de pose	
Type du câble d'alimentation	
Longueur câble	
Type de pose	
LUMINAIRE	
Date de pose	
Type de luminaire et marque	
Fermé ou ouvert	
Appareillage	
Hauteur	
Avancée	
Inclinaison	
Type de lampe	
Puissance lampe	

5.5 CONCLUSIONS CHIFFREES DE L'INVENTAIRE TECHNIQUE

5.5.1 PRESENTATION

Suite à l'audit technique le BET proposera un schéma de rénovation basé sur quatre degrés d'urgence :

- Degré 1: Investissements indispensables liés à la mise en conformité éventuelle et à la sécurité des personnes
- Degré 2 : Investissements liés à des économies énergétiques (ou de maintenance)
- Degré 3 : Investissements générés par des améliorations qualitatives (matériels et niveaux l'éclairage en particulier)
- Degré 4 : Investissements souhaités par la Collectivité (voie nouvelle et/ou opérations communes avec d'autres concessionnaires : eau, gaz, téléphone, électricité)

Le résultat de cette analyse figurera, (en regard des dépenses actuelles), dans les conclusions globales, telles que définie au § 6.1 ci-après, permettant à l'assemblée délibérante de prendre sa décision.

5.5.2 ECONOMIES ENERGETIQUES

En fonction de l'installation existante, le BET proposera une liste d'actions choisies dans le tableau suivant :

Nature interventions	Description	Economies d'électricité (kWh/an)	Economie de puissance de pointe (kW)	Economies financières (F TTC/an)	Montant des investissements (F TTC)	Délai de réalisation (Mois)
Sur tarification et comptage						
Sur gestion du parc						
Sur sources lumineuses						
Sur équipements de réduction de puissance						
Autres à préciser						
Autres à préciser						

L'utilité de la démarche sera justifiée par un temps, en années, de « retour sur investissements » prenant en compte le ratio montant des investissements/coût annuel. Nota important : le coût annuel comprendra le montant énergétique augmenté (ou diminué) des coûts de maintenance corrélatifs aux solutions proposées.

6 METHODOLOGIE DE L'INVENTAIRE FINANCIER

6.1 OBJECTIFS FIXES AU BET

Fournir à la Ville :

- Un état réel de ses dépenses actuelles incluant tous les paramètres
- Proposer des éventuelles économies possibles
- Comparer les dépenses actuelles en fonction des dépenses futures résultant du diagnostic

Le résultat de l'audit devra se résumer par la fourniture d'un tableau -(justifié)- comportant les rubriques suivantes (en dépenses annuelles HT) :

Postes	Actuel	Degré 1	Degré 2	Degré 3	Degré 4
Go : Intérêts des emprunts					
G1 : Coût énergétique					
G2 : Maintenance systématique					
G3 : Maintenance conditionnelle					
G4 : investissements					
Totaux HT					
TVA					
Totaux TTC					

6.2 METHODE DE L'ANALYSE FINANCIERE

6.2.1 GO : EMPRUNTS COMMUNAUX

Fourniture par la Ville des emprunts souscrits et/ou garantis au titre de l'éclairage public comportant les renseignements suivants, pour chaque emprunt :

- Montant
- Dates de souscription et d'échéance
- Taux de base d'intérêts de l'emprunt
- Montant de l'annuité et nature (fixe, progressive, indexée etc. ...)
- Clauses de résiliation et/ou de remboursement anticipé

Analyse, par le BE, des conditions d'emprunts obtenus par la Ville et des possibilités de négociations.

6.2.2 G1 : COUT ENERGETIQUE

Pour les deux dernières années entières, le BE analysera :

- Puissance consommée en francs
- Puissance consommée en KWh globalement et par tranche tarifaire
- Pour chaque comptage :
 - * Adresse (ou localisation géographique)
 - * Référence abonnement EDF
 - * Matricule compteur EDF
 - * Puissance souscrite
 - * Consommation en francs
 - * Consommation en KWh (par tranche tarifaire)
 - * Rapport entre prime fixe et consommation
 - * Prix moyen du KWh
 - * Evolution sur les trois dernières années entières
 - * Liste des anomalies éventuelles

La Ville transmettra au BET l'ensemble des factures correspondantes à la période analysée, ces documents devant être soit des originaux, soit des photocopies lisibles et certifiées conformes, soit des disquettes informatiques exploitables sous un logiciel disponible dans le commerce (Dbase, Excel, Quattro, etc...), soit les relevés « Dialège » d'EDF.

6.2.3 G2 : MAINTENANCE SYSTEMATIQUE

Sur les deux dernières années entières le BE procédera à :

- Analyse du dossier marché de maintenance (ou des factures afférentes -à fournir par la Ville-)
- Analyse et chiffrage des dépenses communales éventuelles (personnel, véhicules, stocks, magasin, locaux etc...)
- Matériel acheté « en direct » par la Collectivité
- Les travaux effectués par le personnel communal (si cette hypothèse existe)
- Suggestions d'adjonctions (ou de suppressions) de clauses permettant des économies énergétiques.

La Ville fournira au BE, suivant un questionnaire à établir par les soins de ce dernier, l'ensemble des éléments et/ou renseignements lui permettant de remplir sa mission.

6.2.4 G3 : MAINTENANCE CONDITIONNELLE

Mêmes définitions que celles décrites au § précédent mais en identifiant les interventions liées à des événements non contractuels tels que :

- Accident avec tiers non identifié
- Vandalisme
- Claquage de câble
- Eléments relevant de cas de force majeure et reconnus comme tels par la jurisprudence et, en particulier :
 - * Le foudroiement d'élément d'un réseau
 - * Des vents d'une vitesse supérieure à 100 km/h
 - * Le brouillard
 - * A l'interruption de l'alimentation par le distributeur d'énergie
 - * A une défaillance d'installations non soumises aux prescriptions de l'analyse et notamment des supports communs avec d'autres réseaux et des câbles en pleine terre
 - * D'une façon générale tout dommage qui s'est produit, tels que faits de guerre, émeute, terrorisme, mouvements populaires, manifestations quelconques, difficultés de circulation dues aux intempéries, difficultés d'approvisionnement en matériels dues à des ruptures de stock générales, etc...
- Demandes particulières de la Ville: Déplacement de supports, alimentations provisoires, branchements festifs etc...

6.2.5 G4 : INVESTISSEMENTS

Partant du diagnostic « terrain », il sera établi un schéma directeur de rénovation comprenant les quatre degrés d'urgence définis au § 5.

Ce document comportera, rue par rue :

- Le matériel à remplacer ou à conserver (pour le matériel à remplacer, les propositions prenant en compte les critères esthétiques et financiers (coût d'exploitation du matériel choisi)
- Les alimentations à conserver ou à remplacer (armoires, les câbles souterrains étant - éventuellement- exclus sauf option retenue par la Ville
- Propositions des priorités
- Proposition de planning prévisionnel de réalisation fonction des ressources affectées par la commune aux investissements
- Le coût d'objectif intégrant, le cas échéant, les frais financiers relatifs à un éventuel emprunt communal

7 PRESENTATION DU RESULTAT DE L'AUDIT

Le BET remettra son rapport en deux exemplaires papier, plus un troisième sur support informatique. Ce rapport sera composé de trois parties :

7.1 PARTIE 1

Inventaire technique tel que décrit au § 4 (y compris, le cas échéant, les options choisies par la Ville)

7.2 PARTIE 2

- Inventaire financier de l'existant, (investissement + fonctionnement), comportant l'analyse des dépenses sur les deux dernières années
- Inventaire financier de l'état futur préconisé suivant la définition de l'article 6.1

7.3 PARTIE 3

Récapitulatif destiné aux élus -(10 pages maximum)- comprenant, sans démonstration autre que la référence aux parties 1 et 2 :

- Récapitulatif de l'inventaire technique de l'existant
- Récapitulatif de l'inventaire financier de l'existant
- Prestations chiffrées suivant les 4 degrés d'urgence définis au § 5.5.1

- Incidence sur le budget annuel (Investissement + fonctionnement) suivant les 4 degrés d'urgence

8 REALISATION D'UN DCE (DOSSIER DE CONSULTATION DES ENTREPRISES : OPERATION OPTIONNELLE)

8.1 PREAMBULE

Suite à la réalisation du diagnostic technique et financier, certaines Collectivités souhaitent prolonger cette mission initiale par deux prestations optionnelles.

8.1.1 LA REALISATION D'UN DCE (DOSSIER DE CONSULTATION DES ENTREPRISES) EN VUE DE LANCER UN APPEL D'OFFRES

Si le marché est du type longue durée (10,12 ou 15 ans) et après désignation de l'entreprise retenue pour réaliser les travaux (par une mission AMO -Assistant au Maître d'Ouvrage-), d'une durée moyenne d'un à deux (ans afin de mettre l'opération sur une bonne voie) : sur un contrat longue durée, les premières années s'avèrent primordiales, les habitudes, bonnes ou mauvaises, se perpétuant sur la durée totale.

8.1.2 DOSSIER DE CONSULTATION DES ENTREPRISES (DCE)

8.1.2.1 Opérations préalables avec la Collectivité :

En fonction du résultat du diagnostic :

- Présentation par les soins du BET des diverses formules de marchés juridiquement viables.
- Incidences sur le FCTVA, pour les opérations relevant du budget d'investissement
- Examen des possibilités financières de la Collectivité sur deux critères principaux :
 - * Réalisation du schéma directeur à budget identique (Fonctionnement + Investissement) à l'actuel, la durée étant fonction du budget défini.
 - * Réalisation du schéma directeur sur une période plus courte, le budget annuel (Fonctionnement + Investissement) étant proposé par les soins à du BET suivant plusieurs options.

8.1.2.2 Opérations intermédiaires :

Suivant les orientations définies par la Collectivité, la présence du BET sera effective auprès de Monsieur le Maire (ou de toute personne mandatée par ses soins), pour les indispensables rencontres avec :

- L'autorité préfectorale pour validation de la procédure envisagée et/ou la négociation d'éventuelles subventions.
- LA DDCCRF (Direction de la Concurrence, de la Consommation et de la Répression des Fraudes) pour acceptation préalable de le procédure de consultation envisagée.
- Le Receveur municipal (ou le TPG) pour l'accessibilité au FCTVA .

8.1.2.3 Réalisation du DCE

Ce document comportera, au minimum, les pièces suivantes :

N° Pièce	Libellé pièces
A	Annonce légale
B	Règlement de la consultation (RC)
1	Acte d'engagement (AE)
2	Cahier des clauses administratives particulières (CCAP)
3	Cahier des clauses techniques particulières (CCTP)
4	Bordereau des prix unitaires de maintenance systématique (G2)
5	Bordereau des prix unitaires de maintenance exceptionnelle (G3)
6	Bordereau des prix de rénovation / modernisation (G4)
7	Estimatif quantitatif de maintenance systématique (G2)
8	Estimatif quantitatif de rénovation (G4)
9	Annexe 1 : Inventaires des installations existantes
10	Annexe 2 : Descriptif, rue par rue, des travaux de rénovation/modernisation
11	A fournir par la Ville : Plan des installations existantes

Pour les opérations intermédiaires telles que décrites ci-dessus, l'expérience montre que les organismes concernés souhaitent se prononcer plus en fonction de pièces écrites que sur des principes généraux.

Dans cette optique, les pièces A,B ,1 et 2 figurant dans le tableau ci-dessus seront rédigées préalablement aux rencontres et serviront de base de travail pour l'établissement des documents définitifs.

9 MISSION AMO (ASSISTANCE AU MAITRE D'OUVRAGE : OPERATION OPTIONNELLE)

9.1 CADRE :

Cette mission s'entend généralement pour des contrats de longue durée, passé avec un adjudicataire unique, ce dernier prenant en charge la réalisation des travaux et le coût de fonctionnement forfaitaire corrélatif.

Cette formule s'avère souvent très profitable pour la Collectivité dans la mesure où :

- Elle regroupe les budgets de fonctionnement et d'investissement (de nombreuses communes se trouvant devant de graves problèmes financiers pour des ouvrages réalisés - voire entièrement subventionnés- à faible coût mais dont elles doivent assumer des frais de fonctionnements exorbitants).
- Elle constitue le meilleur cahier des charges possible, le réalisateur d'un ouvrage n'ayant aucun intérêt à minimiser la qualité, puisque se trouvant engagé financièrement sur le fonctionnement et ce, sur une période longue.
- Les prix remis par les entreprises sont plus compétitifs, ces dernières prenant en compte le paramètre de la durée.

9.2 DEFINITION DE LA MISSION

9.2.1 OBJECTIFS

Tant pour le personnel communal que pour l'entreprise choisie, le contrat longue durée impose un changement des cultures dans la mesure où la notion de travaux se substitue à celle de service.

La présence de l'auteur du projet s'avère souhaitable pour deux raisons essentielles :

- Eviter toute dérive financière et/ou technique par rapport à la solution initialement choisie par la Ville.
- Mettre en place, dès l'origine, des procédures fiables et acceptées valables sur toute la durée du marché.

9.2.2 CONTENU MISSION 1 : PREALABLE AU COMMENCEMENT DE L'EXECUTION

- Mise au point du marché, dans les conditions fixées par le Code des Marchés Publics, avec l'Entreprise retenue (y compris pour les variantes autorisées)
- Choix définitif des matériels faisant l'objet de fournitures de la part de l'Adjudicataire
- Contrôle des éléments devant être fournis par l'Adjudicataire avant le démarrage des travaux attestations d'assurances, caution bancaire, planning, plans, astreinte, véhicules etc...
- Assistance pour modification éventuelle des contrats EDF.

9.2.3 CONTENU MISSION 2 : DURANT LA REALISATION DES PRESTATIONS

- Contrôles contractuels
 - * Vérifications des factures de l'Exploitant, transmission à la Ville du "Bon à payer" (y compris éventuellement les pénalités prévues au marché)

* Contrôle des dates de remise et de la validité des documents techniques périodiques à fournir par l'Exploitant

- Rapport à la Ville sur les documents précités
- Contrôles sur le site

Le BET vérifiera la qualité technique et le respect par Exploitant, tant pour les opérations de maintenance que pour celles relevant des travaux neufs, des conditions contractuelles. Cette vérification sera faite deux fois par mois, dont une le même jour que la réunion de chantier telle que décrite ci-après. Une fois par mois, à jour fixe, le BET animera une réunion de chantier, dans les locaux municipaux, où seront représentés la Ville et l'Exploitant. Il assurera la rédaction et la diffusion du compte-rendu aux diverses personnes concernées. Sans observation(s) de l'un des participants à la réunion suivante, ce compte rendu prendra valeur contractuelle.

10 RENSEIGNEMENTS POUR CONSULTATION BET

10.1 RENSEIGNEMENTS GENERAUX

Ville de :	
REPONSES INDISPENSABLES	
Km voies éclairées	
Nb habitants	
Nb points lumineux en domaine public	
Nb armoires de distribution	
Nb comptages EDF	
Fonctionnement de l'éclairage :	
Toute la nuit ?	OUI/NON
Si partiel (horaires moyens) :	
Heure allumage	
Heure extinction	
Heure réallumage	
Heure réextinction	
Pour tous les ponts lumineux ?	OUI/NON
Pour X points lumineux sur Y (ex. 2/3)	??
Exécution de la maintenance	
Service municipal	
Entreprise	
Aucune	
Nature de la maintenance	
Systématique	
Sur appels	
REPONSES SOUHAITABLES	
Nb points lumineux	
Sur poteaux EDF et/ou Telecom	
Sur poteaux béton ou bois spécifiques éclairage	
Sur candélabres	
Sur façades	

Réseaux de distribution (estimation en km)	
Aérien	
Souterrain	
Existe-t-il un plan à jour des installations EP ?	OUI/NON
Si oui :	
Echelle du (des) plan(s)	
Nombre de plans	
Les installations EP ont-elles fait l'objet d'une visite de contrôle par un organisme agréé (APAVE, SOCOTEC, CEP, etc ?) ?	OUI/NON
Si oui, date de la dernière visite	?/??/?

10.2 PRESTATIONS A CHIFFRER SELON DEMANDES DE LA VILLE

N° §	Désignation sommaire	Demandes de la Ville (mettre une croix dans les cases correspondantes)					Observations particulières
		Chiffrer en partie fixe	Chiffrer en option	Ne pas chiffrer	Fournis par la ville sans complément BET	Fournis par la ville avec complément BET	
4.1.3.1	Mesures d'éclairage au camion laboratoire sur toutes les voies						
4.1.3.2	Mesures d'éclairage au camion laboratoire sur certaines voies						Préciser liste sur feuille annexe
4.1.3.3	Mesure au luxmètre toutes voies						
4.1.3.3	Mesure au luxmètre certaines voies						Préciser liste sur feuille annexe
4.1.3.4	Mesure d'isolement des conducteurs						
4.2.2.1	Plan des installations						
4.2.2.2	Numérotation des points						
4.2.3.2	Numérotation des voies						
4.2.3.3	Numérotation points lumineux						
4.2.3.4	Création fichier numérotation						
5.2	Armoires de distribution						
5.3	Relevé des réseaux						
5.4	Points lumineux						
5.5	Conclusions chiffrées inventaire technique						
6	Inventaire financier						
6.2.1	Emprunts communaux						
6.2.2	Coût énergétique						
6.2.3	Maintenance systématique						
6.2.4	Maintenance conditionnelle						

6.2.5	Investissements						
7.0	Présentation du diagnostic						
8.0	Création d'un DCE						
9.0	Mission AMO						

11 PRESENTATION DU DETAIL DU DEVIS PAR LE BET

11.1 PRELIMINAIRES

Il ne s'agit ici que de déterminer la forme de la décomposition financière proposée, les éléments obligatoires à joindre (présentation, contenu des pièces, attestations fiscales et sociales etc... étant fixées par le Code des Marchés publics et réputés connus du -(des)- BET consulté(s).

11.2 PLAN DE LA PRESENTATION

- Rappel des données quantitatives fournies par la Ville (Tableau 10.1) du présent document
- Rappel des prestations à chiffrer suivant tableau 10.2
- Référence explicite au cahier des charges de l'ADEME avec, le cas échéant, l'indication des compléments ou modifications souhaités par la Ville sur tel ou tel §.
- Devis estimatif quantitatif partie fixe
- Devis estimatif quantitatif partie(s) optionnelle(s) -le cas échéant-
- Les conditions économiques
- Les délais d'exécution

Annexe 2
Présentation synthétique de notre méthodologie

Date de création le 18 02 10

*3 place du Palais
BP 1231
26 012 VALENCE CEDEX
Téléphone : 04.75.40.99.98
Télécopie : 04.75.55.77.81*

INDICE A **19 Pages**
0 Annexe(s)

NOTE COMMERCIALE

Document associé :

PRESENTATION SYNTHETIQUE DE NOTRE METHODOLOGIE : PROJET D'ECLAIRAGE PUBLIC

Résumé : Ce document a pour but de présenter ce qu'est l'éclairage public, les technologies employées, les tendances actuelles ainsi que de donner des pistes d'amélioration techniques et financières de l'éclairage existant.

SOMMAIRE

1. GENERALITES	3
1.1 Impacts économiques et environnementaux	3
1.1.1 <i>Budget des communes</i>	<i>3</i>
1.1.2 <i>Diminuer la facture</i>	<i>3</i>
1.1.3 <i>Réduire l'impact environnemental.....</i>	<i>4</i>
1.2 Technologies.....	4
1.2.1 <i>Les sources.....</i>	<i>4</i>
1.2.2 <i>Les luminaires.....</i>	<i>8</i>
1.3 Economies d'énergie.....	8
1.3.1 <i>Remplacement des matériels vétustes</i>	<i>8</i>
1.3.2 <i>Maîtrise de la durée d'allumage.....</i>	<i>8</i>
1.3.3 <i>Réducteurs de puissance.....</i>	<i>9</i>
2. LES METIERS D'ING'EUROP	9
2.1 Nos moyens	9
2.2 Le diagnostic éclairage public.....	10
2.2.1 <i>Inventaire technique.....</i>	<i>10</i>
2.2.2 <i>Inventaire financier.....</i>	<i>12</i>
2.2.3 <i>Analyse des données.....</i>	<i>13</i>
2.3 La maîtrise d'œuvre (pour un nouveau projet, pour une rénovation)	14
2.3.1 <i>Les missions</i>	<i>14</i>
2.3.2 <i>Livrables.....</i>	<i>14</i>
2.3.3 <i>Relation permanente avec le Maître d'Ouvrage.....</i>	<i>15</i>
2.4 L'assistance à maîtrise d'ouvrage.....	19

PRESENTATION SYNTHETIQUE DE NOTRE METHODOLOGIE : PROJET D'ECLAIRAGE PUBLIC

1. GENERALITES

L'éclairage public désigne l'ensemble des éclairages extérieurs dont les communes ou les collectivités ont la charge. Les principales applications de l'éclairage public sont :

- l'éclairage des voies publiques
- les illuminations ou balisages
- l'éclairage des terrains sportifs
- les feux et dispositifs de signalisation
- les abribus et autres mobiliers urbains

Les illuminations réalisées à l'occasion des fêtes de fin d'année ou de manifestations commerciales et touristiques sont également assimilées à de l'éclairage public.

Les réseaux d'éclairage public sont constitués des éléments suivants :

- une armoire électrique dans laquelle on trouve le point de livraison de l'énergie électrique, l'organe de commande (horloge, cellule), les organes de protection (disjoncteurs, fusibles) et éventuellement les organes de régulation (variateurs, régulateurs). Cette armoire peut également héberger des systèmes de gestion (arrosage, télécommunications,...)
- un circuit d'alimentation (conducteurs aériens, câbles souterrains) qui peut être un réseau indépendant ou commun au réseau de distribution publique d'électricité
- des luminaires contenant les sources lumineuses ainsi que leurs appareillages (ballast, condensateur, ...)
- des supports qui peuvent être commun au réseau public de distribution d'électricité (candélabres, poteaux, bornes,)

1.1 Impacts économiques et environnementaux

1.1.1 Budget des communes

Après le chauffage (et la climatisation en été), l'éclairage public constitue le deuxième grand poste de la facture énergétique des communes. Il correspond à environ 20% des consommations d'une commune, toute énergie confondue.

La consommation d'électricité annuelle en France pour l'éclairage public se situe aux alentours de 6 TWh, soit la production annuelle d'une tranche nucléaire de 1000MW. Ce poste est aujourd'hui le premier poste de consommation d'électricité des communes (45% de la consommation totale d'électricité).

1.1.2 Diminuer la facture

La fonction essentielle de l'éclairage public est d'assurer la sécurité des usagers. Pour cette raison, il est déconseillé d'éteindre l'éclairage des voies publiques une partie de la nuit, les dangers ainsi générés risqueraient d'avoir des conséquences humaines et financières importantes en regard des économies réalisées. Afin d'éviter ces ennuis, on parle à l'heure actuelle plus de maîtrise de l'énergie que d'économie.

PRESENTATION SYNTHETIQUE DE NOTRE METHODOLOGIE : PROJET D'ECLAIRAGE PUBLIC

La tendance actuelle des décideurs est de fournir de la lumière en permanence toute la nuit. Déjà vérifiée pour les grandes communes, cette tendance se généralise aux communes de petites tailles, autrefois adeptes d'un régime semi-permanent (coupure de l'éclairage une partie de la nuit).

Cette tendance est naturellement gourmande en énergie et entraîne des frais de maintenance plus importants puisque le temps d'éclairage est plus long, les lampes s'usent donc plus vite. Cependant, il y a deux moyens de fournir de la lumière pendant la totalité de la nuit : en gardant le même niveau d'éclairage (régime permanent) ou en réduisant le flux lumineux une partie de la nuit (régime réduit).

1.1.3 Réduire l'impact environnemental

Les dépenses d'énergie de l'éclairage, à 100% d'origines électriques, ont d'importantes conséquences environnementales de par leur mode de production. L'éclairage public participe donc aux émissions de CO2 (environ 600 000 tonnes par an en France).

Le terme de nuisance lumineuse est utilisé pour désigner les conséquences de l'éclairage artificiel sur la faune, la flore, les écosystèmes ou parfois des effets sur la santé humaine. La pollution lumineuse a comme source physique la lumière perdue ou réfléchi émise par des luminaires des villes, des aéroports, des parkings, des installations industrielles.

1.2 Technologies

Le patrimoine français actuel est estimé à plus de 8 millions de lampes. En 1984, il y avait 1 point lumineux pour 10 habitants, ce ratio est proche de 1 pour 7 aujourd'hui. Les villes restent plus denses en points lumineux (50 points lumineux par kilomètre de voies éclairées) mais les petites communes rattrapent peu à peu leur retard. Par ailleurs, la puissance électrique par point lumineux se situe aujourd'hui aux alentours des 200 W quelle que soit la taille de la commune, résultat d'un gros effort des communes afin d'éliminer les sources énergivores. Ces économies ont été permises grâce à l'apparition sur le marché de technologies plus efficaces.

1.2.1 Les sources

En éclairage public, on appelle source, la lampe d'où jaillit la lumière. Les lampes à décharge sont les principales sources utilisées en éclairage public (95% du patrimoine) mais l'apparition des LED (Light Emitting Diode) pourrait faire varier cette tendance.

1.2.1.1 *Ballon Fluorescent (BF)*

Autrement appelée lampe à vapeur de mercure, ces lampes sont utilisées en éclairage public depuis les années 60. Elles présentent cependant plusieurs inconvénients. Leur durée de vie et leur rendement est plus faible que certaines technologies plus récentes. De plus, elles contiennent du mercure ce qui ne permet pas leur recyclage total. Ces lampes sont amenées à disparaître suite à des directives européennes.



1.2.1.2 *Sodium Haute Pression (SHP)*

Ces sources ont fait leur apparition à la fin des années 70. Ces lampes ne contiennent pas de mercure ce qui facilite leur recyclage. Elles consomment 15% d'énergie en moins qu'une lampe à vapeur de mercure et leur efficacité lumineuse est plus élevée de 65%. Cependant, le rendu des couleurs (IRC : Indice de Rendu de Couleur) reste très mauvais ce qui peut être nuisible suivant l'utilisation envisagée (par exemple dans le cadre de terrains sportifs ou d'illuminations). Ce sont les principales sources utilisées encore à l'heure actuelle du fait de la maturité de leur technologie.



1.2.1.3 *Iodures Métalliques (IM)*

Elles offrent les mêmes performances à consommation équivalente que le sodium mais ont un bien meilleur rendu de couleur. Elles reproduisent quasiment la lumière du jour et permettent de mettre en valeur les bâtiments et les monuments. L'inconvénient est leur coût, trois fois plus élevé que les lampes au sodium. Mais du fait du développement de cette technologie, les coûts devraient peu à peu se rapprocher de ceux des lampes au sodium.



1.2.1.4 *LED*

Ces lampes ont déjà beaucoup d'applications d'éclairages (feux de voitures, médecine). Elles ont une durée de vie de 60 000 heures, sont très peu consommatrices et peuvent fournir une lumière très blanche. Leur faible puissance et leur coût élevé ne permettent pas encore de réelles expériences d'éclairages routiers. Néanmoins, cette technologie est annoncée comme l'avenir des sources d'éclairage. Leurs performances augmentent rapidement. Il existe des différences de qualités (en terme d'échauffement, de rendu de couleur, et de composants électroniques) qui ont des incidences importantes sur le prix.



PRESENTATION SYNTHETIQUE DE NOTRE METHODOLOGIE : PROJET D'ECLAIRAGE PUBLIC

1.2.1.5 Comparaison

Types de lampes	LED	SHP (Sodium Haute Pression)	IM (Iodures Métalliques)
Type de lampe	Une LED n'est pas une lampe mais un semi-conducteur	à décharge	à décharge
Forme de la lampe / apparence	Cylindrique, cylindrique face demi-sphère, cubique / Claire, opale	Ballon, tubulaire / claire, poudrée	Tubulaire / claire
Prix public (€ HT)	20 à 70	30 à 250	80 à 400
Durée de vie (h)	50 000 à 100 000 (en laboratoire)	12 000 à 22 000	12 000 à 16 000
Échauffement	Inexistant (selon qualité)	moyen	moyen
Solidité	Très bonne mais pas de retour d'expérience longue durée sur l'électronique associée en conditions extérieures	Mauvaise	Mauvaise
Taille	Faible	Moyenne à grande	Petite à Moyenne
Puissances normalisées (W)	≤ 3 par diode	40 à 1 000	35 à 2 000
Efficacité lumineuse (lm/Watt)	12 à 60	80 à 138	100 à 118
Rendu des couleurs (IRC)	Moyen à bon	20 ou 65 (de luxe) / Mauvais	20 à 70 / Moyen à excellent
Applications	Balilage, architectural	Fonctionnel	Fonctionnel, architectural

1.2.2 Les luminaires

Le luminaire représente l'enveloppe dans laquelle sont contenus la source et l'appareillage. Il est également un élément architectural participant à donner un style à une rue ou à une place. Les luminaires fermés offrent beaucoup d'avantages : ils préservent la lampe, augmentent l'efficacité lumineuse. Les luminaires de type boule sont à remplacer car les pertes de flux sont trop importantes. En effet, la lampe émet à 360°, il faut donc des puissances plus importantes alors qu'en choisissant des luminaires avec réflecteurs, le flux est optimisé vers la zone à éclairer.



Luminaire efficace



Luminaire à remplacer

1.3 Economies d'énergie

Pour réduire la consommation énergétique et donc les dépenses, on peut agir sur plusieurs facteurs :

1.3.1 Remplacement des matériels vétustes

Le remplacement des lampes à vapeur de mercure par des lampes sodium ou iodures métalliques permet des économies significatives (on remplace une lampe 125W BF par une lampe 100W SHP par exemple), en plus d'améliorer la qualité de l'éclairage. Ce remplacement permet également une meilleure mise en valeur de la commune.

Lors du remplacement d'une source, il est également intéressant de prévoir le changement des appareillages et de les remplacer par des appareillages de type électronique qui régulent le courant et diminuent également les coûts de maintenance.

1.3.2 Maîtrise de la durée d'allumage

La fonction de l'éclairage public est d'éclairer lorsque la luminosité devient insuffisante. La bonne gestion de la durée d'éclairage est donc une source d'économies d'énergie. On considère que l'allumage doit s'éclairer à 5 lux (recommandations de l'Association Française de l'Eclairage), ce qui correspond à une durée d'éclairage annuelle de 4100 heures.

PRESENTATION SYNTHETIQUE DE NOTRE METHODOLOGIE : PROJET D'ECLAIRAGE PUBLIC

Il existe trois types de systèmes pour commander automatiquement l'éclairage :

- les interrupteurs crépusculaires ou cellules photoélectriques
- les horloges astronomiques
- la commande centralisée (Pulsadis,...)

Les premiers sont les plus utilisés car les moins coûteux mais ils ont le gros inconvénient d'avoir une dérive importante dans le temps lié à l'encrassement de la cellule photoélectrique. La tendance actuelle veut qu'ils soient remplacés par des horloges, c'est à dire des boîtiers automatisés, qui allument ou éteignent l'éclairage en corrélation avec les éphémérides. L'inconvénient de ces appareils est qu'ils sont entièrement automatiques et par conséquent en cas de luminosité insuffisante en pleine journée (orages,...), le réseau n'est pas allumé. Une solution peut être de leur coupler une cellule. La dernière solution est la commande centralisée qui peut être réalisée soit par la présence d'une cellule maître qui envoie un signal à tout le réseau, l'inconvénient est qu'il faut tirer un câble supplémentaire sur tout le réseau, soit de type Pulsadis, c'est à dire qui utilise le signal 175 Hz envoyé par EDF. Ce système permet un allumage et une extinction uniforme sur toute la commune mais comme pour l'horloge, il ne prévoit pas de solution en cas de luminosité faible durant la journée.

Le remplacement des cellules photoélectriques par des horloges astronomiques permet de diminuer les durées annuelles d'éclairage et par conséquent de faire des économies. Ces appareils permettent également de donner une uniformité à l'allumage.

1.3.3 Réducteurs de puissance

Ces dispositifs abaissent la puissance de l'éclairage public pendant une partie de la nuit ce qui entraîne des baisses de consommation. La différence entre le fonctionnement en régime permanent et le fonctionnement en régime réduit n'est pas facilement discernable à l'œil nu. Ces appareils peuvent être installés soit dans l'armoire de commande soit individuellement par candélabre, ils sont donc adaptables aux installations existantes. De plus, ils ont pour rôle de lisser le courant (éviter les variations de tension) ce qui augmente la durée de vie des lampes.

2. LES METIERS D'ING'EUROP

L'éclairage public est un poste important de dépenses pour les collectivités. L'éclairage joue un rôle de sécurisation mais a de plus en plus un rôle esthétique. Un éclairage performant et qui met en valeur les bâtiments montrent le dynamisme d'une commune. Des économies importantes sont envisageables dans ce domaine. Nos différents métiers peuvent vous accompagner tout au long de vos démarches en matière d'éclairage public.

2.1 Nos moyens

Nous disposons d'une équipe spécialisée dans le domaine de l'éclairage public et formée aux différentes normes en vigueur (NF C17-200, EN 13 201,...).

Nous disposons également d'un ensemble de matériel qui nous permet d'effectuer nos missions avec une grande qualité. Nous possédons des appareils de mesures (wattmètres, testeurs de terre, testeurs d'isolement, luxmètres), des stations de saisie terrain intégrant un GPS d'une précision inférieure au mètre ainsi que des outils informatiques (Autocad, SIG, Caneco, Dialux).

PRESENTATION SYNTHETIQUE DE NOTRE METHODOLOGIE : PROJET D'ECLAIRAGE PUBLIC

2.2 Le diagnostic éclairage public

Une mission avec 4 objectifs principaux :

- Connaître le patrimoine d'éclairage public (inventaire, cartographie)
- Diminuer la facture d'énergie
- Améliorer la qualité de l'éclairage
- Améliorer la sécurité des installations notamment en matière de protection des personnes

2.2.1 Inventaire technique

Le cahier des charges de l'ADEME sert de fond à notre méthodologie de diagnostic auquel nous ajoutons notre savoir-faire. Pour l'ensemble des foyers et des coffrets, nous procédons à un relevé de plusieurs critères qui débouchent sur la fourniture de deux fiches : une fiche coffret et une fiche foyer.

PRESENTATION SYNTHETIQUE DE NOTRE METHODOLOGIE : PROJET D'ECLAIRAGE PUBLIC

FICHE DE RELEVÉ DE COFFRET

Nom de l'armoire :

N° de l'armoire :

Adresse :

N° de compteur :

N° de contrat :

Puissance souscrite :

KVA

Puissance installée :

KW

Code Tarif :

Tension :

Volts

 Mono.

 Triph.

Photo

Protection générale :

Caractéristiques techniques

Commande d'allumage :

Distribution du neutre :

 Oui

 Non

Mise à la terre :

 Oui

 Non

Enveloppe type :

Mode de pose :

Type de fermeture :

Etat général de l'enveloppe :

 Bon

 A revoir

Etat équipement électrique :

 Bon

 A revoir

Nombre de départs installés / utilisés :

N° du départ	Protection du départ	Intensité mesurée	Commentaire sur la protection	Nature et section du câble

FICHE DE RELEVÉ DE FOYER

Réseau				Luminaire					Support					
Numérotation du point	Adresse	Réseau	Longueur de câble (m)	Type de luminaire	Fermé	Nature de la lampe	Puissance (W)	Appareillage	Conformité NFC 17-200	Support	Hauteur	Avancée	Mise à la terre	Date de pose

PRESENTATION SYNTHETIQUE DE NOTRE METHODOLOGIE : PROJET D'ECLAIRAGE PUBLIC

2.2.2 Inventaire financier

Le but de l'inventaire financier est d'avoir un état actuel des dépenses afin de pouvoir le comparer à l'état futur résultant des travaux de rénovation préconisé par l'étude. A l'aide des factures d'énergie des 3 dernières années, nous aboutissons à une évolution des consommations et des dépenses énergétiques que nous synthétisons sur la fiche suivante.

FICHE D'INFORMATION DONNEES FINANCIERES

Nom de l'armoire :

N° de l'armoire :

Adresse :

Abonnement

N° de contrat :

N° de compteur :

Puissance souscrite :

Code Tarif :

Montant annuel estimé de la prime fixe :

Consommation

	2007	2008	2009
Consommation (kWh) :			

Remarques :

	2007	2008	2009
Dépenses (€ TTC) :			

Remarques :

	2007	2008	2009
Prix moyen du kWh (Cts€ TTC) :			

Remarques :

	2007	2008	2009
Rapport entre prime fixe et consommation			

PRESENTATION SYNTHETIQUE DE NOTRE METHODOLOGIE : PROJET D'ECLAIRAGE PUBLIC

2.2.3 Analyse des données

L'analyse des données nous permet de dresser un schéma de rénovation de l'éclairage public poste par poste ou suivant des degrés d'urgence.

Abonnement			
	Actuel	Futur	Ecart
Puissance souscrite (en KVA) :			
	Actuel	Futur	Ecart
Montant de la prime fixe annuelle (€ HT) :			

Remarques :

Gestion du parc			
	Actuel	Futur	Ecart
Heures de fonctionnement annuelles :			
	Investissements (€ HT)	Economies (€ HT/an)	Temps de retour (ans)
Economies annuelles envisageables :			

Remarques :

Sources lumineuses			
	Actuel	Futur	Ecart
Consommation annuelle (en KWh) :			
	Investissements (€ HT)	Economies (€ HT/an)	Temps de retour (ans)
Economies annuelles envisageables :			

Remarques :

Equipements de réduction de puissance			
	Actuel	Futur	Ecart
Consommation annuelle (en KWh) :			
	Investissements (€ HT)	Economies (€ HT/an)	Temps de retour (ans)
Economies annuelles envisageables :			

PRESENTATION SYNTHETIQUE DE NOTRE METHODOLOGIE : PROJET D'ECLAIRAGE PUBLIC

Une fois les préconisations par coffret établies, nous regroupons les différentes informations sous forme de tableaux et de graphiques qui sont plus facilement compréhensibles et qui permettent d'avoir un accès global suivant le type de rénovation. Les différents tableaux reprennent les éléments suivants :

- répartition des technologies de lampes
- état des matériels
- investissement pour la sécurité électrique et la mise en conformité
- durée d'éclairage
- ajustement des puissances souscrites
- réduction de puissance

2.3 La maîtrise d'œuvre (pour un nouveau projet, pour une rénovation)

2.3.1 Les missions

La première étape consiste à définir précisément les besoins du client. La situation géographique doit être spécifiée. C'est à dire dans quelles zones, le projet doit avoir lieu ainsi que les limites géographiques de ce projet. Il faut également définir les différents intervenants dans ce projet, notamment dans le cadre de travaux d'enfouissement de réseaux et dresser une liste des personnes à contacter pour obtenir des informations. Nous nous déplaçons sur le lieu des travaux afin de bien cerner toutes les contraintes relatives à l'éclairage public (masques, nuisance lumineuse, ...). Par la suite nous assurons l'ensemble des différentes étapes (AVP, PRO, AMT, DET, AOR).

2.3.2 Livrables

Le dossier à fournir aux clients comprend à minima les quatre parties suivantes :

- Un mémoire, à caractère à la fois descriptif, explicatif et justificatif, composé de cinq chapitres consacrés respectivement :
 - A l'exposé et à l'étude comparative des différentes solutions d'ensembles possibles dans le cadre du projet
 - A la justification du choix de la solution d'ensemble préconisée, notamment par référence à la notion de coût global
 - A la description sommaire de la solution d'ensemble préconisée, énumérant les ouvrages et indiquant les caractéristiques fonctionnelles de chacun d'eux, leur répartition dans l'espace
 - A l'indication des tranches et des délais possibles de réalisation
 - A l'indication des bases d'estimation des dépenses de premier établissement
- Une estimation sommaire des dépenses de premier établissement

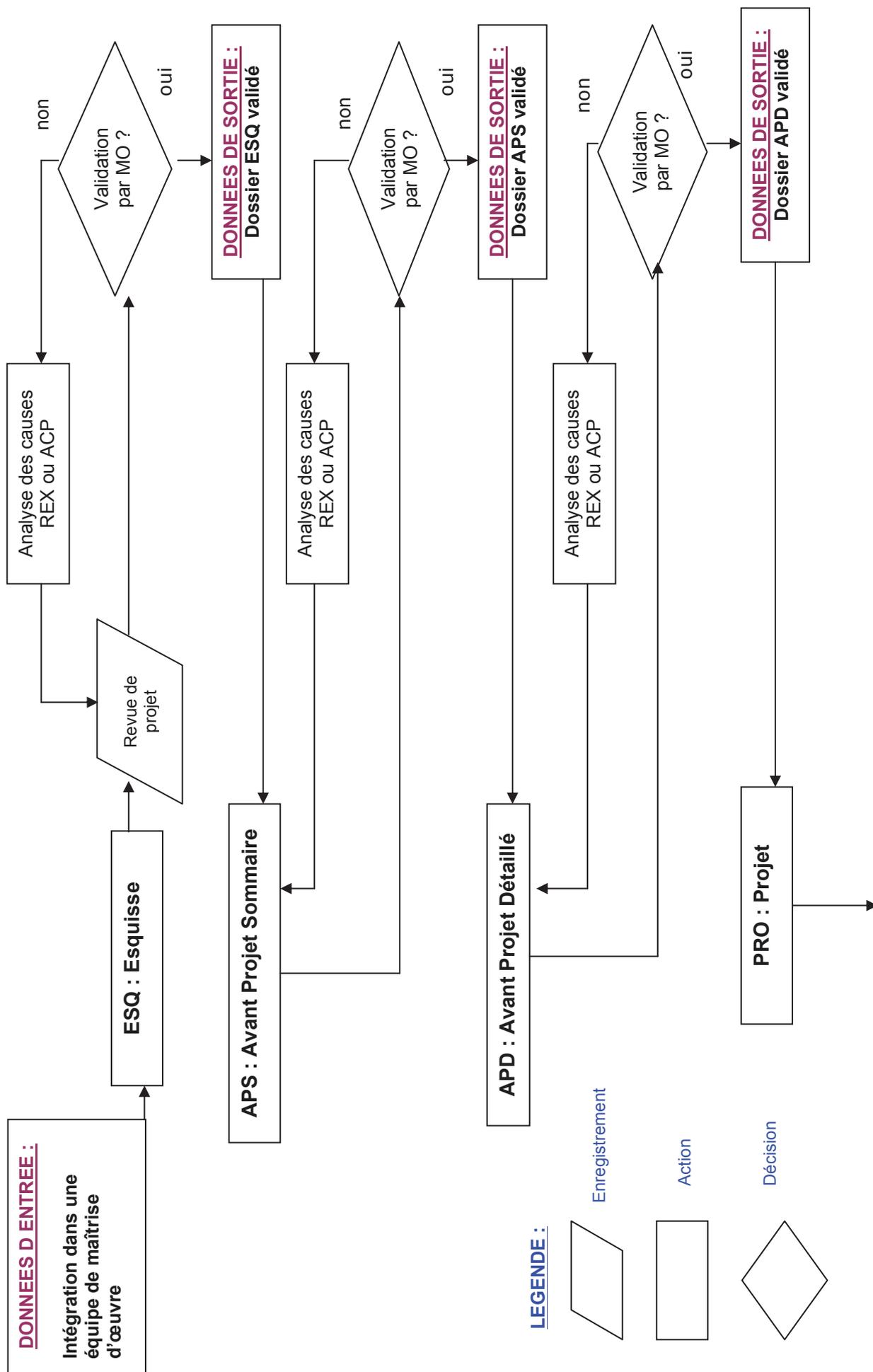
PRESENTATION SYNTHETIQUE DE NOTRE METHODOLOGIE : PROJET D'ECLAIRAGE PUBLIC

- Le dossier de la solution d'ensemble préconisée renfermant tous les plans (croquis, esquisses, schémas, plans de mass et de situation), notes techniques et de calculs nécessaires à la compréhension et à l'appréciation de cette solution
- Un planning prévisionnel de l'opération : études, démarches administratives, consultation des entreprises, réalisation, essais et mise en service.

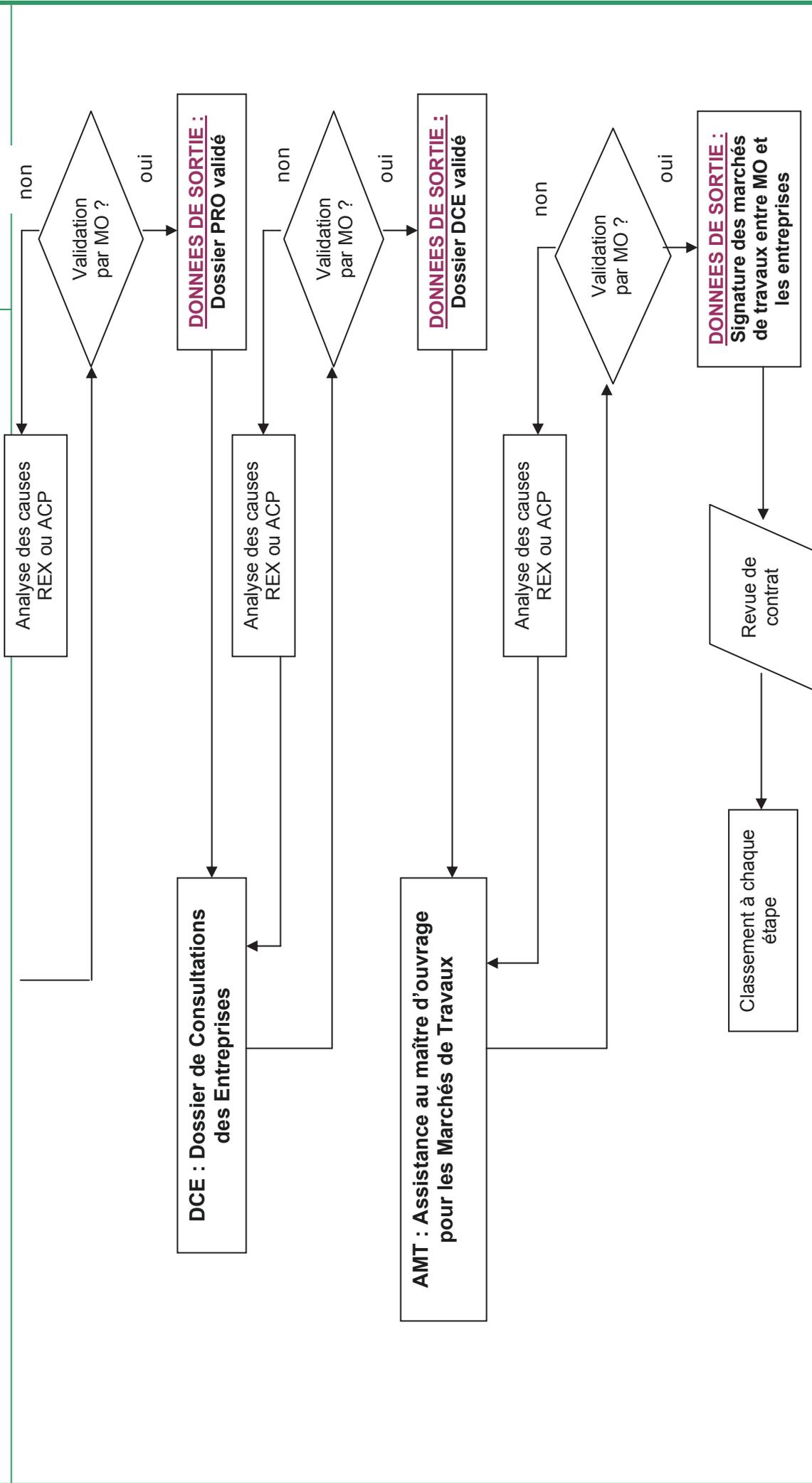
2.3.3 Relation permanente avec le Maître d'Ouvrage

PRESENTATION SYNTHETIQUE DE NOTRE METHODOLOGIE : PROJET D'ECLAIRAGE PUBLIC

DESCRIPTION (logigramme): PHASE ETUDES

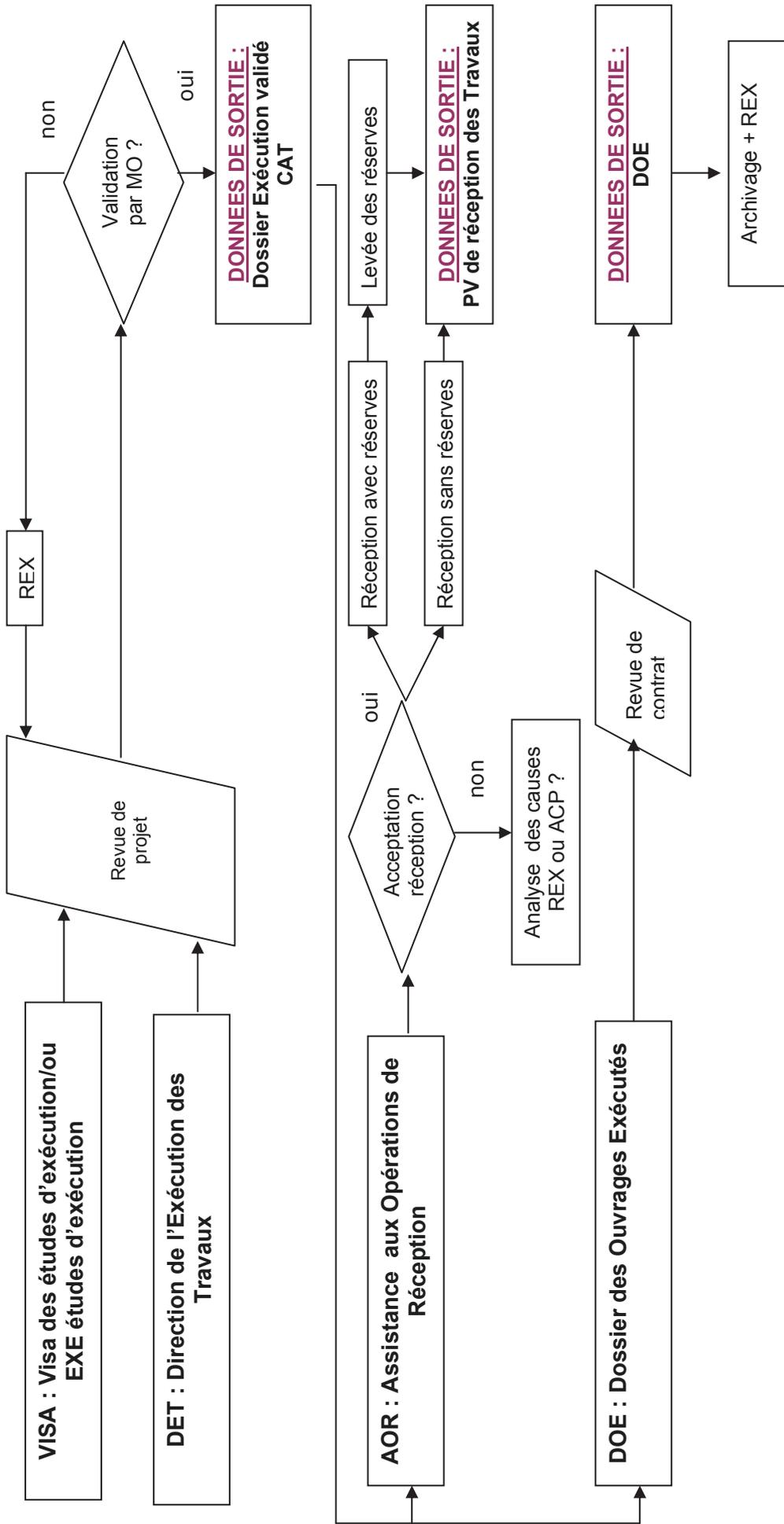


PRESENTATION SYNTHETIQUE DE NOTRE METHODOLOGIE : PROJET D'ECLAIRAGE PUBLIC



PRESENTATION SYNTHETIQUE DE NOTRE METHODOLOGIE : PROJET D'ECLAIRAGE PUBLIC

DESCRIPTION (logigramme): PHASE REALISATION



2.4 L'assistance à maîtrise d'ouvrage

Ing'Europ se caractérise par une indépendance totale vis-à-vis de tous les opérateurs intervenant sur son secteur d'activité. Celle-ci garantit à la collectivité une pleine objectivité dans l'exécution de ses prestations par l'entreprise.

Ing'Europ dispose d'un service juridique qui l'autorise à exercer une activité de conseil en droit à titre accessoire de son activité principale en application des dispositions de l'article 58 de la loi n°71-1130 du 31 décembre 1971, tel que modifié par la loi n°90-1259 du 31 décembre 1990.

Ce faisant, Ing'Europ a développé une expertise juridique particulièrement pointue dans son domaine spécifique d'intervention, avec une compétence établie en matière de droit public des affaires (réglementation publique des affaires ; marchés public, délégation de service public, techniques contractuelles complexes et PPP...), de droit des contrats et de droit de l'environnement (déchets, installations classées...)

Ing'Europ possède toute l'expertise technique et juridique nécessaire pour exercer des missions d'assistance à maître d'ouvrage allant de la réalisation d'audit de sortie d'un délégataire, à la mise en œuvre d'une procédure de partenariat public-privé ou d'un marché public d'exploitation, ainsi qu'au suivi des travaux ou encore au contrôle d'exploitation.

Liste des figures

Figure 1 : schéma d'une alimentation de puissance inférieure ou égale à 36 kVA (AFE, 2002).....	5
Figure 2 : schéma d'une alimentation de puissance comprise entre 36 kVA et 250 kVA (AFE, 2002)	6
Figure 3 : schéma d'une alimentation en HTA et d'une distribution en BTA (AFE, 2002)	6
Figure 4 : schéma d'une alimentation en HTA et d'une distribution en HTA-EP (AFE, 2002)	7
Figure 5 : schéma de liaisons à la terre TT (martin.michel47.free.fr)	8
Figure 6 : schéma de liaisons à la terre TN (martin.michel47.free.fr).....	8
Figure 7 : mise à la terre par un conducteur d'équipotentialité (AFE, 2002).....	9
Figure 8 : boucle de défaut (FORMAPELEC, 2007)	10
Figure 9 : schéma TN-S à partir d'une alimentation dite « borne poste » (AFE, 2002).....	12
Figure 10 : boucle de défaut en schéma TT (FORMAPELEC, 2007).....	13
Figure 11 : schéma TT avec protection par dispositif différentiel (AFE, 2002)	14
Figure 12 : schéma TT avec protection par dispositif de protection de terre (AFE, 2002)	15
Figure 13 : application du schéma TT sur une installation existante (AFE, 2002)	16
Figure 14 : constitution d'une lampe à incandescence (fr.wikipedia.org).....	17
Figure 15 : constitution d'une lampe à décharge (fr.wikipedia.org)	18
Figure 16 : une diode électroluminescente (web-in-pocket.blogspot.com).....	19
Figure 17 : constitution d'une diode électroluminescente (www.led-fr.net).....	19
Figure 18 : lampes à LED.....	20
Figure 19 : signification de l'indice de protection (IP) (AFE, 2002)	25
Figure 20 : signification de l'indice de protection contre les chocs mécaniques (IK) (AFE, 2002)	26
Figure 21 : luminaire avec une lampe à vapeur de mercure	27
Figure 22 : quelques exemples d'appareillage (AFE, 2002)	30
Figure 23 : caractéristiques d'un candélabre (AFE, 2002)	31
Figure 24 : boîtiers de classe II pour éclairage public (www.sogexi.fr).....	32
Figure 25 : exemples de tableaux et graphiques.....	41
Figure 26 : Exemple de fiche coffret (ADEME, 2003)	45
Figure 27 : les différents organes d'un sectionneur.....	46
Figure 28 : un sectionneur 3 pôles cadencé (www.schneider-electric.com)	47
Figure 29 : équivalence lux / niveau d'éclairage.....	49
Figure 30 : circuit d'éclairage avec contacteur commandé par un interrupteur crépusculaire	49
Figure 31 : un interrupteur horaire (www.schneider-electric.com).....	50
Figure 32 : un interrupteur astronomique (www.schneider-electric.com).....	50
Figure 33 : diagramme des signaux 175 Hz	51
Figure 34 : constitution d'un fusible avec voyant d'état	52
Figure 35 : caractéristiques temps/courant d'un fusible	53
Figure 36 : caractéristiques principales d'un disjoncteur	54
Figure 37 : courbes typiques de fonctionnement des disjoncteurs	54
Figure 38 : principe de fonctionnement d'un dispositif différentiel.....	55
Figure 39 : sélectivité entre deux disjoncteurs	55
Figure 40 : sélectivité entre deux disjoncteurs différentiels	56
Figure 41 : correction du facteur de puissance	57
Figure 42 : coffret de commande de la commune de Saint Jean de Maurienne	58
Figure 43 : contacteur avec bouton 3 positions	60
Figure 44 : interrupteur crépusculaire Lumandar 1000.....	60
Figure 45 : courbe de courant absorbé à l'allumage des lampes à décharge	62
Figure 46 : caractéristiques de fonctionnement temps / courant des fusibles gG.....	62
Figure 47 : exemple de mise en œuvre de la classe I avec des DDR (FORMAPELEC, 2007).....	64
Figure 48 : exemple de mise en œuvre de la classe I avec des DDA (FORMAPELEC, 2007)	65
Figure 49 : exemple de mise en œuvre de la classe II au niveau du candélabre (AFE, 2002)	66
Figure 50 : exemple d'installation de classe II (FORMAPELEC, 2007).....	67
Figure 51 : élément conducteur sans équipement électrique (AFE, 2002).....	69

Figure 52 : mobilier urbain comportant un équipement électrique (AFE, 2002)	70
Figure 53 : élément mis à la terre par construction (AFE, 2002)	70
Figure 54 : courbes de fonctionnement des dispositifs de protection.....	74
Figure 55 : schéma de l'installation.....	75
Figure 56 : schéma de l'installation.....	77
Figure 57 : la méthode du triangle	79
Figure 58 : la méthode du triangle appliqué à l'installation	80
Figure 59 : mise à la terre par un conducteur d'équipotentialité (AFE, 2002)	81
Figure 60 : mise à la terre par prise de terre individuelle (AFE, 2002).....	81
Figure 61 : alimentation par des conducteurs séparés (AFE, 2002)	82
Figure 62 : alimentation aérienne par des conducteurs nus (AFE, 2002).....	83
Figure 63 : luminaire THORN Oracle.....	84
Figure 64 : luminaire COMATELEC Falco	85
Figure 65 : luminaire JOLIET Street 2.....	85

Liste des tableaux

Tableau 1 : temps de coupure suivant la tension de contact et le schéma des liaisons à la terre.....	10
Tableau 2 : choix du dispositif différentiel résiduel (DDR) en fonction de la valeur de la prise de terre	12
Tableau 3 : comparatifs des différentes technologies.....	23
Tableau 4 : fiche de relevé de coffret type ADEME (ADEME, 2003)	36
Tableau 5 : fiche de relevé des luminaires	37
Tableau 6 : fiche d'information : données financières par coffret.....	38
Tableau 7 : fiche de synthèse : économies envisageables par coffret.....	39
Tableau 8 : fiche de synthèse globale des économies envisageables (ADEME, 2003).....	41
Tableau 9 : Comparaison états actuel et futur suivant investissements (ADEME, 2003).....	42
Tableau 10 : classification des fusibles	53
Tableau 11 : exemple de caractéristiques des fusibles gG	53
Tableau 12 : intensité absorbée pour différentes valeurs du facteur de puissance	57
Tableau 13 : effets du passage d'un courant alternatif sur le corps humain (FORMAPELEC, 2007).....	59
Tableau 14 : mesures électriques du coffret	61
Tableau 15 : exemple de fiche de relevé de foyer (ADEME, 2003)	63
Tableau 16 : calcul du coût du matériel.....	86
Tableau 17 : calcul des consommations	87
Tableau 18 : calcul du coût de maintenance.....	88
Tableau 19 : intérêt de la réduction de puissance	89
Tableau 20 : calcul du coût global du projet.....	90

Liste des équations

Équation 1 : courant de défaut.....	10
Équation 2 : impédance maximale de la boucle de défaut.....	11
Équation 3 : longueur maximale de canalisation.....	11
Équation 4 : résistance de terre.....	12
Équation 5 : courant de fuite en cas de défaut phase-phase	13
Équation 6 : tension de contact.....	14
Équation 7 : puissance active	56
Équation 8 : courant de ligne.....	56
Équation 9 : tension de contact.....	58
Équation 10 : valeur minimale de la prise de terre	59
Équation 11 : courant absorbé en régime établi.....	71
Équation 12 : courant absorbé à l'allumage	71
Équation 13 : longueur de canalisation protégée.....	73
Équation 14 : section des conducteurs.....	76

RESUME

Le diagnostic des réseaux d'éclairage public est un point obligatoire pour les collectivités qui veulent rénover leur patrimoine ou diminuer leur facture énergétique. Le diagnostic doit permettre de mettre en évidence les faiblesses des réseaux, les matériels à remplacer et les pistes d'améliorations. Pour réaliser ce travail, il faut avoir connaissance des normes en vigueur et des technologies utilisées.

Ce document tend à dresser un état de l'art en matière d'éclairage public et à proposer des pistes visant à améliorer d'une part la sécurité des installations, la qualité de l'éclairage ainsi qu'à faire des économies d'énergie.

Mots clés : Eclairage public, diagnostic.

SUMMARY

Diagnosis of public lightning networks is an important point for local authorities which want to update their utilities or reduce the bill. Diagnostic must show weakness of networks, equipment to change and solutions to improve the degree of service. For doing that work, we need to know standards and technologies employed.

This study draw up a state of the art in public lightning and suggest solutions to upgrade security of the facilities, to get better quality of lightning and to save energy.

Key words : Public lightning, diagnosis.