



Direction des Routes Ile-de-France

Projet – Notice Eclairage

Autoroute A115

Modernisation de la tranchée couverte de Taverny (95)

24/05/2019

LOMBARDI INGÉNIERIE
66 rue Escudier 92100 Boulogne
Billancourt
70 rue de la Villette 69003 LYON
+33 (0)4 26 84 26 10
info@lombardi-ing.fr
www.lombardi.ch



Lombardi

SUIVI DES MODIFICATIONS

Version	Date	Rédaction	Vérification
1	22/01/2019	Bruno Rivier / Hugo Nadal	Baptiste Chiffot
2	24/05/2019	Bruno Rivier/Baptiste Chiffot/Hugo Nadal	Baptiste Chiffot

Sommaire

SUIVI DES MODIFICATIONS	1
I. PREAMBULE	5
I.1. OBJECTIFS DE LA MISSION	5
I.2. OBJET DU PRESENT DOCUMENT	5
I.3. REFERENTIEL DOCUMENTAIRE	5
I.3.1. Documentation réglementaire	5
I.3.2. Documentation normative	6
II. SYSTEME D'ECLAIRAGE EXISTANT	7
II.1. CARACTERISTIQUES DE L'OUVRAGE	7
II.2. IMPLANTATION DES EQUIPEMENTS	8
II.3. PALIERS ET REGIMES	8
II.4. COMMANDE DE L'ECLAIRAGE	9
III. INSTALLATION PROJETEE.....	10
III.1. RAPPEL DE LA SOLUTION D'ECLAIRAGE PROJETEE	10
III.2. ECLAIRAGE DU TUNNEL	11
III.2.1. Hypothèses et interprétation	11
III.2.2. Critère d'uniformité pour le nouveau système d'éclairage	11
III.2.3. Valeurs moyennes à respecter	12
III.2.3.1. Eclairage de base.....	12
III.2.3.2. Eclairage de renforcement	13
III.2.4. Synthèses des valeurs à respecter	15
IV. PREDIMENSIONNEMENT	16
IV.1. REGIME D'ECLAIRAGE	16
IV.2. IMPLANTATION	16
IV.3. PREDIMENSIONNEMENT DE L'INSTALLATION	17
IV.3.1. Tube Y.....	18
IV.3.2. Tube W.....	21
IV.4. ESTIMATION DU NOMBRE DE LUMINAIRES	24
IV.5. GAIN PROJETE	25
IV.6. DISTRIBUTION ELECTRIQUE	26
IV.6.1. Cantonnement de l'éclairage	26
IV.6.2. Alimentation des circuits d'éclairage de base et de renfort.....	28
IV.6.3. Alimentation du circuit d'éclairage de sécurité.....	29
IV.7. COMMANDE DU SYSTEME.....	29
IV.7.1. Architecture globale.....	29
IV.7.2. Pilotage du réseau d'éclairage de sécurité.....	31
IV.8. ECLAIRAGE DE CHANTIER	31
IV.8.1. Principe d'éclairage de chantier	31
IV.8.2. Déroulement du basculement	31
IV.8.3. Dépose de l'éclairage de chantier en fin de travaux	32

V. SPECIFICATIONS TECHNIQUES	33
V.1. LUMINAIRES TUNNEL	33
V.2. LUMINANCEMETRE.....	34
V.3. CHEMINS DE CABLES	34
V.4. BOITES DE DERIVATIONS LUMINAIRES	35
V.4.1. Boîtes de dérivation sur le circuit normal.....	35
V.4.2. Boîtes de dérivation sur circuit de sécurité (secouru).....	35
V.5. CABLES D’ALIMENTATION	35
V.6. CABLES DE COMMANDE	36
V.6.1. Réseau en boucle.....	36
V.6.2. Réseau de commande	36
VI. INTERFACES ET DESCRIPTION DES TRAVAUX.....	37
VI.1. INTERFACES.....	37
VI.2. DESCRIPTION DES TRAVAUX	37
VI.2.1. Mode d’exécution des travaux	37
VI.2.2. Réalisation des études d’EXEcution.....	37
VI.2.3. Description des travaux :.....	38
VI.2.4. Dossier des Ouvrages Exécutés	38
VII. EXPLOITATION ET MAINTENANCE	40
VIII. ANNEXES.....	41
VIII.1. ANNEX1 : CARNET DE PLANS ECLAIRAGE	41

Table des figures

Figure 1 : Localisation des appareils d’éclairage et dimensions de la tranchée couverte	7
Figure 2 : Implantation actuelle des appareils d’éclairage	8
Figure 3 : Synoptique actuel de répartition des paliers d’éclairage	8
Figure 4 : Courbe de décroissance de luminance pour la zone de renfort pour le voile fort (vert, tube W) et le voile moyen (violet, tube Y).	14
Figure 5 : Implantation des futurs luminaires	17
Figure 6 : Synoptique de la répartition des éclairages	17
Figure 7 : Vue 3D de l’entrée Y de la tranchée couverte	18
Figure 8 : Zone d’entrée du tunnel, valeurs moyennes et uniformités de luminance, régime plein soleil	18
Figure 9 : Courbe de décroissance de la luminance d’entrée en régime plein soleil. En bleu la courbe modélisée et en rouge la courbe théorique	19
Figure 10 : Zone intérieure du tunnel, valeurs moyennes et uniformités de luminance, régime jour	20
Figure 11 : Zone intérieure du tunnel, valeurs moyennes et uniformités de luminance, régime nuit	20
Figure 12 : Zone intérieure du tunnel, valeurs moyennes de luminance et d’uniformité pour le régime nuit réduit	21
Figure 13 : Vue 3D de l’entrée W de la tranchée couverte	21
Figure 14 : Valeurs moyennes de luminance et uniformité en zone d’entrée, régime plein soleil	22
Figure 15 : Courbe de décroissance de la luminance d’entrée, en régime plein soleil. En bleu la courbe modélisée et en rouge la courbe théorique	22
Figure 16 : Valeurs moyennes de luminance et uniformité zone intérieure, régime jour	23

Figure 17 : Valeurs moyennes de luminance et uniformité zone intérieure, régime nuit	23
Figure 18 : Valeurs moyennes de luminance et uniformité, zone intérieure, régime nuit réduit	24
Figure 19 : Schéma de principe de l'alimentation du nouveau système d'éclairage de renfort	27
Figure 20 : Schéma de raccordement des câbles d'alimentation des luminaires de renfort	27
Figure 21 : Schéma de principe de l'alimentation du nouveau système d'éclairage de base	28
Figure 22 : Schéma de raccordement de luminaire	29
Figure 23 : Synoptique de l'architecture du système de commande éclairage	30
Figure 24 : Implantation des luminaires de chantier sur les piédroits	32
Figure 25 : Détail du montage de l'éclairage	36

Liste des tableaux

Tableau 1 : Matrice de choix de la solution d'éclairage adoptée	10
Tableau 2 : Tableau des uniformités en fonction des régimes d'éclairage	12
Tableau 3 : Tableau récapitulatif des valeurs de dimensionnement	15
Tableau 4 : Tableau récapitulatif des 7 régimes d'éclairage	16
Tableau 5 : Estimation du nombre de luminaires dans le sens Y	24
Tableau 6 : Estimation du nombre de luminaires dans le sens W	24
Tableau 7 : Tableau comparatif du nombre de luminaires	25
Tableau 8 : Tableau comparatif des performances et uniformité	25
Tableau 9 : Tableau comparatif des puissances installées	26
Tableau 10 : Tableau de calcul de rentabilité de la nouvelle installation	26
Tableau 11 : Cantonnement du nouveau système d'éclairage	27
Tableau 12 : Synthèse des caractéristiques à respecter	34

I. PREAMBULE

I.1. OBJECTIFS DE LA MISSION

L'éclairage actuel de la tranchée couverte a été qualifié de vétuste lors des phases précédentes et sera remplacé intégralement. La mission de la phase PRO vise à détailler le futur système d'éclairage de la tranchée couverte.

I.2. OBJET DU PRESENT DOCUMENT

Dans le cadre de la mission de maîtrise d'œuvre relative à la mise en sécurité du tunnel de Taverny, une phase avant-projet a été réalisée dans le but de présenter les solutions possibles et de retenir la plus adaptée.

L'objet de ce document est de préciser cette solution par des dimensionnements et des schémas détaillés. L'étude détaillée dans la suite de ce document constitue la phase PRO de la mission de maîtrise d'œuvre de la rénovation du système d'éclairage existant de la tranchée couverte de Taverny.

Cette phase comprendra :

- Le rappel de la solution d'éclairage retenue,
- La justification de la préconisation de cette solution,
- Le détail technique de la solution retenue,
- Le bénéfice engendré par l'adoption de cette solution par rapport à l'état actuel,
- La projection d'implantation,
- L'étude du raccordement électrique et le système de commande du système,
- La formulation de spécifications techniques des appareils dans la perspective de la consultation d'entreprises.

Cette deuxième version du document prend en compte :

- Les commentaires du maître d'ouvrage reçus par Lombardi le 01/04/2019. L'installation de l'éclairage y est notamment optimisée grâce à l'utilisation du logiciel Eclair.
- Les documents précisant le mode de pilotage avec un automate dédié transmis par la DIRIF le 02/05.

I.3. REFERENTIEL DOCUMENTAIRE

I.3.1. Documentation réglementaire

La liste ci-dessous est non exhaustive. Dans tous les cas les textes réglementaires, les normes en vigueur et les recommandations existantes au moment de la réalisation des travaux devront s'appliquer.

- Circulaire interministérielle N°2006-20 du 29 Mars 2006 relative à la sécurité des tunnels routiers d'une longueur supérieure à 300 mètres et plus particulièrement son annexe 2 (annexe de l'IT 2000-63),

- Dossier pilote éclairage du CETu – 2000,
- Note n°19 du CETu : L'éclairage des tunnels par LED 2011,

I.3.2. Documentation normative

- NF C 15-100 : installations électriques basse tension ;
- NF C 32.310 Conducteurs et câbles isolés pour installations. - Conducteurs et câbles dits « résistants au feu » (catégorie CR1) de tension assignée U0/U au plus égale à 0,6/1 kV
- NF EN 60529 Degrés de protection procurés par les enveloppes (code IP)
- NF C 20-010 Classification des degrés de protection procurés par les enveloppes
- NF C42-711 – Octobre 1989 : Norme concernant les luminancemètres ;
- NF C 60-598.1 Luminaire – Règles générales et généralités sur les essais
- CEI 61000-2-2 Compatibilité électromagnétique : niveaux de compatibilités
- NF EN 13201, relative à l'éclairage public, constituée de cinq parties (un guide technique a été élaboré par le CEREMA pour en faciliter la prise en compte)
- Les normes NF C17-200 et C17-205 Conception électrique des dispositifs d'éclairage public.

II. SYSTEME D'ECLAIRAGE EXISTANT

II.1. CARACTERISTIQUES DE L'OUVRAGE

Les dimensionnements présents dans les prochaines parties sont réalisés en prenant en compte les hypothèses suivantes :

- La vitesse de circulation (90 km/h) ;
- TMJA : 60 000 véh/j dont env. 6 % de PL
- Géométrie avec 2 tubes unidirectionnels à 2 voies de circulation ;
- Interdiction de circulation TMD, des piétons et des cycles.

L'entrée de l'ouvrage :

- Deux entrées : Nord (Sens W tube Ouest) et Sud (Sens Y tube Est) ;
- Caractéristique de cet ouvrage :
 - Longueur totale : 507 m ;
 - Gabarit routier : 4.75 m ;

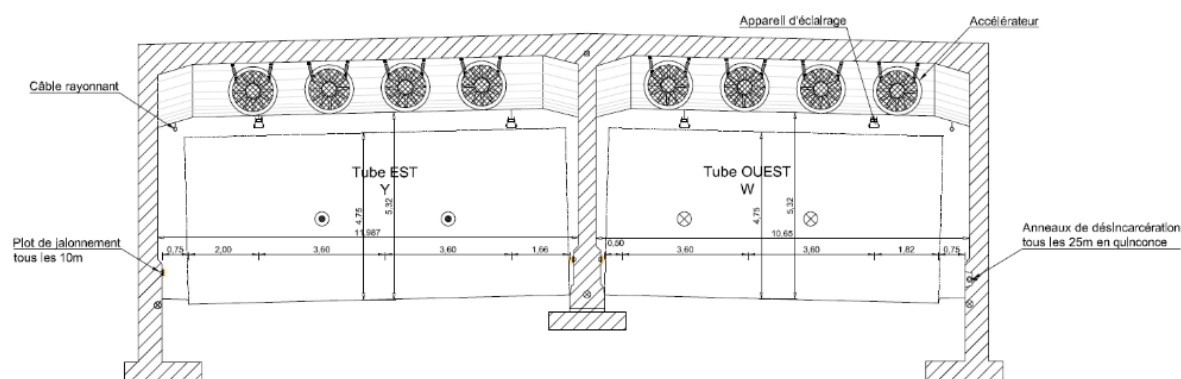


Figure 1 : Localisation des appareils d'éclairage et dimensions de la tranchée couverte

La revanche des équipements d'éclairage est de 0.57 m.

Pour le tube Ouest le profil en coupe type est le suivant :

- Trottoir de 0.75 mètres ;
- Bande d'Arrêt d'Urgence, BAU = 2 mètres ;
- 2 voies circulées : 3.50 mètres ;
- Bande Dérasée de Gauche, BDG= 0.50 mètres ;

Pour le tube Est le profil en coupe type est le suivant :

- Trottoir de 0.75 mètres ;
- Bande d'Arrêt d'Urgence, BAU = 2 mètres ;
- 2 voies circulées : 3.60 mètres ;

- Bande Dérasée de Gauche, BDG= 1.66 mètres ;

II.2. IMPLANTATION DES EQUIPEMENTS

Actuellement chaque tube possède deux lignes de luminaires sur lesquelles sont réparties les différentes puissances d'éclairage.

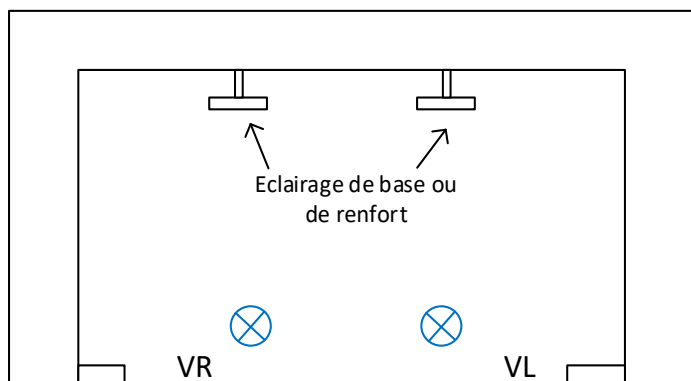


Figure 2 : Implantation actuelle des appareils d'éclairage

II.3. PALIERS ET REGIMES

L'éclairage de base actuel est réalisé avec des luminaires équipés de tubes fluorescent disposés sur deux lignes au-dessus des 2 voies de circulation.

L'éclairage de renfort est constitué de luminaires Sodium Haute Pression également disposés suivant 2 lignes en tête de tunnel. Le renfort est réalisé avec 3 modules chacun composés de puissance de luminaires différents.

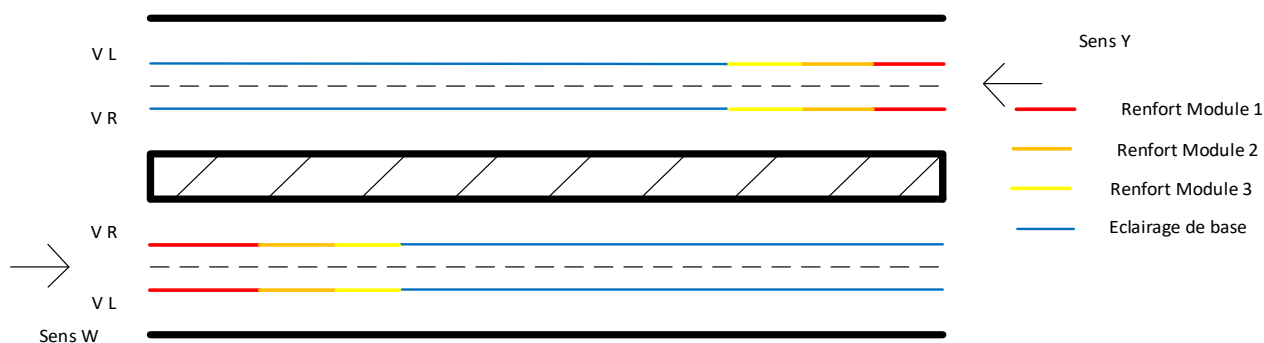


Figure 3 : Synoptique actuel de répartition des paliers d'éclairage

En fonction des conditions extérieures de luminosité, 4 régimes d'éclairage sont alors disponibles pour la section courante : nuit économique, nuit, jour économique et jour ainsi que 2 régimes d'éclairage de renforcement : soleil voilé et plein soleil.

II.4. COMMANDE DE L'ECLAIRAGE

L'éclairage de renforcement est asservi à la luminosité extérieure : en fonction des conditions extérieures de luminosité, 2 régimes d'éclairage de renforcement sont alors disponibles pour la section courante : jour couvert et plein Soleil.

Un luminancemètre est installé à la distance d'arrêt : 96 m (égale à la distance d'arrêt des véhicules pour la vitesse de 90 km/h) avant la tête de chaque tunnel. Ces luminancemètres permettent le pilotage des niveaux de renfort pour les 2 tubes.

L'éclairage de la section courante a un asservissement horaire, trois régimes sont possibles : nuit économique (de 22h à 6h), nuit (de 6h au lever du soleil et du coucher du soleil à 22h) et jour (du lever au coucher du soleil).

La commande des différents régimes par la GTC est réalisée par l'extinction ou l'allumage de circuits électriques alimentant une partie des sources lumineuses.

III.INSTALLATION PROJETEE

III.1.RAPPEL DE LA SOLUTION D'ECLAIRAGE PROJETEE

Lors de la phase AVP, la solution d'éclairage à LED par commande par gradation apparaissait la plus satisfaisante au point de vue des critères avancés dans la matrice de choix.

Analyse multicritère -- Nouveau système d'éclairage					
Critères de choix	Solution 1: Système existant	Solution 2: Système LED commande par circuit	Solution 3: Système LED commande par gradation	Solution 4: Système mixte LED(base)/SHP(renfort) commande par circuit	Solution 5: Système mixte LED(base)/SHP(renfort) commande par gradation
Respect de la réglementation	++	++	++	++	++
Consommation électrique	--	++	++	++	++
Dimensionnement de l'onduleur	--	+	++	+	++
Confort pour l'utilisateur	--	+	++	--	-
Phasage des travaux	--	+	+	+	+
Coût d'investissement	--	-	+	-	+
Coût de fonctionnement	--	+	++	-	-
Bilan					

Tableau 1 : Matrice de choix de la solution d'éclairage adoptée

C'est la solution 3 qui a été retenue à l'issue de l'AVP et qui sera développée dans ce document.

En effet les LED présentent aujourd'hui de nombreux avantages par rapport aux technologies classiques comme les tubes fluorescents ou les lampes à vapeur de sodium. On peut citer les suivants :

- Une durée de vie minimum de 100 000h
- Une consommation électrique très faible
- Un pilotage aisé et précis de l'équipement (pilotage par gradation)
- Un faible dégagement thermique
- Des performances photométriques élevées

A la différence des sources historiques de lumière en tunnel, l'éclairage LED reproduit une qualité d'éclairement similaire à celui de la lumière du jour, ce qui permet de garantir un bon confort visuel aux usagers du tunnel.

III.2.ECLAIRAGE DU TUNNEL

Les paragraphes suivants décrivent les caractéristiques que le système doit respecter. Les valeurs présentées sont issues du guide du CETU

III.2.1. Hypothèses et interprétation

Selon la classification du CETU, le tunnel est considéré comme un tunnel interurbain long circulé à 90km/h, le dossier pilote recommande d'installer un éclairage de jour avec un renforcement à l'entrée.

Le trafic attendu présenté plus haut dans ce document est de l'ordre 60 000 véh/j, il s'agit donc d'un tunnel à trafic fort.

Le tunnel de Taverny disposera :

- D'un éclairage diurne
- D'un éclairage nocturne
- D'un d'éclairage de sécurité
- D'un éclairage de renforcement

Ces éléments sont détaillés plus loin dans ce document.

La chaussée est considérée comme de classe R2 standard.

III.2.2. Critère d'uniformité pour le nouveau système d'éclairage

Uniformité des luminances de chaussée

Les critères d'uniformité de luminance de l'installation d'éclairage sont définis par :

- L'uniformité générale U_0 , est donné comme le rapport entre la valeur de luminance minimale relevée sur la zone de mesure et la luminance moyenne des mesures effectuées sur cette même zone :
$$U_0 = \frac{L_{min}}{L_{Moy}} ;$$
- L'uniformité longitudinale U_l est le rapport entre la luminance la plus basse et la luminance la plus haute mesurées sur un axe longitudinal. La largeur de la voie roulable, de bord de trottoir à bord de trottoir, est divisée en 3 bandes : $U_l = \frac{L_{min}}{L_{max}} .$

Pour le régime Plein Soleil de l'éclairage de renfort et pour le régime Jour de l'éclairage de Base : les valeurs à respecter sont les suivantes :

- Uniformité Générale : $\geq 0,5$;
- Uniformité Longitudinale : $\geq 0,8$.

Ces valeurs d'uniformité ne s'appliquent pas au régime Nuit Réduit de l'éclairage de Base qui est le régime minimum. Les valeurs à respecter seront alors les suivantes :

- Uniformité Générale : $\geq 0,4$;
- Uniformité Longitudinale : $\geq 0,6$.

Uniformité des éclairements

Les critères d'uniformité d'éclairage de l'installation d'éclairage sont définis par :

- L'uniformité transversale U_t , est donné comme le rapport entre la valeur d'éclairement minimale relevée sur une zone de mesure transversale et l'éclairement moyen des mesures effectuées sur cette même zone : $U_0 = \frac{E_{min}}{E_{Moy}}$;
- L'uniformité longitudinale U_l est le rapport entre l'éclairement le plus bas et l'éclairement le plus haut mesurés sur un axe longitudinal. La largeur de la voie roulable, de bord de trottoir à bord de trottoir, est divisée en bandes : $U_l = \frac{E_{min}}{E_{max}}$.

Pour le régime Plein Soleil de l'éclairage de renfort et pour le régime Jour de l'éclairage de Base : les valeurs à respecter sont les suivantes :

- Uniformité Transversale : $\geq 0,7$;
- Uniformité Longitudinale : $\geq 0,75$.

Ces valeurs d'uniformité ne s'appliquent pas au régime Nuit Réduit de l'éclairage de Base qui est le régime minimum. Les valeurs à respecter seront alors les suivantes :

- Uniformité Transversale : $\geq 0,5$;
- Uniformité Longitudinale : $\geq 0,6$.

Une bonne répartition des appareils dans le tunnel permet d'obtenir une bonne uniformité longitudinale. Pour cela, il est recommandé de ne jamais dépasser une inter-distance de l'ordre de 9 m entre appareils d'éclairage.

La chaussée est considérée comme asphalte grise : Classe R2 standard étant donné l'année de création du tunnel.

Tableau récapitulatif des critères d'uniformité				
	Régime plein soleil		Régime nuit réduit	
Luminance	Uniformité générale U_0	Uniformité longitudinale U_l	Uniformité générale U_0	Uniformité longitudinale U_l
	$\geq 0,5$	$\geq 0,8$	$\geq 0,4$	$\geq 0,6$
Eclairement	Uniformité transversale U_t	Uniformité longitudinale U_l	Uniformité transversale U_t	Uniformité longitudinale U_l
	$\geq 0,7$	$\geq 0,75$	$\geq 0,5$	$\geq 0,6$

Tableau 2 : Tableau des uniformités en fonction des régimes d'éclairage

III.2.3. Valeurs moyennes à respecter

III.2.3.1. Eclairage de base

Au vu des caractéristiques du tunnel, le guide du CETU recommande de respecter une valeur moyenne de :

- 4 cd/m² en section courante en régime jour
- 1 cd/m² en section courante en régime de nuit

III.2.3.2. Eclairage de renforcement

Selon les recommandations pour la conception des tunnels urbains à gabarit réduit (RECTUR) et pour augmenter la vision des contrastes, les luminaires d'éclairage de renforcement seront de type contre flux.

Afin de connaître les niveaux de luminance requis dans la zone de renforcement, des courbes de luminance en fonction, de l'exposition du tunnel (voie), de l'environnement de l'entrée, de la vitesse des véhicules, ont été issues du logiciel Eclair du CETU.

Pour ce dimensionnement les choix suivants sont utilisés :

Vitesse maximum autorisée : 90 km/h

Système d'éclairage : à contre flux ;

Le type de chaussée : chaussée de type GaDb ;

Niveau de voiles : Vu l'orientation des têtes il a été considéré

- un voile fort pour le tube W,
- un voile moyen pour le tube Y

Afin de préciser ces niveaux de voile, des images des 2 têtes du tunnel issues de street view ont été utilisées. La distance à laquelle l'image a été prise fait référence à la distance d'arrêt.

Pour le tube W l'image a été choisie à la distance d'arrêt :



Le tube W se dirige en direction du sud-est. On note que l'entrée du tunnel est intégrée dans un environnement assez dégagé la tête est donc directement impactée par les rayons du soleil en cas de beau temps. En effet le pourcentage de ciel est important dans le champ de vision de l'automobiliste. De plus, l'environnement autour est relativement clair (mur, végétation, chaussée) donc ne présente un niveau de réflexion élevé pour les rayons du soleil. Cette exposition confirme le choix d'un voile fort.

Pour le tube Y l'image a été choisie à la distance d'arrêt :



On remarque facilement, la présence d'un environnement relativement dégagé à proximité du tunnel. Les capacités de réflexion des alentours sont quasi identiques à celles de la tête du tube W. En revanche le tube se dirigeant vers le nord-ouest, la situation la plus défavorable apparaîtra en plein milieu de l'hiver où les rayons lumineux seront atténués par les protections phoniques. Par conséquent le voile choisi est moyen.

Les 2 entrées n'ayant pas le même voile, les niveaux de luminance demandés seront différents. Les courbes suivantes (issues du logiciel Eclair) présentent les courbes types de luminance dans la zone de renfort. Ces courbes de décroissance de luminance ont été obtenues en renseignant les caractéristiques du tunnel et en intégrant les conditions de voile moyen pour tube Y et fort concernant le tube Y. La future installation devra s'approcher au mieux de ces courbes.

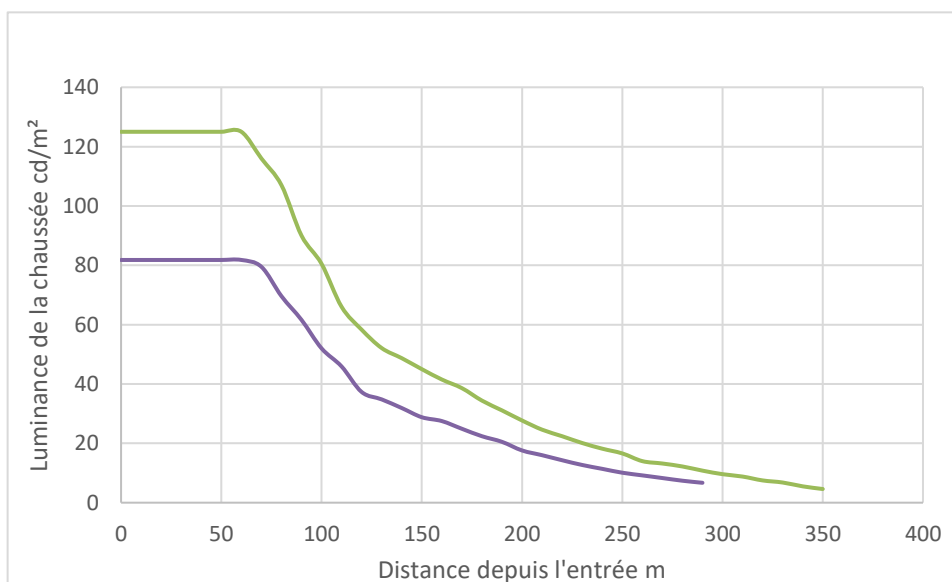


Figure 4 : Courbe de décroissance de luminance pour la zone de renfort pour le voile fort (vert, tube W) et le voile moyen (violet, tube Y).

Les luminances du premier seuil sont de 125 cd/m² ou 81.8 cd/m² suivant le tube puis diminuent pour atteindre 4 cd/m² sur :

- 350m pour le tube W
- 300m pour le tube Y

Les valeurs décrites ci-dessus correspondent au fonctionnement à 100% de l'ensemble de l'installation (régime plein soleil).

Les luminaires de renfort seront disposés afin de se rapprocher au mieux des courbes de luminance ci-dessus.

L'éclairage de renforcement sera réalisé par des luminaires LED.

L'éclairage de renforcement aura un indice de température des couleurs de 4000.

III.2.4. Synthèses des valeurs à respecter

Contrainte	Tube Y		Tube W	
Valeur de luminance en zone de renforcement régime plein soleil	81.8 cd/m²		125 cd/m²	
Longueur de la zone de renforcement	300 m		350 m	
Valeur de luminance en section courante régime jour	4 cd/m²			
Valeur de luminance en section courante régime nuit	1 cd/m²			
Eclairement de sécurité	10 lux moyen et 2 lux en tout point			
Eclairement vertical sur les piédroits	$\frac{Eclairement\ vertical\ de\ chaque\ piédroit}{Eclairement\ moyen\ en\ chaussée} \geq 0,4$			
Uniformité générale et longitudinale en régime nominal pour la luminance	$U_o = \frac{L_{min}}{L_{moy}} \geq 50\%$	$U_L = \frac{L_{min}}{L_{max}} \geq 80\%$	$U_o = \frac{L_{min}}{L_{moy}} \geq 50\%$	$U_L = \frac{L_{min}}{L_{max}} \geq 80\%$
Uniformité générale et longitudinale en régime nuit pour la luminance	$U_o = \frac{L_{min}}{L_{moy}} \geq 40\%$	$U_L = \frac{L_{min}}{L_{max}} \geq 65\%$	$U_o = \frac{L_{min}}{L_{moy}} \geq 40\%$	$U_L = \frac{L_{min}}{L_{max}} \geq 65\%$
Uniformité transversale et longitudinale en régime nominal pour l'éclairement	$U_t = \frac{E_{min}}{E_{moy}} \geq 70\%$	$U_L = \frac{E_{min}}{E_{max}} \geq 75\%$	$U_t = \frac{E_{min}}{E_{moy}} \geq 70\%$	$U_L = \frac{E_{min}}{E_{max}} \geq 75\%$
Uniformité transversale et longitudinale en régime nuit pour l'éclairement	$U_t = \frac{E_{min}}{E_{moy}} \geq 50\%$	$U_L = \frac{E_{min}}{E_{max}} \geq 60\%$	$U_t = \frac{E_{min}}{E_{moy}} \geq 50\%$	$U_L = \frac{E_{min}}{E_{max}} \geq 60\%$

Tableau 3 : Tableau récapitulatif des valeurs de dimensionnement

IV. PREDIMENSIONNEMENT

IV.1. REGIME D'ECLAIRAGE

Les régimes suivants seront mis en place :

Régime		Equipement concerné
Jour	Plein soleil	Eclairage de renforcement à 100% Eclairage de base à 100%
	Jour nuageux	Eclairage de renforcement à 80% Eclairage de base à 100 %
	Jour très nuageux	Eclairage de renforcement à 60% Eclairage de base à 100 %
	Jour couvert	Eclairage de renforcement à 40% Eclairage de base à 100 %
	Jour très couvert	Eclairage de renforcement à 20% Eclairage de base à 100 %
Nuit		Pas d'éclairage de renforcement Eclairage de base à 50 %
Nuit réduit		Pas d'éclairage de renforcement Eclairage de base : 1 luminaire sur 2 environ (si cela respecte bien les conditions du CETU)

Tableau 4 : Tableau récapitulatif des 7 régimes d'éclairage

IV.2. IMPLANTATION

Les futurs luminaires seront implantés suivant une seule rangée au-dessus de la voie rapide pour l'éclairage de base et selon deux voies pour l'éclairage de renfort.

Une implantation sur une ligne pour l'éclairage en section courante permet de réduire de moitié le nombre de luminaires, la seule contrainte réside dans le choix de la photométrie des luminaires satisfaisant l'uniformité.

Comme illustré ci-dessous, les luminaires de base seront implantés au milieu des 2 voies décalés sur la voie rapide, ainsi, les ombres des poids lourds ne seront pas projetées sur la voie rapide.

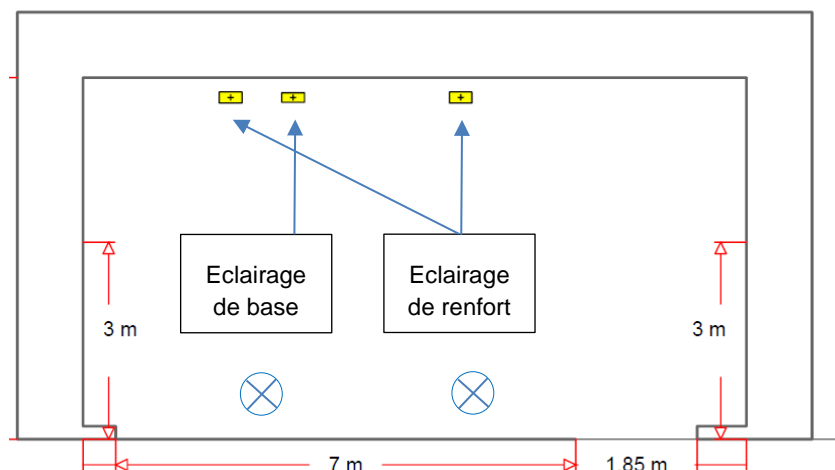


Figure 5 : Implantation des futurs luminaires

Un plan de calepinage présentant la répartition des luminaires dans chaque tube a été réalisé avec le dimensionnement standard vu ci-dessus.

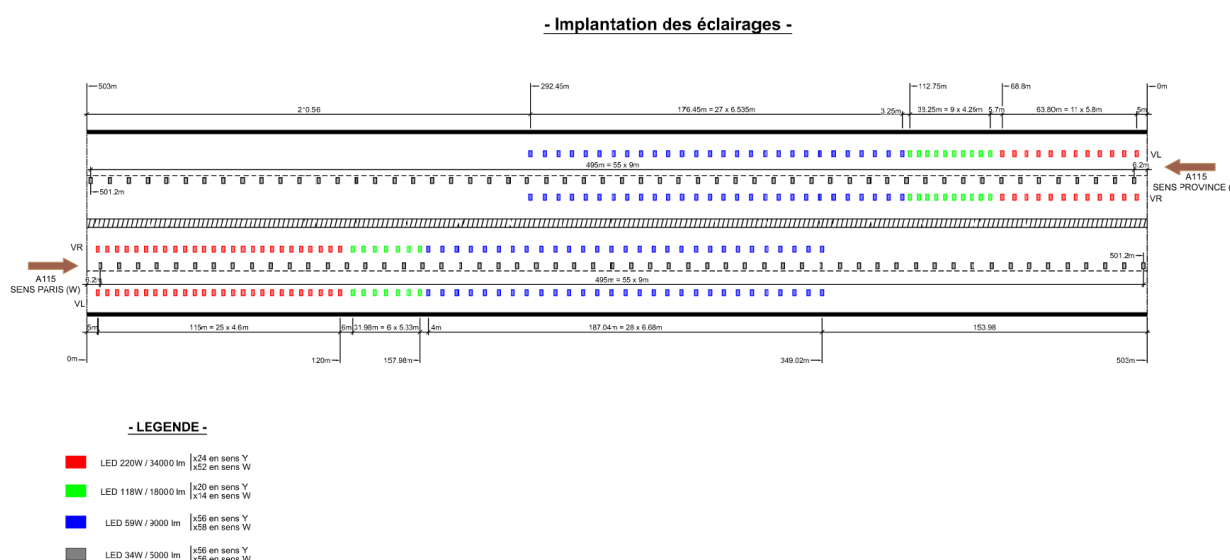


Figure 6 : Synoptique de la répartition des éclairages

IV.3. PREDIMENSIONNEMENT DE L'INSTALLATION

Une étude de dimensionnement de l'éclairage a été réalisée. Les résultats de l'étude sont présentés ci-après.

Ils présentent les valeurs moyennes de luminance pour chaque tube, dans les différentes zones de la tranchée couverte (zone d'entrée et zone intérieure) pour différents régimes d'éclairage (plein soleil, jour en section courante et nuit en section courante). Les uniformités générales et longitudinales en luminance ont été aussi calculées.

IV.3.1. Tube Y

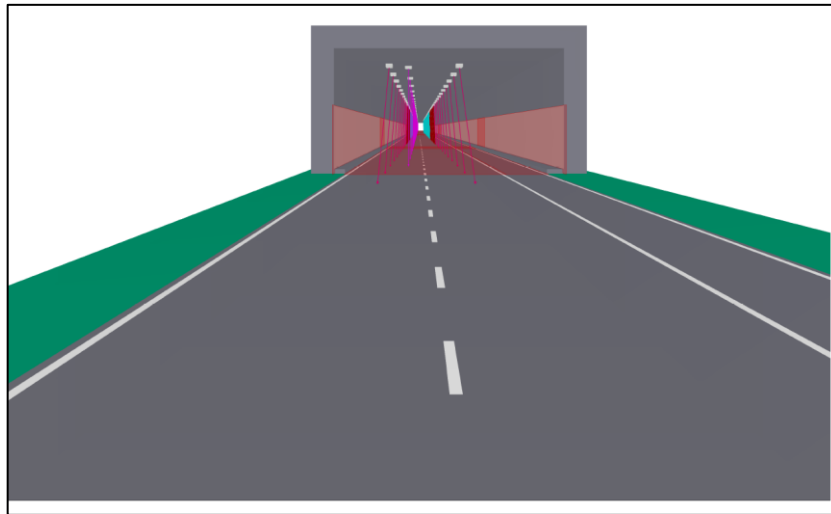


Figure 7 : Vue 3D de l'entrée Y de la tranchée couverte

Plein Soleil. Entrée. Zone d'entrée				
Zone de mesure : 42.20 m -51.20 m Points nx=7. ny=6. nz=3				
Observateur (Coordonnée de départ): x=-17.8 m; z=1.50 m dx=60.64 m (fixe)				
			Y=1.75 m	Y=5.25 m
Voie (GaDb)				
Lm (cd/m²)		:	81.8	81.8
Uo	Lmin/Lm	:	0.75	0.73
UI	Lmin/Lmax	:	0.95	0.95
Timax		:	2%	2%
Mur Gauche (diffus 0%)				
Lm (cd/m²)		:	53.32	53.32
Uo	Lmin/Lmoy	:	0.72	0.72
Mur Droit (diffus 0%)				
Lm (cd/m²)		:	30.13	30.13
Uo	Lmin/Lmoy	:	0.7	0.7

Figure 8 : Zone d'entrée du tunnel, valeurs moyennes et uniformités de luminance, régime plein soleil

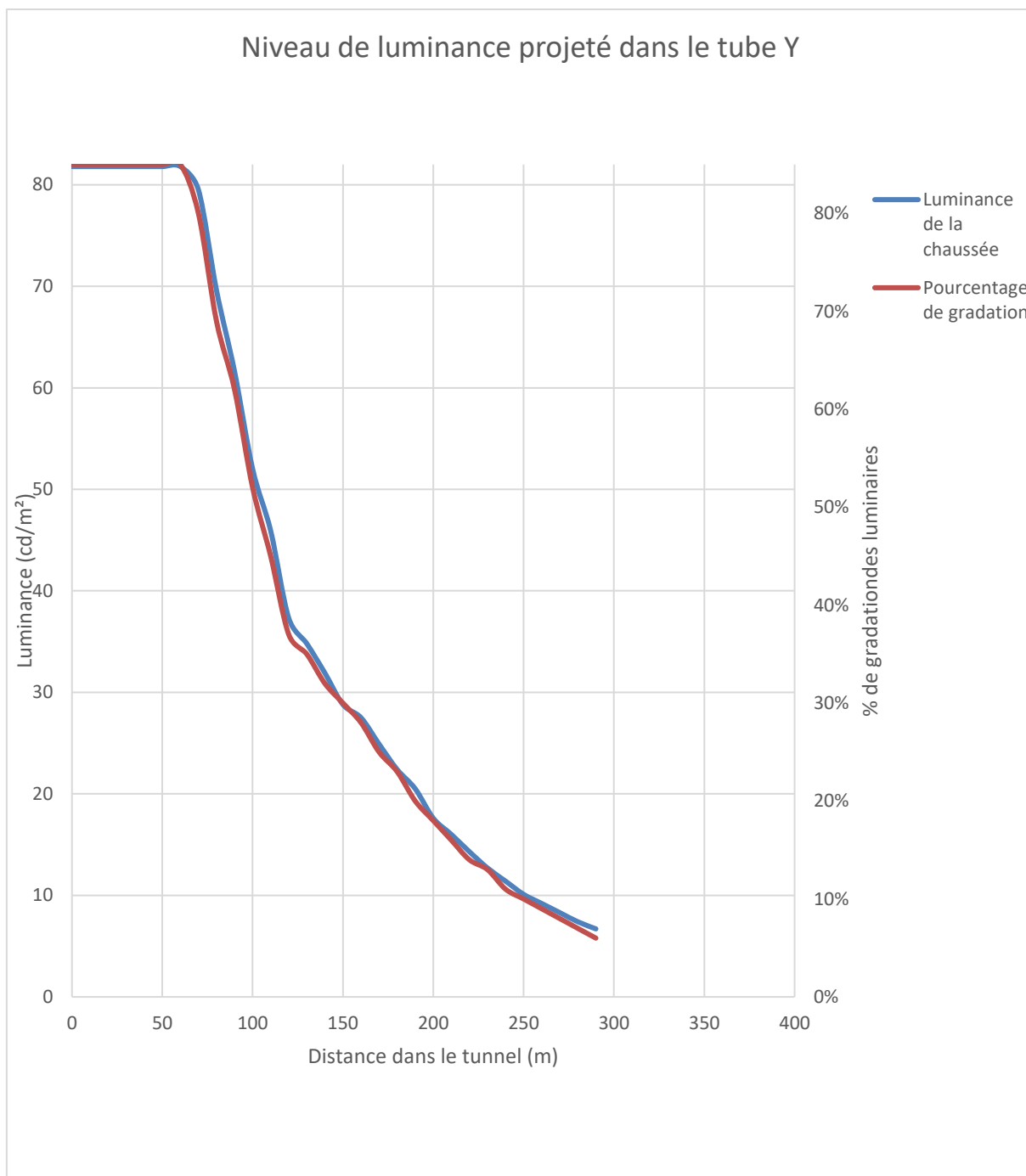


Figure 9 : Courbe de décroissance de la luminance d'entrée en régime plein soleil. En bleu la courbe modélisée et en rouge la courbe théorique

Jour. Intérieur. Zone intérieur

Zone de mesure: 348.2 m -366.2 m Points nx=7. ny=6. nz=3

Observateur (Coordonnée de départ): x=-288.2 m; z=1.50 m dx=61.29m (fixe)

Voie (GaDb)
 Lm (cd/m²)

Y=1.75 m

Y=5.25 m

:

4

4

Uo	Lmin/Lm >50%	:	0.6	0.58
UI	Llmin/Llmax >80%	:	0.92	0.94
Ut	Emin/Em >70%	:	0.75	0.75
UI	Emin/Emax >75%	:	0.8	0.8
Timax		:	2%	2%
Mur Gauche (diffus 0%)				
Lm (cd/m ²)		:	4	4
Uo	Lmin/Lmoy >50%	:	0.8	0.8
Mur Droit (diffus 0%)				
Lm (cd/m ²)		:	2.18	2.18
Uo	Lmin/Lmoy >50%	:	0.9	0.9

Figure 10 : Zone intérieure du tunnel, valeurs moyennes et uniformités de luminance, régime jour

Nuit. Intérieur. Zone intérieur				
Zone de mesure: 348.2 m -366.2 m Points nx=7. ny=6. nz=3				
Observateur (Coordonnée de départ): x=-288.2 m; z=1.50 m dx=61.29m (fixe)				
			Y=1.75 m	Y=5.25 m
Voie (GaDb)				
Lm (cd/m ²)		:	2.33	2.33
Uo	Lmin/Lmoy >40%	:	0.6	0.58
UI	Llmin/Llmax >65%	:	0.92	0.94
Ut	Emin/Emoy >50%	:	0.55	0.55
UI	Emin/Emax >60%	:	0.65	0.65
Timax		:	2%	2%
Mur Gauche (diffus 0%)				
Lm (cd/m ²)		:	2.28	2.28
Uo	Lmin/Lmoy >40%	:	0.8	0.8
Mur Droit (diffus 0%)				
Lm (cd/m ²)		:	1.09	1.09
Uo	Lmin/Lmoy >40%	:	0.9	0.9

Figure 11 : Zone intérieure du tunnel, valeurs moyennes et uniformités de luminance, régime nuit

Nuit Réduit. Intérieur. Zone intérieur				
Zone de mesure: 348.2 m -366.2 m Points nx=7. ny=6. nz=3				
Observateur (Coordonnée de départ): x=-288.2 m; z=1.50 m dx=61.29m (fixe)				
			Y=1.75 m	Y=5.25 m
Voie (GaDb)				
Lm (cd/m ²)		:	1.17	1.16
Uo	Lmin/Lm	:	0.6	0.58
UI	Llmin/Llmax	:	0.92	0.94
Timax		:	2%	2%
Mur Gauche (diffus 0%)				
Lm (cd/m ²)		:	1.14	1.14

Uo	Lmin/Lm	:	0.8	0.8
Mur Droit (diffus 0%)				
Lm (cd/m ²)		:	0.55	0.55
Uo	Lmin/Lmoy	:	0.9	0.9

Figure 12 : Zone intérieure du tunnel, valeurs moyennes de luminance et d'uniformité pour le régime nuit réduit

IV.3.2. Tube W

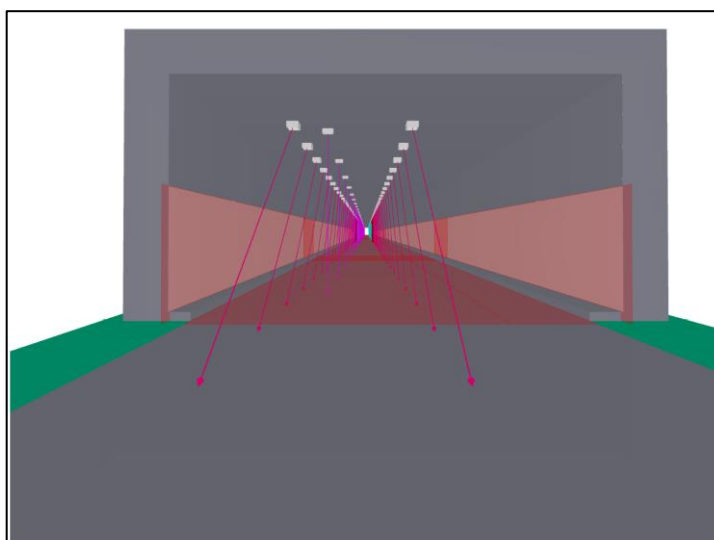


Figure 13 : Vue 3D de l'entrée W de la tranchée couverte

Plein Soleil. Entrée. Zone d'entrée

Zone de mesure: 33.20 m -42.20 m Points nx=7. ny=6. nz=3

Observateur (Coordonnée de départ): x=-26.8 m; z=1.50 m dx=60.64 m (fixe)

		Y=1.75 m	Y=5.25 m
Voie (GaDb)			
Lm (cd/m ²)	:	125	125
Uo	Lmin/Lmoy	: 0.73	0.71
U1	Lmin/Lmax	: 0.94	0.94
Timax	:	2%	2%
Mur Gauche (diffus 0%)			
Lm (cd/m ²)	:	70.05	70.05
Uo	Lmin/Lmoy	: 0.78	0.78
Mur Droit (diffus 0%)			
Lm (cd/m ²)	:	41.1	41.1
Uo	Lmin/Lmoy	: 0.77	0.77

Figure 14 : Valeurs moyennes de luminance et uniformité en zone d'entrée, régime plein soleil

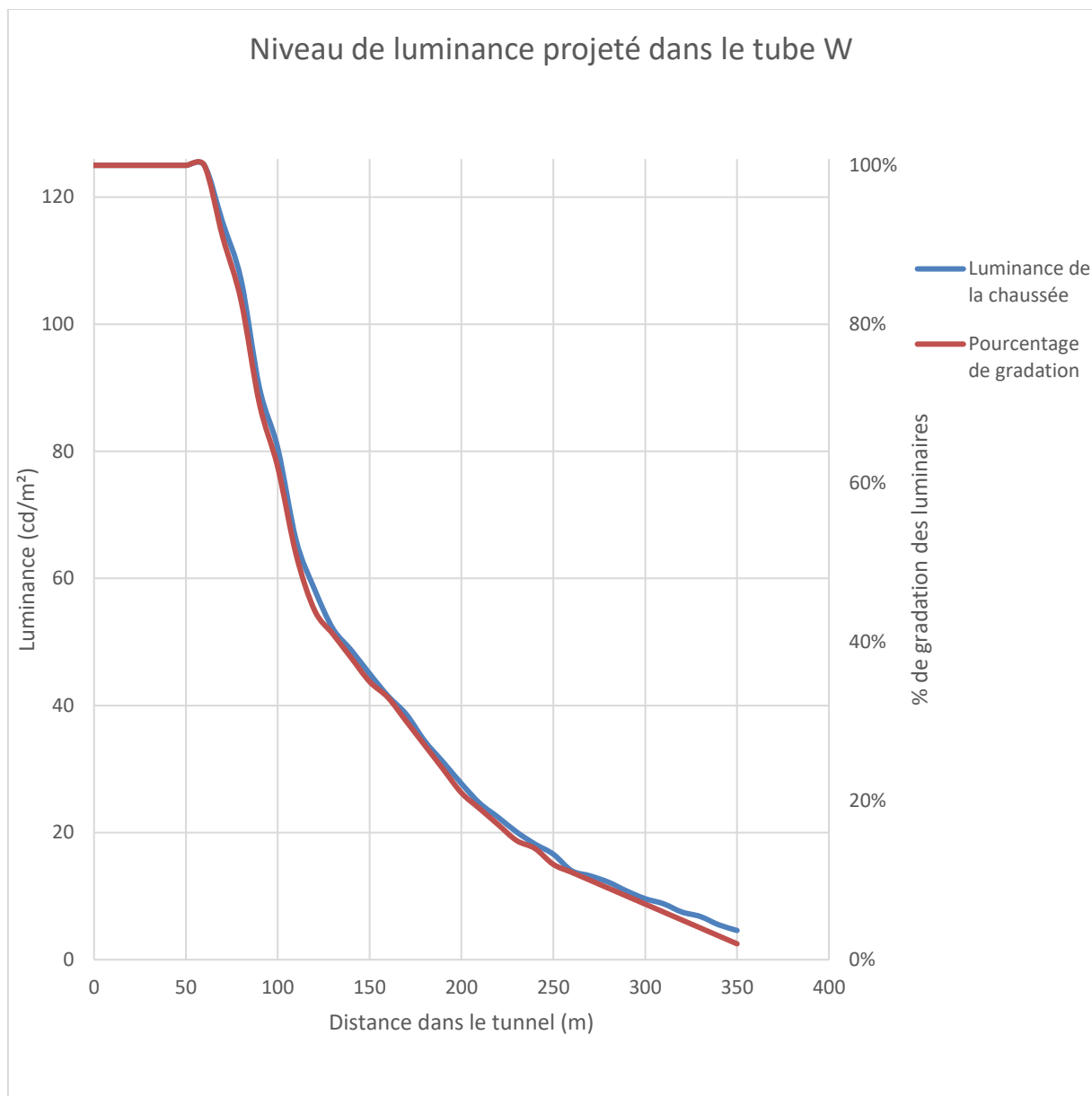


Figure 15 : Courbe de décroissance de la luminance d'entrée, en régime plein soleil. En bleu la courbe modélisée et en rouge la courbe théorique

Jour. Intérieur. Zone intérieur

Zone de mesure: 375.2 m -393.2 m Points nx=7. ny=6. nz=3

Observateur (Coordonnée de départ): x=315.2m; z=1.50 m dx=61.29m (fixe)

		Y=1.75 m	Y=5.25 m
Voie (GaDb)			
Lm (cd/m²)	:	4	4
Uo	Lmin/Lmoy	0.6	0.58
UI	Lmin/Llmax	0.92	0.94

Ut	Emin/Emoy >70%	:	0.75	0.75
UI	Emin/Emax >75%	:	0.8	0.8
Timax		:	2%	2%
Mur Gauche (diffus 0%)				
Lm (cd/m ²)		:	4	4
Uo	Lmin/Lmoy >50%	:	0.8	0.8
Mur Droit (diffus 0%)				
Lm (cd/m ²)		:	2.18	2.18
Uo	Lmin/Lmoy >50%	:	0.9	0.9

Figure 16 : Valeurs moyennes de luminance et uniformité zone intérieure, régime jour

Nuit. Intérieur. Zone intérieure				
Zone de mesure: 375.2 m -393.2 m Points nx=7. ny=6. nz=3				
Observateur (Coordonnée de départ): x=315.2m; z=1.50 m dx=61.29m (fixe)				
			Y=1.75 m	Y=5.25 m
Voie (GaDb)				
Lm (cd/m ²)		:	2.33	2.33
Uo	Lmin/Lmoy	:	0.6	0.58
UI	Lmin/Lmax	:	0.92	0.94
Ut	Emin/Emoy >50%	:	0.55	0.55
UI	Emin/Emax >60%	:	0.65	0.65
Timax		:	2%	2%
Mur Gauche (diffus 0%)				
Lm (cd/m ²)		:	2.28	2.28
Uo	Lmin/Lmoy >40%	:	0.8	0.8
Mur Droit (diffus 0%)				
Lm (cd/m ²)		:	1.09	1.09
Uo	Lmin/Lmoy >40%	:	0.9	0.9

Figure 17 : Valeurs moyennes de luminance et uniformité zone intérieure, régime nuit

Nuit Réduit. Intérieur. Zone intérieure				
Zone de mesure: 375.2 m -393.2 m Points nx=7. ny=6. nz=3				
Observateur (Coordonnée de départ): x=315.2m; z=1.50 m dx=61.29m (fixe)				
			Y=1.75 m	Y=5.25 m
Voie (GaDb)				
Lm (cd/m ²)		:	1.17	1.16
Uo	Lmin/Lmoy	:	0.6	0.58
UI	Lmin/Lmax	:	0.92	0.94
Timax		:	2%	2%

Mur Gauche (diffus 0%)					
Lm (cd/m²)	:	1.14		1.14	
Uo	Lmin/Lmoy	:	0.8		0.8
Mur Droit (diffus 0%)					
Lm (cd/m²)	:	0.55		0.55	
Uo	Lmin/Lmoy	:	0.9		0.9

Figure 18 : Valeurs moyennes de luminance et uniformité, zone intérieure, régime nuit réduit

IV.4. ESTIMATION DU NOMBRE DE LUMINAIRES

L'installation standard projetée sera composée de plusieurs type de luminaires caractérisés notamment par leur puissance électrique et leur flux lumineux.

La quantité d'appareils estimée au cours de cette étude est donnée afin de déterminer plus tard le budget « Eclairage ». L'entreprise titulaire des travaux sera en charge de modifier au besoin cette installation en fonction des modèles de luminaires retenus.

Tube Sens Y :

	Type de luminaire	Flux lumineux (lm)	Puissance (W)	Nbre d'appareil	Puissance TOT (W)
Luminaires de renfort	LED 340	34000	220	22	4840
	LED 180	18000	118	16	1888
	LED 90	9000	59	54	3186
Luminaires de section courante	LED 50	5000	34	56	1904
TOTAUX				148	11818

Tableau 5 : Estimation du nombre de luminaires dans le sens Y

Tube Sens W :

	Type de luminaire	Flux lumineux (lm)	Puissance (W)	Nbre d'appareil	Puissance TOT (W)
Luminaires de renfort	LED 340	34000	220	44	9680
	LED 180	18000	118	12	1416
	LED 90	9000	59	56	3304
Luminaires de section courante	LED 50	5000	34	56	1904
TOTAUX				168	16304

Tableau 6 : Estimation du nombre de luminaires dans le sens W

IV.5. GAIN PROJETE

Le paragraphe ci-dessous présente les gains énergétiques et financiers associés à la modernisation de l'installation sur la base du prédimensionnement réalisé dans ce document.

Un tableau synthétique pour chaque tube est dressé, comparant la solution LED (Sol1) au système d'éclairage actuel ainsi qu'à la norme (Dossier pilote éclairage du CETU) pour différents critères (nombre de luminaires, puissance électrique, efficacité, performances photométriques...).

Un premier comparatif peut être dressé sur le nombre de luminaires dans la future installation. On peut remarquer que le nombre de luminaires a fortement diminué soit environ 50 % pour les 2 tubes par rapport à l'installation actuelle.

		Nombre de luminaires			
		Base	Renfort VL et VR	Total	Inter distance entre luminaires de base (m)
Tube W	Actuel	152	214	366	8
	Projetée	56	112	168	9
Tube Y	Actuel	152	164	316	8
	Projetée	56	92	148	9

Tableau 7 : Tableau comparatif du nombre de luminaires

Concernant l'aspect performance et respect des recommandations du CETU, une nouvelle installation à LED permet tout à fait de respecter les exigences en termes de niveau de luminance fixées par le CETU. Concernant les critères d'uniformité (Uniformité longitudinale, transversale, taux d'éblouissement) de la future installation, ces derniers sont respectés.

		Performance éclairage (cd/m²)					Uniformité en luminance			Uniformité en éclairage	
		Luminance entrée	À 50m	À 100 m	Luminance milieu 250 m	Luminance sortie 480 m	U0	UL	TI	U0	UL
Tube W	Norme	125	125	80.5	16,6	4	>0,5	>0,8	<8	>0.7	>0.75
	Projetée	125	125	79.7	16	4	0,58	0,92	2	0.75	0.8
Tube Y	Norme	81.8	81.8	52	10.1	4	>0,5	>0,8	<8	>0.7	>0.75
	Projetée	81.8	81.8	52	10.5	4	0,58	0,92	2	0.75	0.8

Tableau 8 : Tableau comparatif des performances et uniformité

La puissance totale installée diminue considérablement, soit plus de 4 fois inférieure à la puissance actuelle.

		Puissance électrique installée (KW)			Efficacité (lm/W)	
		Base	Renfort	Total	Base	Renfort
Tube W	Actuel	21,6	57	79		
	Projetée	1,9	14	16	137	140
Tube Y	Actuel	21,6	52	74		
	Projetée	1,9	10	12	137	140

Tableau 9 : Tableau comparatif des puissances installées

Ci-dessous, un tableau détaillant consommation avec une étude de rentabilité.

	Puissance KW		Conso sur un an KWH		Coût total de la nouvelle installation (fourniture pose et raccordement)	Prix sur la première année (consommation et mise en place)		Prix sur la huitième année (consommation)	
	Actuelle	Future	Actuelle	Future	Future	Actuelle	Future	Actuelle	Future
Installation									
Base	43,168	3,808	268 967	51 890	89 493 €	24 207 €	94 163 €	193 656 €	126 854 €
Renfort	109	24	287 255	62 122	209 293 €	25 853 €	214 884 €	206 824 €	254 021 €
Total	152,168	28,122	556 222	114 013	298 785 €	50 060 €	309 046 €	400 480 €	380 874 €

Tableau 10 : Tableau de calcul de rentabilité de la nouvelle installation

Le tableau ci-dessus expose la consommation sur une année de l'installation actuelle et de celle projetée. Les calculs pour la future installation ont été réalisés avec les puissances dans le tableau 3. Pour les calculs de consommation, les temps de fonctionnement pour les luminaires de bases ont été déterminés en fonction du régime. Bien entendu cette estimation est réalisée en effectuant une moyenne sur l'année. Enfin, pour le calcul du prix sur 1 an, un tarif de 0.09 € le KWH a été choisi.

En incluant seulement le prix de la consommation de l'installation sur 1 an, la future installation à LED coutera environ 5 fois moins cher.

En faisant un calcul de retour sur investissement, l'installation à LED sera rentable au bout de la 8^{ème} année environ. Ce calcul prend en compte la consommation ainsi que le coût de mise place de la solution LED. Les prix annoncés sur la 8^{ème} année sont en cumulé.

Pour conclure, une nouvelle installation à LED permettra de limiter le nombre de luminaires en place, la maintenance sur ces derniers, et pour finir, la consommation de l'installation diminue de 5 fois.

Ce dimensionnement constitue une approche qui justifie la pertinence d'une telle installation. Les valeurs présentées sont basées sur une simulation avec un type de matériel bien précis, qui respecte les caractéristiques détaillées dans ce document. Cependant ces chiffres seront amenés à évoluer en fonction du matériel réellement installé dans l'ouvrage.

De ce fait, le titulaire du marché devra impérativement réaliser une étude technique approfondie pour l'implantation de son matériel.

IV.6. DISTRIBUTION ELECTRIQUE

IV.6.1. Cantonnement de l'éclairage

La distribution se fera depuis les tableaux de distribution BT situés dans les locaux techniques. Tous les départs se font depuis ces armoires par le biais d'une galerie technique jusqu'à un débouché par des fourreaux en tunnel. Les câbles sont acheminés grâce à des chemins de câbles fixés dans le plafond de la tranchée couverte.

Deux cantonnements d'alimentation sont prévus depuis la sortie des fourreaux de la galerie technique : un premier secteur de l'entrée jusqu'au PM 251.5, et le second secteur du PM 251.5 jusqu'à la sortie.

	Cantonnement 1	Cantonnement 2
Tube Est Y	PM 251.5 → Sortie	Entrée → PM 251.5

Tube Ouest W	Entrée → PM 251.5	PM 251.5 → Sortie
--------------	-------------------	-------------------

Tableau 11 : Cantonnement du nouveau système d'éclairage

Cette solution de cantonnement se justifie par :

- La disposition centrale de la galerie technique qui distribue l'énergie aux lignes d'éclairage depuis le local technique.
- La minimisation d'extinction du nombre de luminaires en cas de problème sur un câble d'alimentation.

Couplé au choix du cantonnement, différents circuits seront déployés afin d'alimenter les luminaires du tunnel. Les schémas suivants présentent ces circuits d'alimentation pour les éclairages de renfort, base et secours.

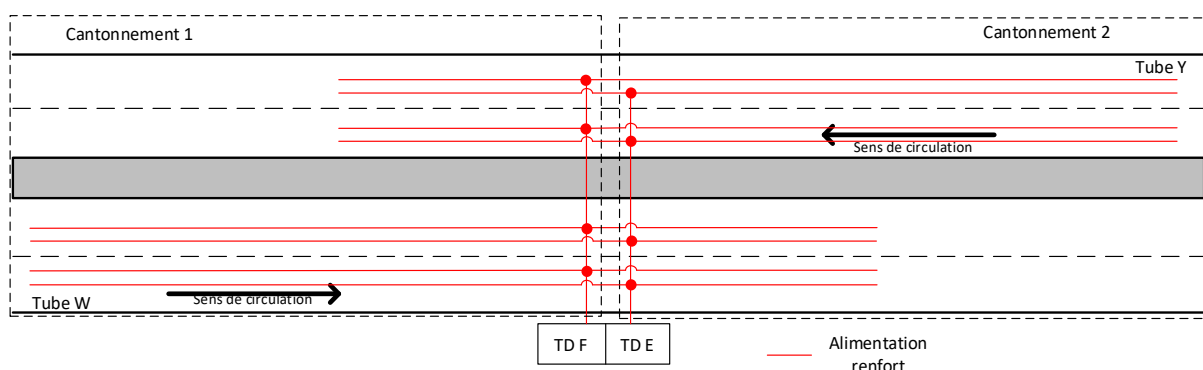


Figure 19 : Schéma de principe de l'alimentation du nouveau système d'éclairage de renfort

Concernant l'éclairage de renfort, il est prévu 2 câbles d'alimentation pour chaque ligne de luminaire. Ainsi, pour chaque ligne de renfort, un luminaire sur deux sera alimenté par le TDF et les autres restant (un luminaire sur deux également) sera alimenté par le TD E. En cas de problème sur un câble, la ligne entière d'éclairage de renfort ne sera pas éteinte.

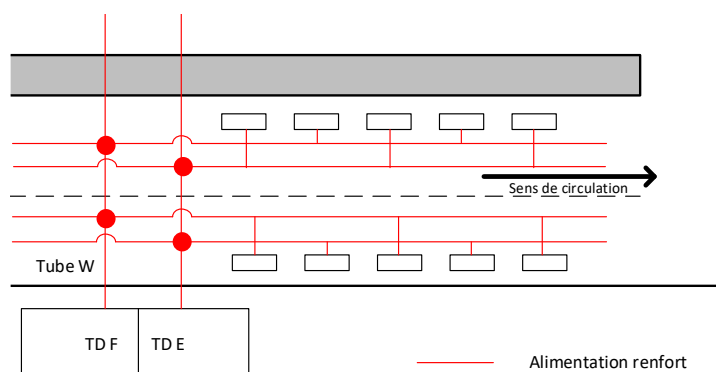


Figure 20 : Schéma de raccordement des câbles d'alimentation des luminaires de renfort

Concernant l'éclairage de base, 1 câble par canton et par tube sera déployé afin d'alimenter les luminaires constituant l'éclairage normale. Le TDE alimente tout le côté Sud des 2 tubes, et le TD F alimente tout le côté Nord des 2 tubes. Cette répartition permet d'éviter l'extinction de la ligne entière en cas de coupure de câbles. Le TD R alimente de la même façon les luminaires de secours.

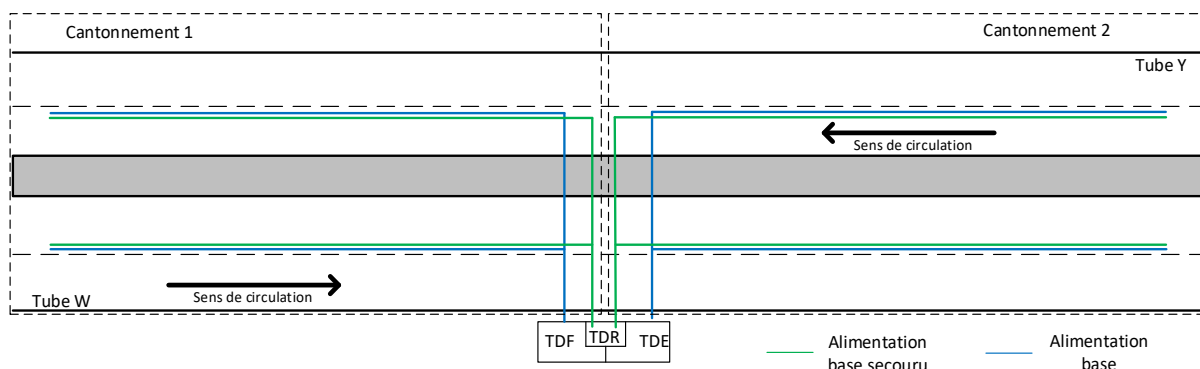


Figure 21 : Schéma de principe de l'alimentation du nouveau système d'éclairage de base

Cette répartition impose différents départs dans les tableaux de distribution :

TDE	TDF	TDR
Eclairage de base Tube W côté Sud	Eclairage de base Tube W côté Nord	Eclairage de base secours Tube W côté Nord
Eclairage de base Tube Y côté Sud	Eclairage de base Tube Y côté Nord	Eclairage de base secours Tube W côté Sud
Eclairage de renfort Tube W VL (1 sur 2)	Eclairage de renfort Tube W VL (1 sur 2)	Eclairage de base secours Tube Y côté Nord
Eclairage de renfort Tube W VR (1 sur 2)	Eclairage de renfort Tube W VR (1 sur 2)	Eclairage de base secours Tube Y côté Sud
Eclairage de renfort Tube Y VL (1 sur 2)	Eclairage de renfort Tube Y VL (1 sur 2)	
Eclairage de renfort Tube Y VR (1 sur 2)	Eclairage de renfort Tube Y VR (1 sur 2)	

Comme constaté, 2 circuits d'alimentation sont prévus pour les 2 lignes de renforts.

IV.6.2. Alimentation des circuits d'éclairage de base et de renfort

Un câble d'alimentation principal de type 3xPh+N+PE C1 est raccordé depuis un bornier en bas du tableau de distribution. Le câble d'alimentation principal chemine dans un chemin de câble. Le câble transite ensuite dans des boîtes de dérivation jusqu'au dernier luminaire du canton d'alimentation. Un câble par cantonnement, par tube et par ligne d'éclairage sera déployé. Ce qui fait alors 4 câbles d'alimentation pour l'éclairage de base et 8 câbles d'alimentation pour l'éclairage de renforcement.

Une boîte de dérivation est prévue pour chaque luminaire, comme l'illustre le schéma ci-dessous :

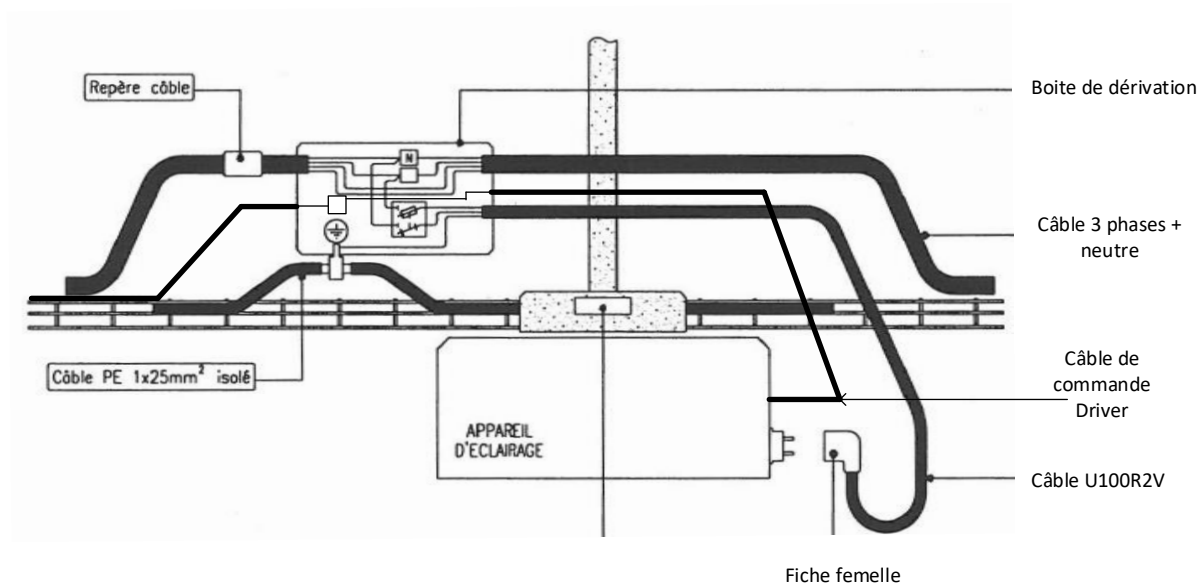


Figure 22 : Schéma de raccordement de luminaire

Des borniers, situés dans la boîte de dérivation permettent la dérivation du câble de puissance et du câble de commande vers le luminaire.

Dans la boîte de dérivation, est également prévu une protection de la ligne principale en cas de défaut du luminaire. La protection est un fusible adapté à la puissance du luminaire avec coupure du neutre.

Côté luminaire, le câble 1xPh+N+Terre de type U1000 R2V C1 sera doté d'un connecteur 3 broches mâles avec détrompeur.

Remarque : Le principe de raccordement présenté ci-dessus est valable autant pour l'éclairage de base que l'éclairage de renforcement.

IV.6.3. Alimentation du circuit d'éclairage de sécurité

Un câble d'alimentation principal de type 3xPh+N+Terre CR1-C1 armé est raccordé depuis un bornier en bas du tableau de distribution secouru. Dans le tunnel circulé le câble d'alimentation principal est directement fixé à la structure du génie civil de l'ouvrage. Un câble par cantonnement et par tube sera déployé. Ce qui fait 4 câbles d'alimentation pour l'éclairage secouru.

Le câble transite ensuite dans des boîtes de dérivation de type « Feu » jusqu'au dernier luminaire du canton d'alimentation. Les boîtes de jonction des circuits d'éclairage de sécurité sont du type « Feu » et également fixées à la structure (hors chemin câbles).

Une boîte de dérivation de type « Feu » est prévue pour chaque luminaire de sécurité. La boîte de dérivation suit le même principe de raccordement et de dérivation que l'éclairage de Base sur le réseau normal.

IV.7. COMMANDE DU SYSTEME

IV.7.1. Architecture globale

Le système de commande de l'éclairage du tunnel utilisera la plateforme DALI et s'organise de la façon suivante :

L'architecture se composera d'un automate (MCU) qui communique avec les drivers LED via des passerelles DALI. L'automate contient les données nécessaires au fonctionnement du système afin de le piloter, le contrôler et le surveiller.

Les régimes d'éclairage sont pilotés en fonction des valeurs des luminancemètres d'entrée de tunnel. Le luminancemètre est raccordé à la GTC via le réseau terrain de modules d'entrées sorties dans les armoires PST transmission du tunnel.

La GTC récupère alors les valeurs de luminance mesurées, les compare avec les valeurs de référence préalablement définies, et en déduit un régime d'éclairage à déployer. L'automate d'éclairage récupère alors depuis la GTC le régime d'éclairage à mettre en place, et envoie les bonnes commandes de pourcentage de gradation aux drivers des luminaires via les passerelles DALI.

La commande est passée aux passerelles DALI via un réseaux en boucle de type RS 485, puis chemine jusqu'aux drivers LED par réseau DALI. Les passerelles DALI (amplificateur de signal) permettent de contrôler et de surveiller un groupe local de drivers.

Une connexion de l'automate à la GTC est assurée afin, notamment, de définir l'état de fonctionnement du système d'éclairage (automatique, manuel) et aussi d'obtenir les éventuels défauts sur les luminaires et/ou drivers.

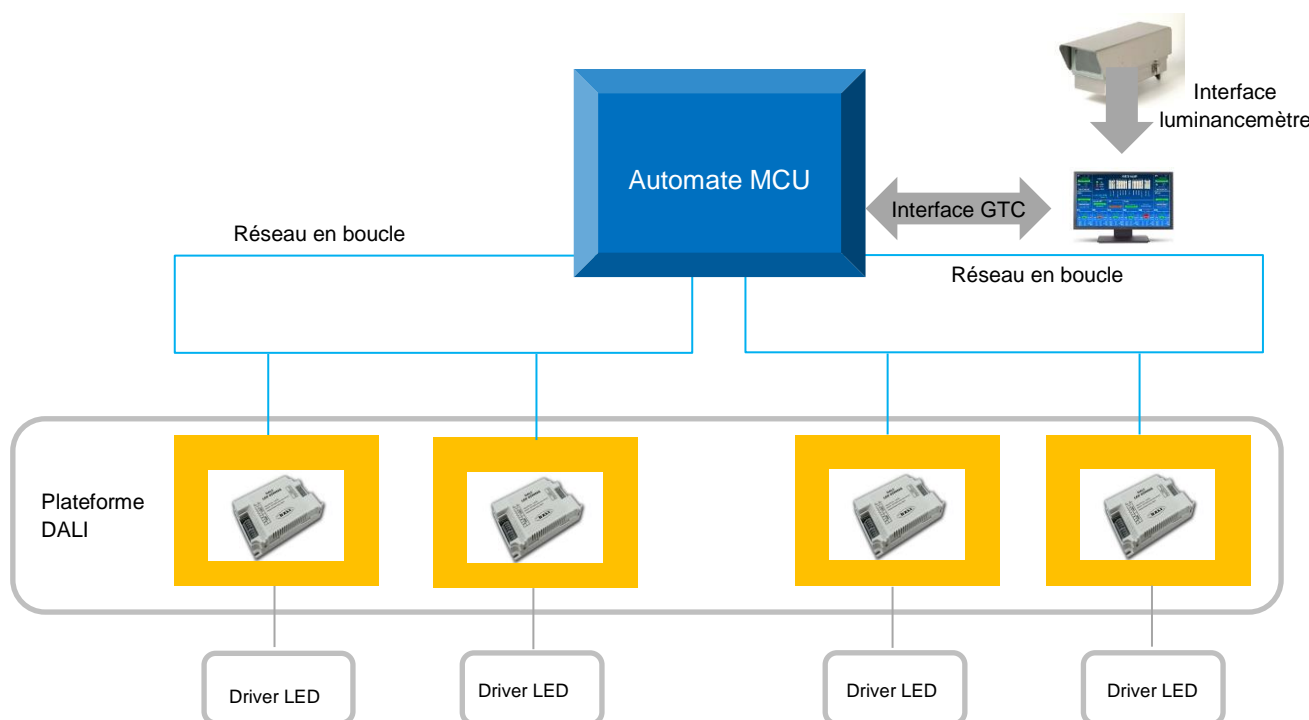


Figure 23 : Synoptique de l'architecture du système de commande éclairage

La commande de la gradation de luminosité est assurée par un câble spécifique transportant un signal connecté à chaque driver. Le signal de commande de la variation sera de type numérique. La commande par gradation devra aussi permettre un changement progressif de la luminosité lors d'un basculement entre deux régimes d'éclairage.

Le câble de commande est un câble de section minimum de 1.5 mm², blindé.

Le circuit de commande pour l'éclairage de la Base sur le réseau Normal est distinct du circuit de commande pour l'éclairage de Base sur le réseau secours.

En cas de défaut sur le câble de la commande du circuit de gradation, les drivers dans les luminaires passeront automatiquement à 100% pour les conditions suivantes :

- Court-circuit sur le câble de commande ;
- Câble de commande coupé ;
- Tension sur le fils pilote < 1 V.

La connexion entre la GTC et l'automate MCU sera réalisée par protocole TCP-IP Ethernet dans un des switches présents en local technique.

Remarque : Il faut savoir que l'intérêt d'une commande par gradation réside dans la possibilité de « lisser » la décroissance de la luminance dans le tunnel pour l'éclairage de renfort et s'affranchir des paliers de renforcement que la plupart des tunnels possèdent actuellement.

Un deuxième bénéfice porte sur la possibilité de passer d'un régime d'éclairage à un autre de manière progressive, ce qui permet de ne pas avoir d'incidence avec les caméras DAI et les remontées de fausses alertes en cas de changement brusque d'éclairage.

IV.7.2. Pilotage du réseau d'éclairage de sécurité

L'éclairage de sécurité sera réalisé par 1 source sur 2 de l'éclairage de base environ. Néanmoins, l'éclairage de sécurité, devra assurer un niveau moyen de 10 lux et un minimum de 2 lux en tout point. La commande de la gradation suit le même principe que pour l'éclairage de base et de renfort sur le réseau normal et présenté dans le paragraphe précédent.

Le circuit de commande pour l'éclairage de sécurité est distinct et séparé du circuit de commande pour l'éclairage de Base sur le réseau normal.

IV.8. ECLAIRAGE DE CHANTIER

IV.8.1. Principe d'éclairage de chantier

Le chantier de remplacement du système d'éclairage devra s'effectuer en assurant une luminance moyenne de 4 cd/m² en section courante (journée). Ce niveau de luminance est atteint grâce aux luminaires de base (2x36 W + 1x70W). Un éclairage de renfort doit aussi être assuré durant la période de travaux

Les luminaires existants pourront être réutilisés, ils seront déplacés sur les piédroits des 2 tubes durant la phase de mise en place de l'isolation au feu. Les travaux de génie civil sur la voute pourront ainsi être effectués.

Le fonctionnel de l'éclairage de chantier sera le même que l'existant. C'est-à-dire que l'on aura, durant toute la période des travaux, 3 régimes de fonctionnement (plein soleil, jour couvert, nuit), un fonctionnement avec luminancemètre et les mêmes remontées d'informations GTC que pour l'éclairage existant.

IV.8.2. Déroulement du basculement

La procédure de mise en place de l'éclairage de chantier est détaillée ci-dessous :

Ce déroulement est valable pour un « plot » d'intervention qui est dimensionné en fonction du linéaire de protection au feu posé par nuit.

- Les luminaires de renforts (100, 150, 250, 400 W) sont déposés ainsi que leurs boites de jonction.
- Les luminaires de base au-dessus des voies lente et rapide sont déplacés respectivement sur le piédroit droit et gauche.
- Les boites de dérivation sont déplacées vers leurs luminaires respectifs.
- Les câbles d'alimentation des luminaires disposés en piédroits, sont basculés soit sur un chemin de câble préalablement déplacé sur les piédroits droit et gauche soit dans un tube inox fixé tous les 2m.

Ci-dessous le schéma illustrant la disposition des luminaires de chantier (le même schéma s'applique quel que soit le piédroit) :

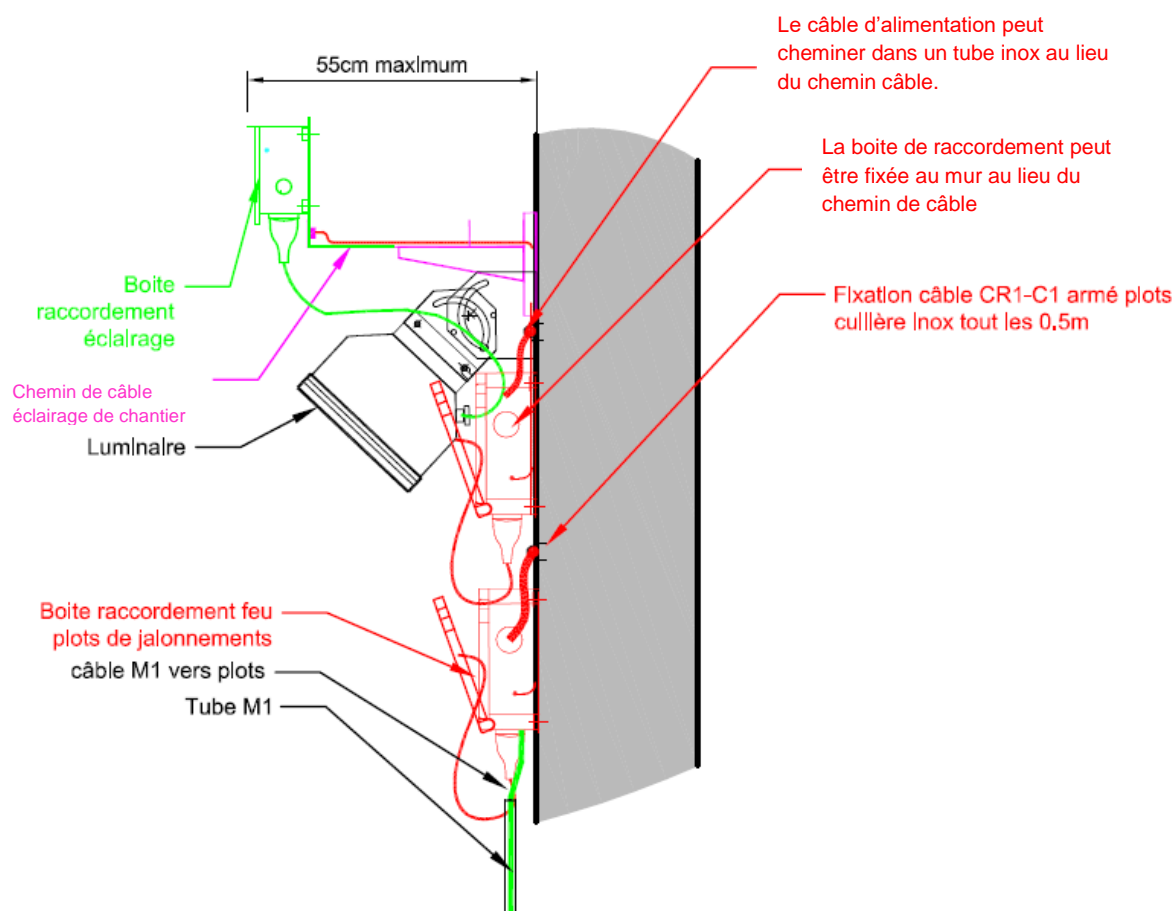


Figure 24 : Implantation des luminaires de chantier sur les piédroits

IV.8.3. Dépose de l'éclairage de chantier en fin de travaux

Après la mise en service des nouvelles lignes d'éclairage LED, l'éclairage de chantier sera déposé, avec les chemins de câbles, les câbles, les boîtes de jonction et tout ce qui concerne l'éclairage de chantier. Le fonctionnel de l'éclairage de chantier sera aussi supprimé du fonctionnement de la GTC.

V. SPECIFICATIONS TECHNIQUES

V.1. LUMINAIRES TUNNEL

Les appareils sont du type « tunnel », ces derniers pourront résister aux contraintes rencontrées dans ce milieu : brouillard salin, pollution, lavage au jet haute pression.

Les luminaires seront conçus et réalisés conformément aux normes françaises et européennes en vigueur. Les luminaires devront par conséquent être conformes aux normes :

- CEI 61000-4-(1 :4) : compatibilité électromagnétique (CEM) ;
- SN EN 60529 : Degré de protection procurés par les enveloppes (Code IP) ;
- CEI/TR 62696 : Degré de protection procurés par les enveloppes (Code IK) ;
- NF C15-100 [27] : Installation électrique Basse Tension.
- NF EN 60598-2.3 (C 71003) de juin 2003.
- Degré de protection (étanchéité) IP 65 ;
- Degré de protection contre les chocs : IK 08

Les futurs luminaires seront : fixés sur les chemins de câble, à ouverture frontale sans outil, à appareillage incorporé.

La fixation du luminaire (fournie par le fabricant du luminaire) se fait par le haut du corps de l'appareil. Celle-ci est débrosable et devra comporter un système d'orientation sur site avec un repérage des angles d'orientation à acquisition mnémonique volontaire.

La dépose du luminaire devra être effectuée par désolidarisation sans outillage du système de fixation qui lui-même restera en place. Le réglage de l'inclinaison devra avoir été réalisé en usine (repérable à coup sûr sur site sans ambiguïté). Les pièces en mouvement seront munies de système imperdable.

Les luminaires sont prévus avec un driver Dimmable par protocole DALI.

Ils sont munis d'un cordon pourvu d'un connecteur « mâle ». (Le luminaire est prévu pour être raccordé sur le connecteur femelle de la boîte de dérivation associée). L'entrée de câbles se fera par presse-étoupe.

Le cordon d'alimentation sera composé de conducteurs d'une section minimum de 1.5 mm² avec conducteur de terre : 1Ph+N+Terre. Le cordon d'une longueur d'environ 1,5 mètres permettra le raccordement de la boîte de jonction pouvant se situer à environ 1 mètre de l'appareil. Il est équipé d'un connecteur mâle, IP66 à broches et détrompeur. Le cordon est assemblé en usine, pas d'ouverture du luminaire sur site, l'étanchéité est assurée par presse étoupe.

Le luminaire est de classe 1, corps aluminium, vasque de fermeture en verre, et les liaisons des masses sont conformes à la norme NF C15-100. Un système de protection contre les surtensions 6 KV est à prévoir.

L'ensemble sera à la charge du titulaire ainsi que les divers raccordements.

Le tableau qui suit rappelle toutes les spécifications que les luminaires doivent posséder pour cette installation.

Caractéristique	Valeur
Indice de Rendu des Couleurs (IRC)	>70
Température de couleur	3000 – 4000 K
Indicateur durée de vie	L90 B10
Durée de vie	100 000 h
IP	66
IK corps du luminaire	10
IK verre du luminaire	08
Redondance des circuits interne*	Oui
Résistant au feu	NFC 20455, test du fil incandescent à 960°C
Durée de vie de l'enveloppe	100 000 h

Tableau 12 : Synthèse des caractéristiques à respecter

V.2. LUMINANCEMETRE

L'éclairage de base (jour et nuit) est commandé par un luminancemètre placé à une distance de 96 m à chaque entrée de l'ouvrage. Les informations seront rapatriées à l'unité de contrôle principale (MCU).

Les principales caractéristiques sont les suivantes :

- Plage de mesures de 0 à 10000 cd/m² ;
- IP 67 selon norme EN 60-598-1-2-2 ;
- Le luminancemètre est prévu avec un support réglable sur site (également azimuth) ;
- Angle d'acceptation de mesure inférieur à 20° ;
- Température d'utilisation - 40°C à + 70°C ;
- Présente une excellente résistance aux vibrations,
- Stable dans le temps (dérive inférieure à 20% à 32 000 heures),
- Efficacement traité contre la corrosion (revêtement de surface),
- Efficacement traité contre l'encrassement.

Le luminancemètre est prévu pour fonctionner à l'extérieur, le capteur est utilisé pour mesurer la luminance à 20 degrés d'angle pour estimer la luminance de l'entrée du tunnel.

Il délivre un signal de sortie en 4-20mA.

V.3. CHEMINS DE CABLES

Les câbles de l'ensemble des équipements d'éclairage utiliseront un cheminement par chemins de câbles. Ces derniers auront les caractéristiques suivantes :

- Acier galvanisé ;
- Chemin de câble fermé ;

- Largeur de 500 mm environ
- Hauteur de 60 à 100 mm
- Attache en acier galvanisé, avec scellement chimique ;

Il n'y aura pas de cheminements en fourreaux.

V.4. BOITES DE DERIVATIONS LUMINAIRES

Indice de protection : IP66

Matériau de l'enveloppe : Sans halogène, classement feu fumée M1F0 ;

Les boîtes sont équipées en sortie d'un câble avec connecteur femelle avec détrompeur et volet rabattable compatible avec le connecteur (mâle) du luminaire : 1Ph+N+Terre.

Les boîtes de dérivation seront équipées avec des bornes de connexion à perforation d'isolant. La dérivation sur un câble se fera sans coupure ni dénudage de ses conducteurs. Les boîtes sont munies de l'ensemble des borniers nécessaires à la dérivation des câbles d'alimentation et de commande d'un luminaire.

Les boîtes de dérivation contiennent également un fusible avec coupure du neutre pour la protection du luminaire. Le fusible est adapté à la puissance du luminaire.

Les entrées et les sorties de câbles se font par presse-étoupe.

V.4.1. Boîtes de dérivation sur le circuit normal

Les boîtes de dérivation des luminaires alimentés par le réseau Normal (Non secouru) sont fixées sur les chemins de câbles.

V.4.2. Boîtes de dérivation sur circuit de sécurité (secouru)

Elles seront résistantes au feu : continuité électrique de la ligne garantie selon NF EN 50362.

L'ensemble boîte et câbles de ce circuit devra présenter des caractéristiques homogènes en ce qui concerne le comportement au feu.

À l'intérieur de la boîte, les liaisons entre le circuit principal et les fusibles seront protégées par des gaines résistantes au feu ;

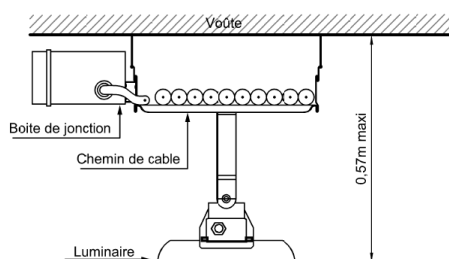
Les boîtes seront fixées sur le génie civil ou sous voûte (pas de fixation sur le chemin de câble).

V.5. CABLES D'ALIMENTATION

Les luminaires raccordés sur le réseau Normal seront alimentés par des câbles de la série U1000 R02V classe C1, depuis les armoires d'éclairage. La section de câble sera déterminée en fonction de la puissance des luminaires alimentés (base ou renfort).

Les luminaires raccordés sur le réseau ondulé seront alimentés par des câbles résistants au feu C1-CR1 armés depuis les armoires d'éclairage secours. Les câbles CR1-C1 armés seront fixés par colliers métalliques inoxydables directement sur le génie civil (tous les 50 cm).

- Coupe type luminaire - Boite de jonction normal -



- Coupe type luminaire - Boite de jonction secouru -

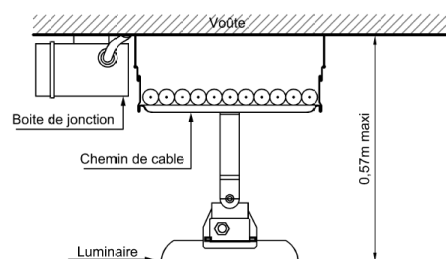


Figure 25 : Détail du montage de l'éclairage

V.6. CABLES DE COMMANDE

V.6.1. Réseau en boucle

Le réseau en boucle permettant la connexion entre le MCU et les plateformes DALI devra utiliser un protocole de communication standard de l'industrie. Il nécessitera la mise en œuvre d'un réseau de type RS 485. Le câble sera de type LS0H, conçu spécifiquement pour une utilisation dans un environnement hostile et répondant à des niveaux élevés de protection contre les interférences électromagnétiques.

V.6.2. Réseau de commande

Les câbles effectuant la liaison entre les passerelles DALI et les drivers LED seront également de type LS0H, ignifuge et offrant une installation rapide via des connecteurs IP68/IP69K rapide. Les extrémités des câbles seront moulées, encapsulant les fils à l'intérieur et créant une barrière contre l'infiltration d'eau. Le câble sera de section minimum de 1.5 mm² et blindé.

VI. INTERFACES ET DESCRIPTION DES TRAVAUX

VI.1. INTERFACES

Les principales interfaces sont les suivantes :

- Une partie de l'éclairage actuel devra être déposé pour la réalisation des travaux de génie civil. Le phasage travaux devra assurer les conditions minimales d'exploitation. L'éclairage de chantier provisoire permettra le maintien des conditions d'éclairage sous circulation en journée ;
- L'énergie et le contrôle commande devront être disponibles pour permettre la réception des équipements et la dépose de l'existant ;
- L'interfaçage avec la GTC/supervision et la coordination avec le PC de supervision pour le pilotage des équipements, des remontées d'alarme et des capteurs devra demeurer pendant les travaux.

VI.2. DESCRIPTION DES TRAVAUX

VI.2.1. Mode d'exécution des travaux

Les travaux doivent être réalisés en partie avec le maintien de la circulation en minimisant autant que possible les gênes aux usagers.

L'organisation des travaux doit par conséquent permettre la mise en place de nouveaux équipements d'éclairage tout en conservant les anciens. Les conditions de sécurité de circulation routière dans l'ouvrage devront être respectées. Le niveau d'éclairement devra, à minima, correspondre au niveau existant avant le début des travaux. Une notice de phasage des travaux sera effectuée en ce sens.

Les installations actuelles sont maintenues opérationnelles jusqu'à la mise en service des nouvelles installations d'éclairage.

VI.2.2. Réalisation des études d'EXEcution

Le titulaire prendra toutes ses dispositions afin de réaliser les visites techniques et les réunions d'avancement ainsi que des réunions de spécifications techniques nécessaires au bon déroulement des travaux.

L'entreprise en charge des travaux réalisera l'identification des interfaces internes et externes. Il sera en lien avec le responsable général des travaux pour la conduite du processus.

Les spécifications techniques du matériel envisagé seront présentées au MOE et MOA après les premières réunions d'organisation.

Après validation de la solution technique proposée par le titulaire, celui-ci réalisera une étude d'exécution détaillant la solution retenue.

Dans son étude, l'entreprise devra alors fournir les documents suivants :

- Une note de calcul de dimensionnement de l'installation
- Une étude photométrique de l'installation
- Une nomenclature des équipements installés
- Un plan de raccordement électrique
- Les cahiers de tests
- Le sommaire du DOE
- Un dossier d'agrément matériel
- Le planning de réalisation
- Une note détaillant le phasage envisagé, les équipes et les travaux prévus à chaque phase.

VI.2.3.Description des travaux :

La commande du matériel s'effectuera après validation des études d'exécution.

Les principales étapes des travaux à réaliser sur site sont présentées ci-après :

- Dépose d'une partie d'éclairage actuel pour la réalisation des travaux de GC (renforcement et issue de secours) et installation d'un éclairage de chantier (déplacement de l'éclairage sur les piédroits) ;

La suite des travaux est réalisée par « plot » et par itération des étapes décrites ci-dessous

- Pose des chemins de câbles en tunnel, câbles, boîtes de raccordement et luminaire de base et de renfort ;
- Pose d'un circuit de sécurité en tunnel réalisé aux moyens de câbles CR1-C1 armés et boîtes résistantes au feu selon la NF C 32070, directement fixés à la structure sur la voute ;
- Pose des nouveaux appareils de base LED et des nouveaux appareils de renfort LED ;
- Pose des différents capteurs (luminancemètre) ;
- Câblage de puissance et branchement des luminaires et armoires éclairage ;
- Mise en place du système de commande de l'éclairage ;
- Mise en service de la ligne d'éclairage du tube est ;
- Mise en service de la ligne d'éclairage du tube ouest ;
- Test, réception photométrique ;
- Test fonctionnel GTC
- Optimisation du fonctionnement via la GTC, par le luminancemètre ;
- Dépose de l'existant restant (luminaire, chemins de câbles), et notamment les câbles en galerie et les armoires du local technique ;
- Traitement des réservations et passage de câbles pour garantir la protection au feu des galeries techniques et du local technique.

VI.2.4.Dossier des Ouvrages Exécutés

A la suite des travaux, l'entreprise titulaire réalisera un dossier des ouvrages exécutés (DOE) qui sera mis à la disposition de l'exploitant afin d'entreprendre ses démarches d'exploitation et de maintenance du tunnel.

Ce dossier sera composé des grands axes suivants :

- Un dossier général de *présentation du système*, qui fera la synthèse du système
- Une *documentation système* qui présentera les essais réalisés, l'inventaire du matériel et les éléments liés à l'infrastructure (alimentation, etc)
- Une *documentation constructeur* qui rassemblera toutes les notices du constructeur de chaque matériel utilisé.
- Une *documentation de câblage* rassemblant tous les schémas électriques des installations réalisés pour la prestation.

Ce dossier des ouvrages exécutés aura deux aspects :

- L'un descriptif permettant de donner de manière exhaustive la composition du système, son raccordement, ses implantations et interfaces avec d'autres systèmes.
- L'autre explicatif afin de pouvoir aiguiller de la manière la plus précise possible le service de maintenance et de dépannage ou encore les opérateurs travaillant dans l'exploitation du tunnel.

Remarque : Le DOE respectera les spécifications de la documentation DIRIF.

VII. EXPLOITATION ET MAINTENANCE

Lorsque le tunnel sera en exploitation, un entretien régulier devra être établi. La maintenance pour l'éclairage est supérieure à 10 ans. Toutefois, l'exploitant devra réaliser :

- Des visites annuelles pour l'entretien des équipements (vérification du bon fonctionnement, remplacement des sources en panne, nettoyage ...) ;
- Un nettoyage annuel des glaces des luminaires par le moyen d'un jet haute pression devra être réalisé.

VIII. ANNEXES

VIII.1. ANNEX1 : CARNET DE PLANS ECLAIRAGE