

L'ENTRETIEN DES TUNNELS ROUTIERS EN HIVER DANS UN CONTEXTE DE CONTRAINTES BUDGÉRAIRES ET DE DÉVELOPPEMENT DURABLE

PIERRE LONGTIN

Président de Nyx Hemera Technologies,
109 St-Vallier est, suite 100, Québec, Canada
PLONGTIN@NYX-HEMERA.COM

RÉSUMÉ

L'entretien joue un rôle important dans la détermination de la quantité de luminaires installés et en opération et ce, tant de jour que de nuit dans les tunnels routiers. Les valeurs possibles proposées dans ANSI/IES RP-22-11 ou CIE-088:2004 pour la maintenance varient en fonction de différents paramètres dont le facteur de survie des lampes (LFS). Dans les pays nordiques, les conditions environnementales sont certainement un des plus importants facteurs à considérer dans la maintenance en raison des abrasifs tels le sel et le calcium qui sont trainés dans le tunnel par les véhicules. Ces abrasifs accélèrent la dégradation de l'intensité lumineuse.

L'intensité de la lumière varie au fil du temps à cause de la dégradation de la puissance des lampes et l'accumulation de la saleté qui obstruent les flux lumineux qui éclairent la route. Indépendamment du cycle de nettoyage, les tunnels sont presque toujours trop éclairés afin de se conformer aux recommandations courantes.

L'effet de trou noir à l'entrée des tunnels est aussi plus difficile à réduire durant l'hiver en raison des variations plus fréquente et plus rapide de la luminosité dues à la neige, le pavé trempé et la réflexion de la lumière à l'entrée des tunnels.

Le sur-éclairage devient un problème majeur dans un contexte de restrictions budgétaires et de développement durable. De nouvelles technologies sont maintenant disponibles pour superviser l'éclairage réel et contrôler les luminaires afin de respecter les pratiques recommandées.

Contrairement aux systèmes traditionnels où les automates programmables génériques sont utilisés pour contrôler des groupes de luminaires, les systèmes intelligents de contrôle de luminaires (ILCS pour Intelligent Lighting Control Systems dans le texte ci-après) utilisent de nouvelles technologies pour superviser et contrôler chaque luminaire et même chaque lampe individuellement. Avec les systèmes évolués, il est possible de dynamiquement ajuster la luminosité sans sur-éclairer le tunnel, en supervisant le niveau de luminosité réel à l'intérieur et à l'entrée du tunnel.

Avoir la capacité de contrôler individuellement chacun des luminaires permet aussi la programmation de scénarios d'éclairage multiples et l'alternance d'utilisation des luminaires. Comme certains luminaires sont toujours en fonction, l'alternation des lampes et des luminaires va permettre un vieillissement similaire et avoir un impact sur le facteur de survie (LSF pour Lamps Survival Factor dans le texte ci-après) et par conséquent étendre le cycle de remplacement des lampes jusqu'à quatre (4) fois leur longévité.

En utilisant un système de contrôle dynamique combiné à l'utilisation d'illuminancemètre à l'intérieur du tunnel, un système intelligent peut donc ajuster le niveau d'éclairage aux besoins réels, résultant ainsi d'importantes économies d'énergie. L'alternation des lampes permet un vieillissement moyen des lampes, ce qui allonge le cycle de remplacement de celles-ci et permet des économies importantes reliées aux coûts opérationnels des tunnels. Pour conclure, les ILCS utilisés dans les tunnels permettent de réduire les coûts

d'opération dans les tunnels plus particulièrement en hiver, saison où les contraintes budgétaires ont le plus d'impact. Les ILCS réduisent les coûts de trois (3) façons; économie d'énergie, réduction des cycles de lavage et extension du cycle de remplacement des lampes.

1. LES DÉFIS DE L'OPÉRATION DE TUNNEL L'HIVER

Les normes CIE-088 [1] et IES RP-22 [2] ont mis de l'avant des recommandations concernant l'éclairage de jour et de nuit dans les tunnels et passages souterrains routiers. Elles incluent des mesures à prendre en considération de façon à adapter la luminosité du tunnel aux fluctuations de la luminosité extérieure. Elles recommandent en effet, les différentes valeurs de luminance dans les différentes zones des tunnels en fonction de caractéristiques du tunnel tels : la surface, les murs, le plafond, l'environnement autour du tunnel et les conditions atmosphériques et environnementales. L'hiver est une saison où ces caractéristiques varient de jour en jour et même d'heure en heure. Il y a effectivement un impact plus important dû aux changements des conditions atmosphériques en cette saison et les abrasifs tels le sel et le calcium qui sont trainés dans le tunnel par les véhicules, et qui conséquemment accélèrent la dégradation lumineuse.

Même si l'ordre peut varier d'un opérateur à une autre, l'économie d'énergie, la maintenance et la sécurité sont les principales préoccupations des opérateurs de tunnel.

- a) La consommation d'énergie est un poste budgétaire important dans l'opération de tunnels. Contrairement aux autres systèmes du tunnel, la dépense la plus importante d'énergie est effectuée durant la journée et plus particulièrement lors de temps ensoleillé.

Le tableau ci-dessous décrit l'impact des différents systèmes sur la charge d'énergie. À l'exception de tunnels de plus de 3 kilomètres, l'éclairage est le système le plus énergivore dans les tunnels. Une bonne stratégie d'éclairage devient alors la clé pour réduire la consommation d'énergie et la solution viable pour réduire les coûts d'opération dans les tunnels.

Tableau 1

Influence relative de consommation d'énergie selon le type d'équipement et la longueur du tunnel [3]

Length of tunnel	L ≤ 500 m	500 m < L ≤ 3 000 m		L > 3 000 m	
System / Tube	Uni and Bi	Uni	Bi	Uni	Bi
Lighting	Very high	High	Medium	Medium	Small
Ventilation	N.A.	Very small	Medium	Small	High
Safety equipment	Very small	Small	Small	Medium	Medium
Pumps	Small	Small	Small	Small	Small
Auxiliaries	Very small	Small	Small	Medium	Medium

- b) La maintenance est un défi important en hiver. Durant cette saison, les équipements doivent opérer efficacement en tout temps pour la sécurité et le confort des usagers de la route et les personnes y travaillant. Il devient alors très important d'éviter les interventions non planifiées et les fermetures de lignes et de tunnels. Comme la réparation et le remplacement d'équipement de tunnel est extrêmement coûteux, la maintenance préventive est la meilleure façon de préserver la valeur des équipements de tunnels.
- c) Après plusieurs accidents tragiques dans les tunnels routiers au cours des dernières décennies, la sécurité a été la préoccupation première du Comité Technique TC-3.3 sur l'opération des tunnels de l'Association Mondiale de la Route. En 2012, ce comité a publié une série de recommandations [4] et a développé un programme en 5 étapes pour améliorer la sécurité dans les tunnels existants qui inclue:
- Étape 1 : « Définir un cadre de sécurité » pour valider ou édicter le cadre réglementaire applicable au tunnel existant en termes de sécurité. Les objectifs de sécurité sont définis à ce stade.
 - Étape 2 : « Auditer les conditions actuelles » afin d'obtenir une vue d'ensemble claire de la situation actuelle.
 - Étape 3 : « Évaluer le niveau de sécurité actuel du tunnel » afin de déterminer le niveau de sécurité existant du tunnel.
 - Étape 4 : « Définir un programme d'amélioration de la sécurité » propre au tunnel existant et axé sur les défauts identifiés lors des étapes précédentes.
 - Étape 5 : « Évaluer le futur niveau de sécurité du tunnel » qui sera atteint après les travaux, afin de démontrer les avantages obtenus en termes de sécurité via les travaux de rénovation.

Des centaines de tunnels sont donc en rénovation à travers le monde actuellement et le type de système de contrôle d'éclairage à utiliser est en évaluation par plusieurs opérateurs.

Les trois (3) défis cités précédemment sont encore plus importants pendant les opérations d'hiver alors que la neige et les surfaces mouillées affectent la luminance à l'entrée des tunnels.

Une étude récente faite à la Aalto University School of Science and Technology [5] indique que “Sur les routes principales, il n’y a habituellement pas beaucoup de neige à cause de la plus importante circulation de véhicules, l’ensoleillement et l’enlèvement de la neige. Par contre, les routes secondaires sont plus souvent couvertes de neige, ce qui augmente la luminosité globale des conditions de conduite la nuit.” Cette étude démontre que la luminance de la surface d’une route légèrement enneigée est de 30 à 50% plus importante qu’une route avec une surface sèche.

Il faut admettre que les conditions atmosphériques ont un impact plus important sur la surface des routes en hiver. Il est donc plus difficile de maintenir une bonne qualité d’éclairage en cette saison. Ceci a aussi un impact sur la sécurité puisque l’uniformité de la luminance sur la surface de la route est réduite et la réflexion d’une surface trempée peut affecter la vision des conducteurs.

A l’opposé, la saleté causée par les abrasifs tels le sel et le sable, à l’intérieur du tunnel sur les murs et sur les luminaires réduira de façon significative la luminosité à l’intérieur du tunnel. Une plus grande luminosité à l’entrée du tunnel et une luminosité réduite à l’intérieur du tunnel ne fera qu’augmenter l’effet de trou noir en hiver.

Dans les deux situations, la solution mise de l’avant par la majorité des opérateurs est d’utiliser un système où le pire scénario est configuré tant pour l’entrée qu’à l’intérieur du tunnel en augmentant le niveau d’éclairage même lorsque ce n’est pas nécessaire. En raison du manque de précision de la luminosité, cette situation occasionne une perte d’énergie. Cette même étude indique que “Il a été estimé qu’en Finlande du Nord et du Nord Est, 50% à 75% du total des heures d’éclairage se trouvaient lorsque les conditions de la route et/ou des alentours étaient enneigées”.

Les conditions hivernales apportent aussi leur lot de conditions plus dangereuses et les systèmes électriques et mécaniques doivent être fiables afin d’éviter toute panne qui pourrait réduire la sécurité. D’où l’importance d’un outil qui offre la maintenance préventive et la supervision à distance qui aide à prévoir les pannes et faciliter les interventions proactives.

Le choix du type de système de contrôle devient très important puisqu’il doit assurer le juste niveau d’éclairage, une maintenance optimale et aider à augmenter la sécurité.

2. LES SYSTÈMES DE CONTRÔLE STANDARDS

2.1. Description

Les automates programmables (PLC pour Programmable Logic Controller dans le texte) sont utilisés pour contrôler les luminaires dans les tunnels. Chaque système est généralement fait sur mesure pour chaque tunnel et ils offrent des fonctions limitées en comparaison aux systèmes technologiquement plus évolués.

Dans les systèmes PLC, les sorties numériques génériques sont utilisées pour contrôler les contacteurs de puissance qui sont installés dans les cabinets électriques (DB). Le contacteur (ou relais), contrôle alors la lampe qui est pré-câblée selon un scénario d'éclairage prédéfini qui a été calculé pendant la phase de design. La figure 1 ci-après montre le schéma d'architecture d'un système avec trois (3) régimes d'éclairage.

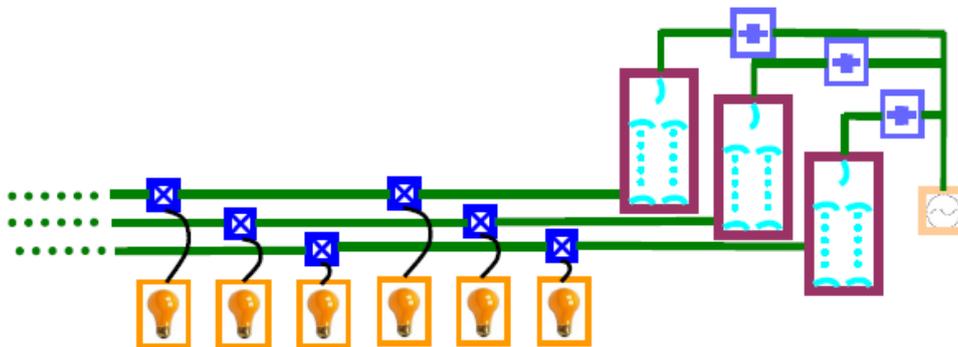


Figure 1

Schéma d'un système de contrôle de luminaire standard

2.2. Problèmes et limitations

2.2.1. Énergie

Parce que les systèmes PLC ont une structure de câblage rigide, chaque lampe assignée à un régime d'éclairage sera reliée par un câble qui sera connecté à un contacteur qui la contrôle. Cette situation limite techniquement le nombre possible de régime d'éclairage et n'est pas nécessairement économique pour l'opérateur. A cause de la limitation des régimes d'éclairage possibles avec des systèmes PLC, la plupart des tunnels à travers le monde sont donc sur-éclairés afin de s'assurer d'appliquer les différentes recommandations en termes d'éclairage.

La figure 2 montre les différents régimes à l'intérieur des tunnels qui répondent à la courbe de luminance proposée par la CIE (Commission internationale de l'éclairage). Pour des raisons d'ordre pratique et de limitation budgétaire, le nombre de régime est habituellement limité à quatre (4) ou cinq (5). Si le nombre de régime est augmenté, la luminosité sera plus précise; il sera alors possible d'effectuer des économies d'énergie potentielles. Les économies peuvent être identifiées et évaluées en utilisant certaines données pour en faire une simulation de régimes et de leur durée.

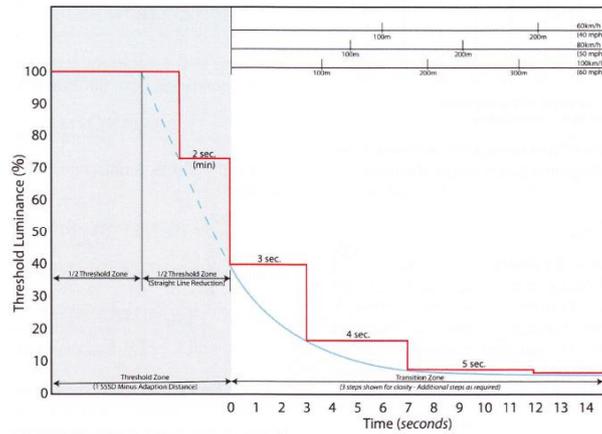


Figure 2

Recommandations de réduction de la luminosité au seuil et dans les zones de transition [1]

2.2.2. Maintenance

Les systèmes PLC n'offrent pas l'information nécessaire à la gestion de la maintenance et au contrôle tels : les défaillances des lampes, le cumulatif des heures d'utilisation des lampes, etc. Les opérateurs ne peuvent donc pas optimiser leurs interventions dans les tunnels à cause d'un manque d'information qui a un impact négatif sur les coûts de maintenance.

Le Département des transports Américains (6) suggère de "vérifier la bonne opération des luminaires des tunnels, un comptage et un rapport des luminaires de nuit et de jour inopérants et de remplacer toutes les lampes et ballast défectueux avec des unités similaires ou plus efficaces une fois par mois ». Sans système de contrôle à distance, les opérateurs se connaissent pas vraiment l'état de leur système d'éclairage entre les périodes d'inspection et doivent envoyer leur équipe de maintenance sur place sans avoir en leur possession nécessairement les bons équipements pour effectuer les réparations.

2.2.3. Communication

Les systèmes PLC offrent une interaction très limitée avec les Centres de gestion technique centralisée (GTC); ce genre de système fournit, dans certains cas, de l'information très basique sur les régimes d'éclairage et le statut des luminaires.

2.2.4. Précision

La plupart du temps limité entre 3 et 5 régimes d'éclairage, les systèmes PLC ne peuvent adapter précisément l'éclairage à l'intérieur et au portail du tunnel de façon sécuritaire et confortable pour les conducteurs. La plupart du temps, les tunnels sont sur-éclairés et gaspillent de l'énergie.

3. SYSTÈMES INTELLIGENTS

Contrairement aux systèmes PLC traditionnels qui utilisent les sorties numériques génériques contrôlent un groupe de luminaires, les systèmes de contrôle intelligents (ILCS) contrôlent et supervisent chaque luminaire individuellement. Utilisant des composants électroniques au lieu de simples composants électriques, il est possible d'ajuster les luminaires plus précisément et dynamiquement, d'alterner l'usage des lampes et/ou luminaires, d'obtenir la projection de durée de vie des lampes, de superviser certains paramètres électriques et d'ajouter différentes fonctions qui aideront à sauver de l'énergie et différents coûts d'opération.

3.1.1. Économie d'énergie

Tel qu'indiqué dans la norme IEC-088, il est nécessaire de fournir un contrôle de l'éclairage dans les seuils et les zones de transition des tunnels puisque le niveau de luminosité nécessaire est fixé en fonction de celle au portail du tunnel. Lorsque des écrans sont utilisés dans la zone d'entrée du tunnel, le contrôle est automatique et la solution est économique. Cependant, dépendamment des caractéristiques de transmission de l'écran, la luminosité sous l'écran n'est pas en corrélation avec la luminosité extérieure.

Lorsqu'un éclairage artificiel est utilisé, un système qui procure un contrôle plus précis est nécessaire. Le contrôle peut être géré avec un système de gradation continue ou avec un système d'interruption des différents régimes. Pour un éclairage adéquat, la zone d'accès au tunnel doit être continuellement supervisée.

3.1.2. Nombre de régimes d'éclairage

En contrôlant les luminaires individuellement, le nombre de régimes d'éclairage peut être augmenté de 3 ou 4 à 10 ou 12. Cette façon de faire permet l'adaptation dynamique de la luminosité au portail et à l'intérieur du tunnel et correspond mieux aux différentes recommandations (Recommandations Européenne et Américaines pour l'éclairage de tunnels).

Cette technique permet de réduire le surplus d'éclairage en n'utilisant que l'énergie réellement nécessaire pour éclairer le tunnel et maintenir un éclairage sécuritaire.

3.1.3. Facteur de dépréciation et de salissure

De façon à s'assurer de suivre les recommandations en termes d'éclairage dans les tunnels, les opérateurs qui utilisent les systèmes de contrôle conventionnels basent leur photométrie sur le pire scénario possible. Quel que soit la longueur du cycle de nettoyage, les tunnels sont toujours sur-éclairés du début du cycle jusqu'à qu'au jour du prochain nettoyage prévu. Le sur-éclairage est, dans ce cas, nécessaire afin de s'assurer d'avoir un éclairage approprié quand les luminaires sont sales.

La stratégie de maintenance des luminaires utilise le cycle de remplacement des lampes et le cycle de nettoyage des lampes pour réajuster le niveau d'éclairage. Plusieurs variables comme la température, la détérioration des luminaires, l'accumulation de la saleté, le nombre de lampes en défaut et d'autres facteurs influenceront la luminosité. La valeur globale peut varier de 0.3 à 0.65. Le but est de déterminer quel facteur appliquer et quelle stratégie va influencer le niveau d'éclairage. La formule pour calculer le facteur de maintenance (TMF Total Maintenance Factor) est:

$$\text{TMF} = \text{LLD} \times \text{LB} \times \text{LDD} \times \text{EF}$$

Les principales données pour déterminer le TMF sont LLD, LB, LDD, et EF telles que décrites ci-dessous.

- Facteur de dépréciation des lampes (LLD = Lamp Lumen Depreciation or maintenance)
- Durée de vie de la lampe (LB = Lamp Burnout)
- Facteur de dépréciation salissure (LDD =Luminaire Dirt Depreciation). Cette valeur est prise entre les lavages des luminaires.
- Facteur d'équipement (EF = Equipment Factor) qui n'est pas sensible au temps. Il reflète la variation de la ligne de voltage, le ballast et le facteur de lampe et dans certains cas, la température ambiante.

Le facteur le plus influent est le LDD, qui représente presque 50% du TMF et le cycle de maintenance.

La stratégie de maintenance de la luminosité est utilisée en conjonction avec la gradation puisque l'ajustement de la luminosité est plus facile. Avec un ajustement dynamique de la luminosité, le système de contrôle intelligent peut très bien tenir compte du LLD en utilisant la fonction supervision des unités locales qui contrôle le luminaire.

Pour le LDD, des instruments de mesure avec algorithmes doivent être développés pour simuler la détérioration.

L'utilisation d'un illuminancemètre lira la luminosité réelle et le contrôleur ajustera et contrôlera dynamiquement le niveau d'éclairage au fur et à mesure que les luminaires s'encrassent. Une calibration devra être définie de façon à compenser pour la détérioration de la mesure prise par l'appareil.

Le système de contrôle intelligent offre un ajustement dynamique selon le réel encrassement des luminaires, évitant ainsi le sur-éclairage entre les périodes de nettoyage.

3.1.4. Vitesse de circulation

Un des facteurs les plus importants dans l'éclairage des tunnels est la vitesse permise dans chaque tunnel. La photométrie est ainsi calculée par rapport à une vitesse prescrite. En pratique, les designs des routes et des tunnels sont faits en fonction d'une vitesse et d'un flux qui sont inter-reliés. En général, on détermine une vitesse rapide là où un haut flux de circulation est prévu. Comme un déplacement à haute vitesse demande une meilleure visibilité, une luminosité plus intense est nécessaire.

Le tableau 2 de RP-22 donne les niveaux de luminance dans la zone de seuil. Celui-ci donne aussi le niveau de luminance requis dans la zone intérieure. A partir de ce tableau, nous pouvons définir le ratio de réduction de la luminance pour diverses vitesses.

Tableau 2

Ration de réduction de la luminosité selon la variation de la vitesse dans les tunnels [1]

Actual speed (km/h)	Reduction ratio for 100 km/h for threshold	Reduction ratio for 100 km/h for interior zone
80	0.89	0.8
60	0.71	0.6

Cette stratégie de réduction d'énergie est basée sur le flux de la circulation à l'entrée du tunnel, où un capteur enregistre la vitesse de la circulation et la transmet au ILCS qui ajuste le niveau d'éclairage selon celle-ci. Différents types de capteurs tels les systèmes de détection par boucle, les systèmes de gestion intégrée des transports routiers (RTMS), lasers ou autres, peuvent être utilisés et connectés au système de contrôle pour ajuster la luminosité en fonction de la vitesse de la circulation. La courbe CIE est alors ajustée en fonction de la vitesse dans les zones de transition. Un algorithme préprogrammé vérifiera la valeur dans la table et sélectionnera les circuits et luminaires à allumer ou à éteindre.

3.2. Opérations et maintenance

3.2.1. Réduction du cycle de remplacement des lampes

Quel que soit le type de lampes utilisé, le remplacement des lampes est une opération très coûteuse. En raison du coût de la main-d'œuvre, du déplacement d'équipement, de la fermeture de voies et de tunnels, la plupart des opérateurs changeront toutes les lampes du tunnel lorsque les lampes les plus importantes arrivent à leur fin de vie.

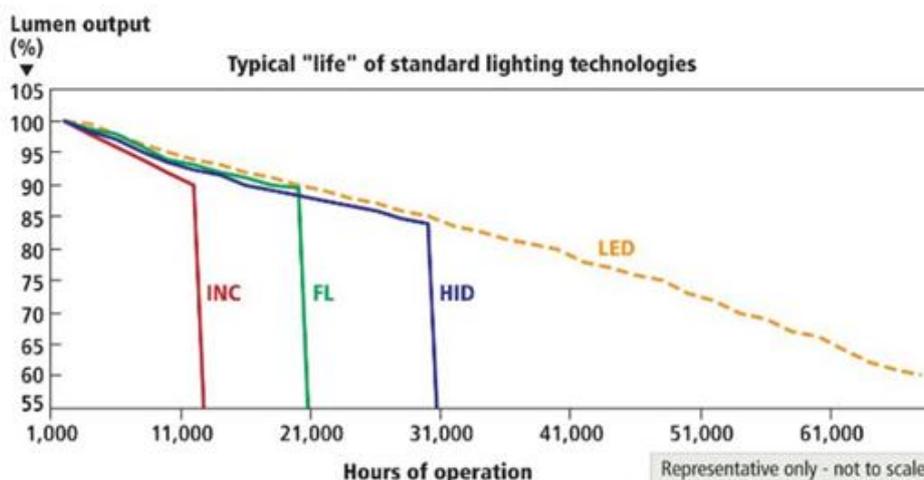


Figure 3

Dégradation de la luminosité et comportement de fin de vie des lampes, incandescentes (INC), fluorescentes (FL), sodium haute pression (HID) et DEL [7].

a) Alternance dynamique des lampes

L'utilisation optimale des luminaires augmente la durée de vie des lampes et donc les frais de remplacement de trois (3) façons :

- Le système qui contrôle individuellement les lampes permet un ajustement dynamique des lampes de façon à réduire le sur-éclairage; ceci est possible grâce à l'augmentation et au changement des régimes d'éclairage seulement lorsque nécessaire.
- Quand le même type de lampe est installé dans les luminaires, l'alternance des lampes d'un régime d'éclairage à l'autre fera en sorte que la durée de vie des lampes les plus souvent allumées sera étendue et que le vieillissement sera plus homogène dans l'ensemble. Quand le remplacement sera nécessaire, les lampes auront un nombre d'heure d'utilisation semblables et maximiseront leur plein potentiel d'utilisation.
- Les micro-logiciels programmés dans les composantes électroniques du système de contrôle intelligent incluent différents délais d'activation (principalement pour les lampes sodium haute pression) qui préserveront leur bon fonctionnement et leur durée de vie.

3.2.2. Réduction des opérations de maintenance

a) Prise de contrôle des lampes en défaut

L'alternation intelligente des lampes dans un système intelligent commande une action de prise automatique de contrôle par une lampe adjacente quand une lampe fait défaut. Une lampe alternative adjacente s'allumera en respectant la photométrie. Une alarme peut quand même être déclenchée, par contre, aucune intervention immédiate ne sera nécessaire.

b) Supervision à distance du statut du système d'éclairage

Que ce soit par l'utilisation intelligente de la communication sur courant porteur pour par paire torsadée, la communication bidirectionnelle offre la possibilité de superviser et faire, à distance, diverses analyses des paramètres électriques du système tels: voltage, facteur de puissance, courant, statut de la lampe, etc.

c) Programme de maintenance préventive

L'accès à distance d'information reliée au statut des lampes et aux différents paramètres est la clé de la production d'un programme de maintenance préventive. Ce genre de programme peut améliorer de façon significative la fiabilité d'un système d'éclairage et ainsi optimiser les ressources matérielles et humaines dédiées à la maintenance.

Différentes alarmes et rapports de maintenance permettront une meilleure planification des interventions nécessaires et le remplacement des équipements selon les besoins réels. De plus, ils aident à réduire les coûts d'immobilisation reliés à des inventaires et d'entreposage non nécessaires.

Avec un accès à ces informations cruciales, l'opérateur peut créer un programme de maintenance préventive qui, avant même d'entrer dans le tunnel, inclue;

- Alarmes (approvisionnement, panne avec ou sans intervention immédiate, etc.)
- Diagnostic de pannes
- Durée de vie restante des lampes
- Liste des équipements à remplacer
- Feuille de route de maintenance
- Etc.

3.2.3. Communication

En contrôlant et supervisant l'éclairage du tunnel de façon efficace, les ILCS fournissent des données digitales aux opérateurs qui peuvent être stratégiques pour l'ensemble des opérations. Le contrôleur principal est généralement équipé d'une interface Web permettant un accès à distance des données mentionnées précédemment. Les informations ainsi disponibles peuvent aussi être accessibles par des systèmes de plus haut niveau comme les Centres de gestion technique centralisée (GTC) ou comme interface homme/ machine (HMI) dédiée.

La HMI peut être rendue disponible localement et/ou à distance. Ce type d'interface inclue la gestion d'accès sécurisé, la configuration du système, une vue d'ensemble du système, une vue de la caméra, etc. De plus, un HMI peut aider les opérateurs à superviser et contrôler le système en temps réel pour des opérations optimales.

3.3. Sécurité

Avec un nombre suffisant de régimes d'éclairage et le changement dynamique de régimes selon les différentes conditions environnementales, les ILCS apportent un éclairage plus précis qui augmente le confort et la vision des conducteurs et, par conséquent, améliore la sécurité dans les tunnels.

4. SOLUTION

L'opération de tunnels dans les pays Nordiques apporte des défis différents d'autres endroits sur la planète. Le choix d'un système de contrôle intelligent peut être la solution pour améliorer la sécurité, sauver de l'énergie et réduire les frais de maintenance.

Les systèmes standards n'ont pas la précision et la flexibilité pour être complètement efficaces dans des conditions hivernales. Les ILCS procurent de la précision d'éclairage tant à l'entrée qu'à l'intérieur des tunnels. Ceux-ci ajustent la luminosité en fonction des conditions très variables en hiver.

La qualité de l'éclairage à l'entrée des tunnels varie plus fréquemment pendant l'hiver puisque celle-ci dépend de la fluctuation de l'accumulation de la neige en conjonction avec la météo qui a un important impact sur la luminosité réelle à l'entrée des tunnels. Un système dynamique ayant un bon nombre de régimes d'éclairage fera en sorte que les conditions visuelles seront conformes aux recommandations pour une sécurité accrue sans toutefois sur-éclairer et consommer de l'énergie qui pourrait être économisée.

Les ILCS offrent aussi différentes fonctions aidant à la maintenance préventive. Un accès à distance du système d'éclairage offrant de l'information stratégique aide au diagnostic des pannes. L'équipe de maintenance peut alors se rendre au tunnel seulement lorsque nécessaire avec le bon équipement pour effectuer la maintenance et les réparations, limitant ainsi les frais de maintenance.

REFERENCES

- [1] IEC-088 – International Commission on Illumination “Guide for the Lighting of Road Tunnels and Underpasses” CIE 088 ISBN 978 3 901906 31 2 2004
- [2] ANSI IES-RP22 - Illuminating Engineering Society - Recommended Practice for Tunnel Lighting ISBN(s):9780879952518, 2012
- [6] Martin, Jean-Claude "Guide pour la maîtrise des coûts de fonctionnement des tunnels routiers - De la Conception à l'exploitation" Centre d'Études des Tunnels (CETU) 2005
Web http://www.cetu.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Guide_Maitrise_des_couts_aout_2005_cle21b418.pdf
- [4] PIARC Technical Committee C.4 Road Tunnel Operation – “Assessing and improving safety in existing road tunnels” PIARC Ref. 2012R20EN ISBN 978-2-84060-284-9 (2012)
- [5] Aleksanteri Ekrias et Aalto University School of Science and Technology
“DEVELOPMENT AND ENHANCEMENT OF ROAD LIGHTING PRINCIPLES » , po. 28-31 (June 2010)
- [6] US Department of Transportation, Federal Highway Administration, Bridge & Structure, Highway & Rail Transit Tunnel Maintenance & Rehabilitation Manual, Chapter 3: Preventive Maintenance, tableau 3.02 (2005)
<http://www.fhwa.dot.gov/bridge/tunnel/maintman03.cfm>
- [7] Richman, Eric "Guide « How TM-21 contributes to the solution » LEDs Magazine 2011“ Web <http://ledsmagazine.com/features/8/11/10>