

Diagnostic photométrique d'une installation d'éclairage en tunnel 2/2

Les collaborations en cours entre le CETU et le CEREMA

Thierry MANUGUERRA
CETU chef du pôle Équipements
Électriques et de Gestion



Plan

- Présentation du CETU
- L'éclairage dans les tunnels
 - Les unités d'éclairage utilisées en tunnel
 - Principes du fonctionnement
 - Évolutions et optimisations pour diminuer les consommations
- Collaboration CEREMA – CETU en éclairage :
 - Métrologie
 - Mesures in situ
 - Aide accompagnement choix de matériel
 - Coluroute



Plan

- Présentation du CETU
- L'éclairage dans les tunnels
 - Les unités d'éclairage utilisées en tunnel
 - Principes du fonctionnement
 - Évolutions et optimisations pour diminuer les consommations
- Collaboration CEREMA – CETU en éclairage :
 - Métrologie
 - Mesures in situ
 - Aide accompagnement choix de matériel
 - Coluroute



Présentation du CETU



- Service technique central créé le 31 déc 1970, en charge des aspects techniques relatifs aux tunnels : conception, construction, entretien, exploitation & sécurité des tunnels
- Regroupe 85 personnes avec spécialistes en génie civil & équipements de tunnels, pour faire évoluer connaissances & outils au profit de maîtres d'ouvrages routiers et en premier lieu la Direction Générale des Infrastructures, des Transports et de la Mer et les Directions Interdépartementales des Routes (DIR)
- Travaille en réseau avec laboratoire de recherche, bureaux d'étude, entreprises & pouvoirs publics au niveau national et international, animation de réseaux d'exploitants État, collectivités & privés
- Publie des documents d'informations & mène actions de recherche



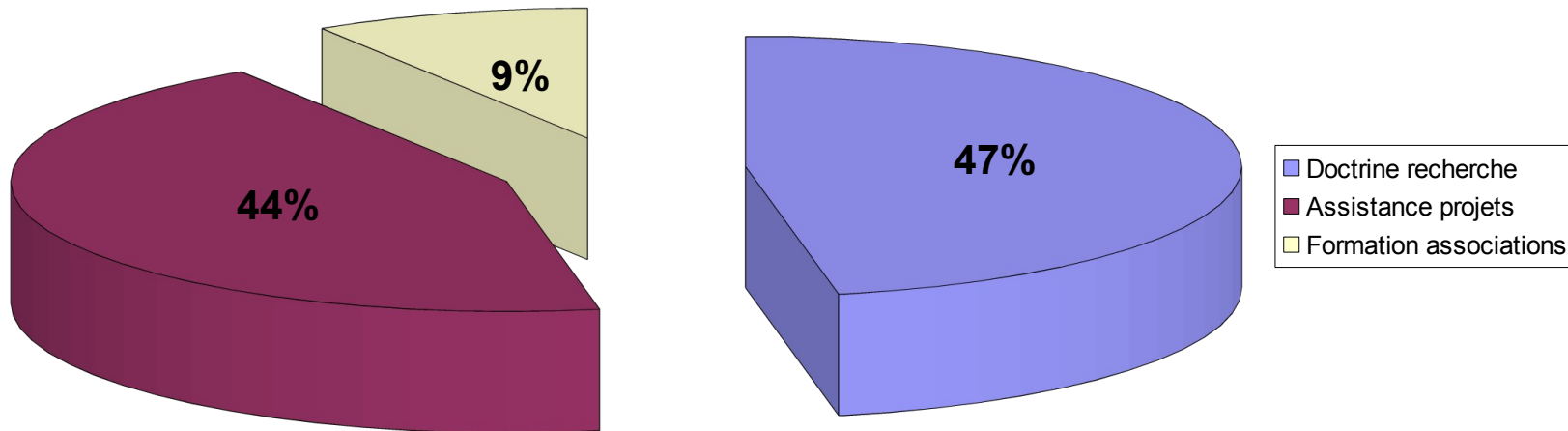
Présentation du CETU

- 3 pôles Génie Civil :
 - Géologie, Géotechnique & Dimensionnement (D. Subrin)
 - Matériaux, Structures & Vie de l'Ouvrage (C. Larive)
 - Procédés de Construction, Marchés & Exécution (F. Robert)
- 4 pôles Équipements :
 - Sécurité (MN. Marsault)
 - Ventilation & Environnement (JF. Burkhart)
 - Exploitation (H. Mongeot)
 - Équipements Électriques et de Gestion (T. Manuguerra)



Présentation du CETU

- L'activité du CETU :



Plan

- Présentation du CETU
- L'éclairage dans les tunnels
 - Les unités d'éclairage utilisées en tunnel
 - Principes du fonctionnement
 - Évolutions et optimisations pour diminuer les consommations
- Collaboration CEREMA – CETU en éclairage :
 - Métrologie
 - Mesures in situ
 - Aide accompagnement choix de matériel
 - Coluroute

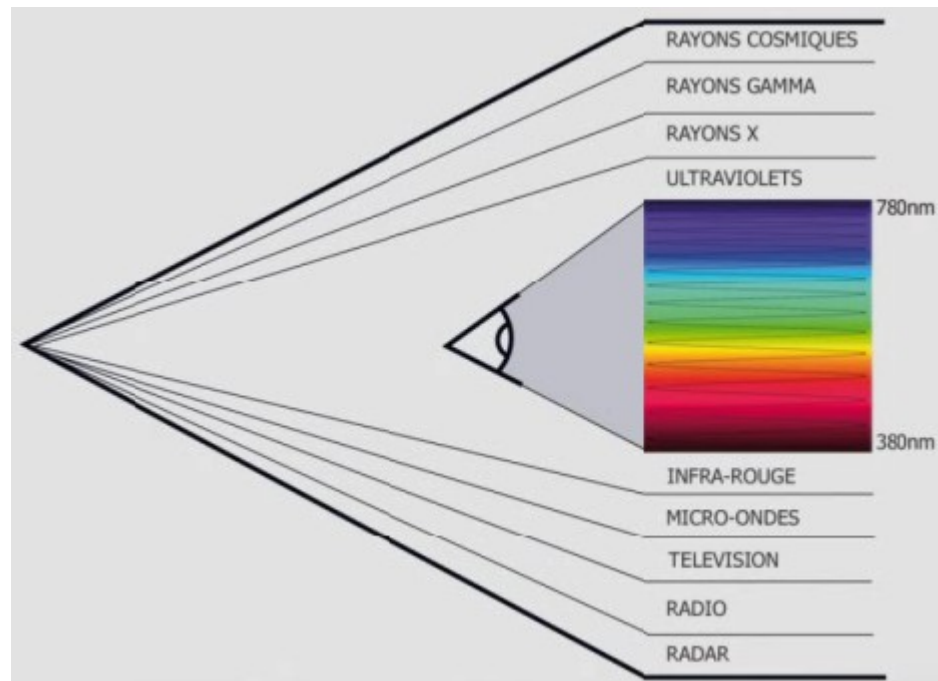


L'éclairage dans les tunnels

- Les unités d'éclairage utilisées en tunnel

le spectre de la lumière

extrait formation AFE



L'éclairage dans les tunnels

- Les unités d'éclairage utilisées en tunnel :

extrait formation AFE



le flux lumineux (lumen)

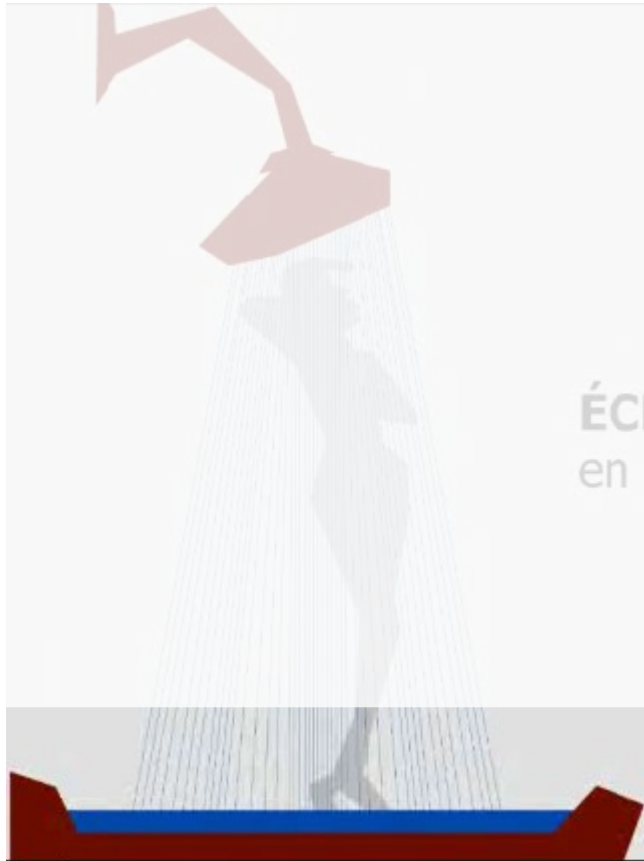
puissance énergétique du rayonnement
pondérée par la sensibilité de l'œil



L'éclairage dans les tunnels

- Les unités d'éclairage utilisées en tunnel

extrait formation AFE



l'éclairement ($\text{lux} = \text{lumen/m}^2$)

densité du flux lumineux
qui arrive sur une surface



L'éclairage dans les tunnels

- Les unités d'éclairage utilisées en tunnel

luminance (candela/m²)

- **Intensité lumineuse** (candela = lumen/stéradian)
densité de flux lumineux qui est émis dans une direction
- **Luminance** (candela/m²)
densité surfacique de l'intensité lumineuse émise par une surface



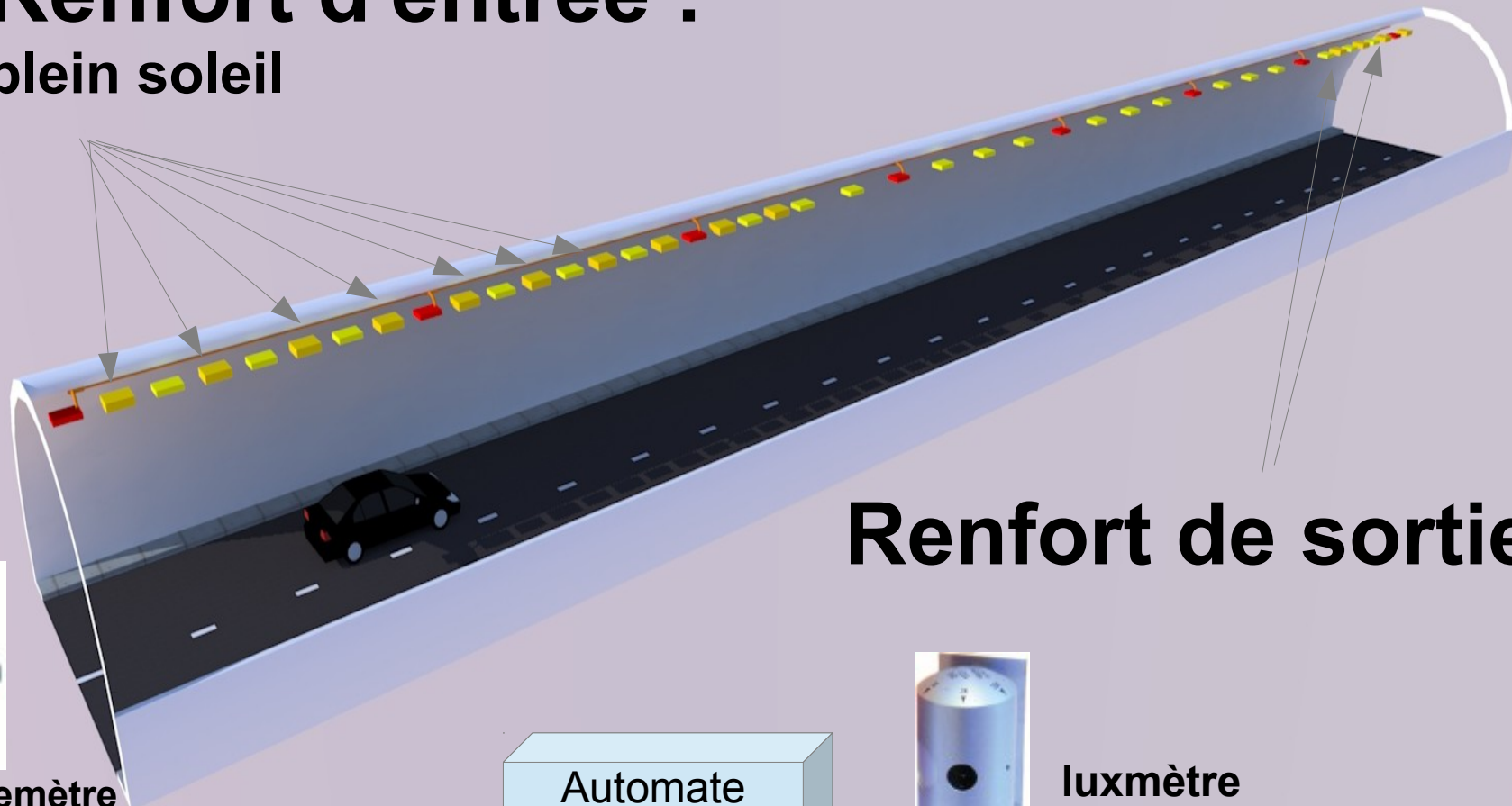
Plan

- Présentation du CETU
- L'éclairage dans les tunnels
 - Les unités d'éclairage utilisées en tunnel
 - Principes du fonctionnement
 - Évolutions et optimisations pour diminuer les consommations
- Collaboration CEREMA – CETU en éclairage :
 - Métrologie
 - Mesures in situ
 - Aide accompagnement choix de matériel
 - Coluroute



Principes

Renfort d'entrée :
plein soleil

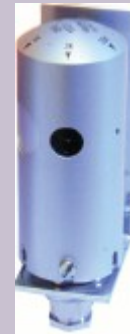


Renfort de sortie



Luminancemètre
situé à la distance d'arrêt

Automate
avec fonction
horloge
astronomique



luxmètre

Principes Film

Pour détecter des obstacles éventuels sur la chaussée, le calcul du renfort d'entrée tient compte :

- **du temps nécessaire à l'œil pour s'adapter** à une chute de luminance (adaptation temporelle)
- **de l'éblouissement** vision centrale sombre, avec vision périphérique très éclairée (adaptation spatiale)

Les deux phénomènes agissent simultanément



Principes

Calcul du besoin en luminance

Calcul en fonction des caractéristiques géométriques du tunnel, de son exposition, de la chaussée...:

- méthodes CIE (Commission Internationale de l'Éclairage)
- méthode CETU : logiciel éclair - tunnel
 - calcul du besoin en luminance
 - pré-dimensionnement des luminaires



Le logiciel Éclair-tunnel du CETU permet de dimensionner simplement une installation d'éclairage et caler le luminancemètre en fonction de la lumière extérieure, de la vitesse...

Logiciel Eclair-tunnel



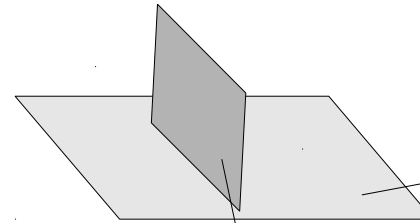
Principes

Les systèmes d'éclairage en tunnel

flux symétrique



→
sens de déplacement
du conducteur



obstacle

chaussée

distribution
du flux
d'un luminaire



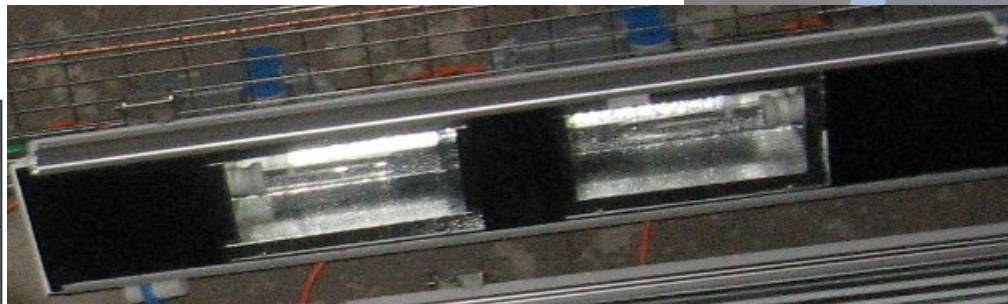
- tubes bidirectionnels - éclairage de renfort
- éclairage de section courante



Sodium haute pression

Led (flux dirigé possible)

Tubes fluorescents



COTITA
QUEST

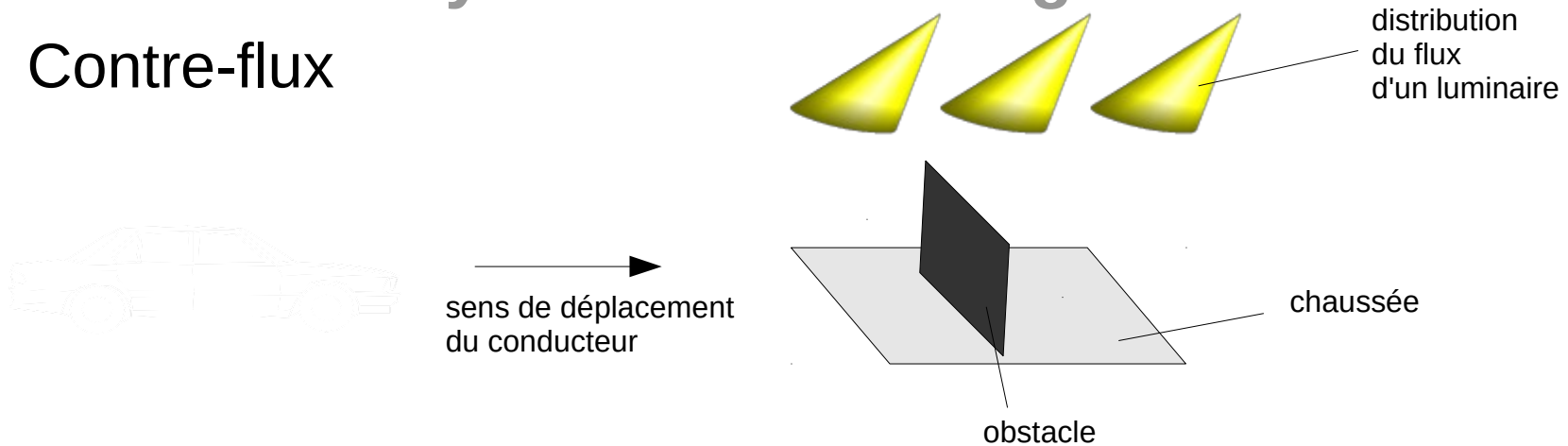
Cerema

CETU

Principes

Les systèmes d'éclairage en tunnel

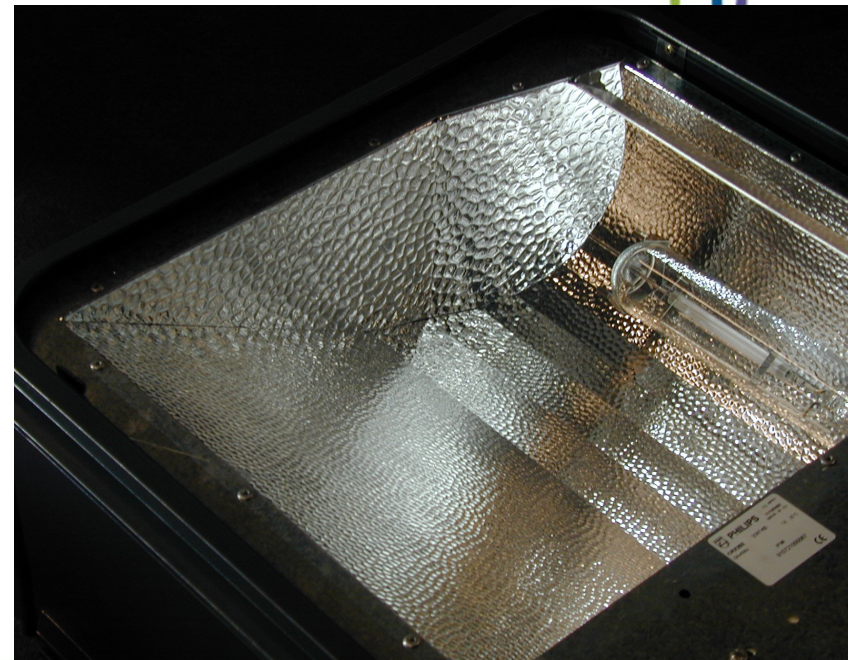
Contre-flux



tubes unidirectionnels - éclairage de renfort

+ augmentation :
du **paramètre de qualité de contraste** q_c
et du **coefficient de clarté** c
=> **diminution puissance électrique installée**
de l'ordre de 30 %

Sodium haute pression



Principes

Les systèmes d'éclairage en tunnel

Coefficient de clarté c

■ $c = \pi \times E / L$ avec :

E : éclairement moyen produit par une installation

L : luminance moyenne de la chaussée dans direction vue par l'automobiliste

c est constant pour une chaussée et un type d'éclairage :

	Système symétrique	Système contre flux
Chaussée sombre	C = 0,10	C = 0,16
Chaussée claire : granulats clairs	C = 0,18	C = 0,22
Chaussée très claire : granulats & liant clairs	C = 0,31	C = 0,35

Influence de la clarté du revêtement :

- Le besoin en éclairement varie de plus du double suivant le type de chaussée
- Le niveau d'éclairement varie de 20 à 30 % entre symétrique et contre flux à niveau de luminance identique

Plan

- Présentation du CETU
- L'éclairage dans les tunnels :
 - Les unités d'éclairage utilisées en tunnel
 - Principes du fonctionnement
 - Évolutions et optimisations pour diminuer les consommations
- Collaboration CEREMA – CETU en éclairage :
 - Métrologie
 - Mesures in situ
 - Aide accompagnement choix de matériel
 - Coluroute



Évolutions et optimisations pour diminuer la consommation

Pistes pour optimiser l'éclairage :

- entretien / vérification installation
- variation continue
- influence de la vitesse
- espacement variable
- chaussée claire
- les LED en tunnel ?
- combiner le meilleur de chaque technologie ?



Vérification installation éclairage

Retour expérience inspections détaillées tunnels met en évidence dysfonctionnements récurrents :

- Vérifier fonctionnement commande éclairage de renfort
- Vérifier fonctionnement et direction du luminancemètre
- Recalcul seuil luminancemètre passage jour couvert / plein soleil (cf éclair-tunnel)
- Vérifier fonctionnement de l'interrupteur crépusculaire (luxmètre)



Luminancemètre



Luxmètre



Optimisations : variation continue

Pour le renfort d'entrée 2 niveaux :

- plein soleil : toutes les luminaires sont allumés
- jour couvert : la moitié des luminaires est allumé

→ Mais dès dépassement du seuil jour couvert on allume tout !



Optimiser en faisant varier le niveau

- de 20 à 100% en fonction de la lumière extérieure
- en cas de ralentissement des véhicules

La variation continue de l'éclairage d'entrée permet

- jusqu'à -6% de puissance installée
- jusqu'à -20% de consommation d'énergie



Optimisations : variation continue

- Pour le tunnel de Fontain
- ple
- jo

Expérimentation Dir Est Tunnel de Fontain



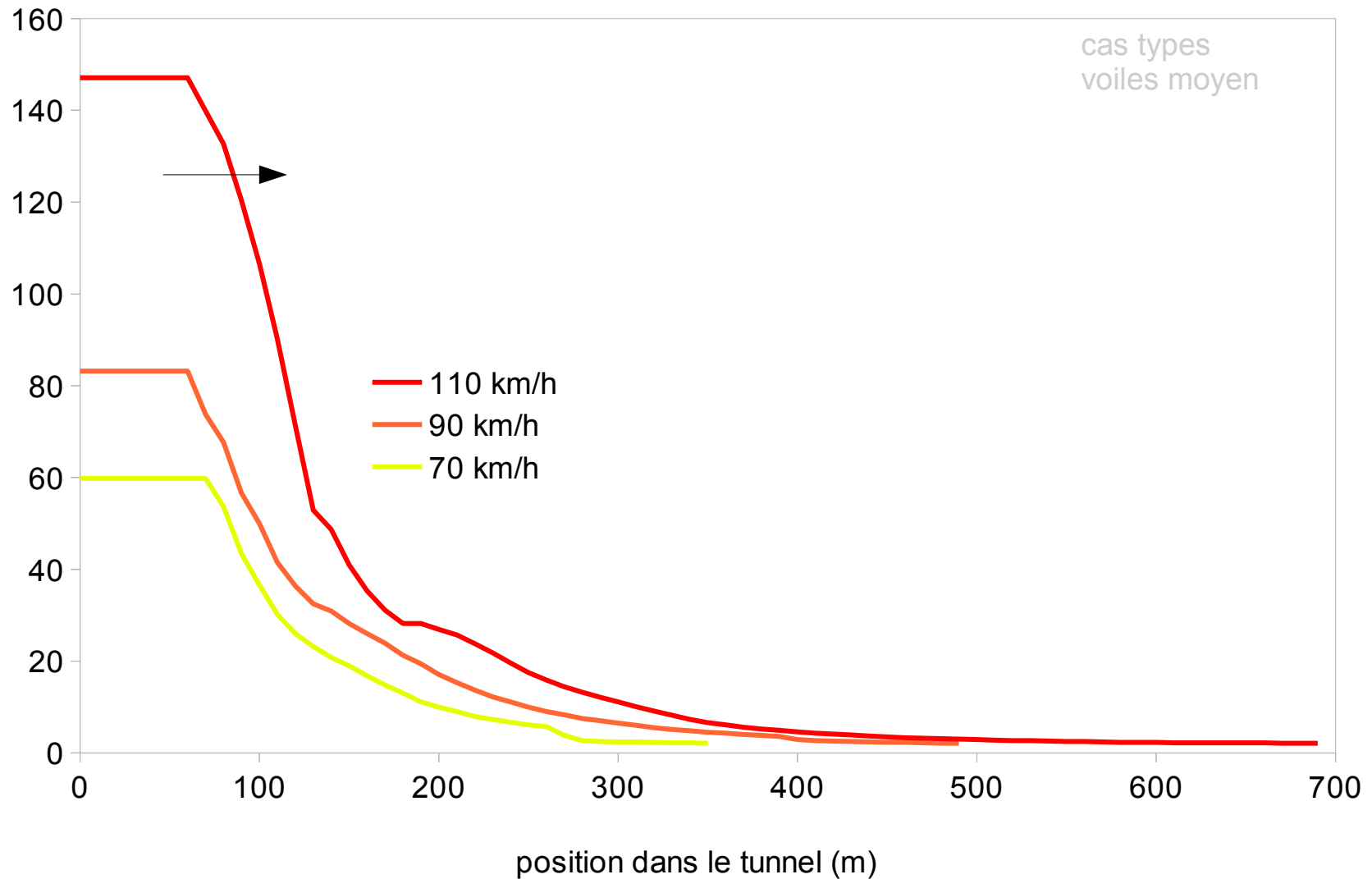
La variation continue de l'écoulement à l'entrée permet

- jusqu'à -6% de puissance installée
- jusqu'à -20% de consommation d'énergie



Influence de la vitesse

luminance de la chaussée (cd/m²)



Influence de la vitesse

Luminance de la chaussée (cd/m²)

160

140

→ Expérimentation
ville de Paris / Evesa
TC de la porte de Vanves

40

20

0

0

100

200

300

400

500

600

700

position dans le tunnel (m)

Optimisations : espacement variable

éclairage (lux)

3000

2500

2000

1500

1000

500

0

0

100

200

300

400

500

600

position dans le tunnel (m)



lb01p025 www.fotosearch.fr

L'espacement variable permet jusqu'à moins 20% d'énergie installée de utilisée pour les installations
méthode classique : paliers

espacement variable

jusqu'à moins 20%

de utilisée pour les installations

de utilisée pour les installations

de utilisée pour les installations

de utilisée pour les installations

COTITA
QUEST

Optimisations : espacement variable

éclairage (lux)

3000

2500

→ Tunnel de la Croix Rousse et tous les nouveaux tunnels

500

0

0

100

200

300

400

500

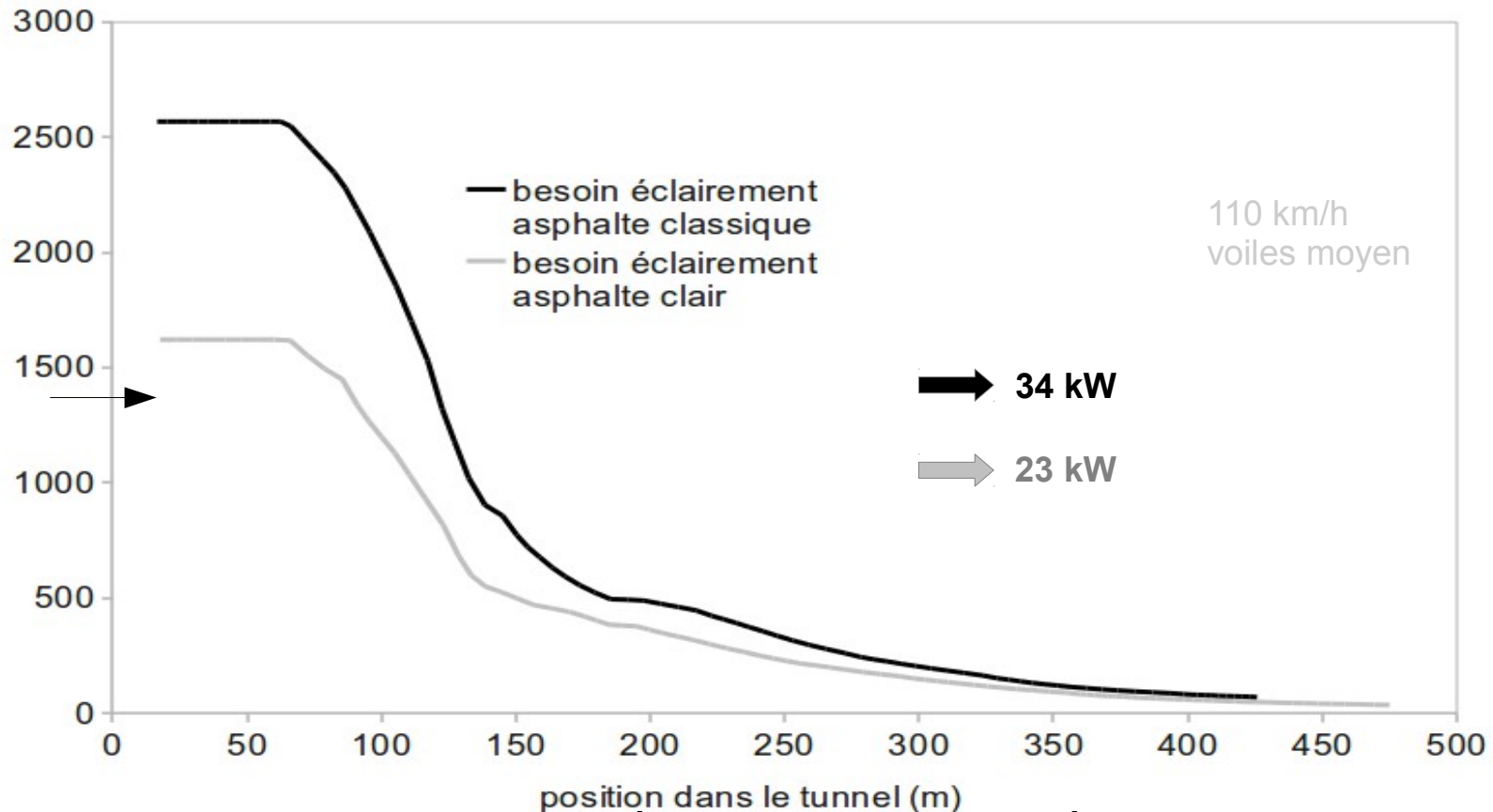
600

position dans le tunnel (m)

COTITA
QUEST

Optimisations : chaussée claire

éclairage de la chaussée (lux)



Mettre en place une chaussée claire permet en théorie :

- jusqu'à -40% de puissance installée
- jusqu'à -40% de consommation d'énergie
- ... mais surcoût à la mise en œuvre



Optimisations : chaussée claire

éclairage de la chaussée (lux)

3000

2500

2000

1500

=> tunnels de Sinard (Area) (béton),
Escota, A86 duplex, Toulon (chaussée claire)
Croix Rousse (Lyon) (chaussée hydro-décapée)...

Mettre

- jusqu'à -40% de puissance
- jusqu'à -40% de consommation d'énergie
- ... mais surcoût à la mise en œuvre

500



ib01p025 www.fotosearch.fr

et les LED en tunnel ?

Meilleur facteur d'utilisation du flux

En tunnel, en section courante, les LED ont déjà été installées mais :

- uniformités insuffisantes pour certaines installations
- consommation équivalente entre LED à 4 000 K et tubes fluo
- durée de vie source presque comparable aux tubes fluo
- point de vigilance sur l'éblouissement
- durée de vie lumineuse LED inférieure à lumineuse classique

En tunnel en section de renfort, la variation continue des LED est performante mais :

- coût plus élevé que sodium haute pression
- besoin de grosse puissance



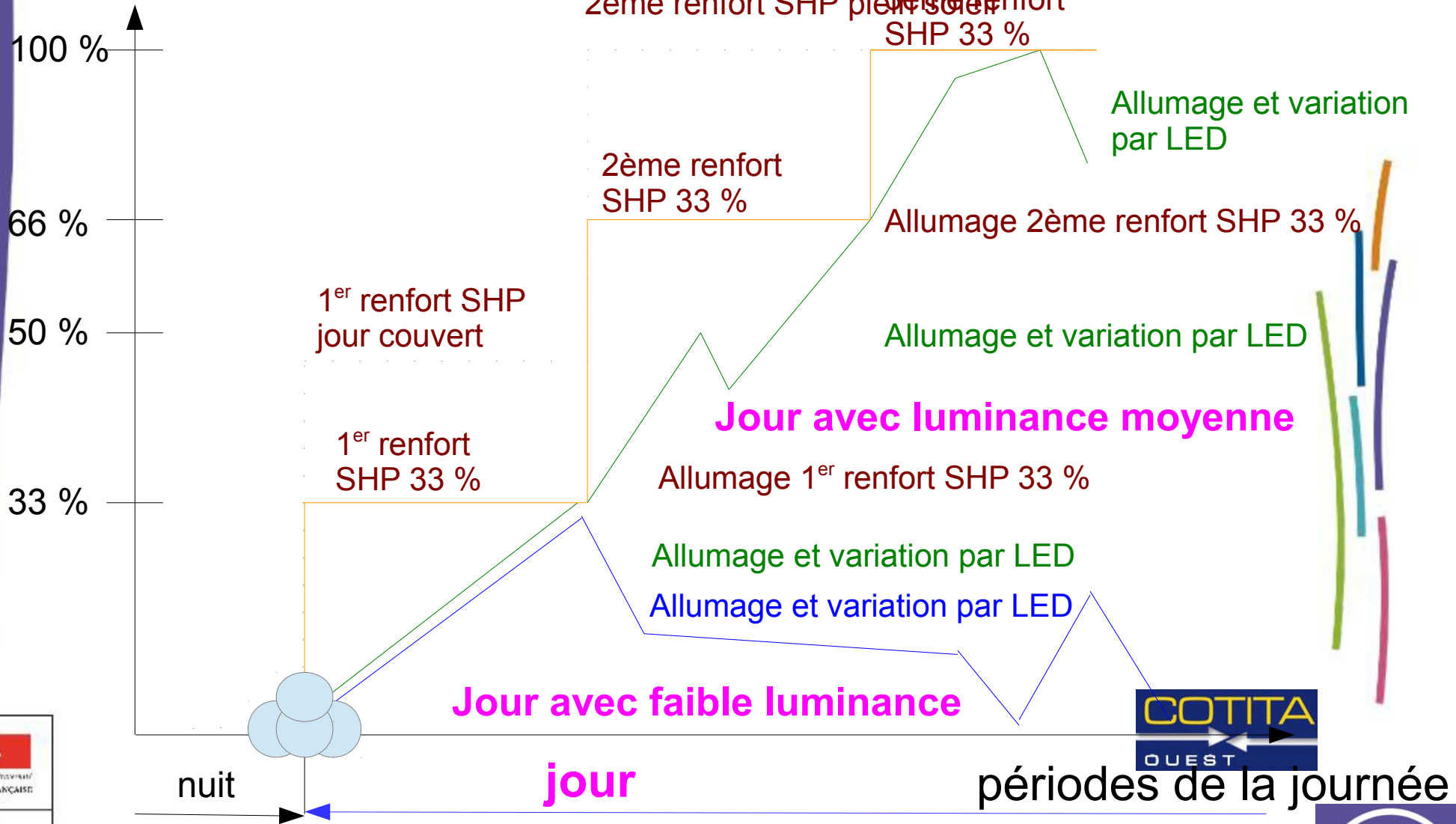


Optimiser les régimes et les sources en combinant le meilleur de chaque technologie ?

6

du temps : **Renfort hybride SHP-LED** / **Éclairage de renfort**
Régimes classiques jour couvert / plein soleil
3 régimes de renfort au lieu de 2

éclairage



Plan

- Présentation du CETU
- L'éclairage dans les tunnels
 - Les unités d'éclairage utilisées en tunnel
 - Principes du fonctionnement
 - Évolutions et optimisations pour diminuer les consommations
- Collaboration CEREMA – CETU en éclairage :
 - Métrologie
 - Mesures in situ
 - Aide accompagnement choix de matériel
 - Coluroute



Collaboration CEREMA – CETU en éclairage :



Métrologie (CEREMA Dter Centre Est Lyon)

- Analyse de notre méthodologie de mesure de luminance et éclairement
- Propositions d'adaptation de notre matériel et de ses équipements
- Aide au choix achat photo-luminancemètre



Collaboration CEREMA – CETU en éclairage :

Mesures in situ (CEREMA Dter Normandie et Dter Ouest)

- Comparaison méthodes de mesures et détermination / validation coefficient de clarté de la chaussée : tunnel de Toulon tubes nord & sud (chaussée claire)
 - Veclap : mesures en continu éclairement niveau uniformité
 - Cyclope : mesures en continu luminance niveau uniformité
- Vérification / réception niveaux luminance avec Cyclope de l'éclairage des deux couvertures autoroutières de l'autoroute A10 - passage inférieur LGV Tours Bordeaux



Collaboration CEREMA – CETU en éclairage :

Acquisition par CETU d'un photo-luminancemètre (CEREMA Dter Ouest / Cecp Angers)

- Aide à l'analyse du besoin et au choix du matériel
- En cours :
 - Assistance prise en main et définition protocole de mesure
 - Essais comparatifs
- A venir :
 - Développements de mesures d'éblouissement (lien avec sources LED)



Collaboration CEREMA – CETU en éclairage :



- Coluroute : mesures photométrie revêtements de chaussées extérieures et détermination coefficient de clarté chaussée en tunnel (CEREMA D tech Territoire Ville – D ter Est – D ter ouest / Cecp Angers)
 - Mesures in situ tunnels / comparaison avec mesures CETU :
 - Tunnel de Croix Rousse (Grand Lyon), comparaison clarté échantillons chaussées claire - classique - grenillée – hydrodécapée
 - Tunnel des Monts (DIR Centre Est – Chambéry)
 - Tunnels de Toulon tube Nord et Sud (DIR Méditerranée) chaussée claire
 - Tunnels de Fontain et Bois de Peu (DIR Est - Besançon)
 - Développement Coluroute 2
 - Participation du CETU au groupe de pilotage, définition des besoins en tunnels et cofinancement CETU
 - Études pour définition de corrélation entre mesures coefficient de clarté et Coluroute



Merci

- **Coordonnées :**

Thierry MANUGUERRA - chef du pôle Équipements Électriques et de Gestion
courriel : thierry.manuguerra@developpement-durable.gouv.fr

- **Site internet :**



<http://www.cetu.developpement-durable.gouv.fr/>

