

afe
Echangeons la lumière



ECLAIRAGE ET SECURITE ROUTIERE

La conduite automobile de nuit avec et sans éclairage public

Christian REMANDE, expert AFE - Lumiville - 26 mai 2009

Principes fondamentaux

La lumière → La vue → La vision

Spectre visible	L'oeil	Interprétation du cerveau
<ul style="list-style-type: none"> Quantité Éclairement (lux) Luminance (candelas/m²) Qualité Couleur - uniformité Non éblouissement 	<ul style="list-style-type: none"> Le contraste au seuil de visibilité L'acuité visuelle Fonction niveau luminance Fonction âge Sensibilité au contraste Fonction niveau luminance Fonction âge 	<ul style="list-style-type: none"> Éducation Appréciation des distances Appréciation des obstacles

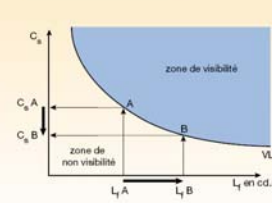
afe

Principes fondamentaux

Concepts de l'éclairage public

Visibilité

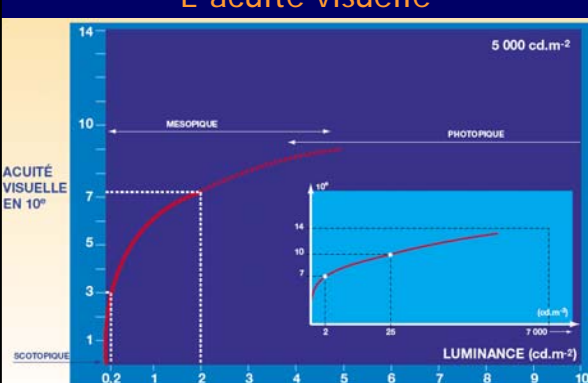
- contraste au seuil
- niveau de visibilité

$$C = \frac{L_o - L_f}{L_f}$$


Contraste négatif, Contraste nul, Contraste positif

afe

L'acuité visuelle



ACUITE VISUELLE EN 10°

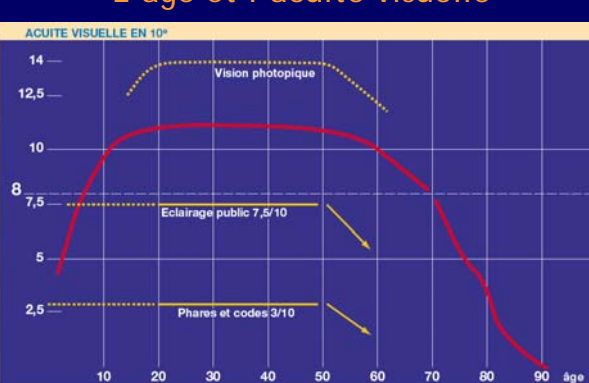
MESOPIQUE, PHOTOPIQUE, SCOTOPIQUE

LUMINANCE (cd.m⁻²)

L'acuité visuelle varie en fonction de la luminance

afe

L'âge et l'acuité visuelle



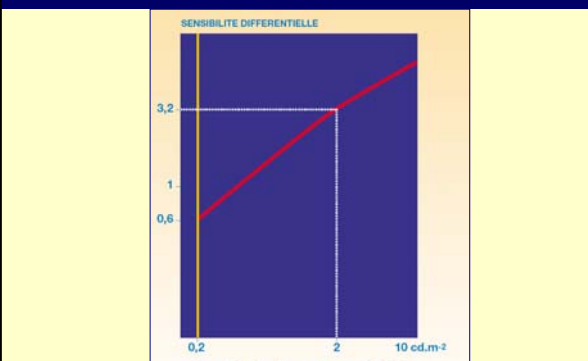
ACUITE VISUELLE EN 10°

âge

L'acuité visuelle varie en fonction de l'âge

afe

Le contraste

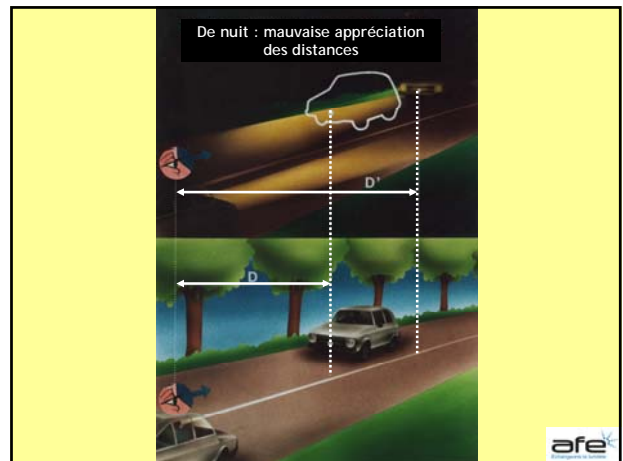
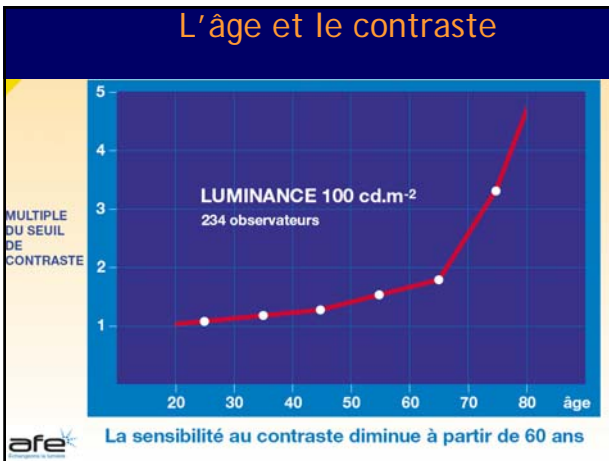


SENSIBILITE DIFFERENTIELLE

LUMINANCE (cd.m⁻²)

Quand la luminance passe de 0,2 à 2 cd.m⁻² la sensibilité différentielle est multipliée par 5,2

afe

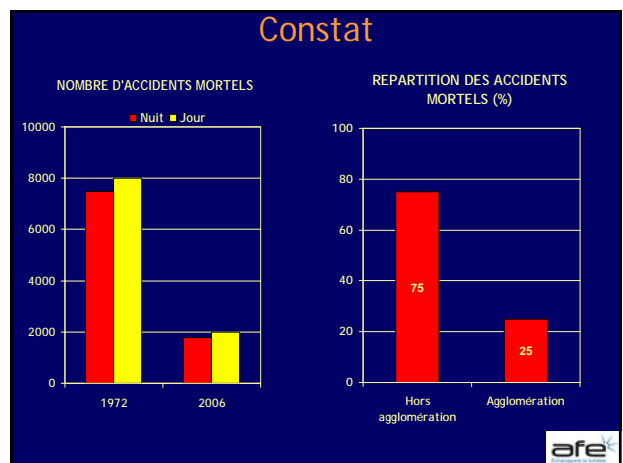
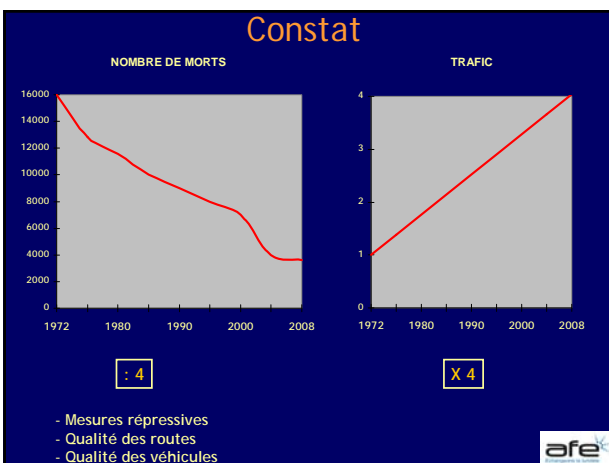


Éclairage, sécurité routière

Et Développement Durable

- Exigence de sécurité
 - Voir et être vu
 - Hypovigilance
 - Micro sommeil
- Exigence de qualité de vie
 - Fatigue - stress
 - Charge pondérale
- Exigence de développement économique
 - Transports - T. collectifs
 - Commerce
 - Tourisme
 - Déplacements d'urgence
 - Police - Pompier - Samu
- Exigence de protection de l'environnement
 - Optimisation énergétique
 - Réduction des nuisances

Logo: afe



Énergie

- Production française d'électricité 550 TWh
 - Consommation totale éclairage extérieur
 - 5,5 TWh
 - 1 %
 - 1972
 - 2005
 - 38 % du coût de l'électricité des communes
- Aucune inflation des consommations**
- Perspectives → 20 à 40 % d'économies d'énergie



L'éclairage routier

Une contribution significative à la réduction des accidents ?

Points de vue

- De l'administration
 - nous ne l'avons pas démontré
 - quelques statistiques affirment le contraire
 - l'éclairage favorise l'augmentation de la vitesse
 - représente une fausse impression de sécurité
 - coûte cher (!!)
- De l'AFE et de ses partenaires (EDF et SE)
 - il fallait réaliser une étude de grande envergure avec des spécialistes :
 - . ne se baser que sur des expérimentations objectives, significatives
 - . confier l'analyse et les conclusions à un organisme réputé, reconnu de tous comme le CNRS et le Centre de Physiologie appliquée de Strasbourg



Choix des moyens

- ① Expérimentation en site réel : **impossible**
 - situations accidentogènes provoquées
 - aucune situations reproductibles
 - épreuve test de longue durée (nombre de sujet de tout âge)
 - différentiation des paramètre accidentogènes
 - ② Expérimentation sur simulateur de conduite : **Seule possible**
 - aucun risque
 - élimination des paramètres au profit d'un seul à la fois
 - nombre - âge - sexe des sujets sans problème
 - expérimentation poussée jusqu'à l'accident constaté
- ③ Objectif : Mesurer la différence de comportement avec et sans éclairage sur des bases identiques reproductibles



Réalisme des situations

Poste d'Analyse de la Vigilance en Conduite Automobile Simulée (P.A.V.C.A.S)



- Véhicule
- Panorama
- Vitesse
- Mouvement



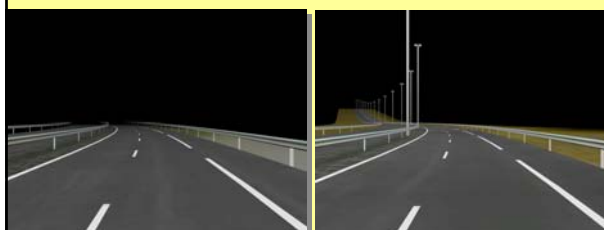
Conditions de conduite

- Aucune contrainte de conduite imposée au conducteur (code de la route)
- Utilisation des feux de croisement
- Circuit autoroutier (risque minimum) 2 X 2 voies et TPC
- Longueur 50 km - 21 courbes droites et gauches - rayons variables - 4 dénivelés
- Opacité totale sans éclairage à 150 m sauf feux et signalisation
- Bas côtés visibles
 - sans éclairage 5 m
 - avec éclairage 30 m
- Zones critiques : en hiver - sorties parking - poids lourds - voiture en panne sur la BAU - piétons - travaux en courbes - en descente - doublement
- Pas d'éblouissement (abords - véhicule en sens inverse)



Les évènements de la route

Vue d'un tronçon autoroutier



Sans éclairage

Avec éclairage





La recherche a été effectuée en trois étapes

1^{ère} étape :
«Éclair 98» : évaluation des différences de comportement de conduite en fonction de l'éclairage ambiant (avec ou sans éclairage routier) ;

2^{ème} étape :
«Éclair 99» Évolution de l'état de vigilance du conducteur lors d'une épreuve de conduite prolongée (avec ou sans éclairage routier) ;

3^{ème} étape :
«Éclair 2002» Influence de l'alternance entre zones éclairées et non éclairées sur la vigilance du conducteur.

Éclair 98

- Vingt-six sujets des deux sexes, dont 14 jeunes conducteurs (25 - 40 ans) et 12 conducteurs âgés (60 - 75 ans).
- Conduite en soirée (21 h à 23 h).
- Deux épreuves de deux heures de conduite à huit jours d'intervalle.
- Deux conditions d'éclairage lors de chaque épreuve (éclairé - non éclairé puis non éclairé - éclairé).

Les mesures effectuées lors d'Éclair 98

- ➔ **Performances de conduite**
 - Performances globales :*
vitesse moyenne, position latérale moyenne et écart-type;
 - Performances dans les zones critiques :*
distance de réaction, modification de la vitesse, amplitude du déport, distance inter-véhicules;
- ➔ **Evaluations subjectives**
- ➔ **Mesures physiologiques**

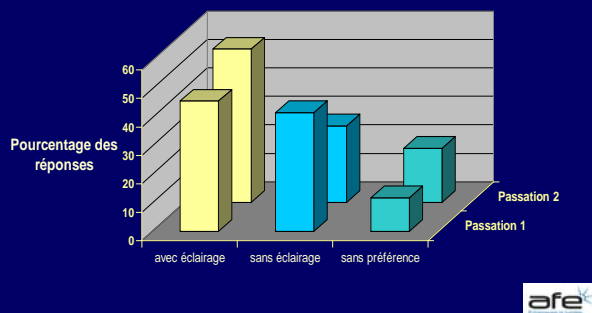
Éclair 98

- **Les mesures subjectives**
L'évaluation subjective des paramètres concernant l'épreuve de conduite est réalisée à l'aide d'un questionnaire élaboré en laboratoire.
A la fin de chaque séance de conduite, les sujets donnent une note estimée de difficulté des zones critiques.
- **Les mesures physiologiques comprennent :**
les mesures d'électro-encéphalogramme, les mesures d'électro-oculogramme, les mesures d'électrocardiogramme.
Ces mesures seront surtout analysées lors des expériences II et III pour exprimer le niveau de vigilance physiologique des conducteurs.



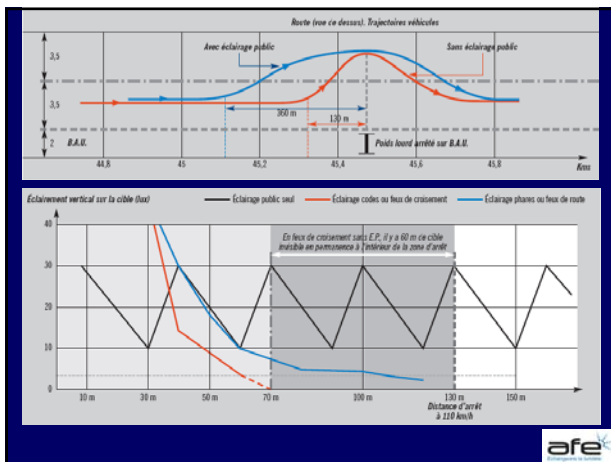
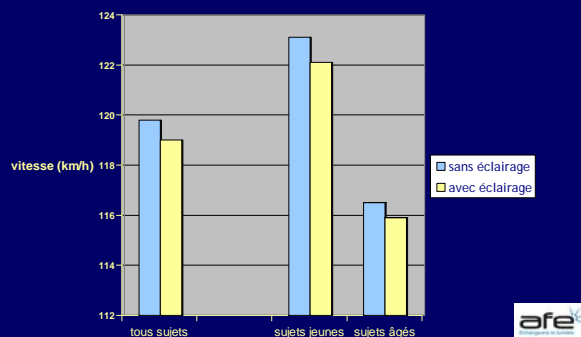
Éclair 98

Dans quelle condition pensez-vous avoir le mieux conduit ?



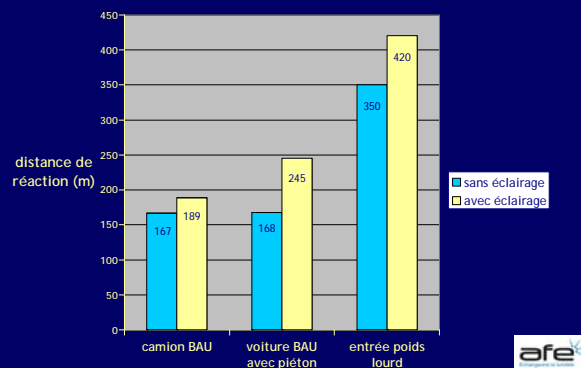
Éclair 98

Vitesse moyenne de conduite



Éclair 98

Distance de réaction sur le déport



2^{ème} étape : Éclair 99

- Cinquante sujets masculins, dont
 - 21 jeunes conducteurs (20 - 30 ans),
 - 13 conducteurs d'âge moyen (40 - 50 ans) et
 - 16 conducteurs âgés (60 - 70 ans).

Éclair 99

- Parcours en pleine nuit d'une distance de 300 Km, sans arrêt.
- Objectif :
 - Comparer les performances de conduite avec celles obtenues sur un parcours de courte durée.
- Analyse des phénomènes d'hypovigilance.

Les mesures effectuées lors d'Éclair 99

➔ Performances de conduite

Performances globales :

vitesse moyenne, position latérale moyenne et écart-type;

Performances dans les zones critiques :

distance de réaction, modification de la vitesse, amplitude du déport, distance inter-véhicules;

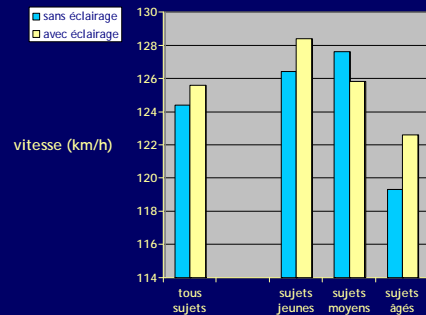
➔ Evaluations subjectives

➔ Mesures physiologiques



Éclair 99

Vitesse moyenne de conduite



Analyse de l'hypovigilance

- ➔ Repose sur l'analyse du spectre de puissance d'activités Electro-encéphalographiques reflétant les changements du niveau général d'éveil.
- ➔ Calcul du spectre moyen pour chaque tour de circuit (50 km, soit 25 mn environ).
- ➔ Expression des résultats pour les bandes EEG : thêta (4 à 7,5 Hz), alpha (8 à 12 Hz), beta (12,5 à 25 Hz) et leurs subdivisions.



Mesures physiologiques

Electroencéphalogramme

Mesure des puissances spectrales sur une longue durée

Niveau de vigilance

Bande θ (thêta) $\left\{ \begin{array}{l} \theta_1 \quad 4 \text{ à } 6 \text{ Hg} \\ \theta_2 \quad 6 \text{ à } 8 \text{ Hg} \end{array} \right. \rightarrow \text{Somnolence}$

Bande α (alpha) $\left\{ \begin{array}{l} \alpha_1 \quad 8 \text{ à } 10 \text{ Hg} \\ \alpha_2 \quad 10 \text{ à } 12 \text{ Hg} \end{array} \right. \rightarrow \text{Relaxation}$
 $\rightarrow \text{Hypo éveil}$

Bande β (bêta) $\left\{ \begin{array}{l} \beta \quad 12 \text{ à } 25 \text{ Hg} \end{array} \right. \rightarrow \text{Éveil}$ Vigilance ↗
Somnolence ↘

Si θ ↗ \rightarrow Somnolence \rightarrow Micro sommeil
 Si α ↗

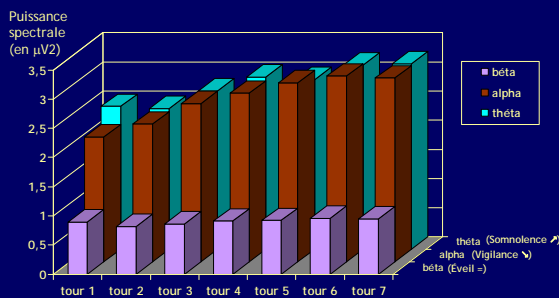
Rapport significatifs : $\frac{\alpha + \theta}{\beta}$ ↗ Perte de vigilance

$\frac{\theta_1}{\theta_2}$ et $\frac{\alpha_1}{\alpha_2}$ et $\frac{\theta}{\alpha}$ Part de la somnolence



Éclair 99

Évolution des activités EEG en fonction de la durée de la conduite



Conclusion 2^{ème} étape

Sur la base des résultats acquis au cours des 2 premières expériences, l'éclairage public :

- n'augmente pas la vitesse moyenne des conducteurs, quel que soit leur âge et leur sexe,
- favorise la possibilité du choix de la trajectoire par le pilote,
- génère une anticipation de réactions aux événements de la route,
- est plébiscité par la majorité des conducteurs,
- neutralise l'hypovigilance durant la première heure de conduite,
- n'a pas d'effet bénéfique sur l'hypovigilance après 1 à 2 heures de conduite

Incident critique du 7^{ème} tour

	Bonne anticipation	Accident
Non éclairé	4 conducteurs	4 conducteurs
Éclairé	10 conducteurs	2 conducteurs

De façon imprévisible, au cours du 7^{ème} et dernier tour de circuit, le conducteur voit surgir un poids lourd débordant d'une voie d'insertion et empiétant sur la voie de circulation, d'où l'obligation, pour l'automobiliste, d'effectuer un freinage maximum en urgence.



3^{ème} étape : Éclair 2002

- Seize sujets des deux sexes dont l'âge était compris entre 21 et 30 ans ;
- Deux épreuves de 300 km réalisées à huit jours d'intervalle ;
- Conduite de nuit (de minuit à 2 h 30 du matin environ) ;
- Deux alternances d'éclairage routier ambiant.

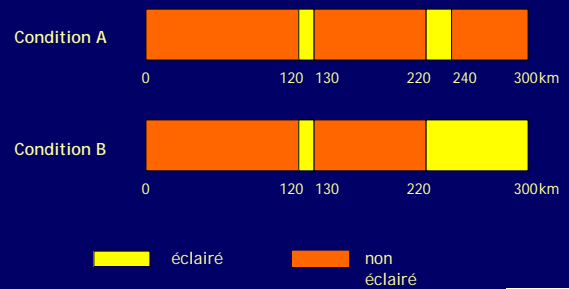


Détermination du Score d'hypovigilance

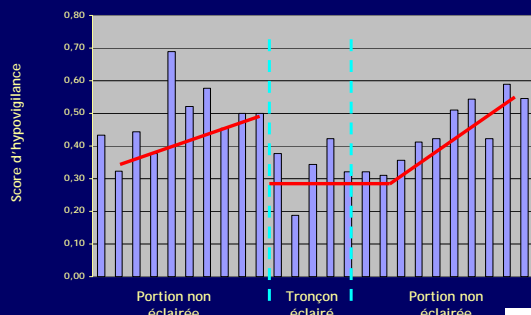
Le score d'hypovigilance a été déterminé pour chaque période de 20 secondes, à partir des tracés électro-encéphalographiques et électro-oculographiques enregistrés pendant toute la durée de la conduite



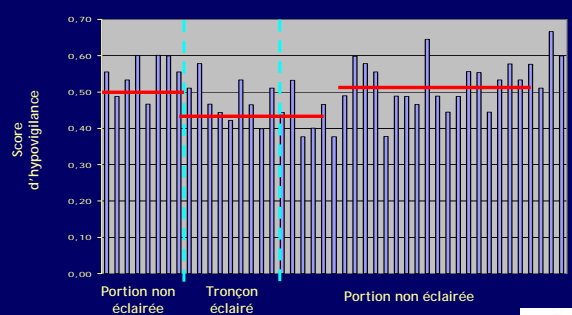
Éclair 2002 Conditions d'éclairage ambiant

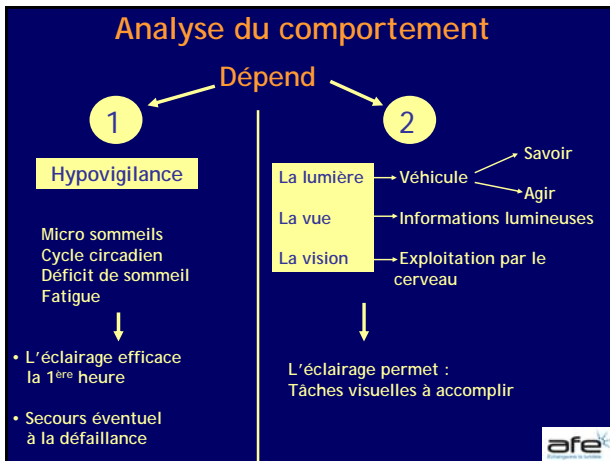



Évolution du score d'hypovigilance lors du premier tronçon éclairé (score moyenné par minute, ensemble des sujets)




Évolution du score d'hypovigilance lors du second tronçon éclairé (score moyenné par minute, configuration A)





- ## Conclusions
1. Pas d'augmentation de la vitesse mesurée (indépendamment de l'âge et de la durée du parcours)
 2. Comportement d'anticipation aux événements accentués chez les plus âgés
 3. Meilleures performances de conduite pilotage - vision lointaine - à tout âge
 4. Mise en évidence de l'importance des mesures physiologiques à tout âge
 5. Amélioration de la vigilance en fin de parcours d'une heure maximum
 6. L'éclairage n'améliore pas la vigilance sur les parcours de nuit de longue durée supérieurs à 1 h (degré de fatigue irréversible)
 7. Lorsque l'hypovigilance - micro sommeil apparaissent, l'éclairage permet de rattraper et corriger des erreurs de conduite
- 

- ## Conclusions
8. La visibilité en éclairage public a une portée de l'ordre de 4 fois la distance d'arrêt aux plus grandes vitesses autorisées. La visibilité avec feux de croisement est de l'ordre de la moitié de la distance d'arrêt à 100 km/h.
 9. L'éclairage public réduit l'incapacité visuelle due à l'éblouissement (abords, véhicules, ...)
 10. L'éclairage public rétablit un champ de vision tridimensionnelle, seul garant de l'appréciation des distances.
 11. L'éclairage public limite le stress en permettant une réaction lente et réfléchie aux événements de la route.
 12. L'éclairage public permet détection, rapidité d'action, réductions des effets de panique en cas d'accident.
Il favorise :
 - l'acheminement des secours
 - le trafic nocturne
 - la régulation du trafic jour / nuit
- 

- ## Conclusions
- Au travers de ces résultats, on perçoit que, s'il ne peut être raisonnablement question d'éclairer de nuit toutes les voies importantes routières ou autoroutières en continu, l'éclairage public, judicieusement implanté et réalisé aux conditions d'éclairage nécessaires et suffisantes, peut être un facteur déterminant de réduction de certaines situations accidentogènes constatées sur des zones bien ciblées.
 - La modulation du niveau d'éclairage, en fonction du climat, de la densité du trafic, de l'heure, de la tâche visuelle à accomplir, de la maintenance routière et des événements divers, permet d'optimiser chaque installation tout au long de ses périodes de fonctionnement.
 - Les résultats enregistrés au cours de ces cinq années d'études sont suffisamment importants pour justifier la mise en place d'installations d'éclairage performantes, qui pourraient permettre de corroborer les résultats acquis sur simulateur.
- Christian Remande, expert de l'Association française de l'éclairage.*
- (Extraits des documents du C. N. R. S. - C. E. P. A. Strasbourg).*
- 