

RAPPORTS DES LABORATOIRES

SÉRIE : *SÉCURITÉ ET EXPLOITATION ROUTIÈRES*
SE-4

Journées visibilité Rouen, mars 1989

Juillet 1990

MINISTÈRE DE L'ÉQUIPEMENT, DU LOGEMENT, DES TRANSPORTS ET DE LA MER
LABORATOIRE CENTRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES

Conformément à la note du 04/07/2014 de la direction générale de l'Ifsttar précisant la politique de diffusion des ouvrages parus dans les collections éditées par l'Institut, la reproduction de cet ouvrage est autorisée selon les termes de la licence CC BY-NC-ND. Cette licence autorise la redistribution non commerciale de copies identiques à l'original. Dans ce cadre, cet ouvrage peut être copié, distribué et communiqué par tous moyens et sous tous formats.



(CC BY-NC-ND 4.0)



Attribution — Vous devez créditer l'Oeuvre et intégrer un lien vers la licence. Vous devez indiquer ces informations par tous les moyens possibles mais vous ne pouvez pas suggérer que l'Ifsttar vous soutient ou soutient la façon dont vous avez utilisé son Oeuvre.



Pas d'Utilisation Commerciale — Vous n'êtes pas autorisé à faire un usage commercial de cette Oeuvre, tout ou partie du matériel la composant.



Pas de modifications — Dans le cas où vous effectuez une adaptation, que vous transformez, ou créez à partir du matériel composant l'Oeuvre originale (par exemple, une traduction, etc.), vous n'êtes pas autorisé à distribuer ou mettre à disposition l'Oeuvre modifiée.

Le patrimoine scientifique de l'Ifsttar

Le libre accès à l'information scientifique est aujourd'hui devenu essentiel pour favoriser la circulation du savoir et pour contribuer à l'innovation et au développement socio-économique. Pour que les résultats des recherches soient plus largement diffusés, lus et utilisés pour de nouveaux travaux, l'Ifsttar a entrepris la numérisation et la mise en ligne de son fonds documentaire. Ainsi, en complément des ouvrages disponibles à la vente, certaines références des collections de l'INRETS et du LCPC sont dès à présent mises à disposition en téléchargement gratuit selon les termes de la licence Creative Commons CC BY-NC-ND.

Le service Politique éditoriale scientifique et technique de l'Ifsttar diffuse différentes collections qui sont le reflet des recherches menées par l'institut :

- Les collections de l'INRETS, Actes
- Les collections de l'INRETS, Outils et Méthodes
- Les collections de l'INRETS, Recherches
- Les collections de l'INRETS, Synthèses
- Les collections du LCPC, Actes
- Les collections du LCPC, Etudes et recherches des laboratoires des ponts et chaussées
- Les collections du LCPC, Rapport de recherche des laboratoires des ponts et chaussées
- Les collections du LCPC, Techniques et méthodes des laboratoires des ponts et chaussées, Guide technique
- Les collections du LCPC, Techniques et méthodes des laboratoires des ponts et chaussées, Méthode d'essai



Institut Français des Sciences et Techniques des Réseaux,
de l'Aménagement et des Transports
14-20 Boulevard Newton, Cité Descartes, Champs sur Marne
F-77447 Marne la Vallée Cedex 2

Contact : diffusion-publications@ifsttar.fr

www.ifsttar.fr



Ce document est propriété de l'Administration et ne peut être reproduit, même partiellement,
sans l'autorisation du Directeur du Laboratoire central des Ponts et Chaussées
(ou de ses représentants autorisés).

© 1990 - LCPC

ISBN 2-7208-3581-1

SOMMAIRE

Avant-propos

Présentation des journées

1

Mlle SERRES : L.C.P.C.

THEME I : SIGNALISATION HORIZONTALE ET VERTICALE

Marquage visible par temps de pluie :

7

simulation sur le terrain et simulation visuelle

M. BRY - Mme DELECHAMP : L.C.P.C. - M. KRAUZE : L.R. ST-QUENTIN

Les avertisseurs visuels en milieu urbain :

17

étude sur site et aide à la conception par synthèse d'images

Mlle BRUSQUE - M. NGUYEN : L.C.P.C. - M. LERNOULD : C.E.T.U.R.

Criteres de visibilité et performance des technologies

25

disponibles pour les panneaux à messages variables

Mme COLOMB - M. HUBERT : L.C.P.C.

Étude du graphisme des symboles matriciels

des panneaux à messages variables

39

M. HENRIET : S.E.T.R.A. - M. CARTA : L.C.P.C.

Du projet à la réalisation et à l'exploitation de la nouvelle balise
d'information "TRAFICOLOR"

43

Mme DORÉ-PICARD : I.N.R.E.T.S. - M. MAUREL : ESCOTA

THEME II : ÉCLAIRAGE PUBLIC

Éclairage des giratoires

55

M. MÉNARD : C.E.T.E. Rouen

Éclairage et distance d'identification

65

Mme MONTEL : C.E.T.E. Rouen

Photométrie nocturne sur image numérisée : projet melusine

69

M. CARIQU : C.E.T.E. Rouen

Aide à la conception de projets d'éclairage public

79

par synthèse d'images

Mlle BRUSQUE - M. CARY - M. CHARLOT : L.C.P.C.

La piste nationale expérimentale de visibilité nocturne

85

M. MÉNARD : C.E.T.E. ROUEN

THEME III : LES SOURCES LUMINEUSES

Feux clignotants à décharge et à incandescence Expériences de localisation et de gêne à la lecture <i>M. PAUMIER : L.R. Clermont-Ferrand</i>	87
Les projecteurs des véhicules automobiles optimisation du faisceau croisement <i>Mme BONNEAU - M. RENDU : UTAC</i>	101
Évaluation de dispositifs renforçant ou complétant les feux stop des véhicules <i>M. LIGER : C.E.T.E. Aix-en-Provence</i>	113

THEME IV : MESURES ET PRÉVISIONS

La lisibilité nocturne de la route <i>M. NOUVIER : SESIRT de Lyon</i>	119
Analyse photométrique du champ visuel de l'automobiliste la nuit par l'appareil visoroute <i>M. PAVIET - M. GRATIA : L.R. de Lyon</i>	123
Un véhicule d'essais destiné aux mesures de visibilité sur route et en tunnel : pollux <i>M. MONIE : C.E.Tu</i>	129
Mesures photométriques d'équipement de signalisation en chambres de brouillard <i>M. PAUMIER : L.R. Clermont-Ferrand</i>	133
Modèle et programme de prévision de distance de visibilité et lisibilité <i>M. GUILLARD : L.R. Strasbourg - M. DUBUISSON : Conseil L.C.P.C.</i>	147
Modélisation de la diffusion multiple de la lumière par code Monte-Carlo Application à la visibilité d'un feu arrière de véhicule <i>M. BRITON - M. MAHEU : INSA de Rouen</i>	165

AVANT PROPOS

Les laboratoires des Ponts et Chaussées ont organisé les 1er et 2 Mars 1989 au CETE de ROUEN les premières Journées **"VISIBILITÉ"**.

Ces journées avaient pour objectif de faire connaître aux professionnels de la signalisation, de l'éclairage ainsi qu'à des exploitants (concessionnaires d'autoroutes, ingénieurs des villes, etc), les travaux en cours, les résultats et les perspectives des études entreprises sur ce thème.

Une visite de la piste nationale de visibilité du CETE de Rouen a été organisée, avec une exposition des divers véhicules de mesure des paramètres photométriques de la visibilité [2] : "Melusine", "Visoroute", "Veclap", "Pollux", "Flex-expert".

19 Communications ont été présentées par le réseau [1] des L.P.C., les divisions des CETE, l'I.N.R.E.T.S., le SETRA, le CETUR, l'U.T.A.C., la SESIRT, la société d'autoroute ESCOTA, le C.E.tu et l'I.N.S.A de Rouen

Elles ont été regroupées sous quatre grands thèmes :

- 1 : Signalisation horizontale et verticale
- 2 : Eclairage public
- 3 : Les sources lumineuses
- 4 : Mesures et Prévisions

Un résumé des communications a été remis aux 105 participants.

Les débats qui ont suivi les exposés ont permis un échange fructueux entre les spécialistes de la recherche appliquée et les praticiens de la route.

Madame COLOMB

[1] - Organismes :

L.P.C. : Laboratoires des Ponts et Chaussées
CETE : Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement
INRETS : Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité
SETRA : Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes
CETUR : Centre d'Etudes Techniques Urbaines
UTAC : Union Technique de l'Automobile du Motocycle et du Cycle
SESIRT : Sécurité et Signalisation Routière
ESCOTA : Société de l'autoroute Estérel Côte d'Azur
CETU : Centre d'Etudes des Tunnels
INSA : Institut National des Sciences Appliquées

[2] - Véhicules équipés :

"Melusine" : Mesure de Luminance sur image numérisée par caméra CCD
""Visoroute" : Analyse photométrique du champ visuel de l'automobile par caméra vidéo
"Veclap" : Mesure de l'éclairement et de la luminance de la chaussée
"Pollux" : Mesure de l'éclairage des tunnels routiers
"Flex-expert" : Système allemand de mesure de la luminance des panneaux

INTRODUCTION DES JOURNÉES "VISIBILITÉ"

Par

M^{lle} SERRES : LABORATOIRE CENTRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES

Tous ceux qui me connaissent peuvent imaginer le plaisir que j'ai à vous présenter ces deux journées sur ce thème de la

VISIBILITÉ

qui est au coeur de nos préoccupations et de nos travaux depuis des années, au L.C.P.C. d'abord, puis dans le réseau des L.P.C., avec les C.E.T.E., L'I.N.R.E.T.S., L'U.T.A.C., des universitaires et des industriels.

1 - C'EST POUR RÉPONDRE À DES QUESTIONS PRATIQUES QUE NOUS AVONS DÉVELOPPÉ CE THEME DE RECHERCHE.

Dès les années 70, alors que nous cherchions à établir et à formaliser les critères de qualité pour l'homologation des produits de marquage, leur visibilité de jour et surtout de nuit apparaissait comme leur qualité première. Il a fallu :

- d'abord choisir pour les marquages des caractéristiques photométriques rattachées plus ou moins directement à leur visibilité, en fait la couleur pour le jour et le coefficient de rétroréflexion pour la nuit,
- développer les matériels et les méthodes de mesure correspondants (ECOLUX près de 200 exemplaires dans le monde),
- réaliser des études sur site avec des observateurs pour fixer les seuils à retenir de façon à assurer la satisfaction des usagers. C'était nos premières études de visibilité !

Très vite, nous avons alors senti la nécessité de faire appel à l'I.N.R.E.T.S., à ses psychologues et ergonomes dès qu'un sujet dépassait les limites de la physique. Et puis aussi, grâce à un appel d'offres de recherche lancé par le Ministère, nous avons pu engager une collaboration avec des équipes universitaires spécialistes de vision, d'optométrie, de perception.

2 - DOMAINE ÉLARGI AUX OBJETS PERTINENTS DANS LE CHAMP VISUEL DE L'USAGER

Depuis, comme vous pourrez le constater au cours de ces deux journées, le domaine de nos préoccupations s'est élargi, s'étendant du balisage de la chaussée à tous les équipements de la route et de la rue, y compris l'éclairage public et aussi, bien qu'ils soient hors du champ de nos responsabilités, les feux de véhicule qui éclairent nos équipements et sont présents dans le champ visuel de l'utilisateur.

Ainsi, vous entendrez parler pendant ces deux jours, de P.M.V., panneaux à messages variables, de leur visibilité mais aussi de leur "lecture" ou reconnaissance, des feux à éclats, des projecteurs de véhicule et des feux stop, de la visibilité des usagers sur un giratoire de nuit, véhicules et piétons, et de la reconnaissance des personnes apportée par un bon éclairage public.

On tente aussi de prendre en compte l'influence des conditions météorologiques sur la visibilité, ce qui est un problème bien difficile, qu'il s'agisse du brouillard ou surtout de la pluie dont les effets sont importants mais multiples sur la visibilité, avec des effets-miroirs sur la chaussée, des projections d'eau, un champ de vision réduit par les essuie-glace et la condensation au sein du véhicule. Deux aspects seront abordés ici, les marquages visibles par temps de pluie développés avec la profession pour tenter de maintenir leur fonction de balisage même sous forte pluie, et l'influence du brouillard pour l'utilisateur sur la visibilité des divers équipements.

3 - DÉVELOPPEMENT D'OUTILS

Comme vous le constaterez aussi, depuis ce premier périple de nuit sur les routes des Yvelines, nos moyens, nos méthodes, nos outils, bien que limités encore et surtout trop dispersés, se sont développés.

- Les plus lourds d'abord : des moyens de simulation, en particulier des sites expérimentaux. Après le circuit de Nanteuil-le-Haudouin bien connu des équipes de marquage, il faut citer cette piste de visibilité de Rouen que vous découvrirez ce soir et qui justifie la localisation de cette journée, mais aussi le portique de Nantes, les chambres de brouillard de Clermont-Ferrand, la piste et le stand de vieillissement de Morainvilliers. Et en perspective, un simulateur de conduite en France et déjà la possibilité de travailler sur des simulateurs étrangers.

- **Des moyens de mesure** : Après le laboratoire de photométrie, des systèmes de mesure sur site ont été ou sont en développement. Vous en verrez un certain nombre ce soir lors de la visite de la piste.

Je citerai :

- VECLAP développé pour la mesure en continu de l'éclairement horizontal sur la chaussée auquel s'ajoute actuellement la luminance, pour l'aide à la gestion d'un réseau d'éclairage public.
- VISOROUTE qui a pour objectif de mesurer en continu à partir de caméras vidéo les contrastes dans le champ visuel de l'usager, par exemple, du marquage sur la chaussée ou d'un panneau avec son fond. À noter qu'il reste bien des problèmes à résoudre pour que ce matériel soit opérationnel. Dans l'attente, et sur proposition de la société 3M, nous avons ainsi demandé à une société allemande qui a développé un matériel de mesure, dit VIDEO-LOGING, de nous le présenter ce soir sur la piste.
- MELUSINE qui utilise une caméra CCD et permet avec un traitement d'images adapté, une véritable métrologie en luminance et en contrastes du champ visuel de l'usager.
- POLLUX véhicule développé par le C.E.Tu pour les mesures photométriques à l'entrée des tunnels.
- D'autres matériels sont en construction dans nos ateliers de prototypes. Je citerai seulement ECODYN qui devait être mis au point cette année et a pour ambition de déterminer de jour en continu la visibilité de jour et de nuit des marquages routiers par la mesure des contrastes avec la chaussée dans des conditions géométriques convenables. Ce critère est en relation plus directe que couleur et rétro avec la visibilité.

À côté de ces pistes et équipements de mesures, il faut souligner l'émergence d'un nouvel outil "l'image de synthèse" qui, malgré ses limites, peut nous aider pour certaines études de visibilité. Des exemples vous seront fournis au cours de ces journées :

- pour l'étude du graphisme des P.M.V.,
- pour l'influence de la géométrie des marquages sur leur visibilité, avec pour l'instant deux applications, l'une pour les marquages en relief visibles par temps de pluie et l'autre pour les ralentisseurs visuels.

Mais surtout avec l'IMAGE, un travail plus ambitieux, car il cherche une certaine validité photométrique, est entrepris sous le titre "Visualisation

des projets d'éclairage public". Lancée pour aborder les problèmes de visibilité de nuit, cette recherche n'a pas pour l'instant d'objectif directement opérationnel ; mais l'IMAGE nécessite de manipuler les coefficients de réflexion des objets présents dans le champ visuel de l'usager et la répartition des flux lumineux des luminaires. Des données de dimensions et de luminances (c'est-à-dire de contrastes) sont nécessaires, ce qui introduit directement le concept de VISIBILITÉ dans les projets d'éclairage. En effet, actuellement, et de la même manière que pour les signaux, la qualité de l'éclairage public s'exprime indirectement par la luminance de la chaussée et son homogénéité ou plus simplement par l'éclairement reçu. Cela caractérise bien une installation et suffit en général à assurer la visibilité d'un objet gris sur la chaussée. Mais les abords, l'environnement, le mobilier urbain et la signalisation sont mal pris en compte.

Or, l'objectif final de l'éclairage est bien d'assurer la visibilité de tous les objets pertinents pour l'usager et c'est actuellement un souhait, en tous cas des américains au sein de la Commission Internationale de l'Éclairage (C.I.E.), que d'introduire ce critère dans les projets d'éclairage public. Ainsi VISIBILITÉ des marquages, des panneaux, des piétons des feux, c'est la même notion qui est utile.

4 - LA VISIBILITÉ

En deux mots, je voudrais ici rappeler quels sont les principaux critères de VISIBILITÉ d'un objet pour un observateur. Que cet objet soit lumineux par lui-même ou ne fasse que renvoyer une partie de la lumière qui l'éclaire, sa distance de visibilité pour un observateur d'âge et de performances visuelles données, dépend principalement des facteurs suivants :

- localisation dans le champ visuel selon la direction du regard,
- dimensions de l'objet,
- contraste avec le fond

en tenant compte du niveau d'adaptation de l'oeil et de la gêne éventuelle apportée par les sources lumineuses présentes dans le champ visuel.

Ces données proviennent des connaissances fondamentales acquises sur le fonctionnement de l'oeil et le phénomène de la vision humaine.

Au fur et à mesure de leur acquisition, elles sont formalisées dans des modèles plus ou moins validés et plus ou moins bien adaptés au cas de l'usager de la route. Je citerai ici les travaux de Blackwell aux États-Unis qui ont fait l'objet de plusieurs publications de la C.I.E. et qui servent de base à la plupart des modèles "appliqués" proposés par exemple pour prévoir

les distances de visibilité dans le cas de la conduite automobile. L'un de ceux-ci vous sera présenté demain en fin de journée.

Cette démarche de nature scientifique a l'avantage de fournir des données sérieuses et répétitives pour l'interprétation des mesures photométriques et ceci bien sûr, pour tous les objets à voir, qu'il s'agisse de panneaux, de feux, de marques ou de piétons.

Il reste cependant indispensable, dans l'état actuel des connaissances, de valider les résultats obtenus par des observations visuelles dans des conditions contrôlées, tant pour les observateurs que pour les objets présentés. Et la piste de Rouen est à cet égard un lieu de choix, une piste de visibilité.

Enfin, il semble que les méthodes modernes de calcul puissent nous faire faire des progrès dans la connaissance de la diffusion de la lumière dans le brouillard.

Bien évidemment, toutes ces données issues de recherches fondamentales seront à intégrer progressivement dans les programmes de calcul des distances de visibilité, des divers équipements de la route et des obstacles aux piétons, tel celui qui vous sera présenté demain.

Ce programme basé sur les modèles de fonctionnement de l'oeil fournis par la Commission Internationale de l'Éclairage (C.I.E.) et les études antérieures de la Division Exploitation Signalisation Éclairage, intègre les performances visuelles des observateurs, les caractéristiques photométriques des matériaux dans les différentes situations géométriques, les conditions de leur éclairage par les véhicules lorsqu'il s'agit de matériaux non lumineux, l'opacité de l'air, c'est-à-dire l'influence du brouillard ainsi que le rôle joué par le pare-brise ou les feux des véhicules venant en sens inverse.

Il s'agit là d'un outil central de la recherche en VISIBILITÉ qui devra être modifié, complété et validé au fur et à mesure du développement de nos connaissances en visibilité, et en particulier grâce à des expérimentations sur pistes avec des observateurs. Il permet de classer les facteurs d'influence.

En outre, on en tirera en 1989, un programme simplifié destiné aux Services de l'Équipement chargés d'implanter des panneaux de signalisation pour leur permettre, toutes choses égales par ailleurs, de comparer les distances de visibilité et de lecture obtenues avec les différentes solutions technologiques en fonction de leur situation.

CONCLUSION

Ainsi, je me réjouis de vous présenter aujourd'hui un programme aussi varié dans ses applications, à la fois en signalisation et en éclairage, que bien centré autour de ce thème amont fédérateur qu'est la VISIBILITÉ.

C'est bien en effet la VISIBILITÉ qui est le critère final de qualité de l'éclairage et de la signalisation, l'objectif recherché. Il s'agit d'aider un usager qui doit percevoir simultanément sa trajectoire, c'est-à-dire la chaussée et ses abords, les panneaux et les feux, mais aussi les piétons et les autres véhicules ainsi qu'une large part de son environnement.

Je voudrais indiquer pour terminer que nous ne sommes pas seuls au niveau international à poursuivre des travaux sur le thème de la VISIBILITÉ. Je signalerai d'abord la C.I.E. avec ses Divisions :

- 1 - Vision
- 2 - Photométrie
- 4 - Éclairage et signalisation

(rapports récents : marquage, panneaux, feux tricolores ⇒ réunion C.N.F.E., 2^{ème} semestre + rapport en préparation sur la visibilité dans la conduite de nuit).

Les américains sont particulièrement actifs et il faut noter l'existence d'un comité VISIBILITÉ au sein du Transport Research Board.

Les anglais organisent tous les deux ans un séminaire VISION in VEHICLES.

Les allemands travaillent dans le domaine des feux de véhicule et de la signalisation.

Nous suivons dans la mesure du possible tous ces travaux et nous y participons éventuellement.

Et dans ces conditions, il nous paraissait souhaitable au niveau français de vous informer de l'état actuel des études menées au sein du réseau technique et plus particulièrement dans les Laboratoires des Ponts et Chaussées.

C'est aussi, je l'espère, un moyen d'engager ou plutôt d'élargir le dialogue, tant avec les hommes du terrain que sont les représentants des C.E.T.E. qu'avec les professions de l'éclairage et de la signalisation, pour tenter ensemble d'améliorer la visibilité dans la circulation routière et urbaine, en particulier pour la conduite de nuit et par mauvaises conditions météorologiques.

THEME 1 : SIGNALISATION
HORIZONTALE ET VERTICALE

MARQUAGE VISIBLE PAR TEMPS DE PLUIE :

SIMULATION SUR LE TERRAIN ET SIMULATION VISUELLE

M. BRY - Mme DELECHAMP : **LABORATOIRE CENTRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES**
M. KRAUZE : **LABORATOIRE REGIONAL DES PONTS ET CHAUSSÉES**

Le nombre d'accidents corporels par km parcourus sur RN est environ quatre fois plus important la nuit par temps de pluie que le jour par temps sec.

taux nuit/taux jour ≈ 2 taux pluie/taux sec ≈ 2

À titre d'information, il pleut en France en moyenne 2,1 heures /24 heures.

Les causes de cette augmentation des accidents la nuit lorsqu'il pleut sont multiples : fatigue des usagers, adhérence moins bonne sur le revêtement en présence d'eau, conditions de visibilité moins bonnes, myopie nocturne, éblouissement, visibilité insuffisante ou nulle de la signalisation horizontale. Pour ce dernier point, il paraît paradoxal d'accepter la disparition de la signalisation horizontale dans les situations de conduite les plus difficiles.

Depuis quelques années des études sont menées au niveau national avec les industriels. D'autres pays se préoccupent également de ces problèmes, en particulier la R.F.A. avec laquelle nous avons d'excellents contacts.

Ce document se propose de vous présenter un bilan sur ce sujet : résultats obtenus et recherches en cours.

Tout d'abord un rappel du problème pour les non spécialistes.

La signalisation horizontale est visible la nuit hors des zones éclairées grâce aux phénomènes différents de réflexion qui se produisent sous l'éclairage des projecteurs des véhicules entre les marques et la chaussée immédiatement adjacente.

La figure 1 schématise le phénomène de rétroréflexion obtenu grâce aux billes de verre présentes sur les marques. Une partie plus importante de lumière repart vers le véhicule qui éclaire. La luminance des marques est ainsi augmentée dans de fortes proportions ainsi que le contraste avec la chaussée. La visibilité des marques est accrue.

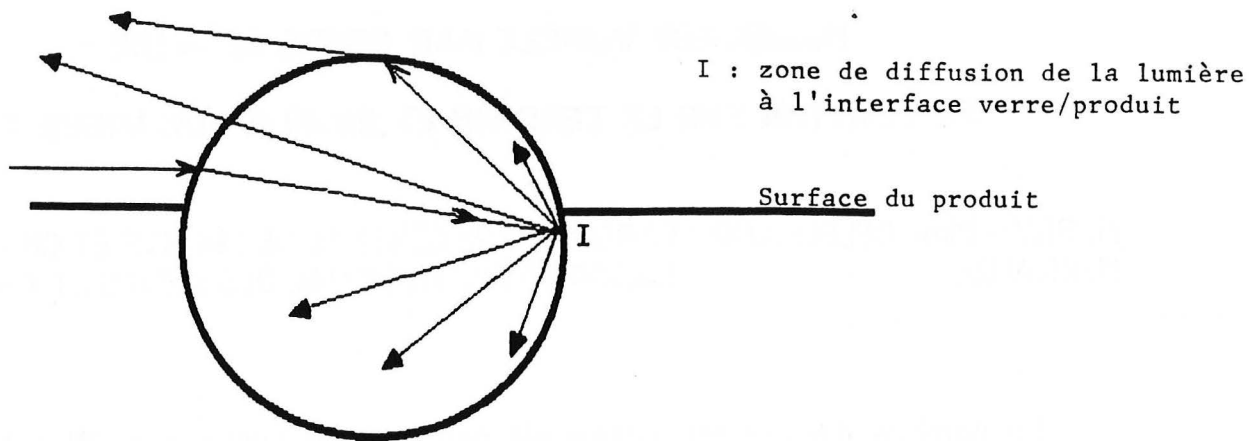


Figure 1 : phénomène de rétro réflexion sur un produit de marquage

Sous une pellicule d'eau et avec les incidences rasantes de la lumière issue des projecteurs des véhicules, la réflexion devient spéculaire et identique entre la chaussée et les marques. Les marques disparaissent.

Une seule solution, réaliser des marques qui restent partiellement émergées lorsqu'il pleut. Avec les techniques traditionnelles, ce cas n'est rencontré qu'avec des peintures appliquées sur enduits superficiels. Hélas la durabilité des peintures sur ces revêtements n'est pas excellente.

La recherche de techniques nouvelles a donc été entreprise et ceci depuis une dizaine d'années.

Actuellement trois systèmes sont commercialisés :

- les barrettes
- les miniplots
- les réflecteurs spécifiques.

Les machines d'application permettent de jouer, dans certaines limites, sur l'espacement et la hauteur des dispositifs. Les performances en sont du même coup modifiées.

Performances ! Nous voilà au coeur du problème. Quelles performances ? Comment les évaluer ?

La visibilité sous pluie bien sûr, mais également la durabilité, l'adhérence des véhicules sur de telles marques, le bruit généré à l'intérieur et à l'extérieur des véhicules. Ce dernier point intéresse particulièrement les sociétés d'autoroute qui voient dans cet effet secondaire une solution possible pour limiter les accidents nocturnes dûs aux sorties de routes consécutives à des assoupissements. Des études débutent en 89 pour définir des méthodes de mesure et modéliser ces phénomènes de bruit. Ce travail est hors du sujet traité ici.

Pour la visibilité, les études sont beaucoup plus avancées.

Pour comparer les produits du point de vue de leur visibilité sous pluie, il s'agit de mesurer leur coefficient de luminance rétroréfléchie sous pluie (R_L), unité : $\text{mcd.m}^{-2}.\text{lx}^{-1}$ comme avec l'ECOLUX, mais dans des conditions et géométrie de mesure différentes.

Une méthode de mesure est en cours de standardisation en liaison avec la BAST (R.F.A.) et les industriels.

Première difficulté : définir une pluie de référence et la simuler. Une pluie de 20 ± 2 mm/h a été retenue. Les premiers simulateurs vont être construits en 1989, ils permettront d'obtenir cette intensité avec une précision suffisante sur une surface de 1,5 m x 0,3 m.

Deuxième difficulté : définir une géométrie de mesure commune. Elle correspondra à un conducteur au volant d'un VL : yeux à 1,2 m du sol, centre des projecteurs à 0,65 m du sol et marque à 30 m. Les angles d'éclairage, ϵ , et d'observation, α , sont ainsi respectivement de $1,24^\circ$ et $2,29^\circ$. Un seul projecteur sera utilisé pour l'éclairage.

Pour la drainabilité, une pente transversale de 2 % est prévue.

Les implantations réalisées sur plusieurs centaines de km en 1987 et 1988 ont permis de procéder à plusieurs séries de mesures de R_L dans des conditions de mesure voisines de celles qui viennent d'être décrites. Toutefois les deux projecteurs du véhicule de mesure fonctionnent.

Les tableaux 1, 2 et 3 suivants donnent les valeurs obtenues pour les barrettes, les miniplots et les réflecteurs spécifiques.

Age (en mois)	sec	sous pluie
6	90	17
6	97	59
1	123	60
18	44	22
6	298	82
6	176	42
6	233	65

Tableau 1 : R_L de barrettes en $\text{mcd.m}^{-2}.\text{lx}^{-1}$

Age (en mois)	sec	sous pluie
6	54	11
1	125	84
1	134	39
6	168	54
6	165	58
6	202	42
6	185	35
6	196	55
6	119	29
6	116	40

Tableau 2 : R_L de miniplots en $\text{mcd.m}^{-2}.\text{lx}^{-1}$

Age (en mois)	sec	sous pluie
3	87	75
6	99	44
6	155	109

Tableau 3 : R_L de réflecteurs spécifiques en $\text{mcd.m}^{-2}.\text{lx}^{-1}$

Ces valeurs ne doivent pas être comparées à celles de l'ECOLUX à cause d'une part, des différences de géométrie et de conception d'appareillage et d'autre part, du fait qu'elles font intervenir deux sources qui conduisent à intégrer $2 R_L$ en 1. En effet à chacune des sources correspond une géométrie de mesure et donc un R_L .

Le tableau 4 donne, pour quelques produits, les valeurs de R_L à sec obtenues en laboratoire pour les deux géométries, tous les autres paramètres étant fixes. Ces géométries sont définies par le couple ϵ/α , angle d'éclairage et d'observation.

Deux remarques sur ces résultats :

- dans cinq cas sur sept les R_L sont plus faibles pour la géométrie 1,24/2,29. Sur les sept résultats l'écart moyen est de -7,5 %

- Les résultats obtenus en laboratoire avec une seule source paraissent supérieurs à ceux obtenus sur le terrain avec deux sources. Avec les conditions de mesure standard en cours de mise au point, les résultats en laboratoire et sur route seront mieux comparables.

Les problèmes de mesure étant réglés, il restera à fixer une exigence.

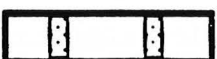
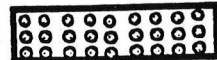
Éprouvette	Géométrie ϵ/α 1,24/2,29	Géométrie ϵ/α 3,5/4,5
	794	605
	554	662
	709	859
	377	405
	312	377
	525	454
	1034	1784

Tableau 4 : comparaison de R_L ($\text{mcd.m}^{-2}.\text{lx}^{-1}$)
pour les deux géométries de mesure

Même en supposant que les deux dispositifs de mesure aboutissent au même résultat, le seuil de $150 \text{ mcd.m}^{-2}.\text{lx}^{-1}$ exigé actuellement à l'état sec est à revoir. En effet les caractéristiques de réflexion du revêtement et de l'environnement sont modifiées, le niveau d'adaptation de l'oeil est changé. La définition d'un nouveau seuil doit nécessairement en tenir compte.

Pour appréhender ce nouveau seuil, deux approches sont menées.

La première implique une bonne connaissance des données photométriques de l'environnement de l'utilisateur dans ces conditions particulières de circulation. On sait que d'après Blackwell, le contraste

devra être plus fort pour assurer la même visibilité des marques, puisque la luminance du fond diminue en présence de pluie.

Les résultats des mesures sur route sont reportés sur la figure 2 (contraste en fonction de la luminance de la chaussée).

En considérant les résultats obtenus sur route, la luminance moyenne des chaussées sèches sur 21 zones était de $0,415 \text{ cd/m}^2$, celle des marquage de $5,32 \text{ cd/m}^2$ pour un éclairage de 50 lx , soit un contraste de 11,8. Sur ces mêmes zones arrosées, la luminance moyenne chute à $0,22 \text{ cd/m}^2$. Les résultats de Blackwell montrent que pour ces conditions de luminance le contraste devrait être d'environ 19 pour conserver la même visibilité. Le R_L moyen des marquages de $106 \text{ mcd.m}^{-2}.\text{lx}^{-1}$ à l'état sec, devrait être de $88 \text{ mcd.m}^{-2}.\text{lx}^{-1}$ pour assurer ce contraste, soit une chute acceptable de 17 %.

Cette approche n'est qu'indicative car les conditions d'observation des marques par les usagers sont différentes des conditions expérimentales de Blackwell.

La deuxième approche repose sur l'étude du comportement des usagers en situation réelle. La première étude réalisée part du principe que les trajectoires des usagers ne sont pas modifiées si les conditions de visibilité sont maintenues. Cette étude demande la mise en place de capteurs spécifiques permettant de connaître la position latérale des véhicules.

Il est également important de connaître la répartition des vitesses pour connaître le comportement des usagers.

Les premiers résultats ont montré qu'avec un marquage visible par temps de pluie de faible R_L sous pluie ($\approx 25 \text{ mcd.m}^{-2}.\text{lx}^{-1}$) les trajectoires de nuit en présence de pluie étaient différentes de celles obtenues avec un marquage traditionnel. Pour ce dernier, les usagers se rapprochent de la bande la plus proche du poste de conduite. Ces premiers résultats sont à confirmer par d'autres études similaires. Ne pas oublier dans chaque cas de relever les caractéristiques photométriques et géométriques de la zone expérimentale pour permettre ensuite la comparaison de tous ces travaux.

Ces études en vraie grandeur sont lourdes à organiser et très longues. On ne peut cependant se satisfaire uniquement de l'approche théorique à partir de ces contrastes. L'aspect dynamique en est totalement absent, la géométrie n'est que partiellement prise en compte. Une troisième voie peut compléter ces deux premières approches, celles d'images calculées.

Le L.C.P.C. a calculé des images pour étudier deux problèmes posés par ces marquages visibles la nuit sous pluie :

- les bandes continues réalisées avec ces nouvelles techniques qui apparaissent discontinues sous pluie ne risquent-elles pas d'être mal interprétées, et donc jugées franchissables par les usagers ?
- optimisation des géométries (hauteur et espacement des parties émergentes) pour obtenir le R_L le meilleur.

Ces trois images calculées vous permettront de vous faire une première opinion sur ces problèmes (page suivante).

Pour conclure sur ces marquages visibles par temps de pluie, il faut retenir :

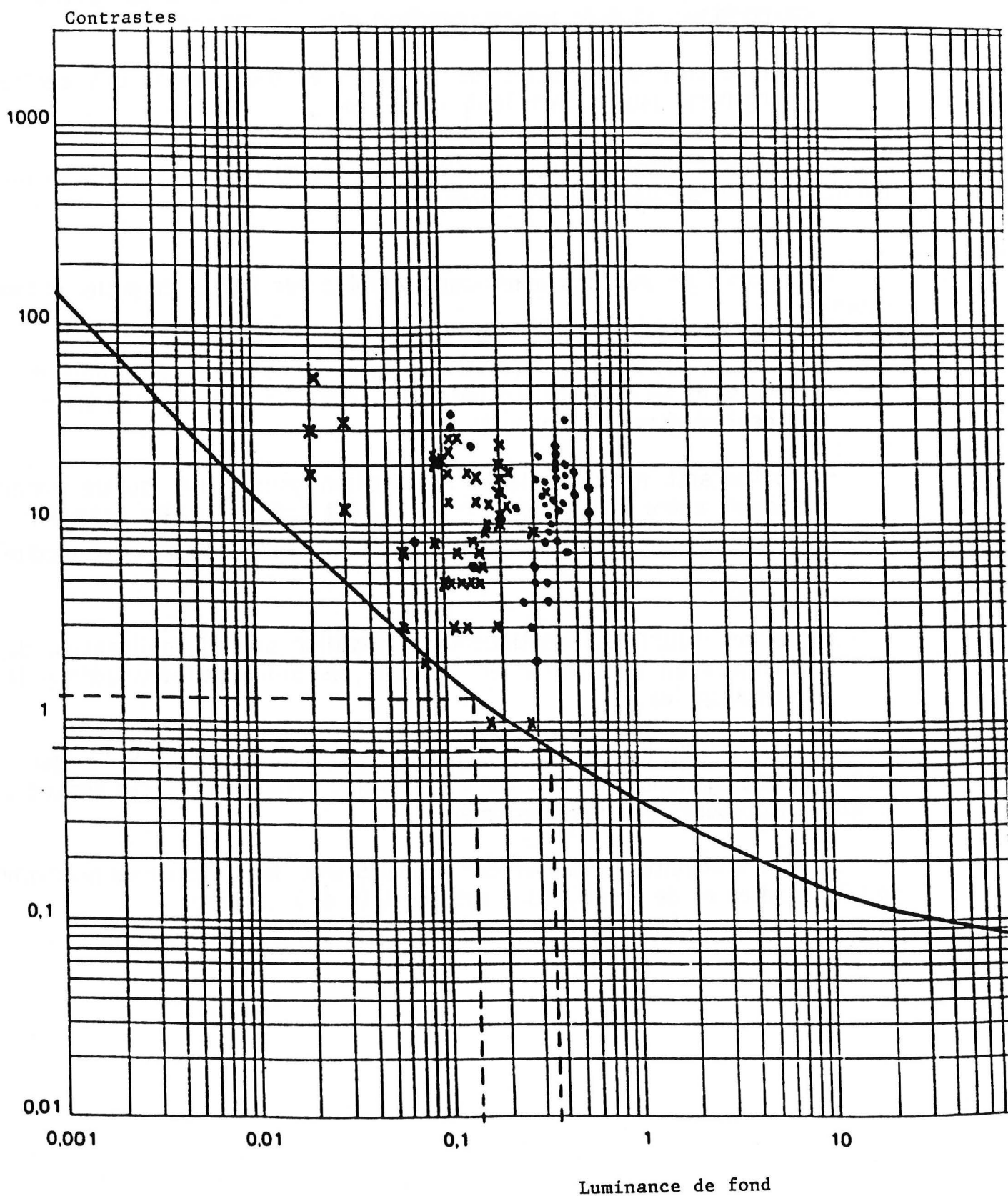
- qu'ils se développent industriellement et qu'il ne s'agit plus d'une curiosité de laboratoire. Le fait qu'ils soient en plus sonores intéresse les gestionnaires d'autoroutes,
- que l'on sait mesurer la rétroréflexion sous pluie, qu'une norme commune entre la France et la R.F.A. est prête. Il reste cependant à définir une exigence sous pluie comme elle existe à sec ($150 \text{ mcd.m}^{-2}.\text{lx}^{-1}$),
- que les industriels continuent à travailler pour l'amélioration des techniques en particulier en étudiant les billes de saupoudrage les mieux adaptées.

Pour les L.P.C., les recherches vont se poursuivre pour définir l'exigence, mais il paraît également nécessaire d'évaluer les performances des procédés d'entretien proposés par les industriels.

Il restera ensuite à intégrer ces produits dans les procédures normales de qualification et de certification des produits de marquage.

Figure 2 : Courbe de Blackwell

Contrastes de nuit des marquages mesurés sur chaussées sèches (.)
Contrastes de nuit des marquages mesurés sur chaussées humides (x)



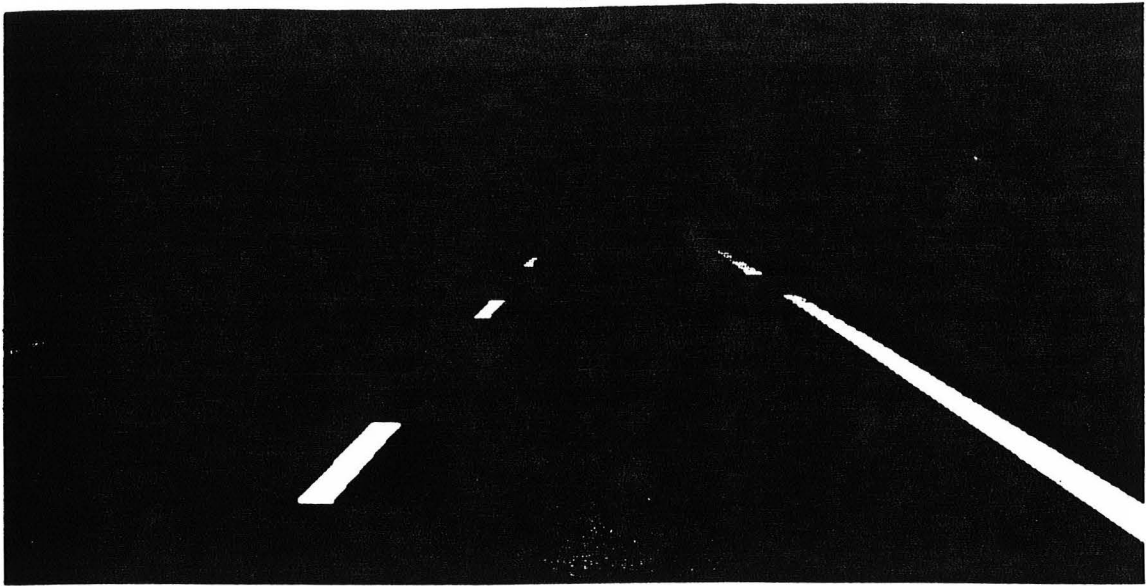


image 1 : marquage traditionnel

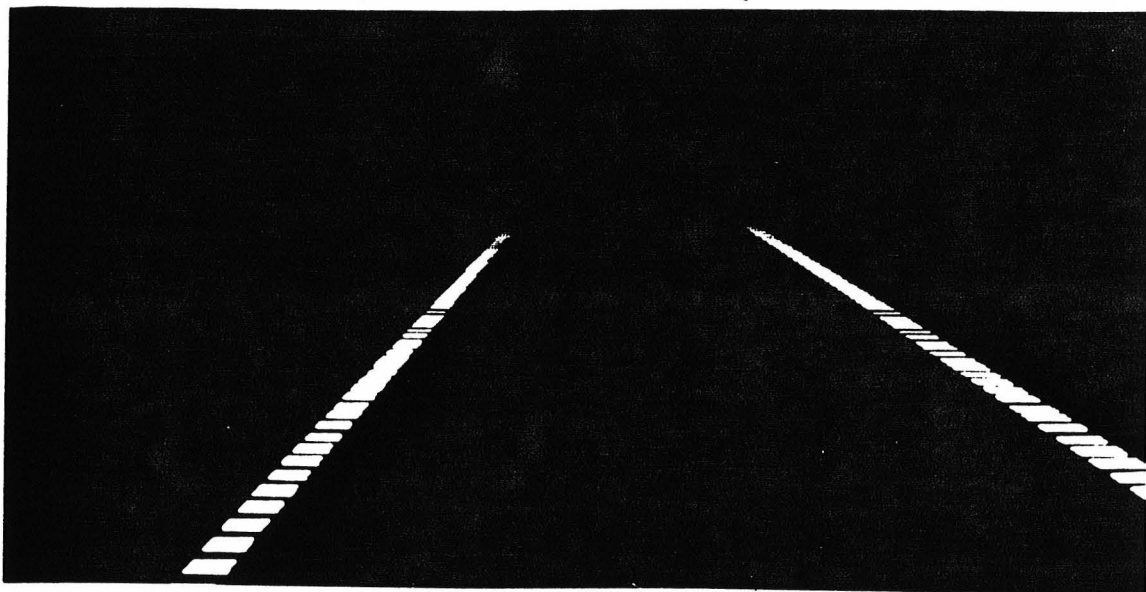


image 2 : barrettes (espacement 50cm, hauteur 1,5cm, largeur 4cm)

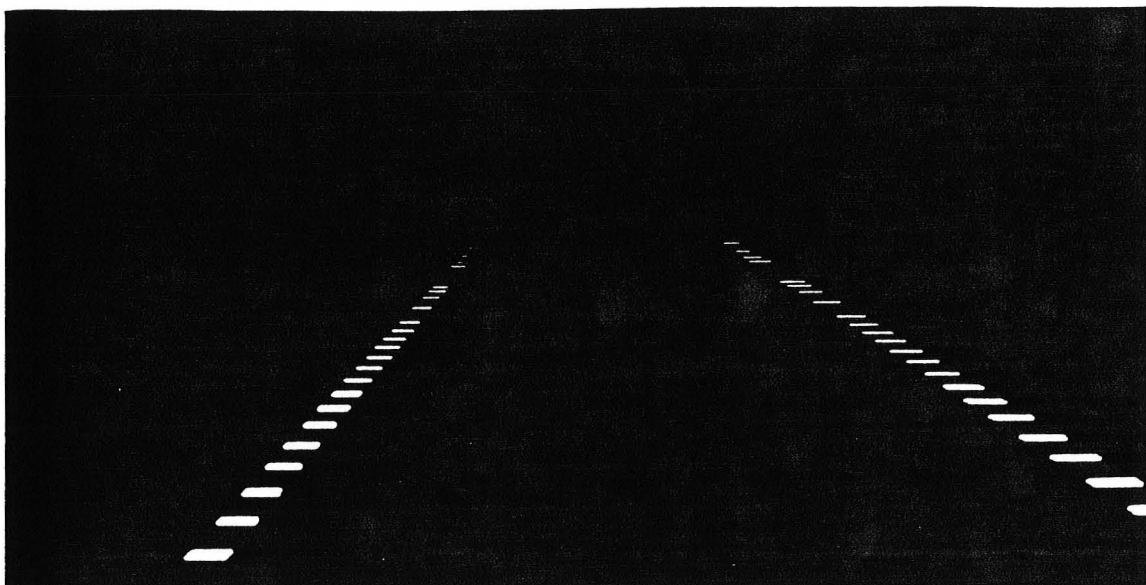


image 3 : barrettes (espacement 96cm, hauteur 0,5cm, largeur 4cm)

LES AVERTISSEURS VISUELS EN MILIEU URBAIN : ÉTUDE SUR SITE ET AIDE À LA CONCEPTION PAR SYNTHÈSE D'IMAGES

M. LERNOULD : **CENTRE D'ÉTUDES TECHNIQUES URBAINES**
Mlle BRUSQUE - M. NGUYEN : **LABORATOIRE CENTRAL DES PONTS ET CHAUSSEES**

I - INTRODUCTION

Les limites des ralentisseurs type "dos d'âne" et leur domaine de prescription étant maintenant mieux connus, l'équipement que nous nous proposons d'étudier se développe fortement au niveau local sur des voies très circulées.

Les bandes sonores ou rugueuses qui sont envisageables ne peuvent pas être prescrites en milieu urbain compte tenu de la nuisance du bruit. L'avertisseur visuel de danger est en quelque sorte la variante actuelle des bandes rugueuses.

Ce dispositif consiste en général en une série de motifs (chevrons, bandes transversales) peints sur la chaussée dont les intervalles sont en décroissant. C'est le resserrement des bandes qui engendre l'effet d'accélération. L'illusion d'une accélération induit en compensation un ralentissement chez l'utilisateur ou pour le moins, focalise son attention sur sa conduite.

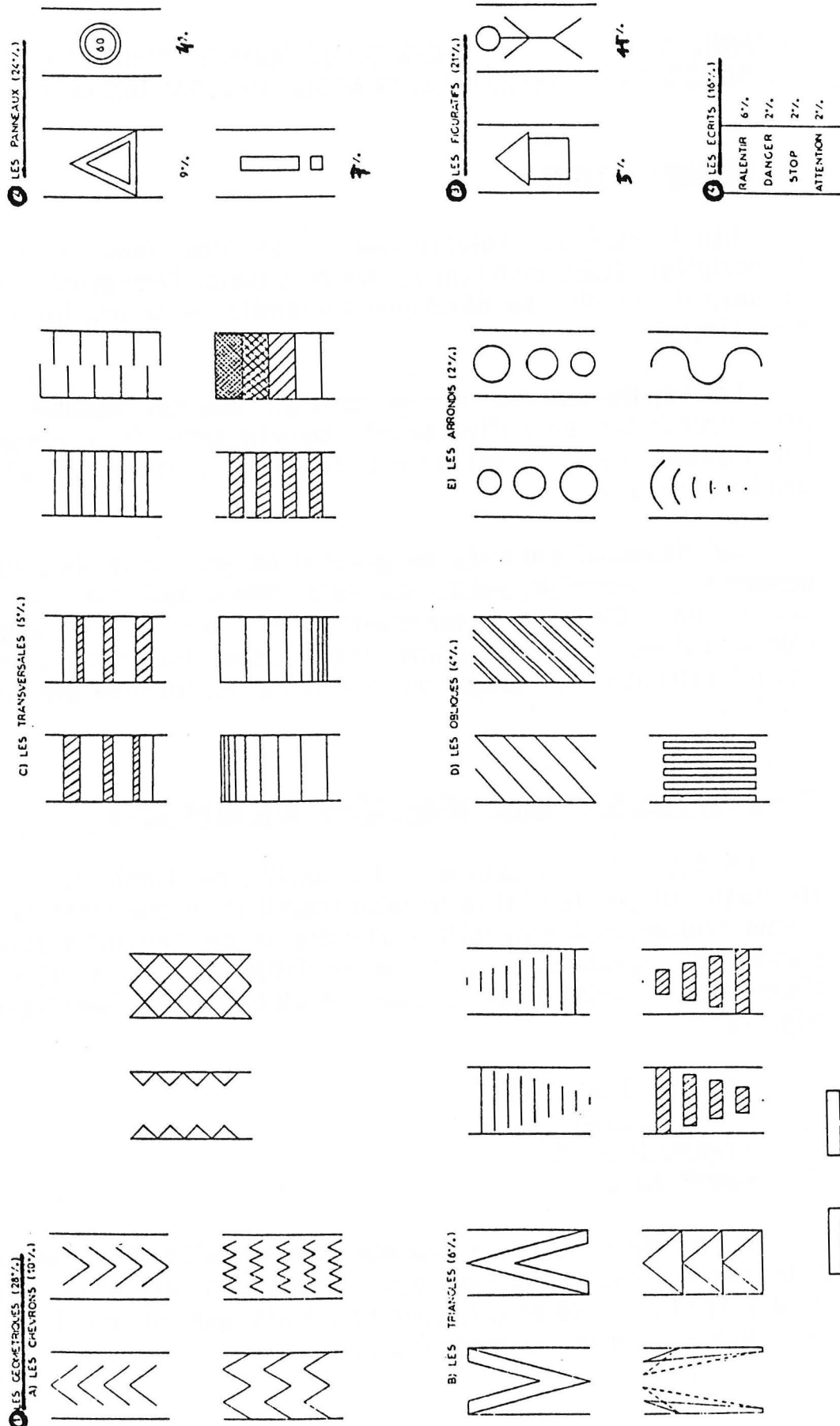
II - POINT DES ÉTUDES RÉALISÉES SUR SITE RÉEL

Le C.E.T.U.R. a confié à M. RÉMY, de l'Institut International de Micropsychologie, la réalisation d'un travail théorique visant à déterminer la forme géométrique susceptible d'inciter le conducteur à ralentir, puis ce travail fait, à rechercher certaines configurations qui en découlent (rapport disponible en avril). Il est ressorti quatre grandes familles de marquage (fig. 1) :

- géométrique 30 %
- forme panneau 25 %
- figuratif 21 %
- écrit 16 %.

Compte-tenu de ces résultats, une investigation plus poussée a été faite sur les marquages type géométrique. Cinq éléments de cette famille (figure 1) [1] ont été soumis pour avis à des spécialistes et à des profanes ; cette enquête a donné comme résultat :

RESUME DES GRAPHISMES OBTENUS



- peu de différences entre profanes et professionnels,
- 80 % comprennent qu'il faut ralentir,
- les chevrons arrivent en première position dans le choix des cinq figures.

Suite à cette réflexion théorique, trois essais en site réel ont été réalisés :

a) Un marquage type "entonnoir" (fig. 2.1)

Le dispositif a été installé pour traiter du problème d'entrée d'agglomération. Trois analyseurs de vitesse ont été posés sur la chaussée :

- 75 m avant le dispositif
- à la fin du dispositif (panneau entrée d'agglomération)
- 75 m après le dispositif.

D'une part, les analyses de vitesse ont montré une augmentation de la vitesse après la mise en place du dispositif. Les résultats, avant/après en km/h, ont donné :

n° 1	92 - 87
n° 2	63 - 69
n° 3	58 - 72

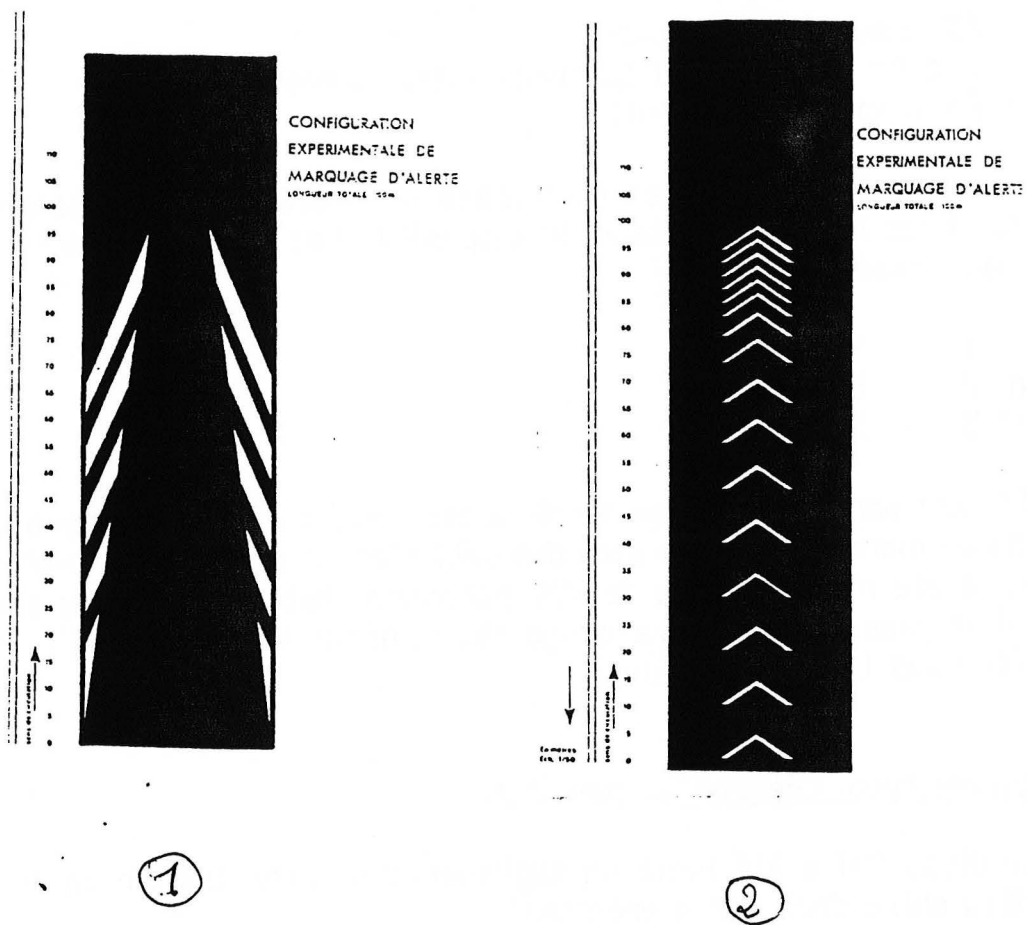
D'autre part, la mise en alerte a été confirmée par la comptabilisation de mise en marche des feux stop des véhicules en situation avant/après. Une enquête a été menée auprès de 400 personnes habitant dans les environs du site : il en ressort que le marquage est compris et bien accueilli, mais qu'il n'empêche pas la transgression.

b) Marquage type "chevron" (figure 2.2)

Le dispositif a été testé en agglomération, pour traiter un problème de transition entre deux zones urbaines.

Il n'a pas été fait de mesures de vitesse aussi fines que précédemment, mais grâce à la boucle de détection de vitesse du PMV située en fin de dispositif et sur la voie lourde, il a été possible de faire des enregistrements qui mettent en évidence une diminution des grandes vitesses.

Figure 2



c) Marquage type CUS (marquage en axe et rive)

Ce dispositif original a été mis en place pour traiter du problème d'entrée d'agglomération à Strasbourg.

La fonction guidage a été prise en compte pour définir la forme du dispositif, un traitement en axe et en rive simultané permet de casser la perspective de ligne droite (segments anguleux).

Sur le premier site, des analyses de vitesse ont montré une baisse de 10 % en sortie de dispositif, et une augmentation de 10 % en entrée. Une enquête de perception a été faite, il en ressort que :

- personne n'a vu le dispositif et ne peut en définir sa forme ;
- le passage piéton, situé au milieu du dispositif, n'est plus perçu.

L'adjonction d'effets sonores en rive a généré des problèmes de bruits et d'utilisation pour les deux roues.

Le deuxième dispositif, similaire au premier dans la volonté de briser la perspective de ligne droite, est plus modulaire dans sa forme : quatre modules de 20 m. Une baisse de vitesse de 10 % a été enregistrée.

- d) Des fabricants ont aussi expérimenté des bandes transversales rouges. Cependant, une étude du C.E.T.E. de Bordeaux a mis en évidence que ce dispositif a des effets pervers non négligeables (réactions allergiques, augmentation des vitesses après deux mois d'utilisation).

Suite à donner en 1989

La lecture des enseignements issus des travaux réalisés en 1989 montre que ce dispositif, comme tout équipement de sécurité, est à manier avec précaution.

Il faut absolument mieux préciser :

- ses caractéristiques géométriques,
- son domaine d'utilisation,
- les critères de mise en oeuvre,

et veiller à éviter les effets pervers (accoutumance, accélération en sortie de dispositifs , ...).

D'autre part, le L.C.P.C. a offert sa collaboration afin de réaliser des images de synthèse du dispositif.

III – ÉTUDE PAR SYNTHÈSE D'IMAGES

Un des avantages de la synthèse d'images est de pouvoir remplacer certains essais sur site par des essais de simulation en laboratoire.

Dans le cas présent, la synthèse d'images va nous permettre d'optimiser la géométrie des marquages dits "avertisseurs visuels de danger" en limitant le nombre d'essais sur site réel qui présentent de nombreux inconvénients, que ce soit au niveau :

- du coût (il faut compter 50 KF pour tester une forme),
- des délais (l'essai est réalisé lors d'une campagne de marquage),
- du choix du site,
- de l'inertie des différents partenaires,
- des campagnes de mesures sur le terrain (mesures de vitesse, enquêtes de perception auprès des usagers,).

Nous allons donc simuler le champ visuel d'un automobiliste (VL et PL) franchissant à vitesse donnée, le marquage à tester.

Les dispositifs varieront au niveau :

- de la forme du motif,
- de la loi de transformation de ce motif suivant la trajectoire,
- de la loi d'évolution des interdistances entre motifs successifs.

La simulation doit aboutir à la production de séquences de film vidéo qui seront soumises à un groupe de travail qui sélectionnera le ou les dispositifs les plus efficaces a priori avant de procéder à un test d'évaluation sur site.

En 1988 une étude de faisabilité a été réalisée sur la machine CUBI 7 du S.E.T.R.A. à l'aide du logiciel ANYFLO et a abouti à la réalisation d'une séquence de film vidéo.

Nous avons simulé le franchissement du dispositif suivant (figure 3) utilisant comme motif le chevron. Un exemple de simulation est donné en figure 4.

Nous avons fait varier la vitesse de passage de 40 km/h à 80 km/h, par pas de 10 km/h pour deux longueurs d'implantation (140 m et 85 m).

CONFIGURATION EXPERIMENTALE DE MARQUAGE D'ALERTE

LONGUEUR TOTALE : 90,5 +(50m)

LIGNE CONTINUE

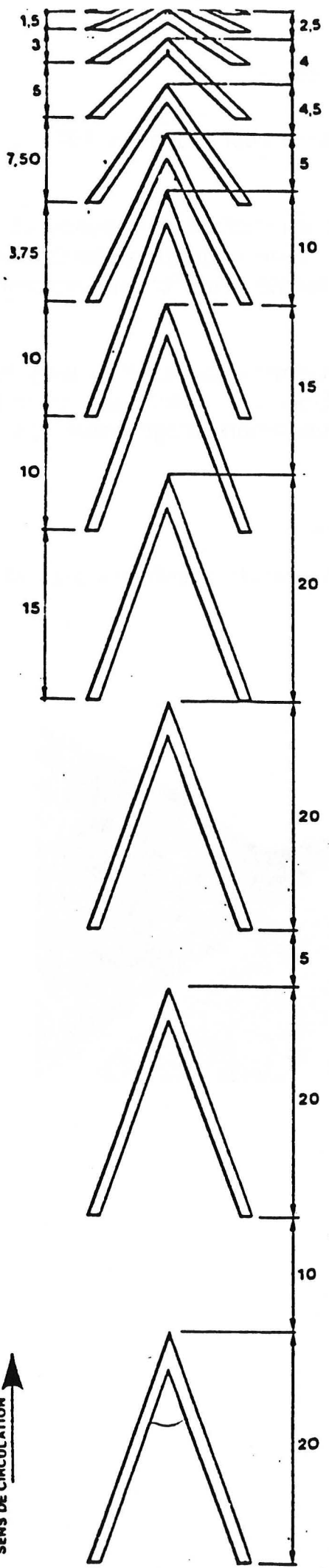
TROTTOIR

SENS DE CIRCULATION

FACULTATIF
SELON LE SITE

En mètres
Ech.: 1/50

Figure 3



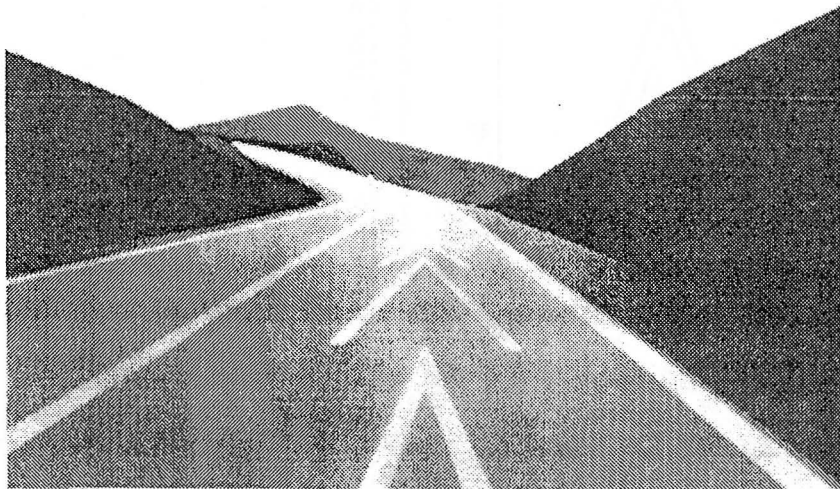
L'essai a été convaincant et l'étude va reprendre en 1989 avec un plan d'expérience précis.

Nous allons nous restreindre à deux motifs : le chevron et le chevron étêté qui correspondent aux résultats d'une enquête préalablement menée auprès d'usagers afin de déterminer la forme géométrique incitant le plus le conducteur à ralentir.

Nous allons étudier l'impact du tassement du motif le long du dispositif et nous allons jouer sur la loi d'évolution des interdistances entre motifs afin de créer la meilleure sensation (variation progressive, par palier ou mixte).

Figure 4

Simulation du franchissement du dispositif représenté page 23



CRITERES DE VISIBILITÉ ET PERFORMANCE DES TECHNOLOGIES DISPONIBLES POUR LES PANNEAUX À MESSAGES VARIABLES

Mme COLOMB - M. HUBERT
LABORATOIRE CENTRAL DES PONTS ET CHAUSSEES

I - INTRODUCTION

Les panneaux à messages variables sont de plus en plus utilisés sur les grands axes routiers et autoroutiers. De nouvelles technologies telles que les fibres optiques et les diodes électroluminescentes sont apparues ces dernières années dans le domaine de la signalisation.

Leur particularité a nécessité une révision du cahier des charges afin de compléter les recommandations relatives aux intensités lumineuses et aux couleurs des produits.

Nous nous intéressons ici aux panneaux d'information délivrant des messages alphanumériques composés de caractères matriciels de 5 x 7 points. En effet, l'ancien cahier des charges (version 1982) [1] ne prévoyait aucune spécification particulière pour cette application.

Les critères photométriques de visibilité à établir sont plus précisément des critères de lisibilité.

Pour ce faire, nous avons procédé parallèlement à une étude bibliographique et à une étude expérimentale de validation.

II - ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

En ce qui concerne les problèmes de lecture de caractères alphanumériques matriciels utilisés en signalisation, il existe très peu d'études même au niveau international.

Par contre, on dispose d'une bibliographie très riche sur la lecture des panneaux plus traditionnels réalisés en films rétro réfléchissants ou en caissons lumineux.

C'est à partir de la compilation de ces éléments que nous avons extrait les règles simples indiquées ci-après.

- Pour la lecture de jour, c'est une spécification sur le contraste entre les caractères et le fond du panneau qui est souvent retenue.

Si l'on définit, dans ce cas particulier, le contraste par le rapport de la luminance de la lettre L , sur la luminance du fond du panneau L_F ,

$$C = \frac{L}{L_F}$$

alors un certain nombre d'auteurs recommandent un contraste voisin de 10 pour assurer une bonne lecture.

Au cours d'études antérieures, le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées a trouvé des valeurs de 7 à 15 conduisant à une lecture satisfaisante sur des panneaux classiques et des P.M.V. [2].

Si l'on tient compte des diverses études réalisées sur des matériels différents, de couleurs différentes et présentés dans des conditions allant du laboratoire au site réel routier ou autoroutier, alors on peut considérer que la lecture est correcte pour un contraste compris entre 3 et 25 : $3 \leq C \leq 25$.

- Pour la lecture de nuit, dans le cas particulier de ces panneaux d'information lumineux, la luminance de fond du panneau tend vers zéro.

Alors seule la luminance du caractère devient le critère de visibilité.

Nous indiquerons ici les résultats d'une importante étude américaine [3] réalisée sur des caissons lumineux, aussi bien dans des conditions rurales qu'urbaines de nuit.

L'auteur préconise pour une lecture confortable :

- dans les zones rurales peu ou pas éclairées, une luminance comprise entre 30 et 300 cd/m^2 et dans les zones urbaines fortement éclairées, une luminance comprise entre 300 et 1500 cd/m^2 .

Je rappelle qu'il s'agit de conditions de lecture confortable, car on sait par ailleurs [3] qu'un seuil de luminance de quelques candélas par m^2 est suffisant pour permettre la lecture.

III - ÉTUDE EXPÉRIMENTALE DE VALIDATION

Comme je l'ai indiqué précédemment, ces recommandations photométriques proviennent en grande partie d'études sur des panneaux qui ne sont pas des P.M.V. matriciels.

Aussi il était important de développer une étude propre ayant pour objet de valider ces données et également d'approfondir les particularités de ces nouvelles technologies.

En effet, pour une taille de caractère donnée, le caractère est formé de $5 \times 7 = 35$ points, mais ces points peuvent avoir une taille propre variable suivant les techniques utilisées. Nous avons donc tenté d'évaluer l'influence de l'intensité lumineuse et de la taille de ces points sur la performance de lecture.

L'étude a été réalisée sur un panneau expérimental à diodes, réalisé pour l'étude par le Laboratoire d'Optoélectronique de l'Université de Poitiers, ne présentant qu'un seul caractère de 320 mm de haut, sur lequel on peut afficher successivement les 26 lettres de l'alphabet. Ce panneau permet d'afficher une intensité lumineuse variable et une taille de point variable, ce point pouvant être composé de 1 à 36 diodes, comme on peut le voir sur la figure 1 ci-jointe, où sont allumées 1, 4, 9, 16, 25 à 36 diodes par points.

Ce panneau a été présenté à 27 observateurs placés à l'intérieur d'un véhicule à l'arrêt à 200 m du panneau. Les 26 lettres de l'alphabet sont présentées dans un ordre aléatoire avec une taille de point variable et une intensité lumineuse variable.

L'intensité lumineuse par point varie de 0,02 à 1,5 cd/point de nuit et de 0,2 à 8 cd/point de jour.

1 - Résultats de jour

Les résultats sont exprimés sur la figure 2 par le taux de bonne lecture en pourcentage - en fonction du contraste de luminance pour les résultats de jour - de façon à les comparer aux données bibliographiques.

La luminance du fond du panneau a varié en fonction de l'éclairement ambiant, au cours des essais entre ≈ 200 et 500 cd/m^2 .

Nous avons retenu pour le calcul du contraste de la figure 1, une valeur de $L_F = 200 \text{ cd/m}^2$.

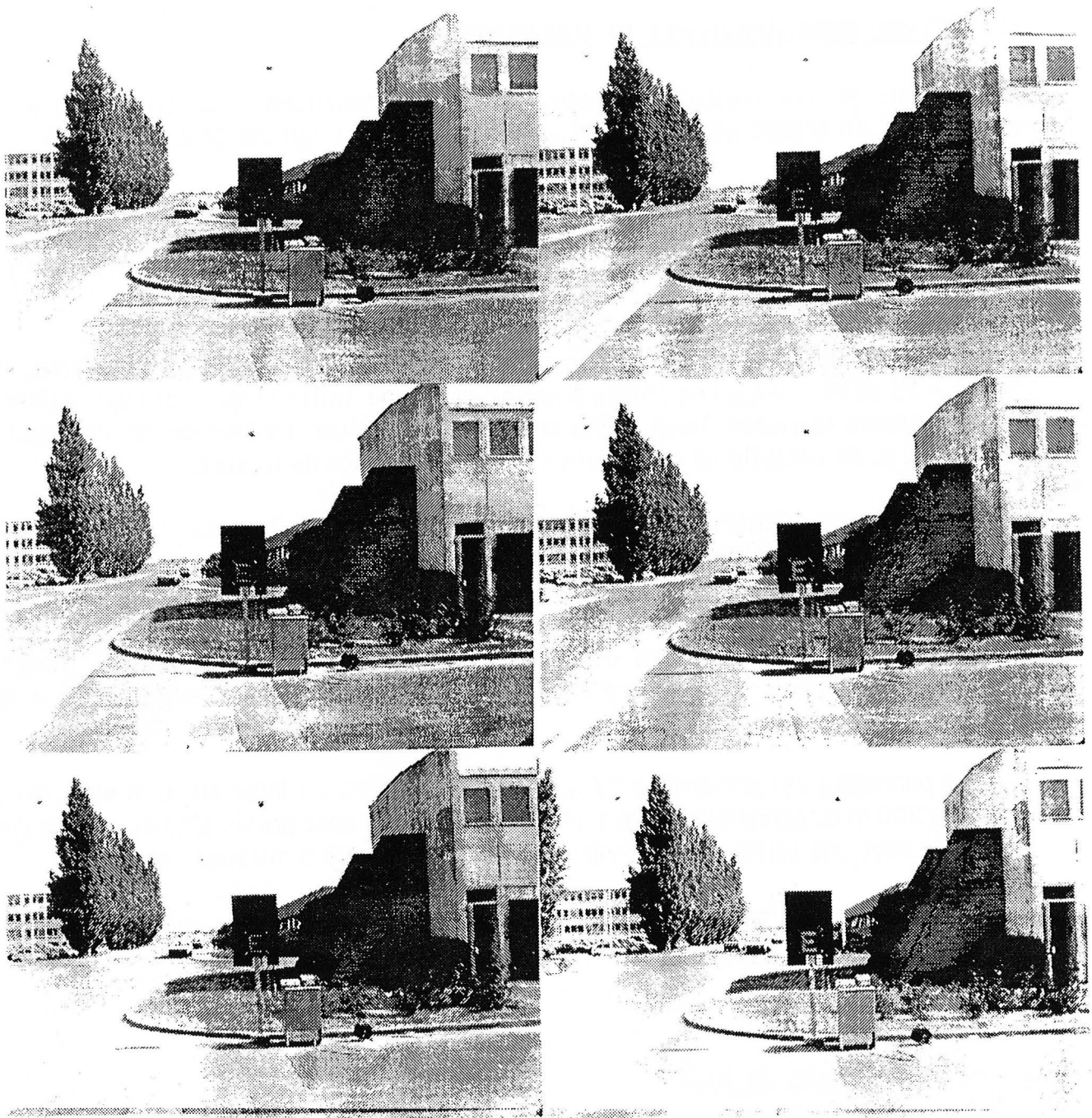


Figure 1

Présentation du caractère E réalisé dans une matrice de 5 x 7 points, chaque point étant composé de 1, 4, 9, 16, 25, 36 diodes de haut en bas et droite à gauche.

La luminance intrinsèque du caractère L , est calculée à partir de l'intensité lumineuse par point et de la surface du caractère.

$$L_1 = \frac{I_p \times 35}{S}$$

De jour la luminance réelle L est la somme de la luminance intrinsèque L_1 et de la luminance externe égale à la luminance du fond du panneau éteint : L_F . Le contraste :

$$C = \frac{L}{L_F} = \frac{L_1 + L_F}{L_F}$$

On constate que le taux de lecture croît de 10 à 50 % puis 85 % lorsque le contraste augmente de 1,5 à environ 3, puis 8. La performance se stabilise ensuite à environ 85 % pour un contraste compris entre 8 et 20.

Ce résultat confirme la gamme de contraste acceptable issue de la bibliographie ($3 \leq C \leq 25$).

Sur la figure les divers symboles correspondent aux différentes tailles de point. Cette expérience n'a pas montré d'influence de la taille de ces points sur la performance.

REMARQUE : Ces valeurs de luminance sont des luminances mesurées à courte distance du panneau, comme les valeurs "brutes" des références bibliographiques.

Elles ne tiennent pas compte de la luminance de voile atmosphérique, ni de la luminance du pare-brise qui sont à considérer si l'on se place au niveau de l'oeil du conducteur.

Ces derniers facteurs sont en réalité pris en compte indirectement dans la réponse des observateurs qui sont placés à l'intérieur d'un véhicule.

2 - Résultats de nuit

Les résultats de nuit sont exprimés par le taux de bonne lecture en fonction de la luminance du caractère et sont donnés en figure 3.

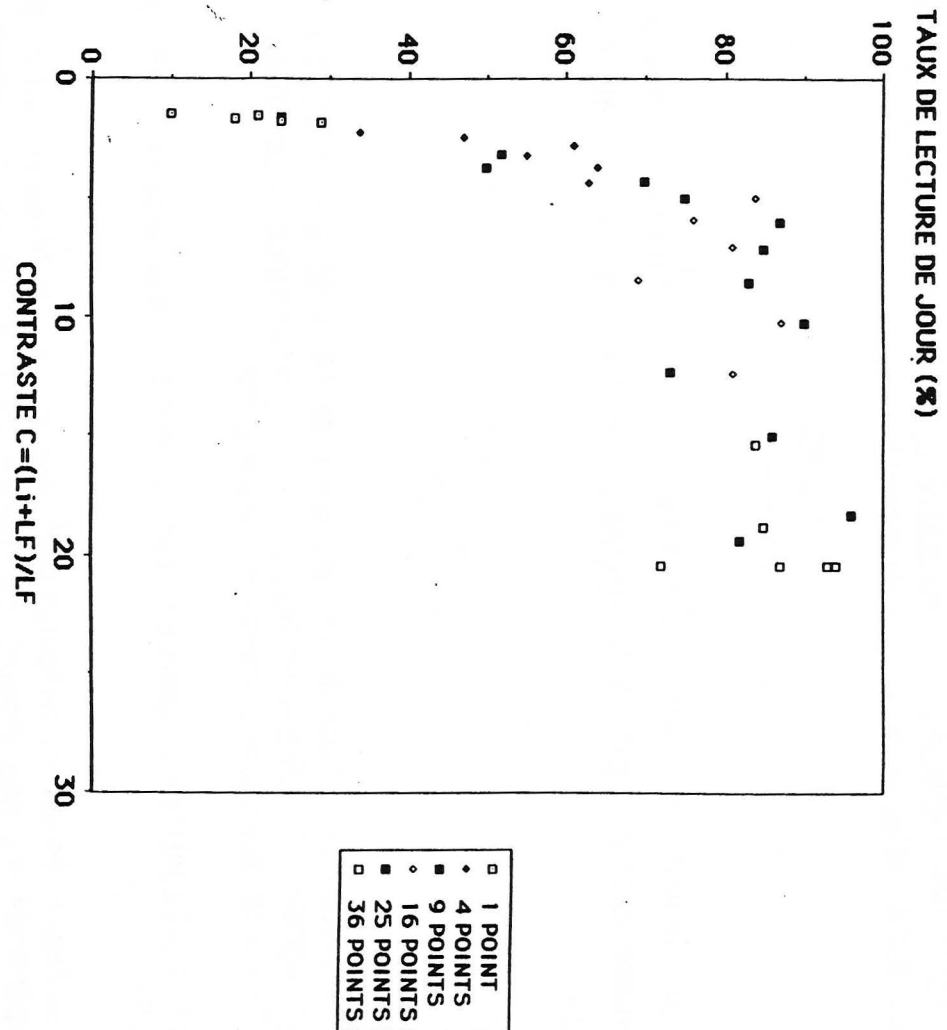


Figure 2

Evolution du taux de bonne lecture de jour
en fonction du contraste

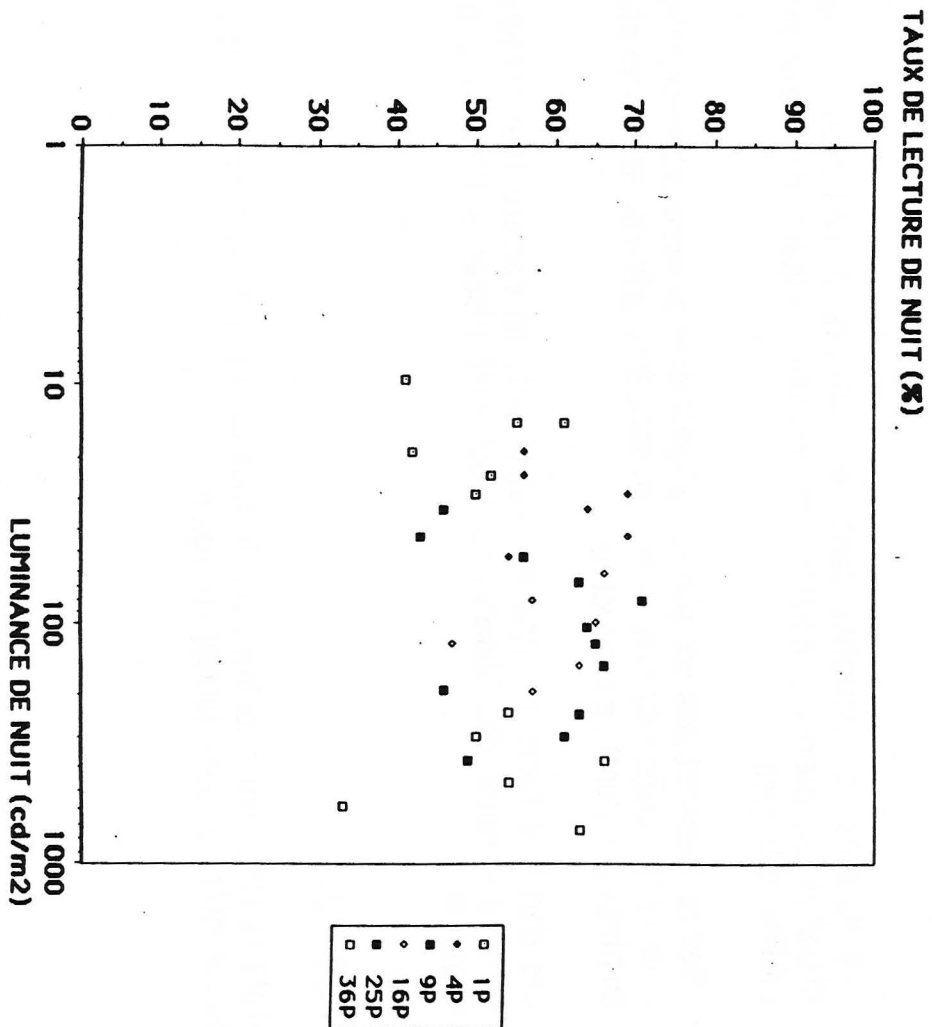


Figure 3

Evolution du taux de bonne lecture de nuit
en fonction de la luminance

Cette luminance du caractère de nuit se limite à la luminance intrinsèque :

$$L = L_1 = \frac{I_p \times 35}{S}$$

Elle varie entre 9 et 730 cd/m².

On obtient en fait des résultats très dispersés pour le taux de lecture, qui ne montrent pas d'évolution avec la luminance, c'est-à-dire que le taux de réponse, de l'ordre de 60 %, reste stable entre environ 10 à 700 cd/m², ce qui englobe la zone de 30 à 300 cd/m² indiquée dans la bibliographie.

En conclusion, nous retiendrons les critères de lisibilité de la bibliographie plus restreints que ces premiers résultats expérimentaux, pour les appliquer aux P.M.V. d'information.

L'influence de la taille des points représentée par divers symboles sur la figure 3 n'est pas sensible non plus pour ces résultats de nuit.

3 - RECOMMANDATIONS PHOTOMÉTRIQUES

Ces études bibliographiques et expérimentales nous donnent donc des éléments pour spécifier une intensité lumineuse par point des caractères, à partir des relations suivantes :

$$\text{De jour } I_p = (C - 1) \times L_f \times \frac{S}{35} \quad \text{avec } [3 < C < 25]$$

$$\text{De nuit } I_p = \frac{L \times S}{35} \quad \begin{array}{l} \text{avec } 30 < L < 300 \text{ en rural} \\ 300 < L < 1500 \text{ en urbain} \end{array}$$

C'est avec cette démarche qu'on a été établies les nouvelles spécifications du cahier des charges [4].

IV - PERFORMANCES PHOTOMÉTRIQUES ET COLORIMÉTRIQUES DES PANNEAUX À MESSAGES VARIABLES

1 - Rappel des spécifications

Un arrêté du 13 juin 1979 a autorisé, pour la signalisation variable, la possibilité de l'inversion des couleurs entre les symboles et les fonds de panneaux ; les symboles et inscriptions présentés au moyen d'une trame de points lumineux peuvent être de couleur blanche sur un fond de couleur sombre. Pour tenir compte de l'apparition des diodes électroluminescentes, en accord avec la convention internationale sur la signalisation routière, on a autorisé, pour les symboles et inscriptions, une couleur claire englobant le blanc et le jaune.

Les panneaux que nous avons mesuré sont fabriqués selon deux technologies :

- 1 - Panneaux à fibres optiques où chaque point est constitué d'une ou plusieurs extrémités de brins de fibres optiques éclairés en lumière blanche ; des filtres colorés peuvent être utilisés pour obtenir la couleur désirée.
- 2 - Panneaux à diodes électroluminescentes où chaque point est constitué de plusieurs diodes. Les diodes émettent une lumière quasi-monochromatique de couleur rouge, jaune ou verte. Pour obtenir des couleurs intermédiaires, chaque point pourra être constitué d'un mélange de diodes de différentes couleurs.

Pour les caractéristiques photométriques, nous nous limiterons aux panneaux de catégories 3 et 4 (direction et information). À partir des fourchettes de contrastes nécessaires pour une bonne lecture, des intensités lumineuses par point ont été spécifiées (tableau 1) dans la rédaction n° 5 du cahier des charges d'homologation des panneaux à messages variables [4].

Panneaux de catégories 3 et 4

Tableau 1 : Intensités spécifiées de jour

Hauteur caractères (mm)	Intensité (cd) par point		
	Lu 1	Lu 2	Lu 3
400	5 à 8	10 à 40	20 à 80
250	2 à 3,5	4 à 15	7,5 à 32
160	0,8 à 1,5	1,5 à 6,5	3 à 13

$Lu\ 1 < 500\ cd.m^2$

$500 < Lu\ 2 < 1000\ cd.m^2$

$Lu\ 3 > 1000\ cd.m^2$

Les intensités sont données en fonction de la hauteur des caractères et de la luminance de la face avant. Les hauteurs 400, 250 et 160 mm sont les hauteurs recommandées respectivement pour autoroute, rase campagne et voie urbaine ; Lu 1, Lu 2 et Lu 3 représentent trois classes de luminance de la face avant dans des conditions de jours les plus défavorables.

Actuellement, pour autoroute, la hauteur des caractères utilisés est 320 mm, dans le tableau 2, nous avons calculé les intensités par point correspondantes pour avoir le même contraste.

Tableau 2 : Intensité lumineuse par point pour des caractères de 320 mm

Hauteur caractères (mm)	Intensité (cd) par point		
	Lu 1	Lu 2	Lu 3
320	3,2 à 5	6,5 à 25	13 à 50

2 - Caractéristiques photométriques mesurées

a) Luminance de la face avant

La luminance est mesurée en extérieur dans la direction normale à la face. La face est dans un plan vertical perpendiculaire au plan vertical contenant la direction de mesure et le soleil, la hauteur du soleil est d'environ 20°. Les valeurs de luminance sont ramenées à un éclairement vertical de 100 000 lux.

Les valeurs trouvées pour trois types de face sont regroupées dans le tableau 3.

Face	Luminance (cd.m ²)
Sans face avant	≈ 900
Non traitée	≈ 600
Traitée anti-reflet	2 à 3000

On peut remarquer que dans les conditions de mesure :

- Toutes les faces se situent dans les classes de luminance Lu 2 et Lu 3.

- Les faces traitées anti-reflet ont une luminance élevée et sont, dans les conditions de mesure, défavorables pour la lisibilité.

b) Intensité lumineuse par point

Les intensités lumineuses par point mesurées dans la direction perpendiculaire à la face avant sont les suivantes :

- Pour les panneaux à fibres optiques :

- en couleur blanche de 20 à 40 cd
- en couleur jaune de 10 à 20 cd.

- Pour les panneaux à diodes :

L'intensité par point dépend du nombre de diodes composant ce point, de leur alimentation et de leur couleur. On a mesuré d'une part, pour les points constitués de 8 diodes rouges et de 8 diodes vertes, une intensité de l'ordre de 3,4 cd ; et d'autre part, pour des points avec 20 diodes jaunes et 20 diodes vertes, une intensité de l'ordre de 4,3 cd.

Rappelons que pour les diodes, l'intensité lumineuse décroît en fonction de la température (figure 4). Des mesures sur un modèle placé dans une enceinte de température ont montré une décroissance d'environ 40 % de l'intensité en passant de 20 à 80° C.

De même, en fonctionnement normal, l'intensité diminue à cause de l'échauffement propre des diodes. Après 20 mn de fonctionnement en laboratoire, l'intensité peut diminuer de 15 à 20 % (figure 5).

Figure 4

I fonction de la température

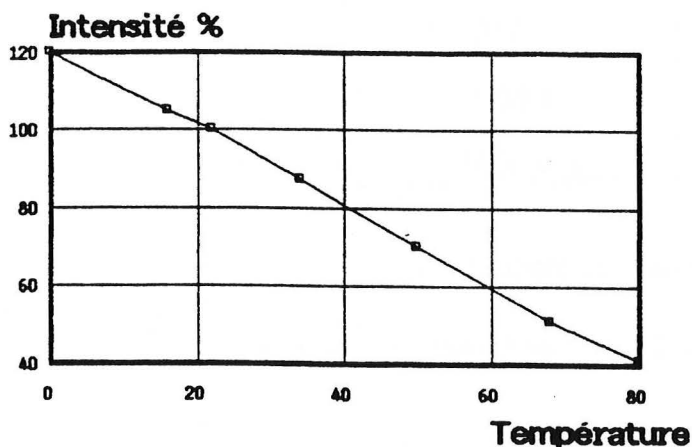
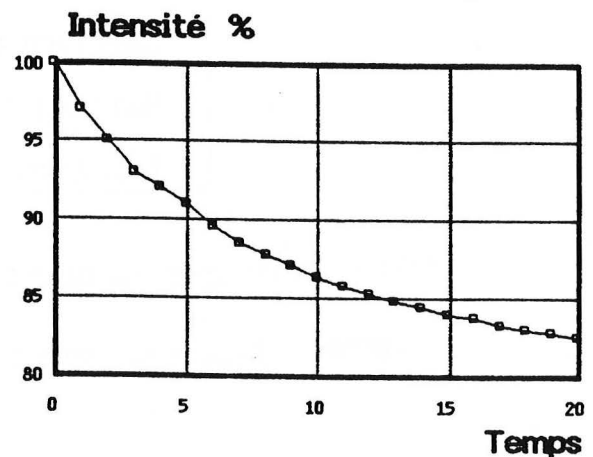


Figure 5

I fonction du temps



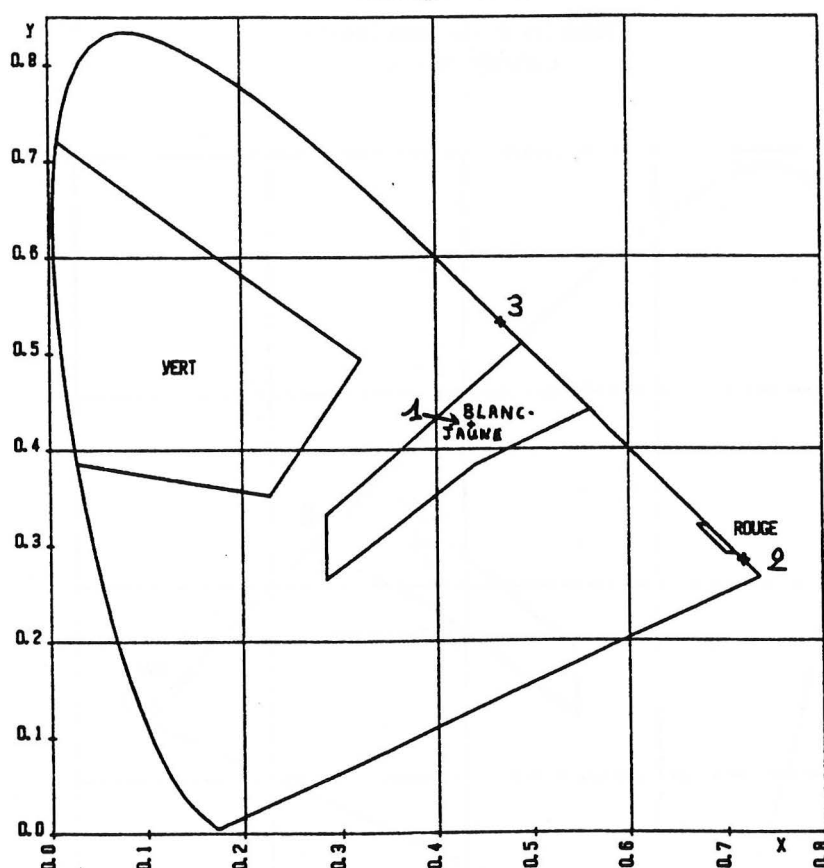
c) Caractéristiques colorimétriques

Les caractéristiques colorimétriques sont exprimées par les coordonnées chromatiques x, y dans le diagramme x, y de la Commission Internationale de l'Éclairage (C.I.E.).

Les domaines de couleur retenus pour les signaux d'affectation de voies sont reportés sur la figure 6, les domaines rouge et vert correspondent aux domaines des feux tricolores, le domaine blanc-jaune correspondant aux flèches de rabattement a été limité vers le jaune-rouge pour qu'il n'y ait pas risque de confusion avec le rouge.

Figure 6

Domaines de couleur
catégorie 2



Le point 1 correspond aux coordonnées de la lumière blanche ; à l'aide de filtres colorés, on peut obtenir les couleurs désirées.

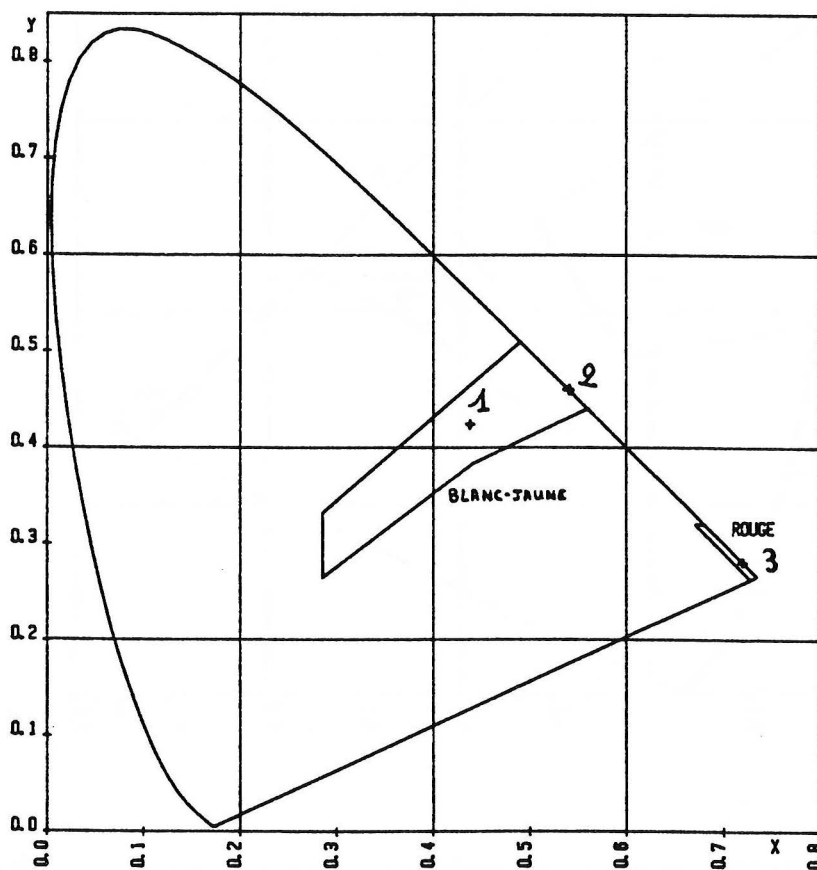
Les points 2 et 3 correspondent respectivement aux diodes rouges et vertes ; en mélangeant ces deux couleurs, on ne peut obtenir qu'une couleur située entre ces deux points. On peut constater qu'actuellement avec la technologie des diodes, on ne peut pas obtenir la couleur verte spécifiée.

Sur la figure 7 sont reportés les domaines pour les panneaux de catégorie 1 (police). Le domaine blanc-jaune pour les symboles est identique à celui retenu pour la catégorie 2. Par contre, le domaine rouge a été étendu vers le bas pour inclure les diodes rouges.

Les points 1, 2 et 3 correspondent aux coordonnées mesurées respectivement des points :

- en lumière blanche
- mélange de diodes jaunes et vertes.

Figure 7
Domaines de couleur
catégorie 1



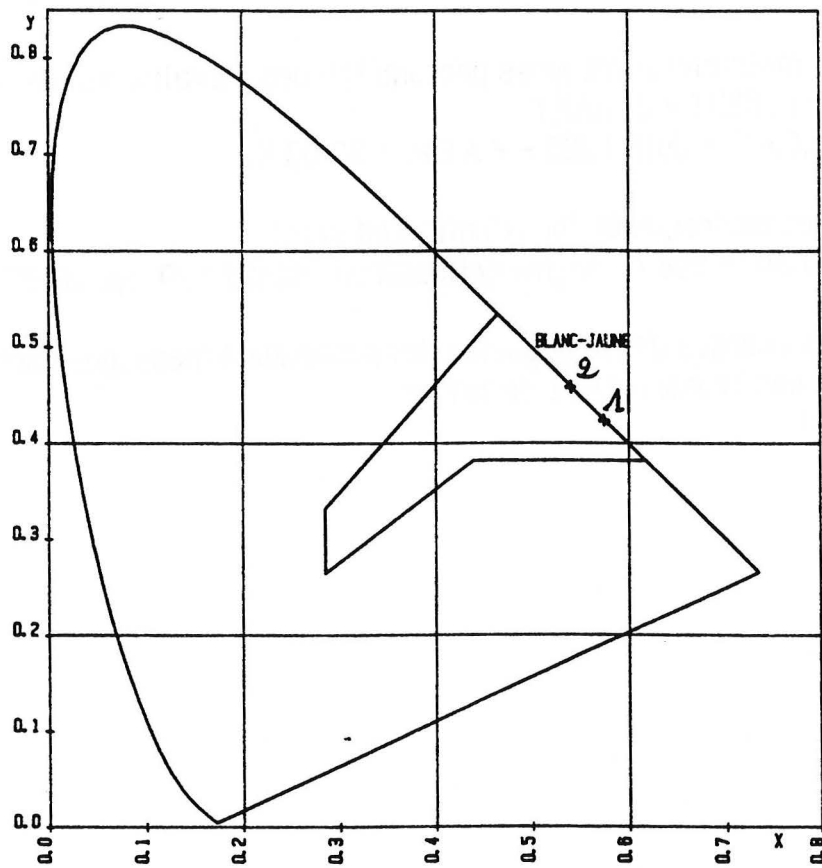
Sur la figure 8, nous avons reporté le domaine blanc-jaune pour les panneaux de catégories 3 et 4 (direction et information). Comme il n'y a qu'une couleur, ce domaine est légèrement plus étendu que celui des panneaux de catégories 1 et 2.

Les points 1 et 2 correspondent aux coordonnées mesurées respectivement des points :

- mélange de diodes rouges et vertes
- mélange de diodes jaunes et vertes.

Figure 8

Domaines de couleur
catégories 3 et 4



V - CONCLUSION

Puisque la lisibilité dépend du contraste, alors l'intensité lumineuse nécessaire à une bonne lecture est fonction de la luminance de la face avant du panneau.

Les premières mesures réalisées en laboratoire de photométrie indiquent que les panneaux à fibres optiques peuvent donner satisfaction quelles que soient les conditions lumineuses. Par contre, les diodes semblent insuffisantes dans des conditions de jour défavorables.

RÉFÉRENCES

- 1 Cahier des charges d'homologation des panneaux à messages variables
Ministère des Transports
Mai 1982.
- 2 Panneaux matriciels : mesures photométriques - Évaluation de la lisibilité
COLOMB - HUBERT - BRIQUET
Rapport L.C.P.C. - Juin 1985 - F.A.E.R. 1 20 03 5.
- 3 Luminance requirements for illuminated signs
ALLEN and all. - 1967 - Highway Research Record 179, pp. 16-37.
- 4 Cahier des charges d'homologation des panneaux à messages variables
Ministère des Transports et de la Mer
Août 1988.

ÉTUDE DU GRAPHISME DES SYMBOLES MATRICIELS DES PANNEAUX À MESSAGES VARIABLES

M. HENRIET : SERVICE D'ÉTUDES TECHNIQUES DES ROUTES ET AUTOROUTES
M. CARTA : LABORATOIRE CENTRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES

Comme la plupart des activités en développement, la signalisation variable manque encore de points de repère.

Du point de vue des textes réglementaires, il existe un seul article dans l'Instruction Interministérielle sur la Signalisation Routière. Cet article de 1979 autorise l'inversion des couleurs du fond et des symboles pour les signaux variables formés de trames de points.

Du point de vue des spécifications techniques, il existe une procédure d'homologation basée sur un cahier des charges en évolution. Les spécifications concernant les graphismes des symboles matriciels ne sont pas précisées.

Pour situer le cadre de la présente intervention, rappelons qu'on distingue généralement trois catégories de panneaux à messages variables :

- les panneaux de danger et de police
- les panneaux de direction
- les panneaux d'information.

Évidemment, la définition graphique des symboles matriciels concerne prioritairement la première catégorie.

Depuis longtemps, les fabricants ont fait homologuer des PMV de danger ou de police dits "précâblés" ou "prédisposés". Chaque point formant le symbole était placé au mieux de façon à ce que le "rendu" du signal s'apparente au mieux avec le symbole du panneau permanent auquel il faisait référence. Mais cette technique ne permet guère plus de deux ou trois signaux sur un même PMV.

Suite au développement des panneaux alphanumériques d'information routière, les fabricants ont acquis une grande expérience des panneaux matriciels. Il était facile d'utiliser les technologies des panneaux alphanumériques pour la représentation matricielle des symboles. Ce qui offre, contrairement aux techniques de précâblage, la possibilité de représenter sur un même panneau une infinité de signaux.

Naturellement, dans l'objectif de minimiser les coûts, la tentation est d'utiliser une matrice ayant la plus petite définition possible. Le risque est alors élevé de s'écarter de la définition graphique des symboles des panneaux permanents.

L'expérience a montré combien la compréhension des panneaux routiers était parfois hasardeuse. Le souci de l'administration était donc de s'assurer que les signaux soient compris par les usagers, et, par conséquent, de fixer des spécifications pour l'homologation, sachant que ces spécifications doivent fixer le choix des moyens.

Le logiciel EDGAR (Éditeur **G**raphique d'**A**ffichage **R**outier) est un outil d'aide à la décision qui peut par exemple permettre :

- de fixer les caractéristiques limites de la matrice permettant de réaliser les symboles ;
- de proposer des graphismes-types à partir de cette matrice minimale.

FONCTION DU PROGRAMME

Cet éditeur graphique offre la possibilité de visualiser, sur le moniteur haute définition (E.G.A.) d'un micro-ordinateur PC compatible, une figure constituée d'éléments juxtaposés, circulaires ou carrés, de même taille et de couleur quelconque. Cette figure peut être assimilée à une matrice d'éléments graphiques dont la taille serait préalablement fixée.

À l'aide de touches appropriées, l'utilisateur se déplace dans cette matrice et modifie la couleur des éléments traversés. Il peut, ainsi, de manière interactive reproduire le dessin de son choix.

L'écran peut être ensuite sauvegardé sur fichier pour être réaffiché ultérieurement et modifié le cas échéant. Afin d'assurer la compatibilité entre les matériels informatiques, la sauvegarde est réalisée en code ASCII.

APPLICATION AUX PANNEAUX MATRICIELS

L'étude du graphisme des symboles matriciels des panneaux à messages variables nous a conduit à mettre au point un algorithme permettant de "traduire" sous forme matricielle la représentation classique des symboles des panneaux routiers.

- Principe de l'algorithme

Après avoir digitalisé le dessin représentant le panneau traditionnel, celui-ci est visualisé sur le moniteur du micro-ordinateur par l'intermédiaire du programme EDGAR. L'utilisateur ayant fixé la taille de la matrice dans laquelle il souhaite représenter le panneau, celle-ci est superposée au dessin ; l'algorithme utilisé matérialise uniquement les éléments de la matrice contenant une partie du symbole.

Une fois cette étape réalisée le programme redevient interactif et l'utilisateur peut modifier le dessin à sa convenance afin, par exemple, de corriger les imperfections dues au caractère automatique de l'algorithme.

- Panneaux étudiés

L'étude a porté sur les panneaux cités ci-après, chaque fois nous avons choisi 3 tailles de représentation matricielle pour le panneau complet (symbole + triangle ou cercle rouge) : 40 x 40 - 64 x 64 - 80 x 80.

- Chaussée glissante : A4
- Passage pour piétons : A13b
- Interdiction de doubler pour les poids lourds : B3a
- Virage à gauche : A1b
- Travaux : AK5
- Descente dangereuse : A16

Un exemple de représentation 64 x 64 est donné (figure 1)

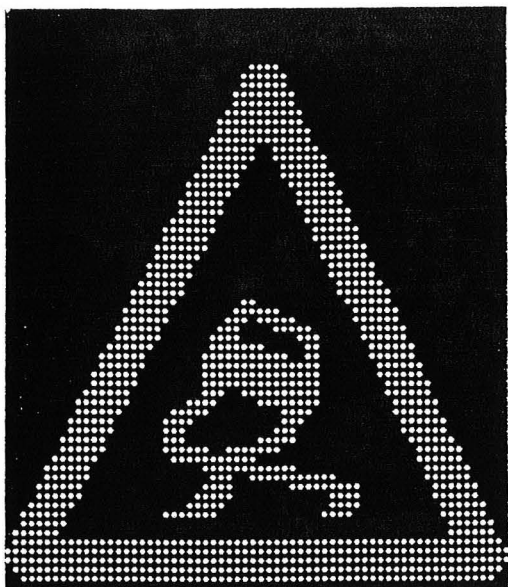
CONCLUSIONS

Ce programme a permis d'apprécier les limites de la transposition, sous forme matricielle, du graphisme des panneaux classiques. Nous constatons, en effet, que les symboles dont les contours correspondent à des lignes horizontales ou verticales "résistent" à la transformation et que la taille de la matrice peut être réduite à 40 x 40 (B3a).

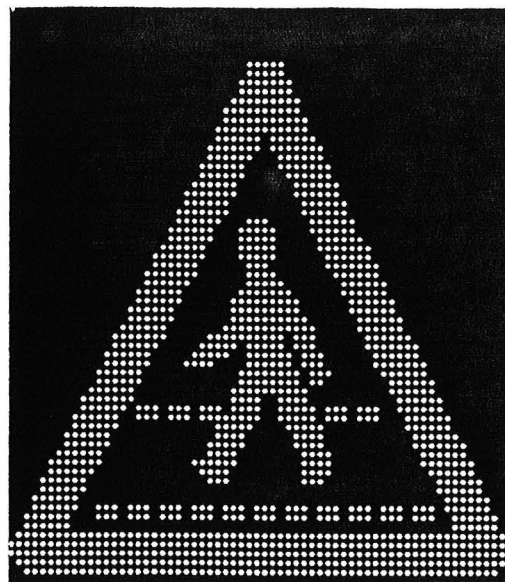
Il n'en est pas de même avec des symboles au contour plus complexe où la taille de la matrice devrait atteindre 64 x 64 pour une lecture convenable (A4).

Enfin, pour des symboles dont le message est trop détaillé (A16), il faut atteindre une taille de matrice si importante qu'il devient nécessaire de modifier la représentation du symbole même si celle-ci doit s'écarter de la représentation traditionnelle.

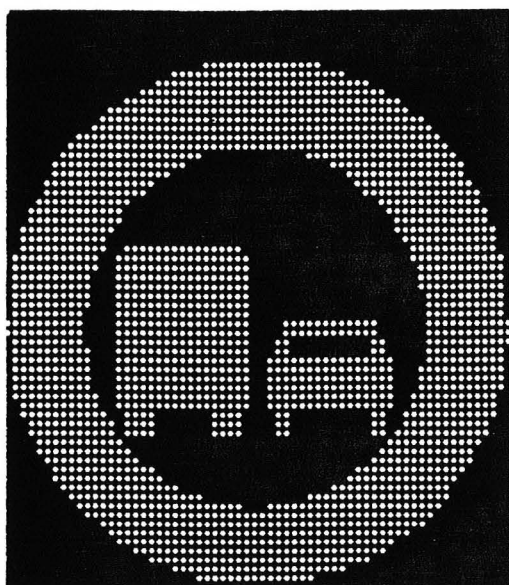
Notre étude sera poursuivie par la présentation de modèles de panneaux matriciels à des observateurs afin de déterminer la taille minimale de la matrice pour une lecture correcte et l'influence du graphisme sur cette lecture.



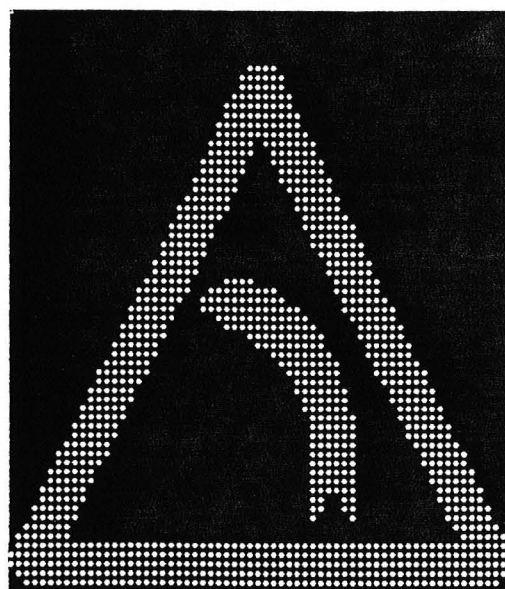
A4 (64x64)



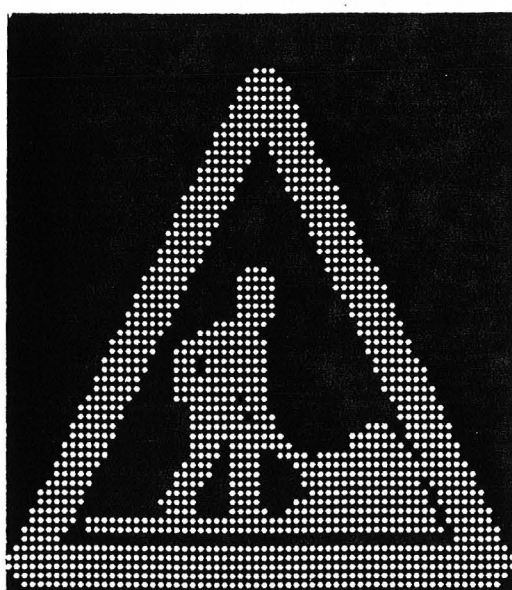
A13b (64x64)



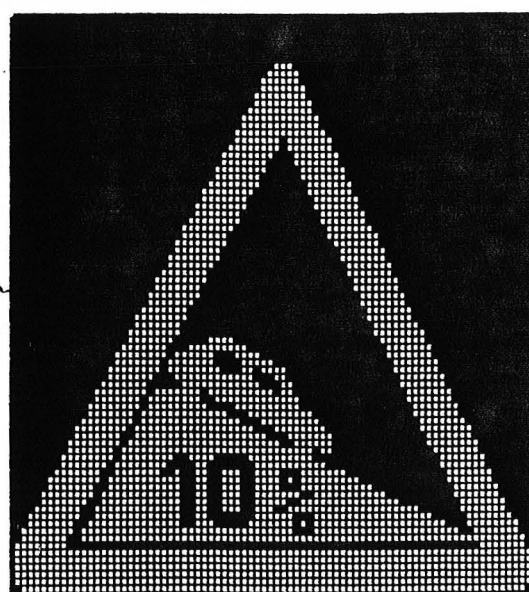
B3a (64x64)



A1b (64x64)



AK5 (64x64)



A16 (80x80)

Figure 1: Exemples de panneaux matriciels réalisés à l'aide du logiciel EDGAR

DU PROJET À LA RÉALISATION ET À L'EXPLOITATION DE LA NOUVELLE BALISE D'INFORMATION "TRAFICOLOR"

Mme DORÉ-PICARD : I.N.R.E.T.S.
M. MAUREL : ESCOTA

PREMIERE PARTIE

ÉTUDE DE PERCEPTION ET DE VISIBILITÉ POUR LA MISE AU POINT DE LA BALISE

Mme DORÉ-PICARD

Dans le cadre de réflexions sur le développement de l'information routière et de la signalisation variable, un groupe de travail réunissant la profession (sociétés d'autoroutes) et l'administration, a proposé la création d'une balise d'information routière, indicative d'un niveau de "gêne" possible pour l'usager de la route. Cette gêne peut avoir des causes diverses, une densité importante de circulation, un bouchon lié à un accident, ou encore, par exemple, des conditions météorologiques particulières.

Ce type d'information peut bien sûr être présenté sur des panneaux matriciels classiques, mais la formule étudiée se devait d'être plus économique, la balise devant être implantée en grand nombre. Elle est pour le moment à vocation principalement autoroutière et devrait permettre de renforcer la communication avec les conducteurs par l'annonce rapide des difficultés. Implantée en entrée de concession et en section courante avant chaque échangeur, elle offre d'éventuels éléments de choix pour pallier aux aléas survenant sur l'autoroute.

Pour cette balise baptisée "Traficolor", le groupe de travail a retenu le principe d'une échelle de couleur indiquant à l'usager une circulation normale (vert), perturbée (jaune), assez difficile (rouge), exceptionnellement difficile (noir).

Si divers projets de balises furent pensés par le groupe, peu furent retenus.

En effet, si la perception d'un signal passe par le choix de certains critères : contraste, dimension, couleur ; le caractère significatif du message, son pouvoir d'expression du sens qu'il doit transmettre, va dépendre de la cohérence d'utilisation des codes et symboles.

Toute activité humaine se pratique selon des codes qui déterminent les structures du comportement. Il existe différentes sortes de codes : les codes mères ou naturels que sont les langues ; les codes transposés tels le morse, le braille ; les codes spécifiques dont fait partie la signalisation routière.

Afin de mieux comprendre qu'on n'intègre pas n'importe quel signal dans un code déjà constitué, et qu'un signal ne fonctionne pas comme une unité isolée, on peut à titre d'exemple, faire une analogie avec un code naturel comme la langue française.

Si l'on présente les mots suivants peu connus à un individu français :

BOULINE,
VERPUTZ,

il est probable que pour trouver le sens du premier, cette personne consultera d'emblée un dictionnaire de français, et qu'il ne cherchera pas le second mot dans ce même dictionnaire.

En effet, il a en mémoire des connaissances acquises sur la langue française qui introduisent aisément le premier mot dans l'univers de référence des mots possibles de langue française et qui en éloigne le second.

De même, c'est parce qu'ils utilisaient un langage trop différent du "langage signalisation routière" que se virent rejetés divers projets de balises initiaux présentés dans le premier groupe d'étude.

Pour être efficace, le vocabulaire de la signalisation se doit d'être le plus simple possible.

Les mots lisibilité, clarté sont fréquemment employés à propos des symboles, que ceux-ci aient un bon degré d'iconicité comme les pictogrammes, ou qu'ils soient abstraits comme la balise qui nous occupe.

Si ces termes sont le reflet de soucis réalistes, ils restent trop flous pour servir de critères d'évaluation des messages.

Toutes les communications visuelles ont trois dimensions distinctes, essentielles, qui ont été retenues pour constituer une base plus objective d'évaluation de la qualité d'un signal.

Ce sont les dimensions syntaxique, sémantique et pragmatique.

1 - LA DIMENSION SYNTAXIQUE

Elle met en jeu les rapports des images visuelles entre elles. Pour mieux comprendre, à son propos, on se posera des questions comme :

- À quoi ressemble ce symbole ?
- Implique t-il une hiérarchie de perception ?
- Les éléments les plus importants sont-ils perçus les premiers ?
- Ce symbole est-il en contradiction avec les conventions habituelles, etc. ?

2 - LA DIMENSION SÉMANTIQUE

Elle met en jeu les rapports entre une image visuelle et un sens, elle pose d'autres questions comme :

- ce symbole représente t-il bien le message ?
- Les gens comprennent-ils bien le message véhiculé par le symbole ?
- Des personnes de culture, d'âges divers comprennent-elles aisément le symbole ?
- Celui-ci est-il facile à mémoriser, etc. ?

3 - LE TROISIEME CRITERE D'ÉVALUATION OU DIMENSION PRAGMATIQUE

Met en jeu les rapports entre l'image visuelle et l'utilisateur : il pose des questions comme :

- Une personne peut-elle voir nettement le symbole ?
- La vision de celui-ci est-elle perturbée par de mauvaises conditions d'éclairage, des angles de vue oblique, des bruits visuels ?
- Ce symbole peut-il être agrandi ou réduit sans perdre ses qualités perceptives, etc ?

En fait ces trois dimensions sont en relation étroite et complexe, toutefois leur utilisation permet de dégager et d'évaluer des qualités spécifiques.

C'est à partir de ces critères que fut effectuée une sélection de propositions permettant de retenir deux projets :

- une balise à fenêtre avec feux,
- une balise à fenêtre de couleur.

Le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées et l'I.N.R.E.T.S. ont procédé à des essais sur maquettes à échelle réduite en laboratoire de photométrie, ainsi qu'à des essais sur piste avec des maquettes à échelle réelle.

Notre objectif était d'optimiser la taille de la balise pour qu'elle soit lisible à grande distance de jour et de nuit et que la couleur activée soit bien identifiée.

Des contraintes nous étaient imposées : la balise devait être peu coûteuse et peu large (1 m) car devant parfois être implantée en terre-plein central.

Voyons plus précisément le projet avec feux (cf. figure 1)

Pour transmettre le message, on active un des rectangles colorés par un feu. Il faut donc définir l'intensité lumineuse du feu permettant de voir qu'il est allumé sans altérer l'identification de la couleur.

Pour obtenir un résultat correct, il faudrait utiliser une lampe de jour, une autre lampe de nuit et deux réglages de nuit (1 réglage pour les codes, 1 réglage pour les phares). De plus, si le réglage code est éclairé en phare, la lampe est invisible et, si le réglage phare est éclairé en code, il y a éblouissement et masquage de la couleur. Une lampe à tension variable commandée par une cellule photo-électrique ajustant l'intensité en fonction de l'éclairement reçu offrirait une solution à cette compétition lumineuse entre lampe et éclairage du film rétro réfléchissant du panneau. Mais cette option est compliquée et trop onéreuse, donc rejetée.

Second projet : la balise à "fenêtre de couleur" (cf. figure 2)

Ici, le rectangle plein coloré représente le message, les autres rectangles sont blancs, la petite bordure rappelle la couleur cachée et donc l'échelle de couleur.

De jour, la visibilité est satisfaisante. Par contre, de nuit, le rectangle jaune plein, et les bordures colorées sont peu perceptibles. La symétrie du graphisme se trouve donc déficiente, l'échelle est perturbée, il y a ambiguïté du signal présenté. Le projet est à revoir.

Pour améliorer ce projet, un important travail a été effectué en laboratoire de photométrie sur de nombreuses variantes de maquettes à échelle réduite au 1/10e.

Il ne sera pas ici listé tous nos essais, mais seulement quelques phases décisives :

- On a présenté un jaune plus orangé. L'oeil perçoit des couleurs relatives plutôt qu'absolues, le voisinage du rouge introduit des confusions entre les deux couleurs (rouge et jaune orangé).
- On a entouré d'un listel noir les rectangles colorés pour améliorer leur contraste.
- Puis on a étudié différentes largeurs de bordures colorées des rectangles.
- Ces bordures sont elles-mêmes été bordées de listels noirs.
- Enfin, pour tenter de mieux atteindre notre objectif, nous avons envisagé la création de 2 options : une balise plus large (1,70 m) implantée en rive droite, et une balise de rappel de 1 m de large pour le terre-plein central.

Figure 1

Schéma du projet de balise avec feux

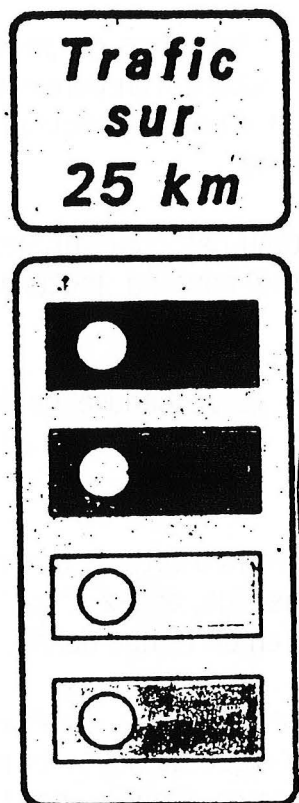
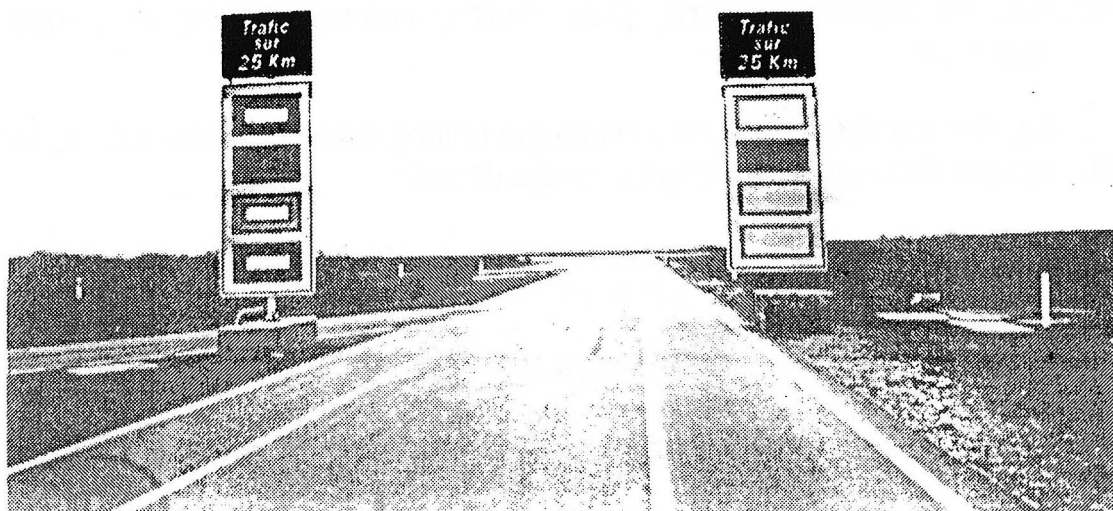


Figure 2

Comparaison des deux dernières versions de la balise :

- à gauche la balise à fenêtre de couleurs
- à droite la balise simplifiée, qui est la version retenue pour mise en exploitation



Nous avons abouti à un produit répondant à nos exigences de lecture à grande distance de jour et de nuit. Toutefois, nous ne sommes pas totalement satisfaits.

Lorsque l'on effectue des mesures de performance en rapport avec une tâche précise telle que celle de la lecture d'un panneau, il importe de contrôler la variable temps disponible, le résultat d'une perception prolongée étant différent de celui d'une perception de courte durée.

Rappelons que compte tenu des contraintes perceptives diverses de la tâche de conduite, le temps disponible pour la lecture d'un panneau est de l'ordre de la seconde.

Nous avons donc utilisé la procédure de la vision tachistoscopique qui place l'observateur en situation de vision contrôlée au moyen d'une obturation momentanée du champ de vision.

Cette méthode nous a permis d'obtenir une échelle, une hiérarchie de découverte des indices constituant le message, assez significative de ce qui devrait être vu sur route en situation dynamique en un temps donné.

À l'examen des résultats, si l'on aborde l'aspect compréhension, la balise retenue pose question. Il y a risque de noyer le message prioritaire (rectangle plein) dans une information secondaire (rappel de l'échelle de couleur). En effet, par exemple et surtout, lorsque le jaune est activé, la prégnance, la force perceptive des bordures colorées, en particulier de la bordure rouge entraîne sa détection simultanément avec le rectangle jaune.

Ceci fera dire au sujet : "J'ai vu du jaune et du rouge".

Autre point gênant : la bordure noire entourée de listels noirs est perçue comme plus large que les autres bordures, déséquilibrant le message. De plus, esthétiquement, cette balise est très chargée.

Lors de nos expérimentations, afin d'éviter les réponses automatiques des sujets liées à un effet d'apprentissage probable de l'échelle des couleurs, nous avons introduit un message à lire, plus neutre, représenté par la balise suivante (cf. figure 2)

Ici, il y a présentation d'un rectangle coloré, mais l'échelle est reproduite sans couleurs par des rectangles blancs bordés de noir.

Ce message répond tout aussi parfaitement aux exigences de départ, il a l'avantage d'être simple, de n'offrir aucune ambiguïté sur le signal prioritaire.

Le rappel de la couleur de l'échelle ne nous semble pas indispensable, il est trop problématique par rapport au bénéfice qu'il procure. Les couleurs de l'échelle, comme pour les feux tricolores peuvent être acquises par l'apprentissage et par l'usage.

Des expérimentations sur site et une présentation comparative de la balise avec listel de couleur et de cette balise simplifiée a eu lieu sur site expérimental.

C'est la balise simplifiée, jugée plus satisfaisante, qui a été retenue par le groupe pour être testée sur site réel.

Nous tenons à signaler toutefois qu'il nous semble indispensable que la connaissance de ce nouveau signal soit introduite par les médias auprès des usagers de la route au moment de son implantation sur le réseau routier ; ceci est d'ailleurs souhaitable pour tout signal nouveau. De même, pour que ce système ait une réelle efficacité et une bonne crédibilité, il faut que les informations qu'il véhicule parviennent aux usagers au moment où l'évènement (bouchon, accident, etc.) a lieu et donc que le décalage inhérent au système soit le plus réduit possible.

DEUXIEME PARTIE**MÉTHODE D'EXPLOITATION DE LA BALISE
SUR SITE AUTOROUTIER**

M. MAUREL

1 - DESCRIPTION DE LA BALISE**1.1 - ASPECT EXTÉRIEUR**

Il y a trois sortes de balises d'information visuelle :

1.1.1. *La balise d'accotement*, en section courante. Elle mesure 323 cm de hauteur, 170 cm de largeur. Chaque rectangle de couleur bordé d'un listel de 6 cm a pour dimensions 112 cm de longueur et 44,5 cm de hauteur. Ils sont séparés entre eux de 17 cm. Ces panneaux sont réflectorisés haute intensité. Elle est surmontée d'un registre de 120 cm de hauteur sur 170 cm de largeur. Il contient l'inscription "TRAFFIC sur x km" en lettres blanches sur fond bleu avec listel et contre listel.

1.1.2. *La balise TPC* qui est un rappel de celle d'accotement ne mesure que 189 cm de hauteur et 100 cm de largeur. Les rectangles intérieurs sont en proportion de ces mesures. Il n'y a pas de registre "Trafic sur x km" car il ne serait pas suffisamment lisible.

1.1.3. *La balise d'entrée* a les mêmes dimensions que la balise de TPC. Elle est surmontée d'un registre de 95,5 cm de hauteur, 104 cm de largeur portant la mention : "Trafic vers ...". Une recherche architecturale de l'enveloppe extérieure a été faite par un cabinet spécialisé.

1.2 - DESCRIPTIF TECHNIQUE

La partie variable est réalisée par des prismes à section carrée fonctionnant simultanément avec un seul organe moteur et un système de rotation de l'ensemble des prismes par bielle unique reliant les quatre axes des prismes. Chaque prisme possède sa couleur suivant sa position et trois décors blancs sur les autres faces.

2 - CHOIX DE L'EMPLACEMENT DES BALISES

En section courante les balises sont placées en accotement et rappelées en parallèle par une balise de plus petite dimension sur le terre-plein central. La distance par rapport à la sortie suivante est d'environ deux kilomètres.

Aux entrées d'échangeurs, des balises de petites dimensions portent la mention de la direction concernée.

Il a fallu étudier pour chaque balise, le lieu exact de son implantation en tenant compte :

- de la réception radio (proximité de lignes électriques)
- de la visibilité maximum (s'éloigner des virages à droite et des PS, des panneaux de signalisation existants, etc.).

3 - COUT DE L'OPÉRATION

Toutes les dépenses confondues, le prix unitaire d'une balise est d'environ 110 000 F dont 60 % pour la fourniture et pose, 40 % pour raccords divers.

4 - MÉTHODE D'EXPLOITATION - SON ÉVOLUTION

4.1 Dès le lancement de l'opération, un document de méthodologie a été présenté et approuvé.

L'agent opérateur du centre d'information, service chargé d'activer les balises a déjà en main, de par sa relation avec les services de sécurité et de gendarmerie, les éléments servant à choisir les couleurs.

Il s'agissait surtout de lui faire acquérir le réflexe balise.

En effet, pour être acceptée et considérée comme fiable par l'usager, la balise doit refléter la situation, sinon en temps réel, du moins avec un délai le plus court possible.

Un décalage en temps difficilement compressible existe déjà entre :

- le moment où l'évènement se produit et celui où l'information est connue (réseau d'appel d'urgence, usagers, péage, etc.) ;
- le moment où le service sécurité est informé et celui où il peut donner des informations nécessaires et fiables au centre d'information.

L'acquisition du réflexe paraissait donc le seul moyen de réduire le dernier décalage (prise en compte des informations, activation des balises).

Pour cela, il a été procédé à un essai à blanc durant cinq mois (mars à juillet 1988).

4.2. ESSAI À BLANC

L'agent possédait un tableau à double entrée par sens de circulation et par poste de 8 h faisant apparaître les numéros des balises, les heures et un tableau d'aide à la décision donnant par tronçons kilométriques les groupes de balises à activer. Il colorait à l'aide de feutres correspondant aux quatre couleurs du code européen son document de travail.

Ceci permet de plus, outre la mise en place du réflexe, d'étudier les cas non prévus dans les consignes d'exploitation, cas où l'agent perdait du temps à analyser avant d'activer les balises.

4.3. FONCTIONNEMENT MANUEL

Dès que le système balises a fonctionné le centre d'information est entré dans la première phase d'exploitation, commandant manuellement et individuellement chaque balise à travers une platine radio.

Chaque balise a un numéro d'identification à trois digits. Elle est considérée comme un poste fixe du réseau radio, intégrée dans la numérotation radio du district où elle se trouve implantée. Les balises de TPC sont automatiquement activées (rapport balise mère-fille) par le fait que la balise accotement parallèle est énergisée.

Chaque couleur possède un code numérique :

vert	= 0
jaune	= 1
rouge	= 2
noir	= 3

L'agent opérateur devait, à chaque évolution de situation, après avoir collationné la balise intéressée, codifier les identifications radio et couleur de chaque balise.

Cette phase intermédiaire d'exploitation qui a duré deux mois s'est passée sans trop de problèmes.

Les agents continuaient à remplir en parallèle le tableau "essai à blanc" qui était la seule trace de l'activation des balises.

Le suivi et le contrôle étaient donc un peu aléatoires.

De plus, le risque d'erreur de codification dans l'identification radio de la balise et dans la couleur était latent.

Enfin, l'étude des délais d'activation était quasiment impossible.

4.4. FONCTIONNEMENT INFORMATISÉ

Selon le programme qui avait été établi, le centre d'information a été équipé d'un micro-ordinateur IBM PC XT 286

Il est connecté au réseau balises "TRAFICOLOR".

Il permet de visualiser au moyen d'un synoptique l'état de toutes les balises et surtout de faire apparaître les colorations.

Il intègre le tableau d'aide à la décision, permettant à l'opérateur de ne désigner que le tronçon kilométrique où se situe l'évènement à signaler et la couleur à activer, l'ordinateur se chargeant d'énergiser toutes les balises concernées en partant de la plus proche du lieu touché et en remontant en amont du réseau.

Il signale toutes les alarmes de fonctionnement.

Il déclenche de façon automatique et/ou manuelle les tests de fonctionnement de balises. Bien sûr, il est toujours possible d'activer individuellement les balises.

Ce micro-ordinateur est relié à une imprimante TTY qui enregistre toute commande, alarme de fonctionnement et tests de manière horaire et permet donc une étude réelle du système en expérimentation.

4.5. IL EST QUESTION EN PHASE AVANCÉE :

4.5.1. - que ce système permette de lancer des statistiques mensuelles de taux de coloration des balises (travail fait actuellement par recoupement des documents)

4.5.2. - qu'il préconise lui-même certains changements de couleur en fonction du résultat de points de comptage télétransmis.

5 - LA PUBLICITÉ, L'INFORMATION DES USAGERS

5.1. SUR LE TERRAIN

Cinq panneaux successifs ont été implantés sur deux kilomètres en amont de la zone d'expérimentation "TRAFICOLOR".

5.2. DÉPLIANT

Un dépliant réalisé par le groupe de travail expliquant sommairement l'expérience et donnant la signification du code des couleurs a été distribué aux abonnés des départements des Alpes-Maritimes et du Var (selon secteur concerné).

5.3. PRESSE

Plusieurs insertions publicitaires ont été faites dans la presse locale sur une durée d'un mois. Des articles rédigés par des journalistes ont rendu compte de l'opération.

6 - LES ENQUETES DE COMPRÉHENSION

Pour vérifier la lisibilité des balises et leur compréhension, mesurer leur intérêt par les usagers, évaluer leur impact sur les comportements, le groupe de travail a envisagé la réalisation d'une enquête.

Après consultation, celle-ci a été confiée à la société DEMOSCOPIE.

Il s'agissait de s'adresser plus particulièrement au cours des six premiers mois d'exploitation, aux habitués (abonnés locaux, vacanciers) qui empruntent fréquemment ces sections dans leurs déplacements de travail ou de loisirs.

Les enquêtes commencées début septembre et se poursuivant actuellement sont organisées de la façon suivante :

6.1. -ENQUETE EMBARQUÉE

Des enquêteurs interceptent des véhicules en deux entrées du réseau sur le secteur couvert par le système "TRAFICOLOR" pour s'y faire véhiculer durant quelques kilomètres et prendre en fait les réactions de l'utilisateur au contact des balises.

À noter que cette sorte de tests a été beaucoup mieux acceptée par les vacanciers début septembre que par les locaux à la rentrée d'automne.

6.2. TESTS DE COMPRÉHENSION

Ils se font sur les véhicules arrêtés aux parkings d'aires de stationnement ou du péage d'Antibes, situés sur le secteur concerné.

6.3. RÉUNION DE GROUPE

Une réunion du groupe sur une douzaine de personnes invitées sans précisions d'objet a été réalisée avec prises de vues vidéo. Il semble que la conclusion est favorable à l'opération TRAFICOLOR.

6.4. ENQUETES TÉLÉPHONIQUES

Il est prévu de contacter les personnes interrogées lors de précédentes enquêtes dans un délai de deux mois pour connaître leur réaction après utilisation du système.

THEME II : ÉCLAIRAGE PUBLIC

ÉCLAIRAGE DES GIRATOIRES

M. MÉNARD : LABORATOIRE RÉGIONAL DES PONTS ET CHAUSSÉES DE ROUEN

Les giratoires remplacent les carrefours plans dans les zones présumées dangereuses. L'efficacité de ces ouvrages est remarquable de jour. Par contre, de nuit elle est moins satisfaisante. Un tel constat conduit à envisager d'éclairer les giratoires. Mais faut-il systématiquement éclairer tous les giratoires ? et dans la mesure où l'on choisit de les éclairer, comment doit-on concevoir l'installation ?

Les premières études ont consisté en une analyse des installations existantes. Nous espérons mettre en évidence des constantes entre la géométrie de l'installation et la géométrie de l'ouvrage. Cette façon de procéder a abouti à un résultat décevant. Il semble, qu'in situ, ce sont plus les us et coutumes locaux qui priment que le résultat d'une réflexion sur la conception et le fonctionnement du site.

Nous avons orienté notre étude de façon différente en suivant la démarche suivante :

Les accidents nocturnes, sont attribués à un défaut de visibilité. Nous recherchons les indices visuels pris en compte de jour par le conducteur pour négocier le giratoire en toute sécurité. Nous posons comme hypothèse que ce sont ces mêmes indices, malheureusement peu visibles la nuit, qui sont utilisés pendant la conduite nocturne. Dès lors, il suffit de concevoir l'installation d'éclairage public de façon qu'elle assure un contraste de luminance de ces indices par rapport au fond tels qu'ils soient visibles de nuit à une distance suffisante.

I - CONCEPTION D'UN GIRATOIRE

Le giratoire est constitué d'un terre-plein central et d'une chaussée annulaire. Les entrées des voies affluentes sont disposées régulièrement sur le pourtour de l'ouvrage. L'équidistance des entrées est en général recommandée et assure un bon fonctionnement de l'ouvrage. Le respect de l'équidistance conduit fréquemment à des rectifications de tracé qui peuvent être préjudiciables à la visibilité de l'ouvrage.

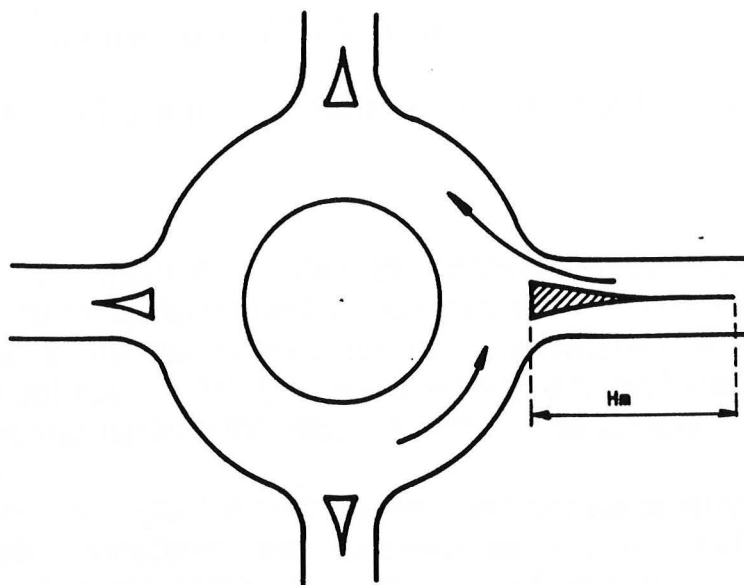


Figure 1 : La symétrie circulaire d'un giratoire est matérialisée par le terre-plein central et la chaussée annulaire. Les entrées sont en général disposées à intervalles réguliers sur le pourtour de l'ouvrage. À chaque entrée des îlots séparateurs ont pour rôle de canaliser le flux entrant selon une trajectoire tangentielle sur l'anneau. Les îlots sont prolongés par un marquage horizontal dont la longueur H_m est, en particulier, une fonction de la vitesse pratiquée sur la voie.

II - LES ACCIDENTS NOCTURNES

L'examen des accidents nocturnes, sur giratoires non éclairés, montre qu'ils peuvent être classés en trois catégories.

- **La percussion du terre-plein central** : due à une vitesse d'approche trop élevée. Le conducteur se trouve surpris par la présence du terre-plein et ne peut le contourner.
- **La sortie en périphérie de l'anneau** : imputable à une vitesse en entrée trop élevée et à une mauvaise évaluation de la courbure de l'anneau.
- **L'emprunt de l'anneau à contresens** : Ce dernier type d'accident est très rare. Il conduit à une collision frontale avec un véhicule antagoniste. Si l'on élimine, a priori, l'action volontaire de l'habitué qui veut prendre un raccourci, ce type de comportement est dû à une mauvaise compréhension du fonctionnement du site.

On constate que les impliqués dans les accidents nocturnes sont plus fréquemment un véhicule et l'ouvrage lui-même. Les accidents nocturnes sont, de ce fait, surtout des accidents matériels. Ce qui explique que si on limite l'analyse aux

accidents corporels ou mortels, on aboutit à la conclusion, au demeurant positive, que l'implantation de giratoires diminue en moyenne de 70 % les accidents corporels et de 90 % les accidents mortels de jour comme de nuit, même si la proportion relative de nuit reste forte.

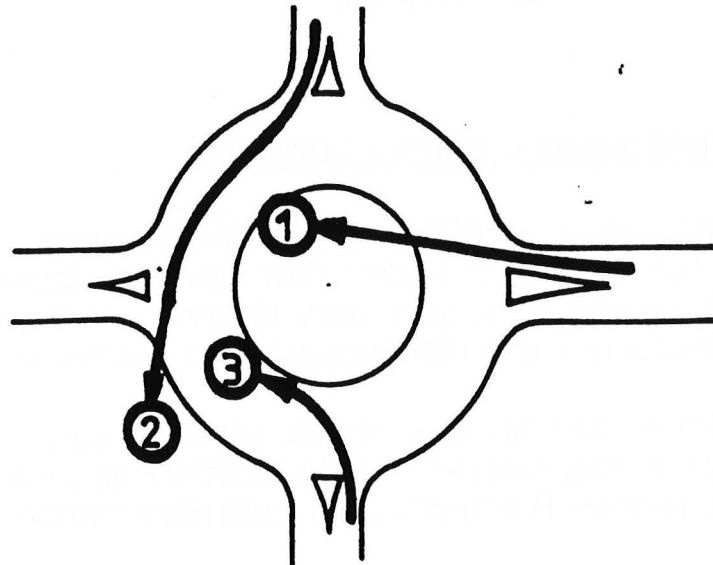


Figure 2 : Les accidents nocturnes sur giratoire sont essentiellement le résultat d'interactions entre les véhicules et l'ouvrage lui-même.

Il n'en demeure pas moins que la notion de sécurité implique celle de confort de l'utilisateur. De ce point de vue, il semble difficilement admissible de ne pas oeuvrer pour une réduction des accidents matériels.

III - LA RECONNAISSANCE EN APPROCHE

Des entretiens avec des conducteurs, montrent que la découverte du giratoire n'est pas brutale. Il y a une évolution graduelle au fur et à mesure de l'approche.

On peut définir trois étapes :

- Perception lointaine

Le conducteur perçoit une discontinuité dans le tracé linéaire. En général, il n'y a pas d'identification certaine du site. Cette perception est due à une rupture de la perspective. Cette évaluation s'effectue en moyenne aux environs de 250 m.

- Perception de proximité

Il y a identification du site. Le conducteur sait qu'il s'approche d'un giratoire, il y a donc une appréciation de la géométrie du site. Celle-ci s'effectue aux environs de 100 m.

- Perception en entrée

Elle suppose l'appréciation de la géométrie de l'ouvrage. Il y a donc prise en compte d'un certain nombre de repères qui permettent au conducteur de négocier sa trajectoire et de sélectionner sa sortie.

IV - DÉTERMINATION DES INDICES VISUELS

Nous posons, comme hypothèse, que les indices visuels pris en compte par le conducteur, lors de la conduite nocturne, sont les mêmes que ceux utilisés pendant la conduite diurne. On peut donc, sous cette réserve, transposer les conclusions des différentes études antérieures réalisées de jour, à la conduite de nuit.

Les entretiens, avec les conducteurs, semblent confirmer cette supposition. Néanmoins, nous sommes conscients de la nécessité de valider cette hypothèse, ce qui implique par exemple l'utilisation d'un oculomètre fonctionnant de nuit.

Les éléments du panorama pris comme indices visuels sont hiérarchisés. Au fur et à mesure de l'approche du conducteur, celui-ci prend en compte des indices de plus en plus "fins". On peut associer à chaque étape de la perception des indices caractéristiques.

En perception lointaine : l'indice visuel concerné est l'ensemble des structures qui perturbent la perspective. Dans le cas général, il s'agit de la butte construite sur le terre-plein central. En fait tout ce qui contribue à créer un obstacle visuel dans l'axe du conducteur remplit ce rôle : mâts d'éclairage, sculpture, végétations hautes, etc. La taille de cet obstacle visuel doit être d'autant plus importante que l'effet de perspective est accusé. C'est en particulier le cas des plantations d'arbres le long de la route ou de nuit de l'alignement des points de feux lorsque le site est éclairé.

En perception de proximité, les indices visuels sont plus nombreux, il s'agit essentiellement de la signalisation verticale, de la signalisation horizontale, en particulier du marquage de présignalisation de l'îlot séparateur, et de la structure du terre-plein.

En entrée de giratoire, l'évaluation de la courbure de la chaussée est estimée à partir des limites de chaussées, c'est-à-dire des bordures intérieures et extérieures de l'anneau. Sur l'anneau lui-même la visibilité et la lisibilité des panneaux directionnels paraissent une préoccupation fréquemment exprimée par les conducteurs. De même la visibilité des véhicules aux autres entrées est jugée indispensable.

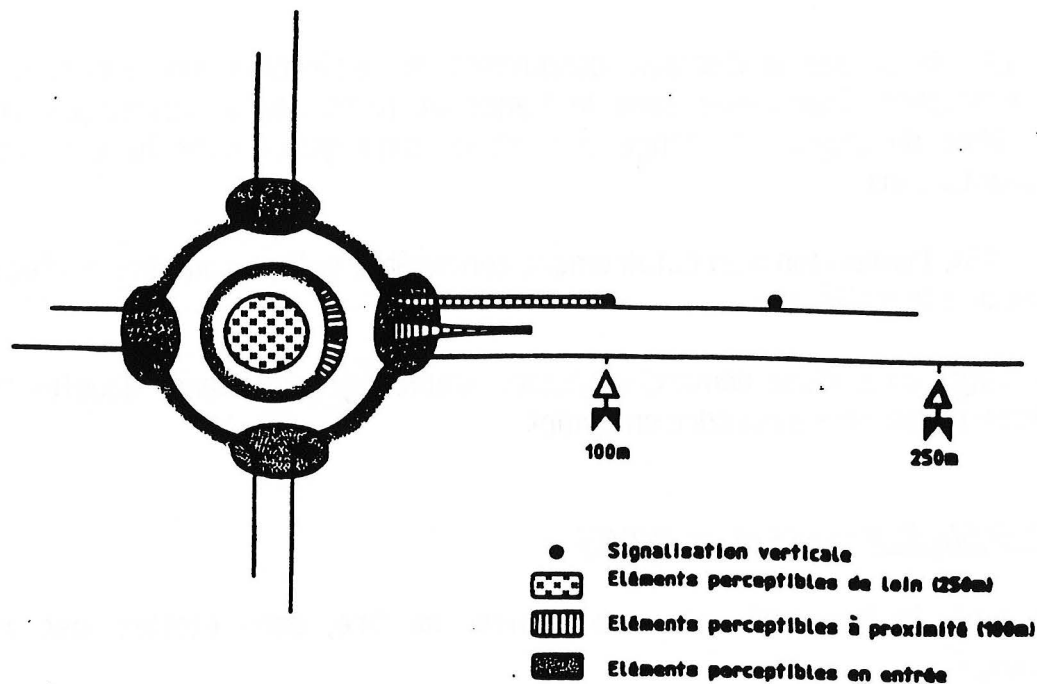


Figure 3 : Localisation des éléments du panorama pris comme indices visuels.

Le terre-plein cumule de nombreux indices au fur et à mesure de l'approche. C'est donc la partie de l'ouvrage qui justifie un traitement particulier.

IV - AMÉLIORATION DE LA VISIBILITÉ DES INDICES VISUELS

La visibilité des indices dépend de leur surface et de leur contraste de luminance par rapport au fond.

La luminance de fond étant souvent immuable, on ne peut améliorer le contraste qu'en modifiant la luminance de l'élément du panorama pris comme indice.

La luminance L peut s'exprimer par le produit de deux facteurs :

E : l'éclairement reçu par cette cible,

Γ : le coefficient de réflexion du matériau constituant le revêtement de la cible.

Pour augmenter la visibilité des indices on peut donc influencer sur trois paramètres :

- La modification des surfaces est une opération, elle consiste à modeler les structures d'architecture en leur donnant une allure esthétique et fonctionnelle.
- Le choix des matériaux conduisant à rechercher un optimum entre la résistance, leur tenue dans le temps et leurs performances photométriques relève du travail de l'ingénieur et du paysagiste dans le cas d'emploi de plantations.
- Enfin, l'obtention d'un éclairage convenable est du domaine de l'éclairagiste et de l'installateur.

Il s'agit donc d'une démarche globale d'aménagement dans laquelle l'éclairage n'est qu'un paramètre à prendre en compte.

QUELQUES DONNÉES NUMÉRIQUES

La nuit, la luminance d'un ciel d'hiver sombre, sans étoiles, est voisine de $0,08 \text{ cd/m}^2$.

En perception lointaine, la butte de terre-plein se détache sur le ciel. Pour qu'elle soit perceptible à 250 m, il faut que son contraste de luminance par rapport au fond soit d'environ 5. Si la butte est recouverte d'un talus herbeux, le coefficient de réflexion de cette surface ($\Gamma = L/E$) varie de 0,04 à 0,17 suivant la hauteur de l'herbe et suivant l'incidence d'observation (rasante ou orthogonale).

Un calcul simple montre que pour obtenir la contraste désiré dans le plus défavorable des cas, on doit assurer un niveau moyen de 12 lux sur la butte du terre-plein.

En perception de proximité, un contraste de luminance de 2 est nécessaire pour assurer une visibilité satisfaisante des indices aux environs de 100 m. En ce qui concerne les marquages horizontaux et verticaux, ce contraste est très aisément obtenu avec des niveaux d'éclairage faibles.

Par contre, il est important de remarquer que les coefficients de réflexion d'un bas-côté herbeux et d'une chaussée sombre sont très voisins ($\Gamma = 0,037$ à $0,043$).

V - PLAN D'ÉCLAIRAGE D'UN GIRATOIRE

Le plan d'éclairage se déduit des réflexions précédentes. Il se résume par les trois principes suivants :

- éclairage de la chaussée,
- matérialisation des limites périphériques (bordures) et suréclairage au niveau des entrées,
- traitement spécifique du terre-plein central.

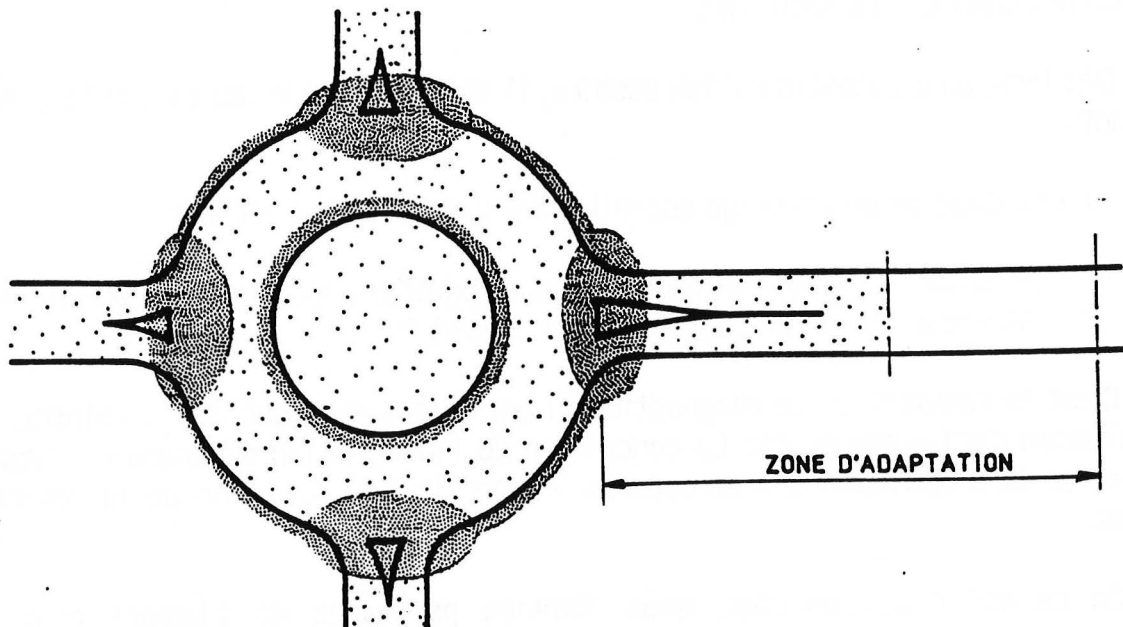


Figure 4 : Plan d'éclairage : les limites périphériques de l'anneau et les entrées justifient d'un suréclairage. La zone éclairée sur les voies d'accès doit de prolonger jusqu'à l'extrémité du marquage horizontal. On doit aménager une zone linéaire, dite d'adaptation, en sortie des giratoires éclairés.

En sortie de giratoire, si ce dernier est éclairé, le conducteur passe d'une zone claire à une zone sombre limitée à l'éclairage des phares. La traversée de cette zone de transition se caractérise par des modifications des performances visuelles. La durée d'adaptation peut varier de quelques dixièmes à quelques secondes. Compte tenu de la vitesse de déplacement, ceci équivaut à une distance d'environ 80 m au-delà du marquage horizontal.

Ceci conduit à recommander pour les giratoires éclairés en rase campagne, c'est-à-dire en zone sombre des longueurs de transition linéaire de 80 m au minimum. Cette recommandation est en particulier conseillée pour les rectifications de tracés.

VI - FAUT-IL ÉCLAIRER LES GIRATOIRES ?

En site urbain ou péri-urbain, si l'on veut accuser le rôle de transition du rythme de conduite dévolu à cet ouvrage, la réponse est positive. Ceci d'autant plus qu'il est nécessaire d'assurer une continuité de l'éclairage entre la zone urbaine déjà éclairée et le giratoire.

En rase campagne, la réponse est plus nuancée en ce sens que l'éclairage, s'il contribue à la sécurité de l'usager, n'a lieu d'être que si réellement on constate l'existence d'accidents nocturnes.

Dès lors, un diagnostic est nécessaire, il doit porter sur les éléments d'analyse suivants :

- La conception de l'ouvrage est-elle conforme à l'usage prévu ?
- La visibilité nocturne lointaine et de proximité peut-elle être améliorée par l'éclairage ou par un aménagement structurel ?

C'est le résultat de ce diagnostic qui permettra de juger de la validité d'une installation d'éclairage public. La conception de l'installation dépendra de l'usage du site et de la disposition des structures le constituant ainsi que de la nature des abords.

En ce qui nous concerne, nous sommes persuadés de l'impact positif de l'éclairage sur la sécurité et le confort de l'usager pour ce type de site.

Certaines conclusions de cette étude semblent en contradiction avec les recommandations du S.E.T.R.A. En particulier il est fortement déconseillé d'implanter des supports sur le terre-plein central, ce sont des obstacles dangereux susceptibles de transformer un accident matériel en accident corporel grave sinon mortel. Il apparaît cependant que l'implantation d'un mât au centre du terre-plein crée, en rompant la perspective, un effet de signal de jour comme de nuit. On peut penser que cette visibilité lointaine permettra au conducteur d'adapter son allure et d'éviter ainsi la percussioin du terre-plein central. Néanmoins, l'implantation d'un support au centre de l'ouvrage devrait sans doute être subordonnée à une dimension minimale du terre-plein et à la mise en oeuvre d'aménagements ralentisseurs tels que buttes, plantations basses, lits de graviers, etc.

BIBLIOGRAPHIE

C.E.T.U.R. - Septembre 1986

Conception des carrefours en milieu urbain

TETARD C - Décembre 1987 (I.N.R.E.T.S.)

L'analyse des comportements et le système de circulation

TETARD C - Juin 1986 (I.N.R.E.T.S.)

Transport et sécurité

LECOCQ J (Société EUROPHANE) et POUCHIN M - Septembre 1987

De la nécessité de l'éclairage des carrefours giratoires (Lux n° 144)

S.E.T.R.A. - Novembre 1983, Septembre 1984

Carrefours giratoires

FREREBEAU M (INSTITUT ET CENTRE D'OPTOMÉTRIE) - Juin 1987

Les performances du système visuel - Cas de la vision nocturne

S.E.T.R.A. - 1981

Analyse de la sécurité

O.C.D.E. - 1980

Traffic Capacity of Roundabouts

by RM. KIMBER

du Transport and Road Research Laboratory (T.R.R.L.)

S.E.T.R.A./C.S.T.R. - Mai 1988

Note d'information : Carrefours giratoires - Évolution des caractéristiques géométriques.

ÉCLAIRAGE ET DISTANCE D'IDENTIFICATION

M-C. MONTEL : Centre d'Études Techniques de l'Équipement de Rouen

L'hypothèse de départ est la suivante : dans un espace public nocturne, la possibilité pour un piéton de voir et d'identifier un autre piéton à une distance suffisamment grande pour lui permettre d'adapter son comportement contribue à son confort et à sa sensation de sécurité.

La finalité de l'étude est de produire un outil permettant aux aménageurs d'assurer, en agissant sur l'éclairage, la distance d'identification souhaitée.

L'étude consistait donc à mettre en relation les niveaux d'éclairement avec les distances d'identification de façon expérimentale sur la piste d'éclairage.

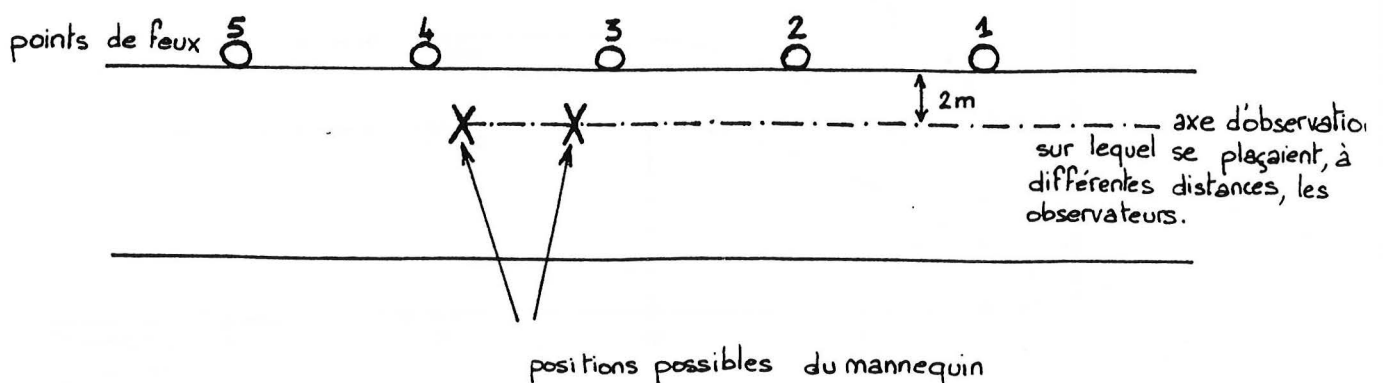
Nous nous sommes intéressés à l'identification du piéton et non à la reconnaissance, pour la raison suivante : identifier c'est déterminer la nature d'une chose comme on classifie une plante, alors que reconnaître c'est identifier une chose par la mémoire.

Dans un espace public, le piéton est donc en situation d'identifier les autres piétons qui lui sont en général inconnus, et non pas de les reconnaître.

D'autre part nous nous sommes limités à l'identification du visage, tâche plus difficile que l'identification de la silhouette, de façon à être plutôt exigeants sur la qualité de l'éclairage.

PRINCIPE DE L'EXPÉRIENCE

Le principe était de faire identifier par des observateurs, des masques placés sur le visage d'un mannequin, pour différents niveaux d'éclairage et à différentes distances.



La variation des niveaux d'éclairage a été obtenue par variation de la tension des points de feux 1, 2, 3 et 4, le cinquième restant à la tension maximale.

Les paramètres mesurés, caractérisant la répartition de la lumière, sont les éclairagements horizontaux (E_h), verticaux (E_v), semicylindriques (E_{sc}) et hémisphériques (E_{hs}).

La question posée aux observateurs était la suivante :

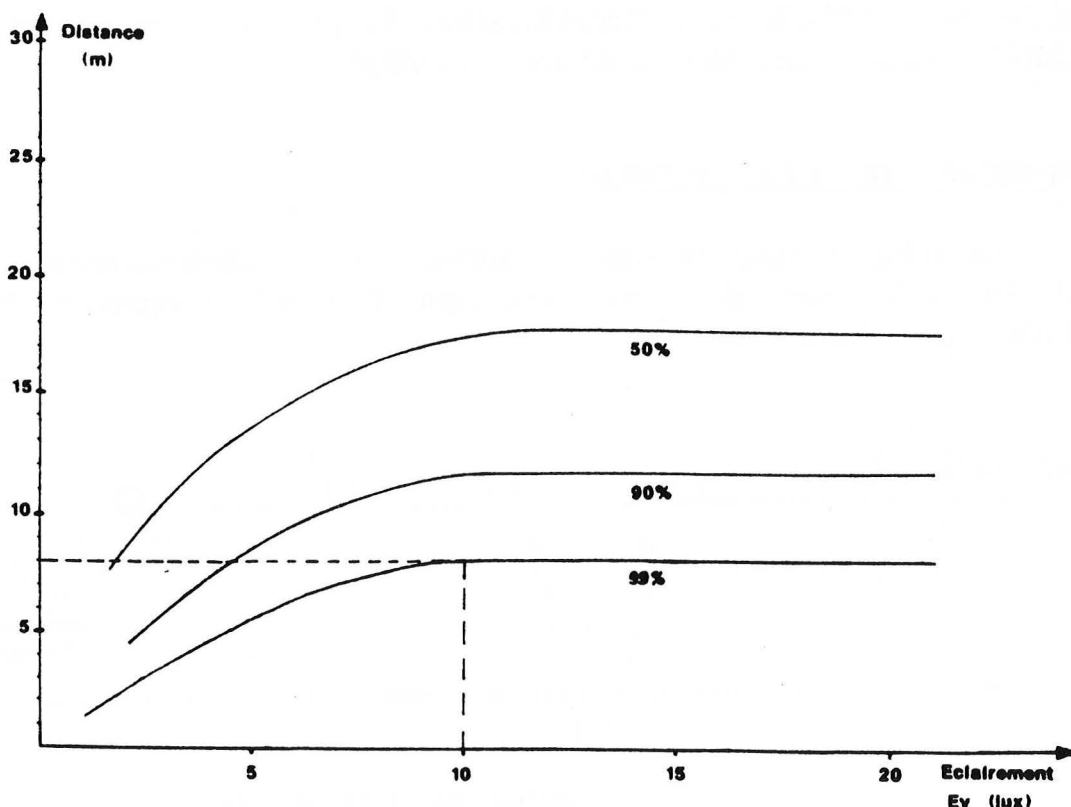
"Pensez-vous voir le visage suffisamment pour être capable de l'identifier dans le catalogue ?"

Si la réponse était positive, on leur présentait le catalogue, contenant 18 photos de masques (une par une). Ils devaient alors le feuilleter page à page sans revenir en arrière, jusqu'à ce qu'ils pensent identifier le masque.

LES RÉSULTATS

Le diagramme croisant les niveaux d'éclairage et les distances d'identification met en évidence l'existence d'un palier.

En terme d'éclairage vertical, la distance à laquelle la quasi totalité de la population arrive à identifier un visage n'augmente plus à partir d'environ 10 lux.



Aucun des paramètres (Ev, Esc et Ehs) n'est apparu, de façon significative, plus explicatif que les autres en matière d'identification.

Les courbes $D = f(\text{Esc})$ et $D = f(\text{Ehs})$ ont la même forme que la courbe $D = f(\text{Ev})$ représentée ci-dessus, seule la valeur du seuil change.

Cependant, aux dires des observateurs, il semblerait que l'identification soit plus difficile lorsque le mannequin est proche du mât situé derrière lui. Ce phénomène n'apparaissant pas dans les résultats, on peut envisager deux raisons à cela :

- soit pour cette répartition précise de la lumière liée à la position du mannequin, le confort de l'observateur est amoindri mais la tâche d'identification reste possible ;
- soit la configuration d'éclairage de la piste qui n'induit pas de fortes différences entre les divers paramètres d'éclairement (Ev, Esc, Ehs), ne permet pas, étant donné la dispersion des distances d'identification mesurées due inévitablement à la complexité de la tâche d'identification d'un visage, de mettre en évidence la pertinence d'un des paramètres ou combinaison de ces paramètres caractérisant la répartition de la lumière.

C'est dans ce sens que les études se poursuivront.

La plage des niveaux à obtenir étant cernée, il s'agit de travailler plus finement sur la répartition de la lumière.

PHOTOMÉTRIE NOCTURNE SUR IMAGE NUMÉRISÉE PROJET MELUSINE

M. CARIOU : Centre d'Études Technique de l'Équipement de Rouen

I – PRÉSENTATION

En vue de caractériser l'éclairage nocturne de scènes complexes, le Laboratoire de Rouen s'est attaché à élaborer une chaîne de mesure photométrique travaillant sur image numérisée et mémorisée. Cette chaîne s'articule autour d'une caméra à capteur type "RGS". Un micro-ordinateur pilote l'ensemble et permet la conversion des images en niveau de luminance.

En premier lieu, nous expliquons les points "sensibles" de la méthode. En particulier, les problèmes liés à la caméra, sa stabilité, sa dynamique, sa réponse spectrale, sont examinés. Ce sont les points importants sur lesquels repose la fiabilité de la mesure.

La démarche d'étalonnage est ensuite présentée. Elle permet de bien saisir les caractéristiques de l'ensemble de mesure.

Autour de cet outil, nous avons développé un logiciel permettant d'exploiter les informations complexes d'une image en matière de luminance. Ce logiciel est en cours d'évolution. Il permet, non seulement de donner des informations ponctuelles sur la luminance, mais aussi de calculer des contrastes, à partir de zones définies par l'opérateur, directement sur l'image présentée par le moniteur.

La mise au point de ce logiciel, réalisée par M^{lle} BRUSQUE et M. NGUYEN, est en cours au Laboratoire Central des Ponts et Chaussées.

II – EXPOSÉ DES RÉSULTATS

II.1 – DIFFÉRENTES RÉPONSES AU PROJET

Ce document présente le projet "MELUSINE" dont l'objectif est la mesure de la luminance sur image numérisée en site complexe.

En effet, les études des sites urbains s'avèrent actuellement difficiles. Un luminancemètre ponctuel ne peut permettre de saisir dans l'ensemble les variations de luminance des différentes parties d'une scène en fonction de paramètres d'éclairage par exemple. On rencontre la même difficulté dans le cadre des études de l'éclairage des passages piétons.

Pour résoudre ces difficultés trois solutions sont envisageables :

- La première consiste en la multiplication de mesures ponctuelles. Je rappelle cette solution, simplement pour signaler que sa précision ne compense en rien ni sa lourdeur, tant à la prise d'informations qu'à l'exploitation.
- Une deuxième solution a été envisagée par plusieurs personnes il y a quelques années. Il s'agit de l'utilisation de procédés photographiques. Nous n'avons pas voulu opter pour cette solution qui présente plusieurs inconvénients. Citons parmi ceux-ci, la dynamique des films, l'impossibilité d'une interprétation des résultats en temps réel et la nécessité d'utiliser un matériel de densimétrie complexe. Des évolutions technologiques plus récentes ont rapprochés cette solution de la suivante.
- Nous avons dès le départ opté pour une troisième solution basée sur l'utilisation d'une caméra CCD. Nous en attendions les avantages suivants :
 - linéarité du capteur,
 - possibilité de suivre les résultats en temps réel,
 - réalisation d'auscultations en continu

L'inconvénient lié à la lourdeur de l'ensemble a reçu des réponses au cours de cette étude grâce à l'évolution du matériel informatique.

II.2 – RÉALISATION D'UNE CAMÉRA CCD

La caméra utilisée a été construite pour adapter le principe à la mesure de faibles luminances. Son schéma est indiqué sur la figure suivante.

Comme toute caméra, elle comprend une optique d'entrée interchangeable et un diaphragme. La réponse spectrale de l'ensemble est déterminée par le produit de la réponse du filtre $V(\lambda)$ et du convertisseur d'entrée. Ce convertisseur a été choisi pour avoir la courbe de sensibilité spectrale la mieux adaptée à la vision nocturne.

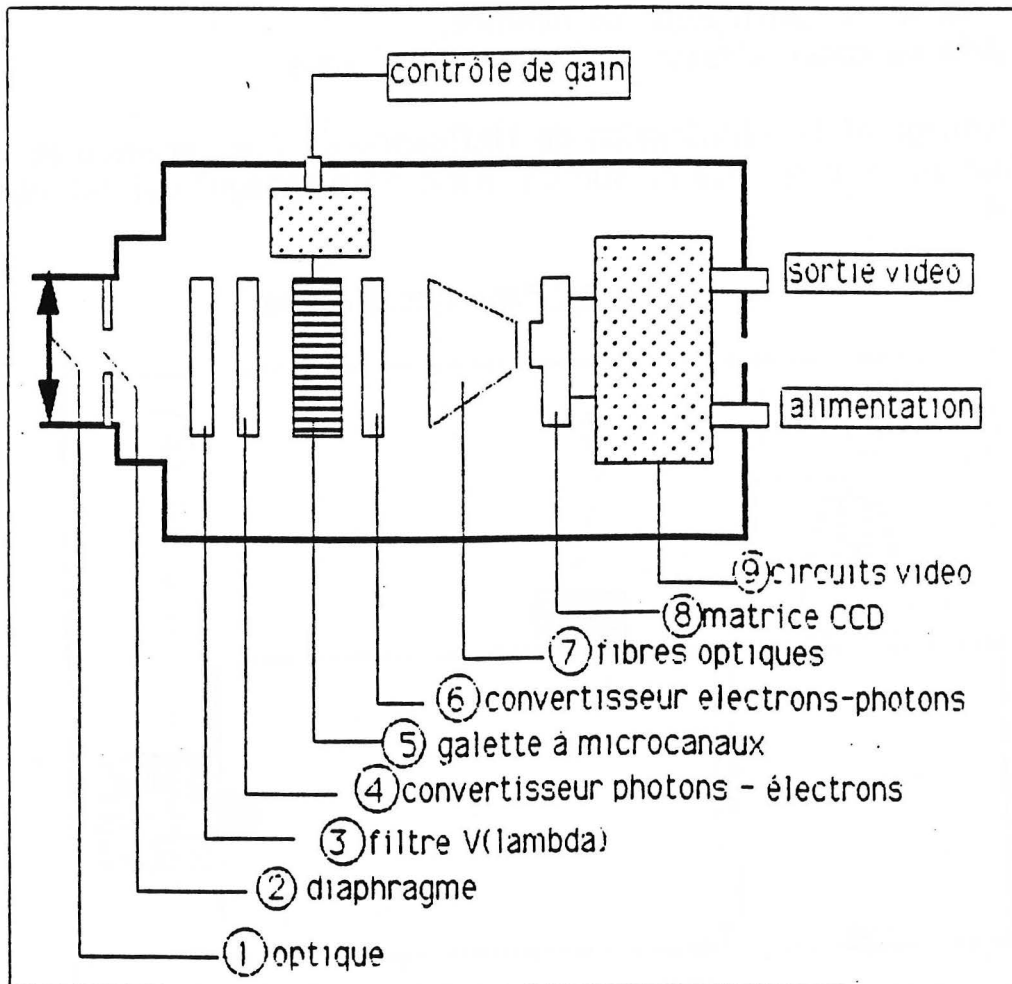
Le flux d'électrons qui en sort est amplifié par une galette à microcanaux dont le gain est contrôlé par une THT réglable pour pouvoir s'adapter à la luminance des scènes nocturnes.

Après une conversion inverse, l'image est dirigée sur le capteur CCD puis amplifiée.

On remarquera que les variables de ce système sont :

- les optiques d'entrée,
- le diaphragme,
- et le gain de l'intensificateur d'image.

figure 1 : Schéma de la caméra



L'ensemble de mesure in situ est composé de cette caméra et d'un ordinateur (AT) qui contient le convertisseur analogique-numérique dont les fonctions seront détaillées ultérieurement. L'ensemble peut fonctionner avec un seul moniteur. En effet, les capacités du ordinateur permettant sans difficulté la visualisation et l'interprétation des images en temps réel. Il est à noter que dans cette configuration du matériel, les images sont enregistrées sous forme numérique.

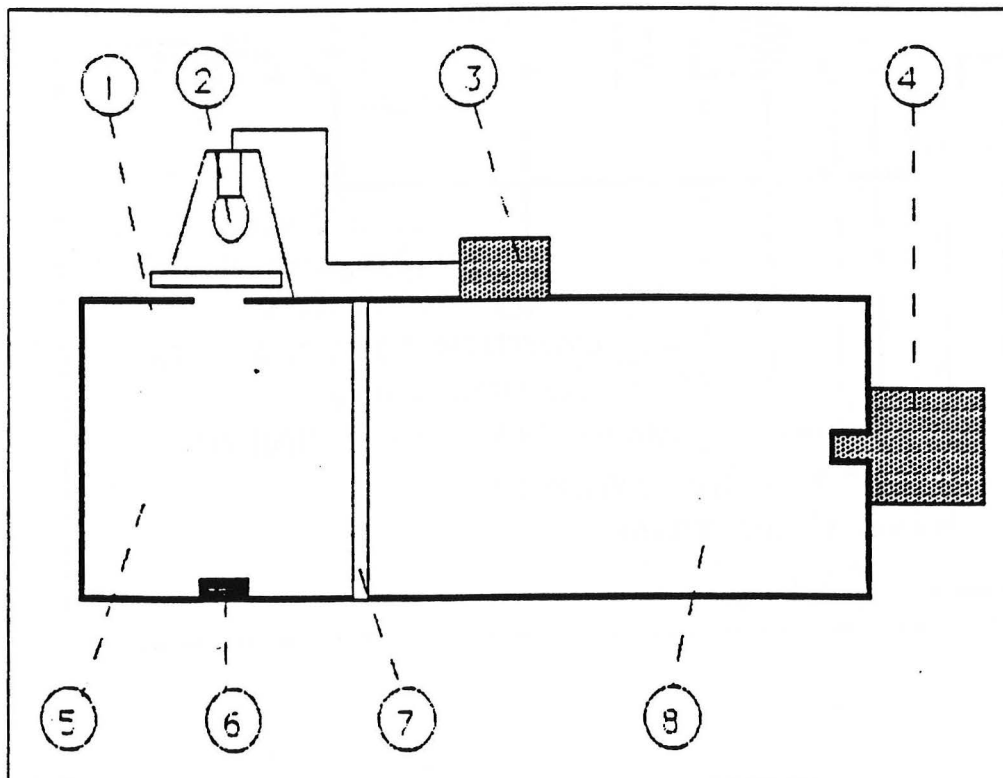
II.3 – ÉTALONNAGE

La conversion des images numériques en luminances fait suite à l'intervention de nombreux paramètres :

- la transmission de l'optique d'entrée,
- l'ouverture du diaphragme,
- le rendement des convertisseurs,
- le gain de l'amplificateur de lumière,
- le gain du convertisseur analogique-numérique.

L'étalonnage et la vérification de l'influence de ces paramètres ont été réalisés sur un banc optique et sur un "banc d'étalonnage" qui est constitué comme suit :

Figure 2 : Banc d'étalonnage



Une source lumineuse (2), dont l'alimentation est stabilisée (3), est modulée par l'interposition de filtres gris (1) de différentes densités. La stabilité du flux lumineux résultant est contrôlée par une cellule photoélectrique (6) placée dans la cavité diffusante (5). Cette cavité a pour objet d'homogénéiser l'éclairement du dépoli (7) qui est visé par la caméra (4) ou par le luminancemètre servant de référence, situé à l'extrémité de la chambre noire (8).

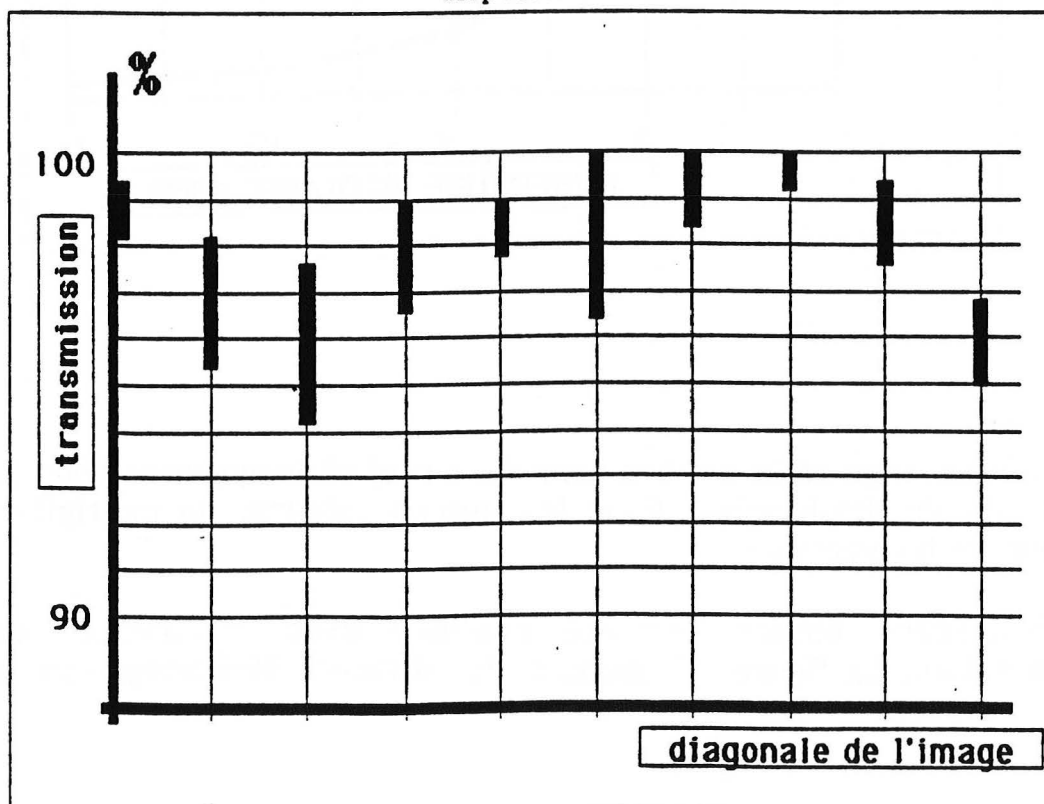
La comparaison entre les indications de la caméra et les indications du luminancemètre permet d'une part, de contrôler l'homogénéité spatiale, la stabilité de l'ensemble et, d'autre part, d'étalonner la caméra.

Homogénéité spatiale de la caméra

Le vignettage de l'objectif peut introduire des pertes par transmission sur les bords de l'image. Nous avons vérifié, sur un banc optique, que ces pertes sont négligeables ($< 5\%$) à pleine ouverture du diaphragme. Dès que l'on diminue l'ouverture, ces pertes disparaissent.

Mais, dans cette caméra, le système optique est en fait une réalité complexe dont il est difficile d'isoler les composants (CCD, amplificateur de lumière, convertisseurs). Nous avons en conséquence vérifié l'homogénéité spatiale de la transmission de l'ensemble non au niveau du pixel élémentaire mais en faisant des moyennes sur des zones correspondant aux $1/60$ de la surface de l'image.

Figure 3 : Dispersion de la transmission

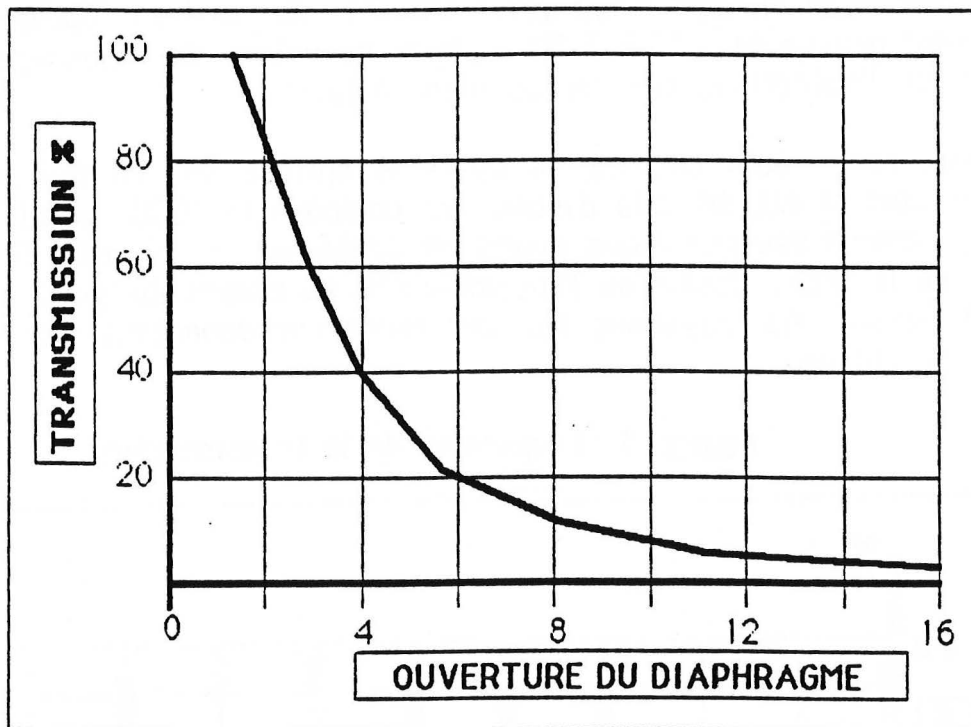


Comme l'indique la figure 3, la transmission est relativement homogène et contenue dans une fourchette acceptable. Cette dispersion présente une perte maximum de 5 % sur la transmission, si l'on se réfère aux transmissions maximales et minimales obtenues.

Étalonnage

Pour simplifier la réalisation des étalonnages, l'ouverture du diaphragme est considérée comme une constante intervenant dans le calcul de la valeur de la luminance. Nous avons relevé expérimentalement les valeurs de ces constantes qui ne correspondent pas aux valeurs théoriques (cf. fig. 4).

Figure 4 : Étalonage du diaphragme



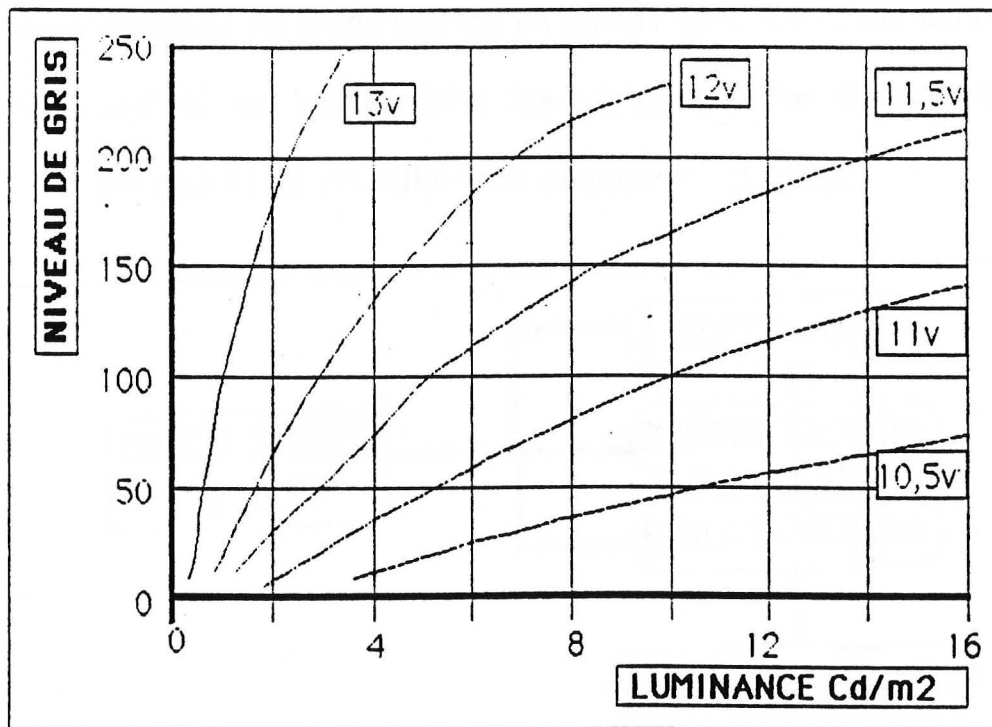
L'étalonnage de la caméra sera donc réalisé uniquement pour l'ouverture maximale du diaphragme. Pour les autres valeurs, on multipliera par le facteur de transmission.

Plusieurs essais ont été réalisés avec différentes cartes de numérisation. La figure 5 montre le dernier étalonnage en date qui

présente une bonne précision ($R = 0,997$; $\sigma = 0,035$), une bonne sensibilité, mais aussi un bruit qui varie avec la tension de l'amplificateur de lumière.

De l'observation de cet étalonnage, nous avons déduit une logique d'exploitation et donc le logiciel associé. Ainsi, il a été décidé de faire trois mesures pour couvrir avec précision toute la gamme des luminances de chaque scène nocturne.

Figure 5 : Étalonage de la caméra - Fonction de V (amplificateur de lumière)



On remarquera que la limitation de cet étalonnage à 16 cd/m^2 ne suffit pas pour couvrir les besoins réels. Cette gamme est en cours d'extension par adaptation de la puissance lumineuse de notre source d'étalonnage.

II.4 – MÉTHODE D'UTILISATION

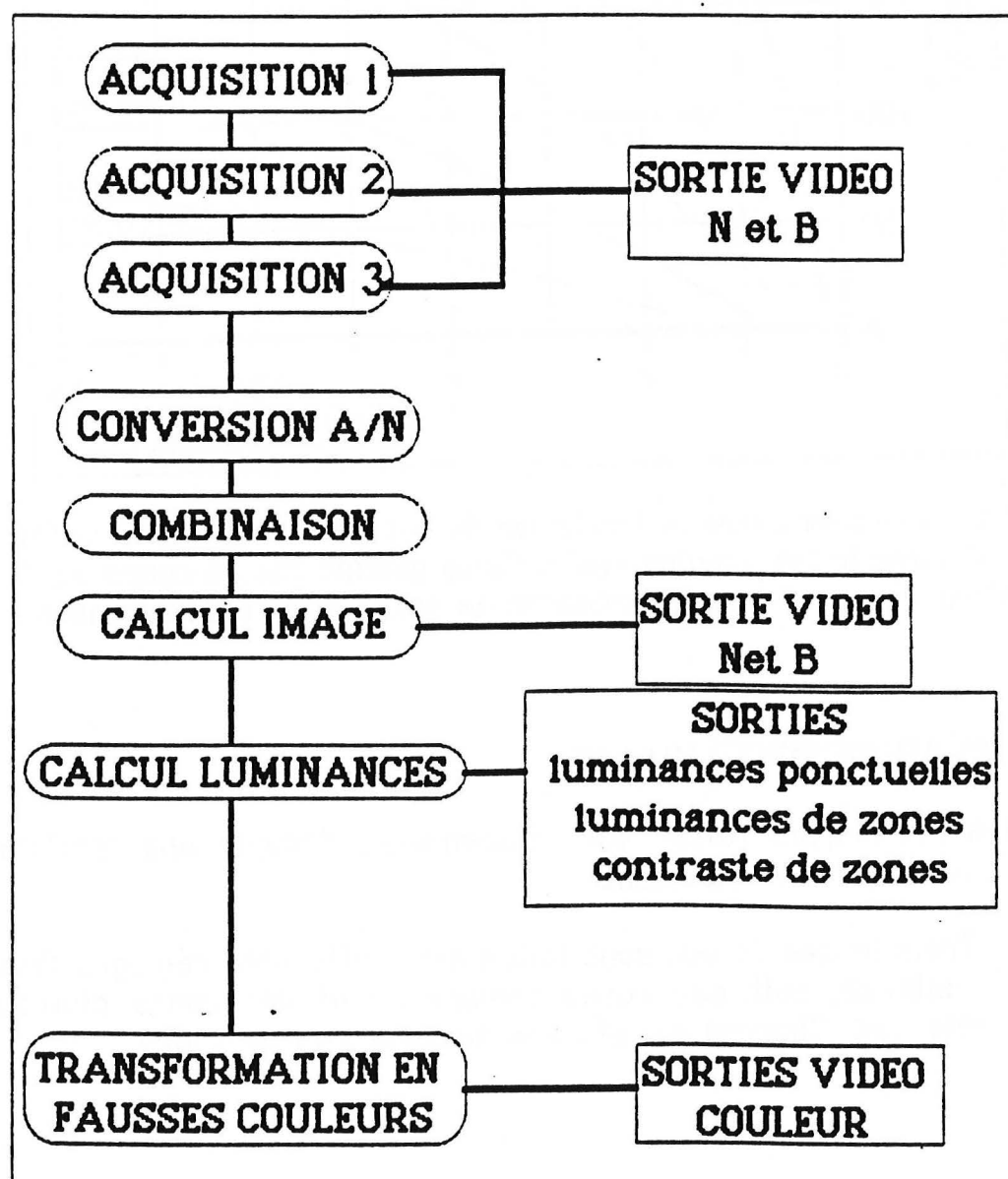
Des remarques faites sur l'étalonnage, découle une "philosophie" de l'exploitation qui est la suivante :

- 1) Trois prises de vue sont faites avec différents réglages favorisant la visibilité, soit des zones sombres, soit des zones claires ou très intenses. Chacune est stockée sous forme numérique.

- 2) On ne conserve de chaque image que les parties lisibles qui servent de base à la reconstitution avec précision, de toute la dynamique des luminances de la scène.
- 3) L'image ainsi reconstituée est renvoyée au moniteur en prenant le logarithme du niveau de gris pour donner une image correspondant à la réponse de l'oeil.
- 4) Prenant en compte l'étalonnage, les niveaux de gris sont transformés en luminances pour restituer les informations soit sous forme numérique, soit sous forme de cartographie en fausses couleurs.

L'ensemble de cette démarche est schématisée sur la figure suivante.

Figure 6 : Principes d'exploitation de la caméra



En plus de ce dispositif l'opérateur dispose d'une information vidéo directe permettant de contrôler la prise de vue.

II.5 - CONCLUSIONS

Les possibilités et les performances de cette caméra en font un outil suffisamment précis pour relever les luminances de sites complexes et quantifier l'influence des conditions d'éclairage.

Nous pensons également que son domaine d'utilisation va bien au-delà de celui pour lequel elle a été construite, en raison de l'évolution des capacités de stockage mémoire. En effet, même si le système dans sa constitution actuelle est mal adapté à cet usage, il n'est pas impossible d'envisager des contrôles en continu sur sites urbains ou routiers.

1. The first of these is the fact that the system is not a simple one, but a complex one, involving many different factors and many different people.

2. The second of these is the fact that the system is not a simple one, but a complex one, involving many different factors and many different people.

3. The third of these is the fact that the system is not a simple one, but a complex one, involving many different factors and many different people.

4. The fourth of these is the fact that the system is not a simple one, but a complex one, involving many different factors and many different people.

AIDE À LA CONCEPTION DE PROJETS D'ÉCLAIRAGE PUBLIC PAR SYNTHÈSE D'IMAGES

M^{lle} BRUSQUE – M. CARY – M. CHARLOT
LABORATOIRE CENTRAL DES PONTS ET CHAUSSEES

Un logiciel d'assistance à la conception des projets d'éclairage extérieur basé sur la synthèse d'images est en cours de réalisation au Laboratoire Central des Ponts et Chaussées [1].

Ce vaste projet associe à la fois des informaticiens, des spécialistes de l'éclairage et de la photométrie et des aménageurs.

Le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées ainsi que le Laboratoire Régional de Rouen et la Division Urbaine et Aménagement du Centre d'Études Techniques de l'Équipement de Rouen, participent à son élaboration.

Ce logiciel va permettre de visualiser un aménagement d'éclairage extérieur dans le site synthétisé du projet à l'aide de quelques images fixes ou à l'aide d'un film.

I – DÉROULEMENT D'UNE ÉTUDE

- Il faut tout d'abord définir la scène du projet tant au niveau géométrique qu'au niveau photométrique. Chaque objet est représenté par sa surface, qui se décompose en facettes (polygones plans) délimitées par des arêtes reliant des sommets. Et on lui associe l'indicatrice de réflexion du matériau le constituant.
- On définit la localisation des sources lumineuses d'éclairage public et leur indicatrice d'émission.
- Il faut choisir un modèle de calcul :

M_1 = calcul des éclairagements directs

M_2 = prise en compte des interréflexions diffuses

$M_3 = M_1 + M_2$

$M_4 = M_3$ + prise en compte d'un angle privilégié de réflexion par objet.

- Il reste à définir les paramètres de prises de vues (la position de l'observateur, l'axe de l'objectif, le champ de vision).

L'utilisation du logiciel devrait inciter le projeteur à entreprendre une démarche plus itérative lors de l'élaboration du projet. Il est toujours possible de modifier l'implantation des feux et leurs indicatrices et de relancer le calcul lumineux.

Il faut noter que pour calculer une image, on est amené à calculer l'éclairement des surfaces de l'ensemble des objets de la scène. On a donc un volume de résultats numériques bien plus important que celui que l'on calcule habituellement.

Il est donc intéressant de visualiser ces résultats afin de les intégrer à l'évaluation du projet (valeurs statistiques sur les luminances de la scène, cartes d'isoluminances des contrastes objet/fonds) en plus de la production d'images fixes et de bouts de films.

Il faut noter que ce logiciel n'est pas un outil de C.A.O. (conception assistée par ordinateur), pour l'aménagement urbain, ni un système expert pour la réalisation de projet d'éclairage extérieur.

C'est un outil de calcul d'éclairage et de visualisation des résultats de ces calculs sous forme de graphes, de courbes d'isoluminances, de valeurs de contrastes, d'images, de films Un exemple d'image calculée avec un seul luminaire est donné en figure 1a, l'aspect géométrique du site est donné en figure 1b.

II - APPORT DE LA GÉNÉRATION D'IMAGES DE SYNTHÈSE LORS DE L'ÉLABORATION D'UN PROJET

L'apport dû à l'utilisation du logiciel peut se faire tant au niveau quantitatif qu'au niveau qualitatif.

C'est tout d'abord un outil de calcul précis des valeurs d'éclairements et de luminance, capable de résoudre des types de configurations où les programmes de calculs utilisés actuellement sont mis en défaut (exemple des échangeurs).

Il permet aussi au projeteur de vérifier la pertinence de la solution en ce qui concerne son intégration dans le site et sa perception par l'utilisateur :

- Est-ce que l'implantation de candélabres ne détruit pas une perspective ?

Figure 1-a

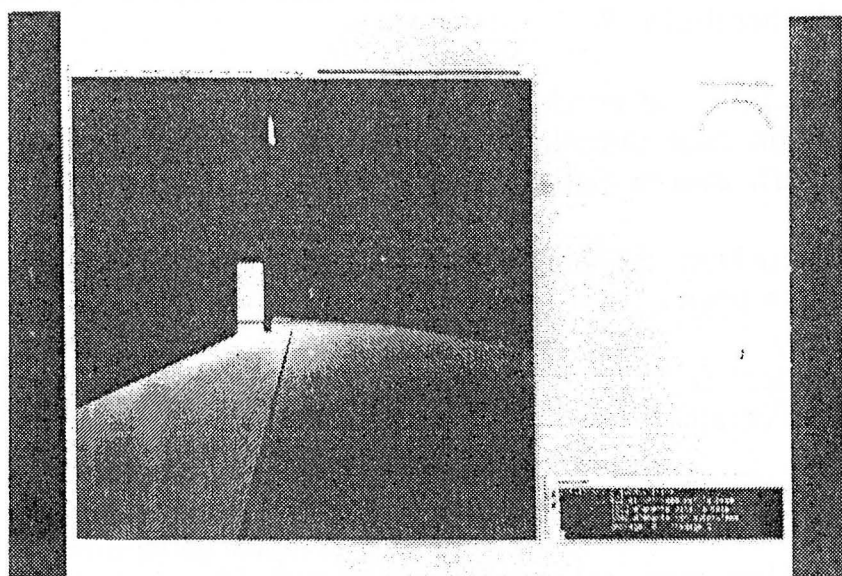
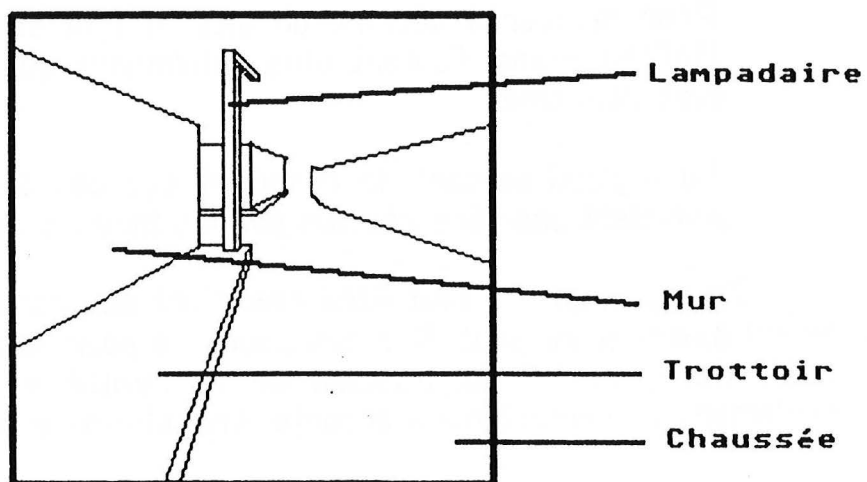


Figure 1-b



- La présence de trous noirs ne crée-t-elle pas un sentiment d'inconfort et d'insécurité chez le piéton ?
- Est-ce que l'éclairage implanté assure bien sa mission de guidage de l'automobiliste ?

La possibilité de produire un film vidéo permet d'introduire la notion de dynamique, on peut visualiser le champ de vision de l'automobiliste ou du piéton lorsqu'il évolue dans la scène.

La production d'images de synthèse est aussi un outil commercial permettant de promouvoir le projet auprès du maître d'ouvrage.

C'est aussi un outil de simulation pratique pour le chercheur dans le domaine de l'éclairagisme.

On pourrait se servir du logiciel pour tester des indications de réflexions ou d'émission et réaliser des études générales telles que : évaluer la contribution des interréflexions sur les façades, ou l'apport de l'utilisation d'un revêtement particulier sur les façades ou la chaussée.

III – LES DIFFÉRENTS DOMAINES D'APPLICATION DU LOGICIEL

On peut faire deux constatations au départ :

- Pour arriver à décrire un site, il faut saisir un nombre important d'informations d'autant plus volumineux que l'on veut restituer le site avec réalisme.
- Le logiciel permet de résoudre des cas de figures complexes qui ne pouvaient pas être résolus par les moyens de calculs précédents.

C'est pourquoi il faut être conscient que dans un premier temps, un tel investissement ne peut être envisagé que pour des projets importants et au coût élevé, et où l'utilisation de la synthèse d'images n'apporte pas seulement un confort mais apporte une solution à un problème.

Deux cas semblent répondre à ces critères, ce sont :

- les échangeurs routiers à plusieurs niveaux, les giratoires et les carrefours complexes,
- les entrées de villes.

Dans le premier, comme la scène n'est pas plane, les méthodes de calcul traditionnelles sont mises en défaut.

Comment déterminer, lorsqu'on éclaire une bretelle, la contribution de l'éclairage sur les voies situées en contrebas, la gêne occasionnée par les immeubles ?

Les sites sont certes complexes mais ne nécessitent pas de détails réalistes.

De plus, l'apport de la notion de dynamique est intéressante pour juger du guidage de l'automobiliste et de l'annonce des zones à risques.

Enfin, dans le cas des entrées de ville, cette notion de dynamique est aussi intéressante.

RÉFÉRENCES

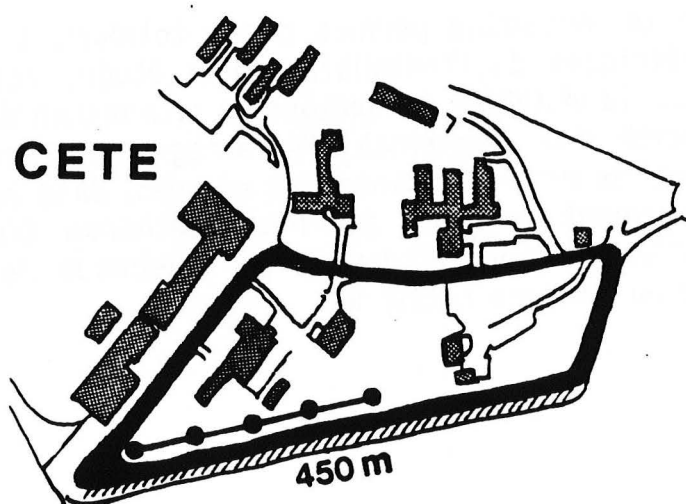
- [1] Logiciel d'assistance à la conception des projets d'éclairage extérieur basé sur la génération d'images de synthèse.
Rapport L.C.P.C. - FAER 1 20 09 8 : BRUSQUE - CARY - CHARLOT - HUBERT.

LA PISTE NATIONALE EXPÉRIMENTALE DE VISIBILITÉ NOCTURNE

M. MENARD : Centre d'Études Techniques de l'Équipement de Rouen

La piste expérimentale de visibilité nocturne est destinée à toutes les expérimentations liées à la visibilité et à la lisibilité. Elle permet des observations aussi bien diurnes que nocturnes. Elle est équipée d'un ensemble de mâts d'éclairage public de façon à étudier les phénomènes de visibilité nocturne avec éclairage artificiel.

La piste est constituée par une chaussée plane de 450 m de long et de 7 m de large pouvant être élargie à 14 m. Elle est inscrite dans un circuit de 1200 m de long par raccordement à la voirie existante du C.E.T.E.



Une piste de 450 m dans un circuit de 1200 m.

Elle est éclairée sur 250 m par cinq point de feux. Ceux-ci sont constitués de 5 mâts de 15 m de hauteur implantés sur des chariots. Ces derniers se déplacent au fond d'une tranchée bétonnée, parallèle à la chaussée et en bordure de cette dernière. Chaque mât est équipé d'un patin mobile réglable en hauteur, supportant une crosse et un luminaire. La crosse peut être plus ou moins longue de 0,5 m à 3 m.

Cette conception permet de reconstituer toutes les géométries d'installations unilatérales :

- les espacements,
- les hauteurs de feux,
- les avancées,
- les inclinaisons sont variables.

N'importe quel luminaire peut être mis en place, qu'il soit à appareillage intégré ou non.

L'alimentation électrique des points de feux est largement surdimensionnée et, au pied de chaque mât, un autotransformateur permet de régler la tension d'alimentation à notre convenance.

Un tel ensemble permet d'être totalement maître des performances photométriques de l'installation. Les études actuellement engagées sont axées sur la visibilité des piétons en site urbain dans les passages protégés, l'efficacité des systèmes d'éclairage additionnel, les estimations de distances de reconnaissance des visages, dans le but de définir des règles d'aménagement nocturne des rues piétonnes. D'autres études ont trait à l'utilisation de photodiodes et de faisceaux de fibres optiques dans le domaine du balisage nocturne.

THEME III

LES SOURCES LUMINEUSES

FEUX CLIGNOTANTS À DÉCHARGE ET À INCANDESCENCE

Expériences de localisation et de gêne visuelle

M. PAUMIER : LABORATOIRE RÉGIONAL DES PONTS ET CHAUSSÉES
DE CLERMONT-FERRAND

1 - INTRODUCTION

Le Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Clermont-Ferrand en liaison avec le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées de Paris, l'I.N.R.E.T.S. et l'aide du Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Lyon a été chargé de mettre au point et de réaliser un programme d'étude visant à préciser les règles d'utilisation des feux clignotants à décharge appelés aussi feux flashes ou feux à éclats.

Sur le terrain, en installation de chantier ou fixe, il existe des applications diverses de ce matériel pouvant être regroupées comme suit :

- Avertissement ponctuel (alerte)

Il s'agit d'une mise en place d'un feu isolé destiné à attirer l'attention de l'utilisateur sur un danger particulier très localisé.

- Renforcement de signalisation

Ces feux associés à un message sont placés soit directement sur un panneau de signalisation classique, soit à proximité de façon à attirer l'attention de l'utilisateur sur le panneau concerné.

- Balisage

Dans beaucoup de cas, une série de feux est disposée le long d'une voie de circulation de façon à guider l'utilisateur sur le tracé de la chaussée.

Cet examen des types d'utilisation a été réalisé par le Centre d'Études Techniques de l'Équipement de Lyon. Il montre aussi que les feux clignotants à décharge sont de plus en plus utilisés par les gestionnaires du réseau routier souvent en remplacement des feux clignotants traditionnels munis de lampes à incandescence.

Avant de décrire les expérimentations et de donner les résultats, il faut signaler les différences entre ces deux types de matériels et donner des indications sur le type de matériels utilisés.

2 - CARACTÉRISTIQUES PHOTOMÉTRIQUES DES MATÉRIELS UTILISÉS

Pour caractériser d'un point de vue photométrique, les signaux provenant de tels feux, on a l'habitude d'utiliser quatre paramètres qui sont :

- la fréquence des éclats,
- la durée de l'éclat,
- le maximum d'intensité lumineuse,
- l'intensité effective.

Cette dernière grandeur caractérise l'impression visuelle globale que reçoit l'oeil. Elle correspond à l'intensité d'un feu fixe qui produirait la même impression visuelle dans les mêmes conditions d'observation.

La détermination de cette intensité effective se fait à partir de la loi de variation de l'intensité lumineuse en fonction de la durée de l'éclat (figure 1).

Sur la figure 1 nous avons représenté les variations d'intensité lumineuse pour un feu clignotant à décharge et un feu clignotant à incandescence en fonction de la durée de l'éclat.

La méthode d'évaluation de l'intensité effective la plus utilisée est celle de BLONDEL-RAY-DOUGLAS.

Il faut savoir que ce qui différencie les deux types de feux c'est :

- d'une part, la durée de l'éclat : elle peut varier de 20 μ s à 200 μ s pour un feu clignotant à décharge et de 50 ms à 700 ms pour un feu clignotant à incandescence ;
- d'autre part, l'intensité du signal qui peut varier de 5 10^4 cd à 2 10^6 cd pour un feu clignotant à décharge et de 8 cd à 200 cd pour un feu clignotant à incandescence.

Dans ce cas, les intensités effectives peuvent atteindre :

- 800 cd pour un feu clignotant à décharge
- et 350 cd pour un feu clignotant à incandescence.

Les grandes dispersions des caractéristiques photométriques de ces matériels que l'on peut trouver sur le marché sont liées essentiellement au type d'alimentation (220 V, 12 V, 6 V) au type de condensateur, à l'énergie de décharge, au modèle de lampe, etc.

Pour notre expérimentation, nous avons utilisé le matériel suivant : (tableau 1)

- des feux alimentés en 220 volts
- des optiques identiques
- une fréquence d'environ 1 éclat par seconde
- des intensités effectives moyennes.

Avec ce matériel nous avons réalisé deux expérimentations de nuit sur le site expérimental du circuit de SATOLAS, en essayant de mesurer un éventuel accroissement d'efficacité des uns par rapport aux autres.

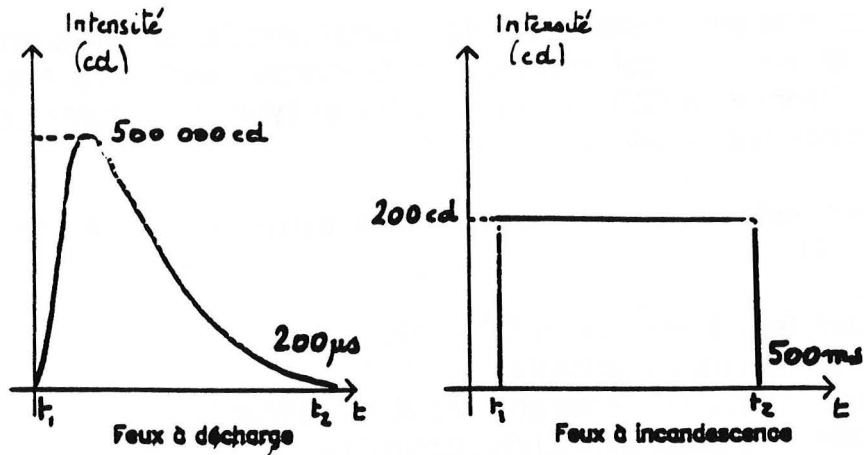
La première expérimentation, que l'on a appelé localisation de nuit, devait permettre de vérifier si un usager peut facilement localiser en distance et de nuit, un feu clignotant utilisé en avertissement ponctuel par exemple, en se repérant par rapport à d'autres sources lumineuses (feux arrière de véhicule dans notre cas).

La seconde expérimentation est l'évaluation de la gêne visuelle provoquée de nuit. Elle avait pour but de déterminer les conditions pour lesquelles un usager de la route, dans le cas d'un renforcement de signalisation par exemple, peut être gêné par un ou plusieurs feux dans la lecture du panneau.

Figure 1

Caractéristiques photométriques d'un feu clignotant à décharge ou à incandescence

Caractéristiques photométriques :



Formule de Blondel - Ray - Douglas (I_e : intensité effective)

$$I_e = \frac{\int_{t_1}^{t_2} I(t) dt}{a + t_2 - t_1}$$

$$I_e = \frac{I}{a + t_2 - t_1}$$

$$a = 0,2 \text{ secondes}$$

Tableau 1

Matériels utilisés pour les expérimentations

Matériels utilisés ;

	Feux à décharge	Feux à incandescence
Alimentation	220 V	220 V
Dimension optique	18 cm	18 cm
Fréquence	1,15 Hz	1,10 Hz
Durée éclat	102 μs	480 ms
Intensité maximale	384 000 cd	54 cd
Intensité effective	58 cd	28 cd

3 - EXPÉRIMENTATION N° 1 : LOCALISATION DE NUIT EN DISTANCE

Cette première expérimentation a été réalisée de nuît et en statique sur le circuit de l'I.N.R.E.T.S. à SATOLAS.

Afin de tenter d'être à peu près représentatif de la population des usagers de la route, nous avons utilisé des sujets masculins et féminins, tous possesseurs du permis de conduire répartis en quatre classes d'âge de 20 à 60 ans et plus, soit 24 sujets au total.

Les mêmes sujets furent utilisés pour la seconde expérimentation "gêne visuelle".

Préalablement, leur vision fut contrôlée à l'aide d'appareils de dépistage afin de connaître leur acuité visuelle, leur sensibilité au contraste avec ou sans éblouissement.

Le sujet est placé à l'avant du véhicule à l'arrêt, projecteurs avant éteints à distances variables 500 - 200 - 100 mètres du repère lumineux (feux arrières de véhicules).

Tous les feux sont placés à la même hauteur à savoir 1,20 m et espacés de 50 mètres (figure 2).

Pour les deux types d'observation, les repères sont :

- soit éteints après un allumage d'une durée de 5 secondes
- soit allumés en permanence.

Les feux à localiser sont situés à l'avant, à l'arrière ou au même niveau que le repère.

Nous allons maintenant regarder les principaux résultats de cette expérimentation.

Ils sont regroupés dans le tableau 2.

Pour chaque type de présentation - allumage ou extinction du repère lumineux pendant l'observation - nous avons calculé pour 24 observateurs le pourcentage de bonnes réponses pour les différentes distances d'observation (500 - 200 ou 100 mètres).

Figure 2
Expérimentation "Localisation de nuit"

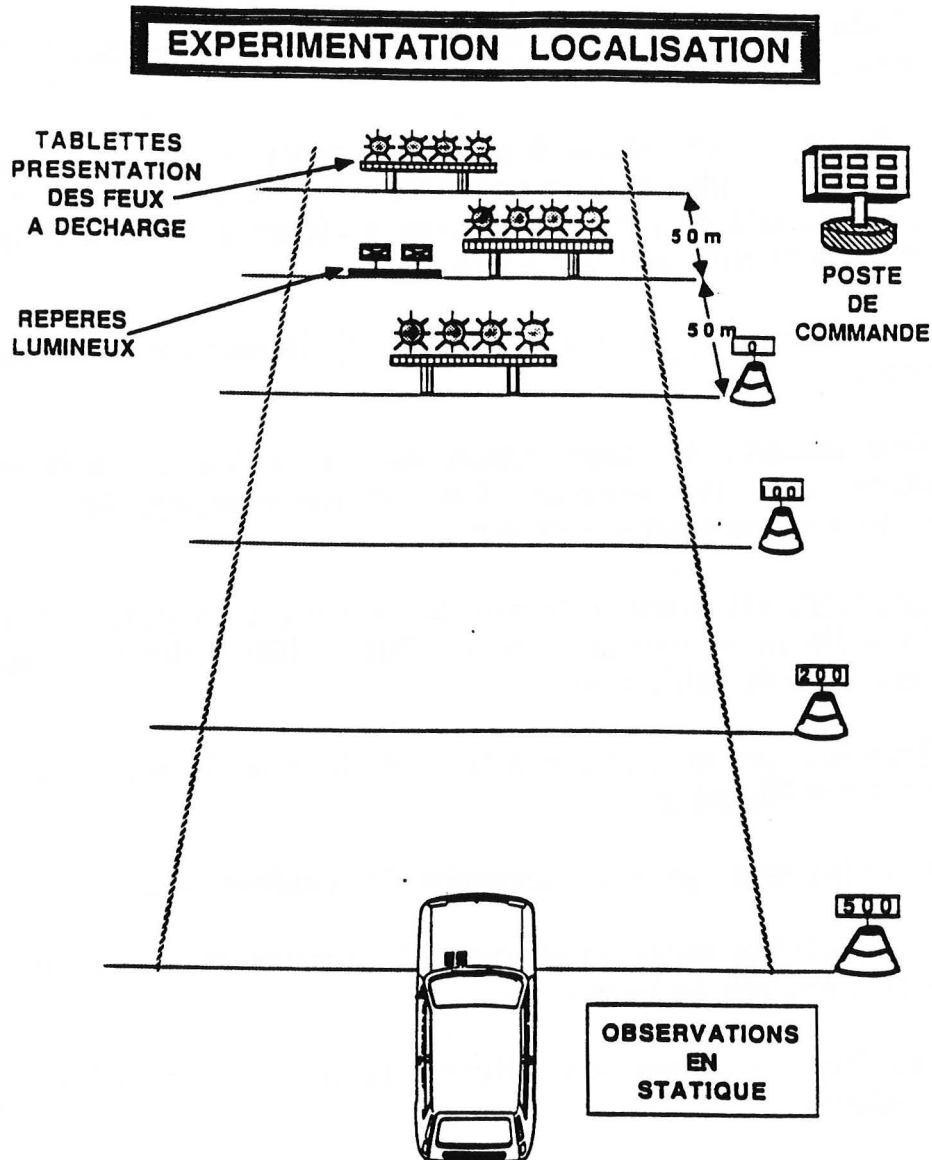


Tableau 2 : Pourcentage de bonnes réponses

72 obs. Distance	Repères éteints		Repères allumés	
	Feux à incandescence	Feux à décharge	Feux à incandescence	Feux à décharge
100 m	43%	46%	51%	46%
200 m	43%	31%	47%	32%
500 m	40%	36%	43%	29%

Il ressort que :

- la possibilité de bonnes réponses est comprise entre 29 % et 51 % quel que soit le type de présentation et d'observations,
- malgré la présence de repères lumineux avant ou pendant l'observation, la localisation des feux clignotants à décharge ou des feux clignotants à incandescence est peu satisfaisante.

Ces résultats sont assez conformes à ce que nous pouvions supposer.

En effet lorsque nous portons un jugement sur la distance séparant les objets, nous ne nous basons pas seulement sur les indices fournis par ceux-ci.

Le champ visuel entier sert de référence.

Ainsi vont intervenir entre autres, pour aider la tâche d'évaluation :

- la taille relative des objets
- les perspectives
- les ombres
- le mouvement relatif des objets
- etc.

La situation expérimentale présente qui est une situation de nuit et le fait aussi que les stimuli soient des points lumineux font que disparaissent les indices qui facilitent la perception des distances compromettant ainsi leur localisation.

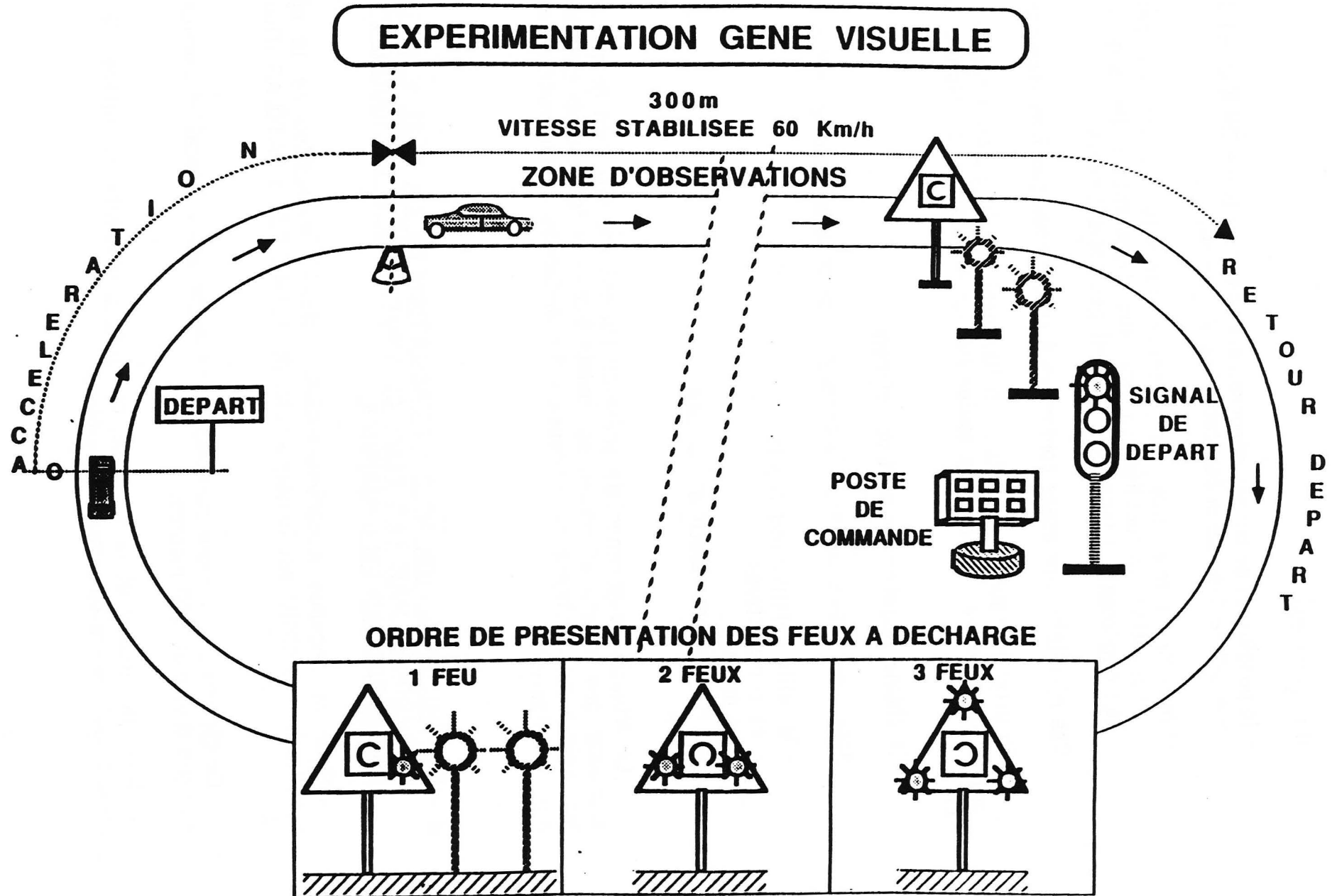
4 - EXPÉRIMENTATION N° 2 : ÉVALUATION DE LA GÊNE VISUELLE PROVOQUÉE PAR LES FEUX CLIGNOTANTS À DÉCHARGE ET À INCANDESCENCE EN DYNAMIQUE

Pour la seconde expérimentation, intitulée évaluation de la gêne visuelle, le site choisi est toujours celui de l'I.N.R.E.T.S. à SATOLAS (figure 3).

Ce circuit permet une rotation du véhicule expérimental et comporte une ligne droite de 300 mètres.

Pour la rigueur et la sécurité, ce circuit présente l'avantage d'être fermé à toute autre circulation de véhicule.

Figure 3 : Expérimentation "gêne visuelle"



Le véhicule expérimental utilisé pour les observations dynamiques, projecteurs avant allumés en feux de croisement, est une RENAULT 18 équipée d'un compteur de distance précis au mètre.

Le sujet est placé dans le véhicule expérimental en position de passager avant.

Le conducteur expérimenté démarre le véhicule à un point de départ situé à 600 mètres du panneau.

Dans la ligne droite, le véhicule roule à vitesse constante de 60 km/h.

Une liaison radio est établie entre le véhicule expérimental et les opérateurs affichant les messages.

Le message, qui est associé au panneau lumineux de 1 cd/m^2 environ, est un anneau de LANDOLT de 20 cm de diamètre.

C'est un anneau non fermé dont l'ouverture peut être située en quatre positions différentes (droite, gauche, haut, bas). Voir où se trouve l'ouverture, constitue le message à lire.

Différentes présentations du message ont été proposées aux sujets :

- d'abord message associé à un seul feu clignotant à décharge ou à un seul feu clignotant à incandescence placé à 0,50 m, 2 m ou 5 m du message à lire,
- ensuite message associé à deux feux clignotants à décharge ou à deux feux clignotants à incandescence placés à 0,50 m de part et d'autre du message,
- enfin, message associé à trois feux clignotants à décharge ou trois feux clignotants à incandescence placés aux angles du panneau triangulaire de 1 m de côté.

Le plan expérimental fut identique pour tous les sujets. Il y eut trois présentations sans feu, un tour de reconnaissance et dix présentations avec feux clignotants à décharge ou à incandescence.

Pour chaque sujet, cela correspond à 14 observations soit 14 tours de circuit avec à chaque tour une position de l'anneau différente.

Une grille de réponse permettait à l'expérimentateur situé à l'arrière du véhicule de noter la réponse du sujet, soit :

- orientation de l'anneau de LANDOLT
- distance de lecture affichée au compteur
- et éventuellement les remarques sur une sensation de gêne.

Les résultats sont donnés dans le tableau 3.

Nous avons regroupé les distances de lecture moyenne avec leur écart-type :

- pour des observations sans stimulus
- pour des observations avec stimuli feux clignotants à décharge
- pour des observations avec stimuli feux clignotants à incandescence.

Ces résultats et l'analyse de la variance montrent :

- qu'il existe une grande dispersion des résultats entre les sujets (écart-type important). Cette constatation est faite pour toutes les observations AVEC ou SANS stimulus.
- qu'il n'existe pas de différences significatives sur les distances de lecture moyenne entre les essais AVEC ou SANS stimulus.

Il n'existe donc pas de gêne mesurable à la lecture occasionnée par la présence de ces différents stimuli.

Sur le tableau 4, nous avons reporté les distances minimales, maximales, moyennes et les écart-types pour l'ensemble des essais avec ou sans stimulus. Avec l'analyse de la variance, on constate de la même façon qu'il n'existe pas de différences significatives sur les distances de lecture avec feux clignotants à décharge, feux clignotants à incandescence ou sans feux.

Dans une seconde étape, nous avons étudié la corrélation entre les variables suivantes :

- acuité visuelle
- âge
- sensibilité au contraste avec ou sans éblouissement
- distances de lecture

DISTANCES DE LECTURE

Essai numéro	Distance moyenne (m)	Ecart type
1	66	28
2	60	26
8	57	31
14	63	27

SANS STIMULUS

Essai numéro	Distance moyenne (m)	Ecart type
3	57	28
4	58	25
5	54	27
6	53	24
7	63	21

1 feu
5 m

2 m

0.5 m

2 feux

3 feux

Essai numéro	Distance moyenne (m)	Ecart type
9	65	29
10	61	28
11	62	28
12	62	25
13	66	28

AVEC STIMULI

FEUX A INCANDESCENCE

AVEC STIMULI

FEUX A DECHARGE

Tableau 3 : Résultats de l'expérimentation
Gêne visuelle"

DISTANCES DE LECTURE

Ensemble des essais	Distance minimale	Distance maximale	Distance moyenne	Ecart type
SANS STIMULUS	14	124	62	28
AVEC STIMULI Feux à incandescence	6	108	63	21
AVEC STIMULI Feux à décharge	13	130	63	27

Tableau 4 : Résultats de l'expérimentation "gêne visuelle"

Pour un échantillon de 24 sujets nous avons calculé le degré de liaison d'une variable par rapport aux autres. L'analyse montre :

- qu'il n'existe pas de relation entre l'âge du sujet et son acuité visuelle
- qu'il n'existe pas de relation entre les distances de lecture et l'acuité visuelle
- qu'il n'existe pas de relation entre les distances de lecture et la sensibilité au contraste avec ou sans éblouissement
- la seule tendance observée est entre l'âge et les distances de lecture : plus les sujets sont âgés plus ils doivent s'approcher du panneau pour lire le message donc plus les distances de lecture sont faibles.

5 - CONCLUSION

Cette étude montre que pour la première expérience, les sujets localisent très difficilement les feux clignotants qu'ils soient à décharge ou à incandescence. Ce résultat est très certainement dû à un manque d'indices visuels lié à la situation de nuit. Nous avons donc peu d'espoirs d'obtenir des résultats satisfaisants avec d'autres types de matériels.

En ce qui concerne la deuxième expérience, il ressort qu'il n'existe pas de différences significatives sur les distances de lecture quel que soit le type de présentation, sans feu clignotant ou avec feu clignotant à décharge ou à incandescence donc apparemment pas de gêne mesurable à la lecture occasionnée par la présence des différents stimuli.

Par contre on peut admettre l'hypothèse que pour des feux ayant des caractéristiques photométriques plus extrêmes en intensité effective ou en fréquence, des perturbations à la lecture peuvent se produire et donc occasionner une gêne mesurable pour les conducteurs dans la perception d'indice nécessaire à la conduite.

C'est pourquoi les L.P.C. et l' I.N.R.E.T.S. se proposent de mener une seconde étude en 1989, pour tenter à partir d'autres types d'appareils, de définir les caractéristiques photométriques maximales admissibles par l'usager permettant d'étayer les cahiers des charges actuellement en cours d'élaboration.

LES PROJECTEURS DES VÉHICULES AUTOMOBILES OPTIMISATION DU FAISCEAU CROISEMENT

Mme BONNEAU - M. RENDU : U.T.A.C.

1 - INTRODUCTION

1.1 - SITUATION ACTUELLE

1.1.1 - En Europe

Mis à part les règlements nationaux qui existent toujours dans certains pays européens, l'éclairage des véhicules automobiles est réglementé par :

- les règlements ECE (de Genève) dans le cadre de l'O.N.U.
- les directives CEE (de Bruxelles) dans le cadre du marché commun.

Les règlements de Genève concernant les projecteurs automobiles sont au nombre de six. Quatre seulement sont appliqués en France : R1, R3, R20 concernant le faisceau croisement-route, et le R19 concernant le faisceau brouillard avant. Les deux autres R5 et R31 s'appliquant aux projecteurs sealed-beam ne sont pas reconnus par la France.

Les directives de Bruxelles concernant les projecteurs automobiles sont au nombre de 2 :

- la directive 76/761 concernant le faisceau croisement-route
- la directive 76/762 concernant le faisceau brouillard avant.

Les performances décrites dans ces directives sont similaires (quand ce n'est pas identique) à celles décrites dans les règlements de Genève.

- Qualités et défauts

Le règlement R1 décrit des projecteurs à faisceaux croisement-route qui étaient destinés et adaptés à la circulation de 1960 pour un réseau routier ayant peu d'autoroute.

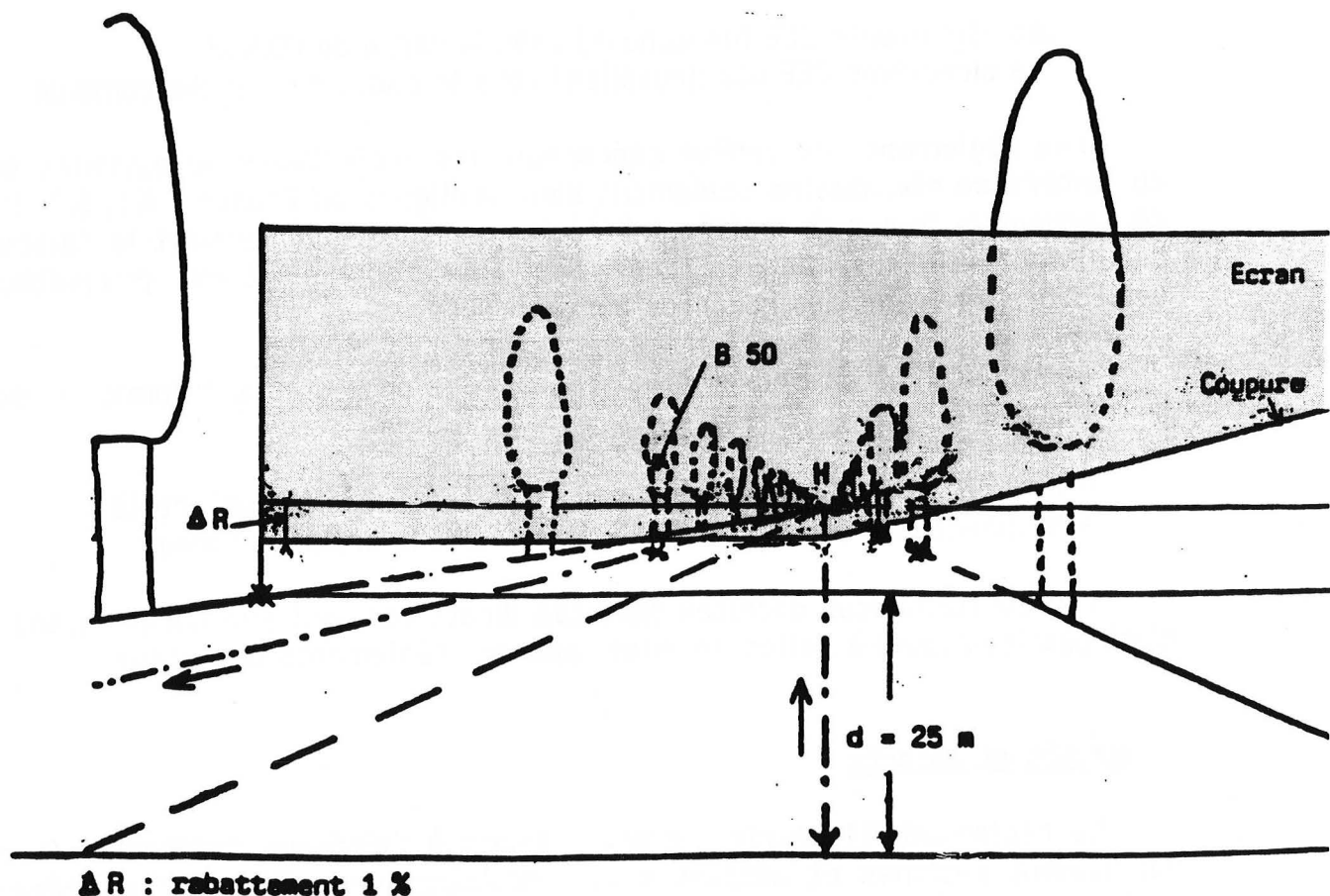
- Architecture du faisceau

Le schéma ci-après montre le faisceau croisement d'un projecteur répondant au R1 : la coupure est relevée à 15° sur l'horizontale, à droite.

Le faisceau d'un projecteur équipé d'une lampe aux halogènes et répondant aux règlements 8 et 20 peut avoir une coupure dite en Z (relevée d'abord à 45° puis horizontale).

Dans les deux cas, le projecteur croisement envoie de la lumière sur la partie droite de la route éclairant les panneaux placés sous la coupure, mais malheureusement peu sur les panneaux utilisés à notre époque : panneau portique au-dessus de la route, ou panneau directionnel placé plus haut sur la droite.

Ce faisceau a été conçu pour éclairer la route entre le sol et la coupure, en fonction du réseau routier, des conditions de la circulation, des moyens techniques qui existaient dans la période dite "après-guerre".



- Photométrie

Les principales valeurs à 25 m d'un faisceau croisement sont les suivantes : zone III, au-dessus de la coupure : $E < 0,7 \text{ lx}$ avec une limite maximale pour le point dit "d'éblouissement B 50 L" (œil du conducteur du véhicule venant en sens inverse) à 0,4 lx pour le règlement R20 et 0,3 lx pour le règlement R1.

Les points les plus éclairés sont les points situés sous la coupure à 50 et 75 m à droite de la route avec des valeurs minimales de 12 lux pour le R20 et 6 lx pour le règlement R1.

À titre d'information, le faisceau route doit donner à 25 m un éclairage $48 < E < 240$ lx selon le R20 et $E > 32$ lx selon le R1, avec une condition d'alignement par rapport au faisceau croisement.

1.1.2 - Aux États-Unis

- Origine des performances

Le projecteur sealed-beam utilisé aux États-Unis d'avant la guerre. Son évolution qui lui a permis de passer de la forme ronde à la forme rectangulaire date des années 1970.

Depuis l'année 1989, le projecteur peut être "en forme" (profilé) à lampe interchangeable.

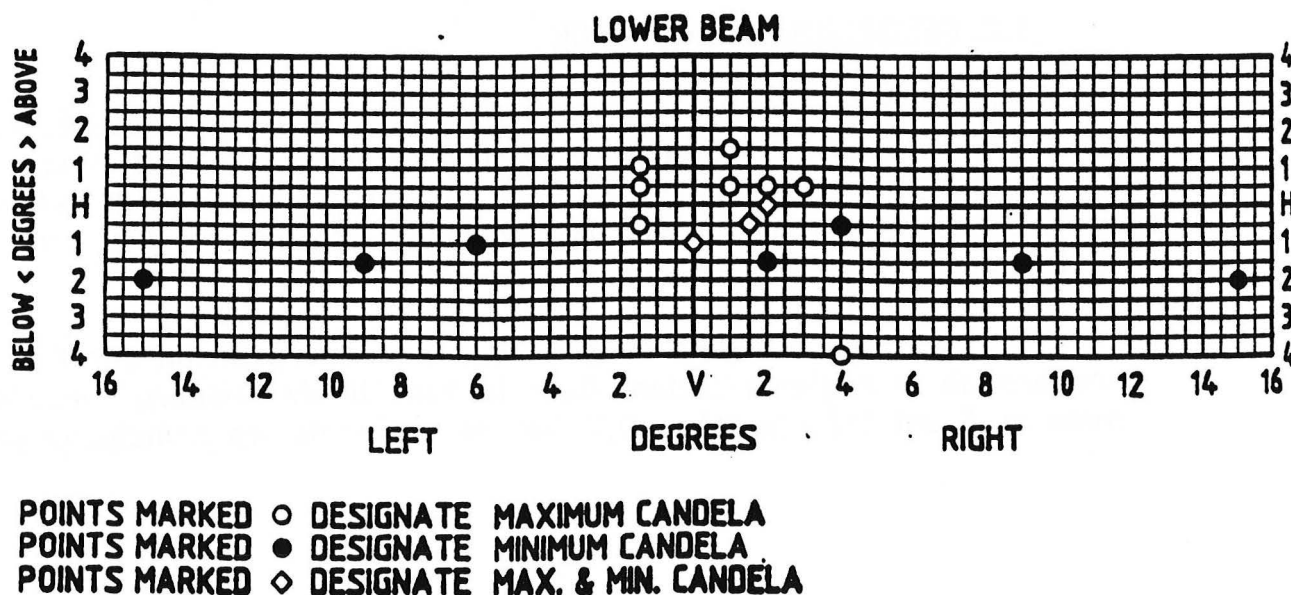
- Qualité et défauts

Contrairement aux projecteurs européens, ces types de projecteurs en faisceau croisement, n'ont pas de coupure nette mais ce qui pourrait être appelé un "dégradé" des valeurs photométriques, certainement adapté au réseau routier nord américain qui a toujours connu les grands espaces et, bien avant l'Europe, les autoroutes.

- Architecture du faisceau

Le schéma ci-dessous montre les points de mesure du faisceau croisement.

Dans la zone de l'axe du projecteur (HV), la quantité de lumière envoyée est limitée, mais sans coupure nette entre cette zone et les autres points.



- Photométrie

Les principales valeurs d'un faisceau croisement sont les suivantes :

- 1° au-dessus de l'horizontale vers la gauche
 $I < 700$ cd, ce qui correspond sur un écran à 25 m à 1,12 lux
- 0,5° au-dessus de l'horizontale vers la gauche
 $I < 1000$ cd, soit 1,6 lx sur un écran à 25 m
- 1,5° au-dessus de l'horizontale vers la droite
 $I < 1400$ cd, soit 2,24 lux sur un écran à 25 m
- 0,5° au-dessous de l'horizontale vers la gauche
 $I < 2500$ cd ou 3000 cd (suivant le type de projecteur) soit 4 lx ou 4,8 lx sur un écran à 25 m.

Les points les plus éclairés sont situés à partir de 0,5° en-dessous sur la droite, le mini le plus fort, 15000 cd, soit 24 lux à 25 m étant placé au point 1,5° en-dessous, 2° à droite.

À titre d'information, le faisceau route doit donner en HV des minima de 20000 cd ou 40000 cd suivant le règlement, soit des éclairagements de 32 lx et 64 lx sur un écran à 25 m, et des maxi de 75000 cd soit 120 lx à 25 m.

1.1.3 - Au Japon

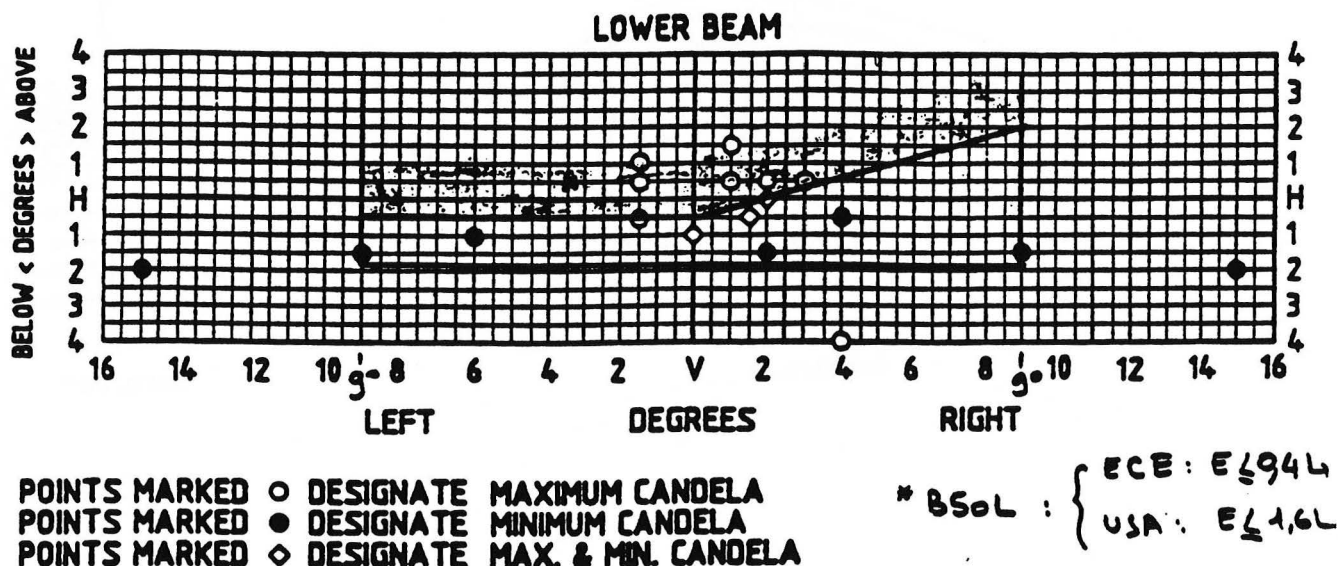
Les projecteurs utilisés au Japon sont généralement du type sealed-beam. La réglementation est proche de celle des États-Unis, la seule différence provenant de l'obligation de la circulation à gauche.

1.2. BESOIN D'HARMONISATION

Les différents types de projecteurs ont donc été étudiés en ce qui concerne d'une part leurs qualités et leurs défauts au niveau photométrique, et d'autre part leur réglage. Cela a permis de mettre en évidence des différences importantes entre les faisceaux croisement dits européens et américains.

Par exemple, la figure ci-après est une superposition des faisceaux au travers de la réglementation. Dans la zone III du faisceau européen où le maxi de E est très limité $< 0,7$ lux, se trouvent les principaux points du

faisceau américain où les valeurs maximales sont étalées de 1,6 lux à 4 lux, avec en B 50 L (le point européen d'éblouissement), un maxi de 1,6 lux, c'est-à-dire environ quatre fois la valeur européenne.



L'ouverture même du faisceau est différente de 9° à gauche à 9° à droite pour le faisceau européen, et de 15° à gauche à 15° à droite pour le faisceau américain.

Cependant cette ouverture de 9° est suffisante pour éclairer une route type européen à deux voies de 3 m chacune plus 2,4 m à droite.

Par contre, l'ouverture de 15° du faisceau américain correspond à une route de 13,20 m.

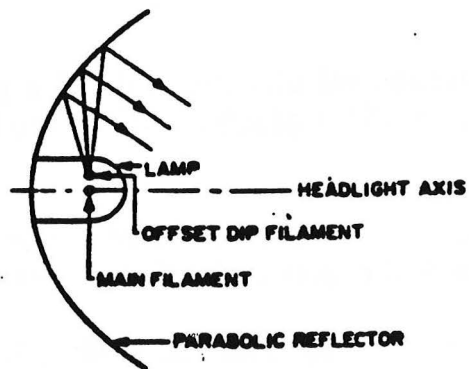
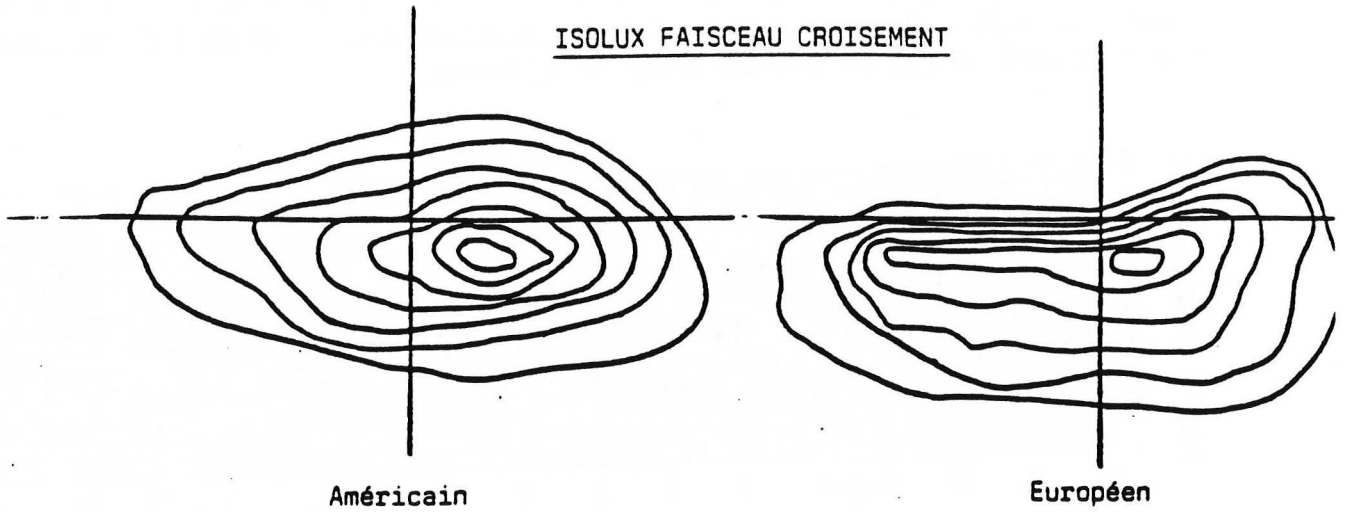
Ces contradictions sont dues en particulier, bien sûr, aux différentes conditions de circulation.

En ce qui concerne les réglages des projecteurs sur les véhicules, ils sont très différents. Le réglage du projecteur américain est lié à sa position mécanique et à la position de la zone la plus éclairée. Le réglage du projecteur européen plus précis, se fait par la coupure du projecteur.

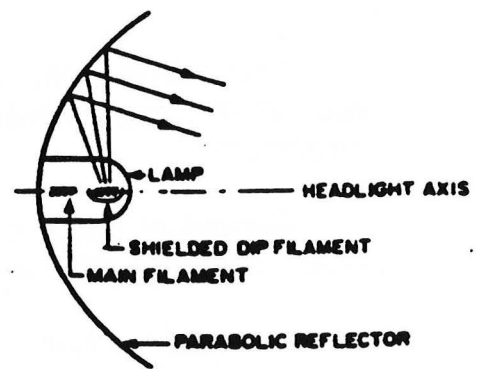
Les schémas ci-après illustrent ces commentaires :

- isolux des deux faisceaux croisement,
- principe de fonctionnement des lampes à deux filaments équipant ces différents types de projecteurs.

ISOLUX FAISCEAU CROISEMENT



ANGLO-AMERICAN HEADLIGHT



ECE HEADLIGHT

2 - HARMONISATION

Il existe actuellement un effort et une volonté mondiale pour une harmonisation des performances réglementaires dans tous les domaines afin de faciliter les échanges commerciaux.

- Éclairage et signalisation

Les efforts ont jusqu'à ce jour porté sur la signalisation, quelques pas seulement ont été faits :

- Identification d'un signal par sa couleur. Par exemple, aux U.S.A. un indicateur de direction arrière peut être rouge, d'où sa confusion possible avec le feu stop, et la nécessité de mettre un troisième feu stop surélevé au milieu de la lunette arrière.
- Valeurs des intensités lumineuses : des efforts ont été faits par les européens pour augmenter leurs valeurs maximales et les américains pour diminuer leurs valeurs minimales.

Cependant, les conditions de circulation étant très différentes, les européens craignent que des feux ayant une intensité trop élevée, soient trop éblouissants.

Exemple de feu stop : en Europe R7	$40 < I < 100 \text{ cd}$
J587	$80 < I < 300 \text{ cd}$

À l'heure actuelle, toutes les énergies se portent sur l'installation des dispositifs d'éclairage et de signalisation sur les véhicules aussi bien pour la position du feu sur le véhicule que pour le critère de détermination de cette position.

Il est vrai que suivant le règlement choisi, la hauteur d'un feu est déterminée soit par :

- la position de son centre de référence
- le bord de sa plage éclairante
- le bord de la surface de sortie de la lumière
- le bord du voyant

et les prescriptions demeurent difficilement comparables.

En ce qui concerne l'éclairage, c'est-à-dire les trois faisceaux : croisement, route, brouillard avant, seul le faisceau croisement est à

développer et optimiser ; les faisceaux route et brouillard étant déjà sensiblement identiques.

3 - OPTIMISATION DU FAISCEAU CROISEMENT

La situation la plus optimiste dans l'avenir est celle du faisceau croisement harmonisé et reconnu partout dans le monde.

Par qui et comment s'effectuent les études sur ce nouveau faisceau croisement ?

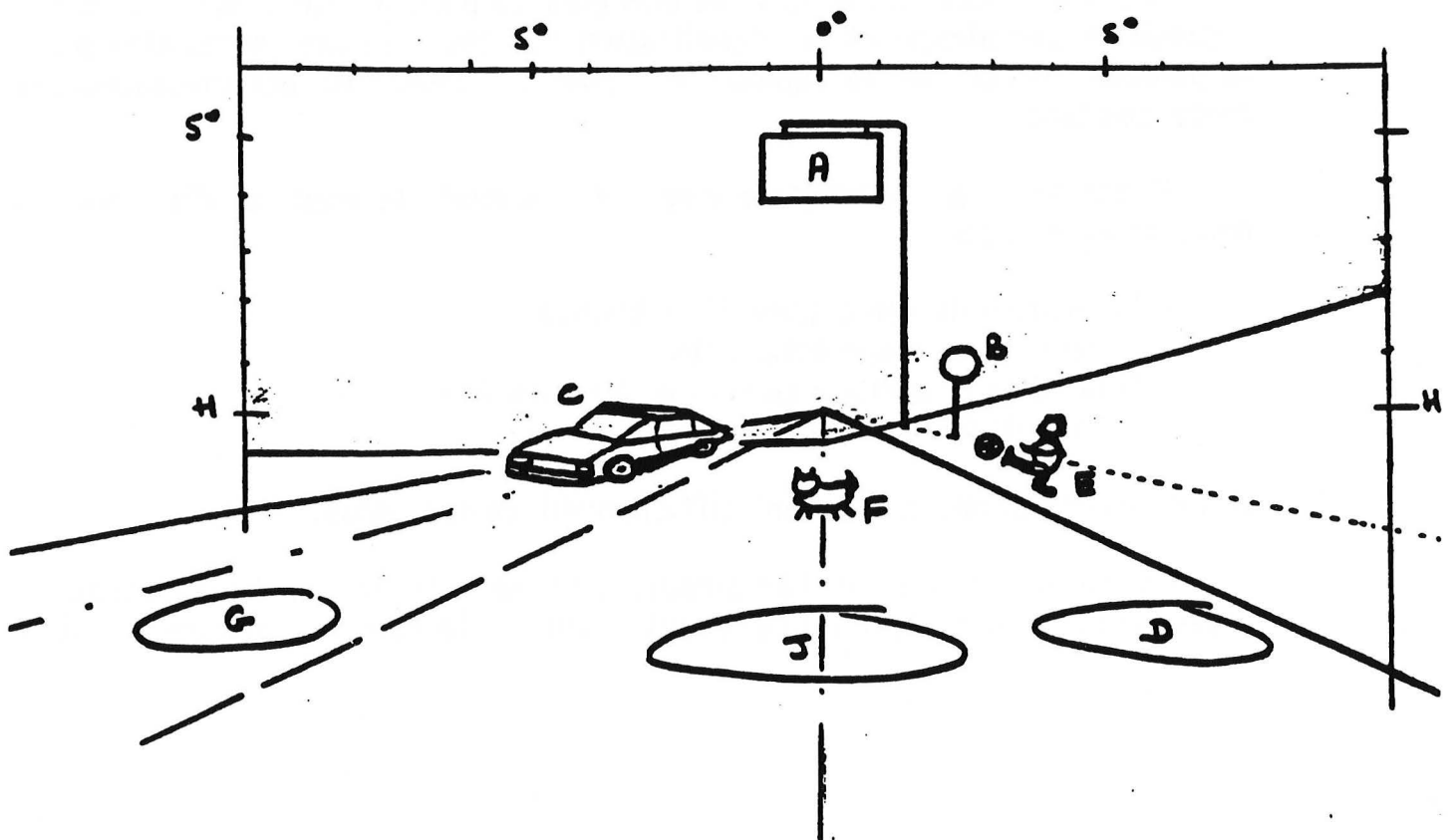
3.1. Au Japon

Les études menées au Japon sont d'ordre conjoncturel en vue de l'exportation.

Des essais sont cependant réalisés sur différents types de projecteurs en vue de l'optimisation du faisceau croisement. Cinq zones ont été retenues pour l'étude de la distribution lumineuse la plus rigoureuse pour la sécurité.

- 1 - Petit obstacle à l'avant du véhicule (zones F, J)
- 2 - Piéton sur le bas-côté (zone E)
- 3 - Panneau de signalisation (bas-côté (B) - au-dessus (A))
- 4 - Zones éclairées sur la route (à droite (E) dans les courbes)
- 5 - Éblouissement pour un véhicule venant en sens inverse (Zone C)

Ces zones ont été reportées sur le panneau de mesures (voir figure ci-dessous).



3.2 - En Suède

Une étude est en cours reprenant les effets sur la vue d'une augmentation de l'intensité lumineuse, de valeurs constantes, au-dessus et en-dessous de la coupure d'un projecteur de faisceau de croisement européen. Les résultats définitifs de ces expériences pourraient être connus dans deux ans.

3.3 - Aux États-Unis

Comme en Europe, l'aérodynamisme et le style favorisent des voitures profilées équipées de projecteurs en forme. Des experts étudient le problème de manière à laisser aux constructeurs davantage de souplesse dans la conception de l'éclairage sans nuire à la sécurité ; les résultats de leurs recherches sont considérés comme un élément essentiel à une future harmonisation internationale, tout particulièrement en ce qui concerne le faisceau croisement ainsi que la description d'une méthode de réglage des projecteurs sur le véhicule.

En effet, la forme des projecteurs rend de plus en plus impossible, le réglage mécanique préconisé aux États-Unis ; cela implique l'utilisation d'un réglage optique entraînant une évolution favorable vers un faisceau à coupure plus nette.

Une tendance aux États-Unis est de préconiser une performance globale "véhicule" (avec bien entendu, la possibilité de performances différentes pour le projecteur droit et le projecteur gauche).

Les résultats sont attendus courant 1989.

3.4 - Dans le cadre de la C.I.E. - Comité TC 4.10

Des études ont été réalisées, d'autres sont en cours.

- Étude de la coupure

Le problème était de donner une définition objective et mathématique de la coupure. En effet, le rabattement d'un faisceau croisement doit être de 1 % pour les mesures photométriques sur l'écran, ce qui correspond à positionner la coupure à 25 cm sous l'horizontale et est encore aujourd'hui réalisé visuellement. Pour une évaluation correcte, seul un technicien expérimenté peut faire des réglages suffisamment répétables bien que de toute façon, subjectifs.

Une définition et une formulation mathématique de la coupure a été étudiée à l'U.T.A.C. Il a été retenu que la position de la coupure sur la verticale passant par le point B 50 est le point où le contraste est maximal, c'est-à-dire quand la dérivée de la fonction $\text{Log}(E)$ est maximale.

Un appareil, appelé "variaccoupe" réalisé à partir de cette définition, mesure la position de la coupure au moyen de trois cellules équidistantes.

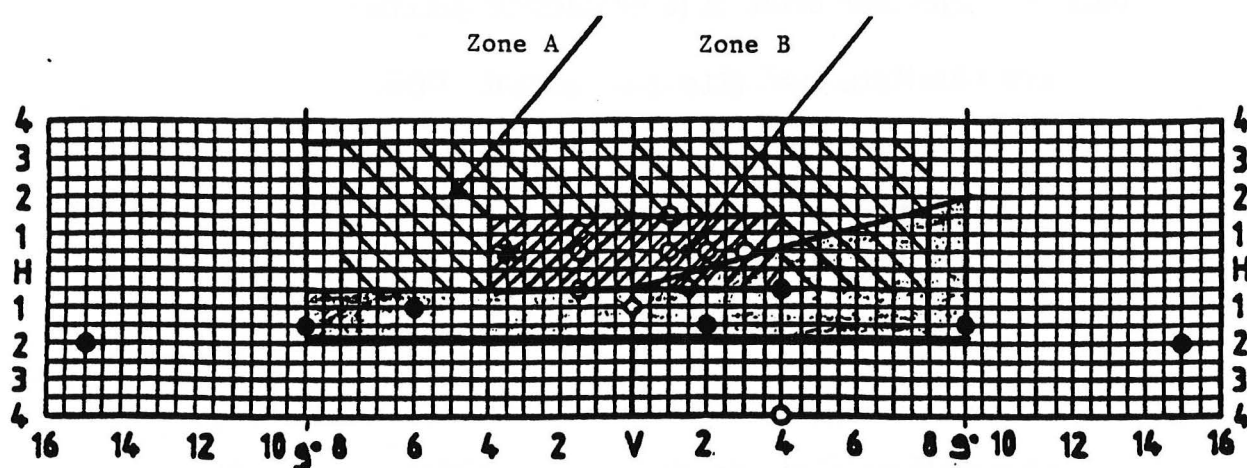
Cette étude est terminée et en cours de publication par la C.I.E.

- Étude des éclairagements au-dessus de la coupure

Il a été reconnu nécessaire d'avoir un minimum d'éclairage dans la zone III du tableau de mesure des projecteurs. Deux autres zones A et B ont été proposées par la C.I.E.

Éclairages minis proposés au-dessus de l'horizontal.

<u>Point/zone</u>			<u>Éclairage E (lux)</u>
Zone III			$< 0,7$
Zone A	$\alpha = \pm 8^\circ$	$\beta = + 4^\circ$	$> 0,1$
Zone B	$\alpha = \pm 4^\circ$	$\beta = + 2^\circ$	$> 0,2$
B50L			$< 0,4$



- Étude des éclairagements aux alentours de la coupure

Un groupe de travail de la C.I.E. étudie la qualité de la coupure en tenant compte :

- de sa forme : qualité en horizontal
- du gradient de la distribution lumineuse : qualité en vertical

Cette étude pourrait être finie dans trois ans.

- Étude du faisceau croisement optimisé

Un groupe de travail de la C.I.E. étudie les moyens de mettre au point le faisceau croisement idéal universel. Les recherches sont considérables pour tenir compte : du réglage, de la forme du faisceau en fonction de la géométrie des routes, des conditions climatiques, et surtout de la nouvelle génération de projecteurs.

Les résultats des études actuellement en cours, particulièrement au Japon et aux États-Unis, sont attendus. Il est aussi prévu des essais dans les conditions d'utilisation. Ce travail envisagé sera donc très long.

3.5 - En France

Il semble souhaitable en tenant compte de notre réseau routier, de nos conditions de circulation :

- d'avoir de la lumière non gênante au-dessus de la coupure
- d'avoir une coupure plus floue au moins dans sa partie horizontale sur la gauche, et surtout avoir des minima d'éclairement en des points situés à 100 m et 150 m sur la route, devant le véhicule.

3.6 - Les nouvelles techniques

Des projecteurs de conceptions nouvelles sont actuellement étudiés et réalisés :

- Projecteur "ellipsoïde"

Son fonctionnement est similaire à celui d'un projecteur de diapositives. La répartition de la lumière dépend de la qualité et du calcul de l'écran projeté.

Il est théoriquement possible cependant d'obtenir un éclairage nul au-dessus de la coupure ; pratiquement les fabricants de projecteurs font en sorte d'obtenir des valeurs minimales conformes à celles préconisées par le C.I.E. TC 4.10.

- Projecteur à "surfaces complexes"

La forme du réflecteur qui était traditionnellement parabolique devient "complexe". La surface de ce réflecteur est définie point par point (50 000 au total) pour renvoyer les rayons dans la direction souhaitée. Les avantages sont nombreux et énormes ; en particulier la suppression de la coupelle interne à la lampe ou du cache de lumière qui était utilisé pour former le faisceau croisement (qui absorbait 45 % du flux émis par la lampe) permet quasiment de doubler les performances des projecteurs, à surface émettrice constante.

En effet, avec ce projecteur, 100 % du flux de la lampe sont conservés et la surface est calculée pour moduler le faisceau croisement et répartir le flux.

De nouvelles sources (lumineuses) à meilleur rendement lumineux et de plus petites dimensions sont aussi à l'étude.

4 - CONCLUSION

L'utilisation de ces nouvelles sources et des nouvelles générations de projecteurs semble ouvrir des possibilités importantes dans l'avenir pour obtenir des flux lumineux bien répartis dans les zones adéquates.

Toutes ces études en sont à leur début. Les premiers résultats sérieux ne seront exprimés que dans cinq ans.

ÉVALUATION DE DISPOSITIFS RENFORÇANT OU COMPLÉTANT LES FEUX STOP DES VÉHICULES

M. LIGER : CENTRE D'ÉTUDES TECHNIQUES DE L'ÉQUIPEMENT d'Aix-en-Provence

LE PROBLEME

15 % des accidents sont des chocs arrière (1982).

UN CONSTAT

Le temps inter-véhiculaire, TIV moyen des véhicules non-isolés est de 1s.
Le temps de réaction, Tr en attention concentrée : 1 s.

Or la non-collision réclame une distance inter-véhiculaire, DIV > la distance définie par d, et $d = Tr \times V$, si les 2 véhicules ont même vitesse V, et freinage.

Résultat : 20 à 50 % ont un intervalle dangereux.

Donc, extrême sensibilité de la sécurité à la différence :

TIV - Temps de réaction

Dans la dynamique de l'arrêt, le temps de réaction est plus important que la capacité de freinage.

De plus, dans une file dont le véhicule de tête freine, le temps de réaction requis diminue en remontant la file...

DEUX MOYENS

- Augmenter l'intervalle intervéhiculaire.
- Augmenter le temps de réaction.

LE SYSTEME DE STOP ACTUEL

- Signale le début du freinage,
- mais
- utilise la nuit la même ampoule que le feu de position.
 - Est peu visible à travers les véhicules d'une file.
 - N'informe pas du frein moteur.
 - Ne dit rien de l'importance du freinage.

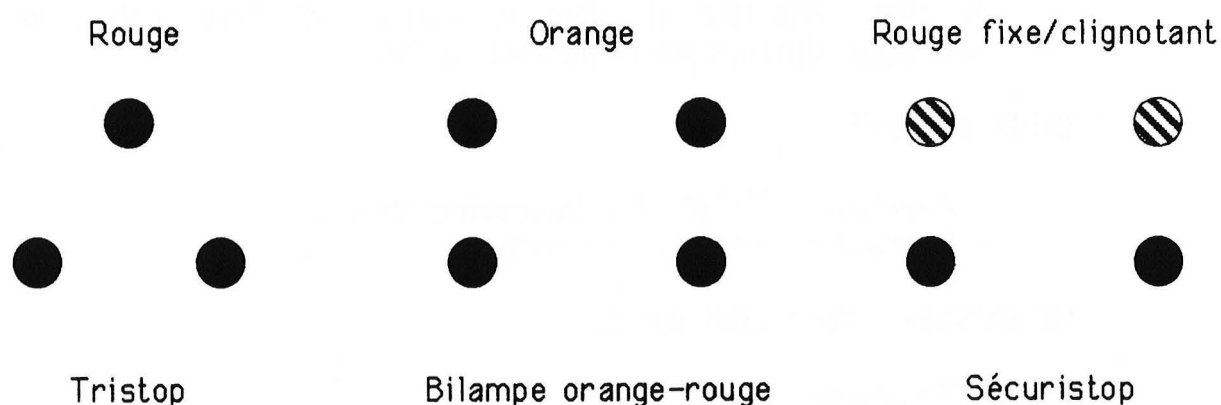
COMMENT GAGNER DU TEMPS OU DE L'EFFICACITÉ ?

- En séparant feux stop et de position pour la nuit.
- En signalant le frein moteur, gain au moins de 0,2 s et jusqu'à 3 s.
- En plaçant les feux plus haut pour anticiper en file.

LES DISPOSITIFS ESSAYÉS

- 1 - Comme référence, une voiture normale actuelle,
- 2 - le tristop,
- 3 - le bilampe orange-rouge qui signale le frein moteur,
- 4 - le "sécuristop", qui renforce le stop par deux feux supplémentaires, et signale les freinages forts en clignotant.

	Tristop	Bilampe	Sécuristop
- stop séparé de feu position	OUI		OUI
- visible à travers glaces	OUI	OUI	OUI
- informe sur frein moteur		OUI	
- importance freinage			OUI



COMMENT ?

Deux voitures se suivent sur route circulée.

Équipement permettant de mesurer le temps de réaction au 1/100 s et distances à 1,5 m près.

8 sujets testent 4 dispositifs en suivant le véhicule pilote qui effectue 4 types de manoeuvres de ralentissement :

- frein moteur de 90 à 70 km/h, en 7-8 s,
- frein combiné : frein moteur puis frein normal à $4,2 \text{ m/s}^2$
- frein normal de 80 à 40 km/h ($4,8 \text{ m/s}^2$ en pointe)
- frein fort de 80 à 40 km/h ($7,7 \text{ m/s}^2$ en pointe).

Chaque manoeuvre est faite 8 fois pour chaque dispositif par chaque sujet.

Plan expérimental complet avec 1024 essais en principe et 725 réussis en pratique.

En plus, des essais de nuit pour comparer le tristop avec la référence, avec effectifs plus réduits.

Évaluation faite sur temps de réaction et sur variables d'intervalles : la distance inter-véhiculaire minimale, divmin, temps de collision minimal ($t_c = \text{div}/dv$).

RÉSULTATS

Le **sécuristop** : résultats faibles et non significatifs. Appareil pas au point. Conditions d'expérimentation peu favorables.

À revoir après amélioration et dans des conditions plus adaptées.

Le **tristop** : difficile de conclure. De jour, ses résultats sont faibles et non significatifs, mais cela dépend de l'échantillon de sujets (les 7 sujets retenus de jour ou les 5 parmi les 7 retenus de nuit).

Exemple : temps de réaction réduits de 0,05 à 0,11 s (5 à 18 %).

Le tristop a été rendu obligatoire aux U.S.A. après essais sur des flottes de voitures : -50 % de chocs arrière.

Alors ?

Voitures françaises différentes.

À re-tester pour chercher significativité ou non.

Le **bilampe orange-rouge**. Résultats toujours significatifs :

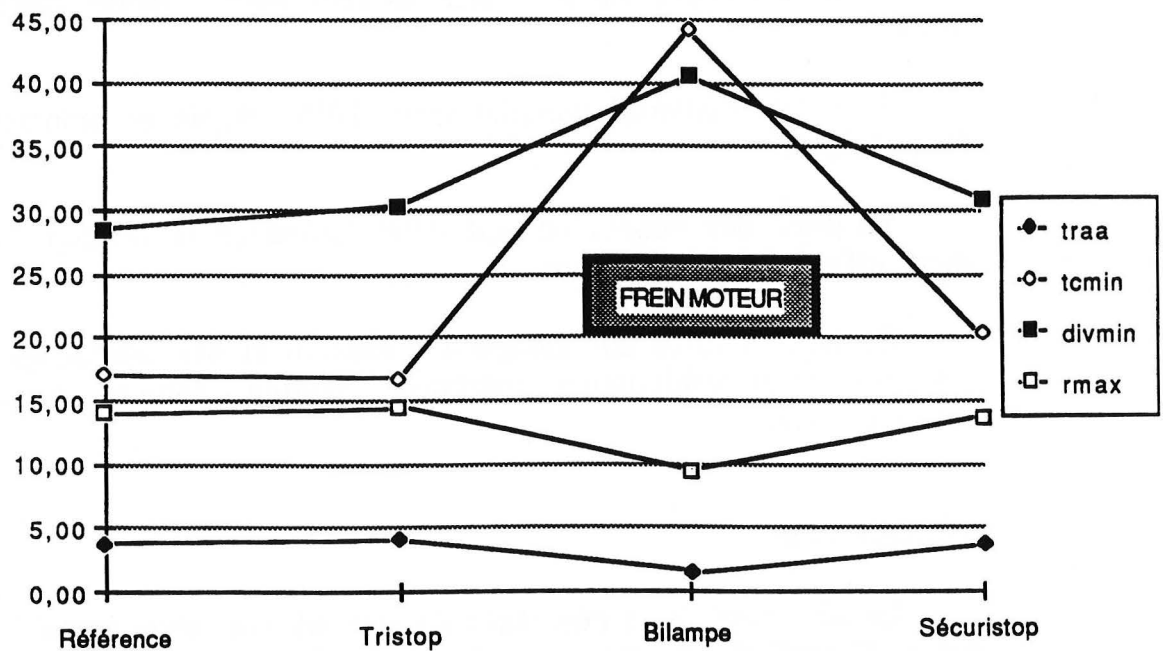
Temps de réaction réduits de 20 % dans les manoeuvres sans frein moteur et de 50 % à 60 % avec frein moteur.

Divmin augmenté de 20 % sans frein moteur et de 40 % avec.

Temps de collision augmenté de 13 à 158 % mais non significatif en général (forte dispersion).

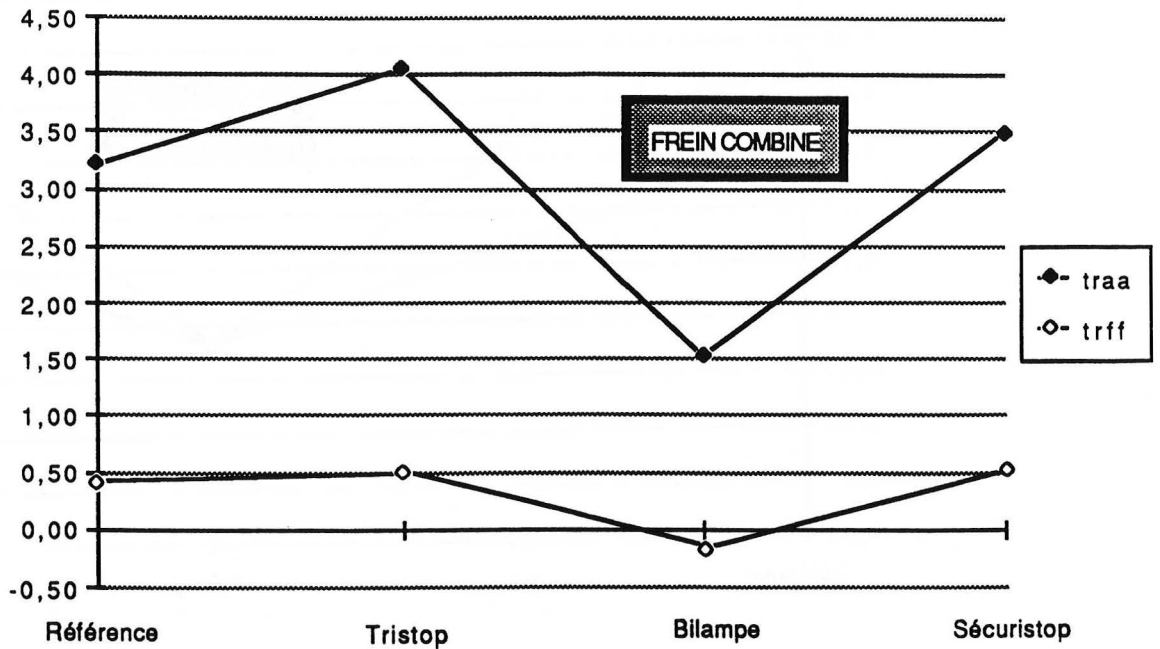
Résultats frein moteur

Distance (m) ou temps (s)

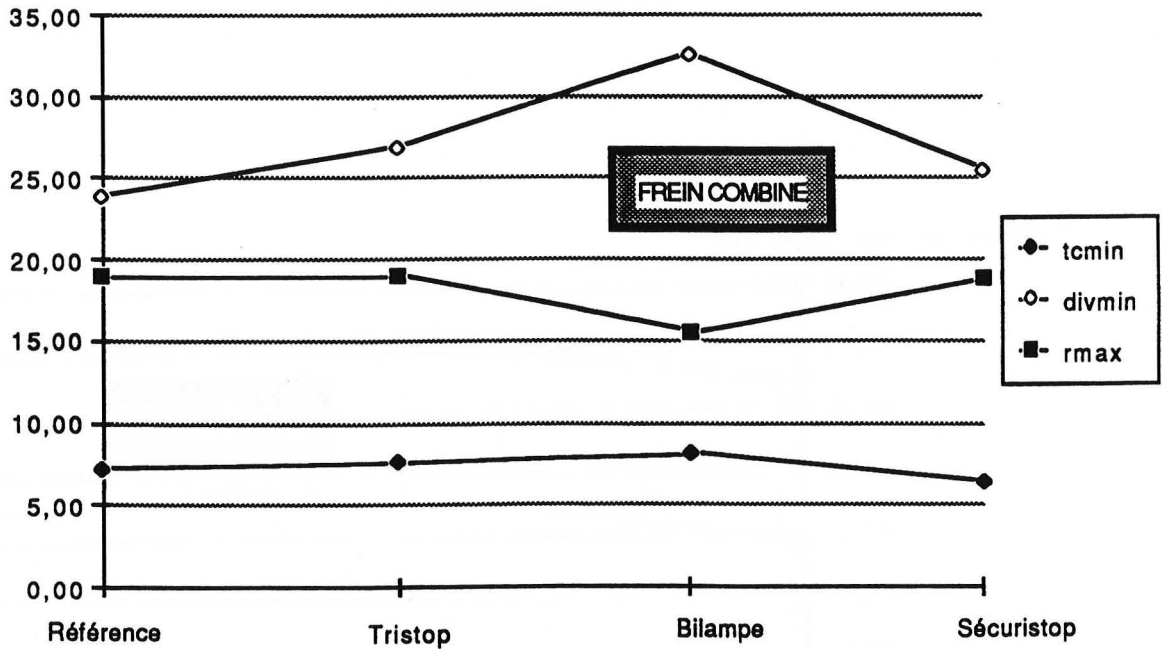


Résultats frein combiné

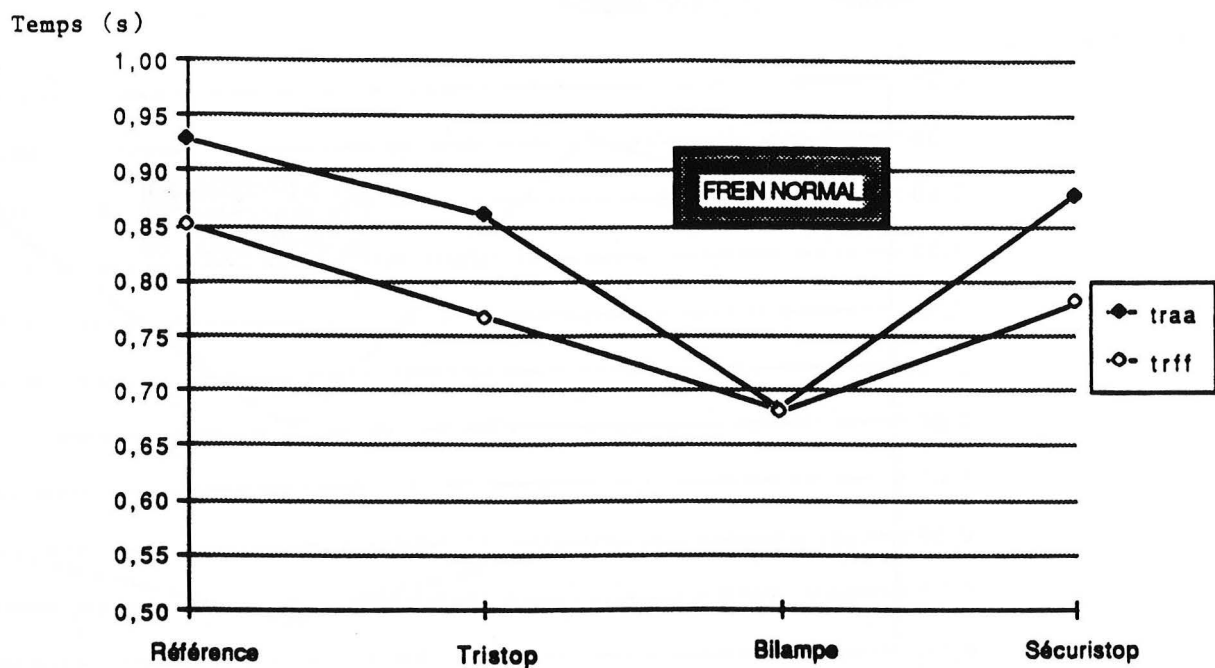
Temps (s)



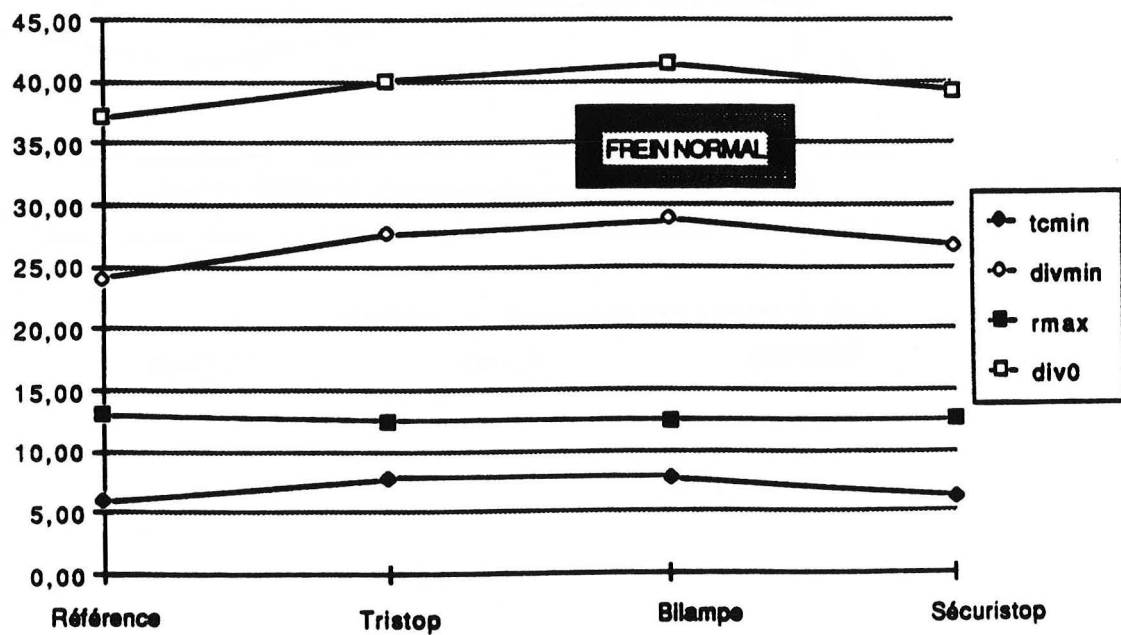
Distance (m) ou temps (s)



Résultats frein normal



Distance (m) ou temps (s)



THEME IV

MESURES ET PRÉVISIONS

LA LISIBILITÉ NOCTURNE DE LA ROUTE

M. NOUVIER : **S.E.S.I.R.T./SÉCURITÉ ET SIGNALISATION ROUTIERES**

1 - INTRODUCTION

Pourquoi s'intéresser aux problèmes de lisibilité de la route de nuit ?

- Postulat de base : une mauvaise "lisibilité" est cause d'insécurité.
- Le pourcentage d'accidents de nuit, et notamment d'accidents graves, est important. Il y a donc là, semble-t-il, un "gisement" important dans la lutte contre l'insécurité routière.
- Il est probable que les services territoriaux passent actuellement peu de temps à examiner les routes de nuit (et d'ailleurs, le feraient-ils qu'ils n'auraient pas "l'oeil neuf"). D'où l'idée de les aider en leur fournissant des sortes de check-lists, qu'on puisse, si possible, "dérouler" de jour, du moins pour une première approche des problèmes.

2 - LES MÉTHODES UTILISÉES

- l'examen direct, en voiture, de nuit,
- l'examen, au bureau, d'images vidéo faites de nuit, en voiture,
- la conduite "trop" rapide,
- la conduite "sous influence".

3 - LES RÉSULTATS

Les études entreprises depuis 1987, au C.E.T.E. de Lyon, puis à la S.E.S.I.R.T., ont permis de dégrossir les problèmes et d'aboutir à une première liste de "pièges".

3.1 - Les obstacles

- ouvrages d'art,
- piles de pont,
- arbres et poteaux EDF et PTT,
- séparateurs.

3.2 - Les virages**3.3 - Les éclairages isolés****3.4 - Les carrefours****3.5 - Les divergents****3.6 - Les pièges spécifiques aux milieux urbains ou péri-urbains**

- candélabres,
- éclairages indirects,
- faux fonds de perspective,
- bordures et avancées de trottoirs,
- obstacles divers,
- ralentisseurs,
- "bruit visuel"
- problèmes dûs à la rétroréflexion des panneaux.

Actuellement, une étude est en cours pour préciser ces pièges et les ordonner dans un "guide" directement utilisable - en partie de jour -.

IV - LES PERSPECTIVES - QUELQUES IDÉES EN DÉSORDRE**4.1 - Bâtir une politique plus rigoureuse en matière d'implantation des équipements**

- marquages spéciaux,
- plots,
- balises d'obstacle,
- balisage des virages.

4.2 - Affirmer la nécessité d'une politique de sécurité de nuit

- volonté politique au sens large,
- nécessité de raisonner par itinéraire,
- nécessité de sensibiliser les différents partenaires.

4.3 – Les études à lancer

- affiner les moyens "innovants",
- parvenir à un meilleur réalisme des images vidéo,
- établir et tester un véritable cahier de recommandations (en cours à S.E.S.I.R.T.),
- préciser la méthodologie sur le terrain (passage de la recherche appliquée à l'application de la recherche).

V – CONCLUSION (en forme d'interrogation)

Que chacun s'interroge sur ce qu'il compte faire, personnellement, pour aider à la diffusion du concept de lisibilité de nuit.

ANALYSE PHOTOMÉTRIQUE DU CHAMP VISUEL DE L'AUTOMOBILISTE

LA NUIT PAR L'APPAREIL VISOROUTE

M. PAVIET : LABORATOIRE REGIONAL DES PONTS ET CHAUSSEES de Lyon
M. GRATIA : LABORATOIRE REGIONAL DES PONTS ET CHAUSSEES de Lyon

1 - OBJECTIF

Dans le but d'améliorer la sécurité routière de nuit, une meilleure connaissance des caractéristiques visuelles des divers dispositifs de signalisation nocturne a semblé indispensable. La quantification de toutes les valeurs nécessaires et l'impact de cette signalisation sur l'automobiliste de nuit, dans l'environnement routier constituent les axes de travail prioritaires.

Les mesures essentielles sont celles des luminances des divers dispositifs de signalisation éclairés par des projecteurs de véhicules et les valeurs de contrastes de ces dispositifs dans l'environnement routier.

2 - DESCRIPTION SOMMAIRE

Le matériel d'acquisition comprend une caméra haute sensibilité, noir et blanc, un obturateur électronique, un incrustateur, une mémoire de trame et un magnétoscope type U-Matic avec moniteur de visualisation.

Ce matériel est installé dans un véhicule Peugeot type J 5 dont l'éclairage a été remplacé par un système étalonné à base d'optique de Peugeot 205. La caméra est placée à une hauteur de 1,20 m du sol sur le capot du J 5.

Le matériel d'analyse au Laboratoire se compose d'un magnétoscope type U-Matic avec moniteur de visualisation, d'un numériseur, d'un micro-ordinateur type IBM PC ou compatible avec disque dur et crayon graphique.

3 - PRINCIPE

Les mesures de luminance in situ sont longues et la plupart du temps dangereuses. Nous avons donc essayé de remplacer ces mesures ponctuelles par le montage sur le véhicule, circulant normalement sur la chaussée à une

vitesse de 40 km/h environ, d'une caméra vidéo adaptée à la situation nocturne (tube nocticon).

Le signal vidéo enregistré au cours de la prise de vue est ensuite analysé en laboratoire, de façon à effectuer des mesures de luminance et à donner des valeurs de contraste.

L'étendue de mesure de luminance est de l'ordre de $0,3 \text{ cd/m}^2$ à 30 cd/m^2 ce qui représente une dynamique instantanée de 100. Comme aucune caméra du commerce ne dispose d'une telle dynamique, il a fallu concevoir un obturateur électronique qui permette de réduire le temps d'exposition du tube de la caméra. Nous enregistrons donc sur un magnétoscope plusieurs trames successives correspondant à des temps d'ouverture variables. Par exemple, deux images successives séparées de $1/50$ de seconde peuvent donc être analysées l'une pour les luminances entre $0,3$ et 3 cd/m^2 , l'autre pour les luminances entre 3 et 30 cd/m^2 . Il est bien évident que la caméra ayant une dynamique supérieure à 10, les deux plages de mesure se recoupent. Une mire avec des luminances étalonnées apparaît de temps en temps sur le film de façon à permettre une vérification des étalonnages de la caméra. Dans cette caméra tous les réglages automatiques sont évidemment supprimés et remplacés par des réglages fixes. Du fait de la rémanence du tube, il est apparu nécessaire de laisser le tube au repos quelques cinquantièmes de secondes entre deux images consécutives, si la rémanence perturbe les mesures. Dans ce cas, une mémoire de trame conservant la dernière image alimente le magnétoscope.

Sur chaque image, sont incrustées les caractéristiques de la route (nature, numéro, département, sens, point kilométrique au mètres près).

L'exploitation des films est effectuée en laboratoire.

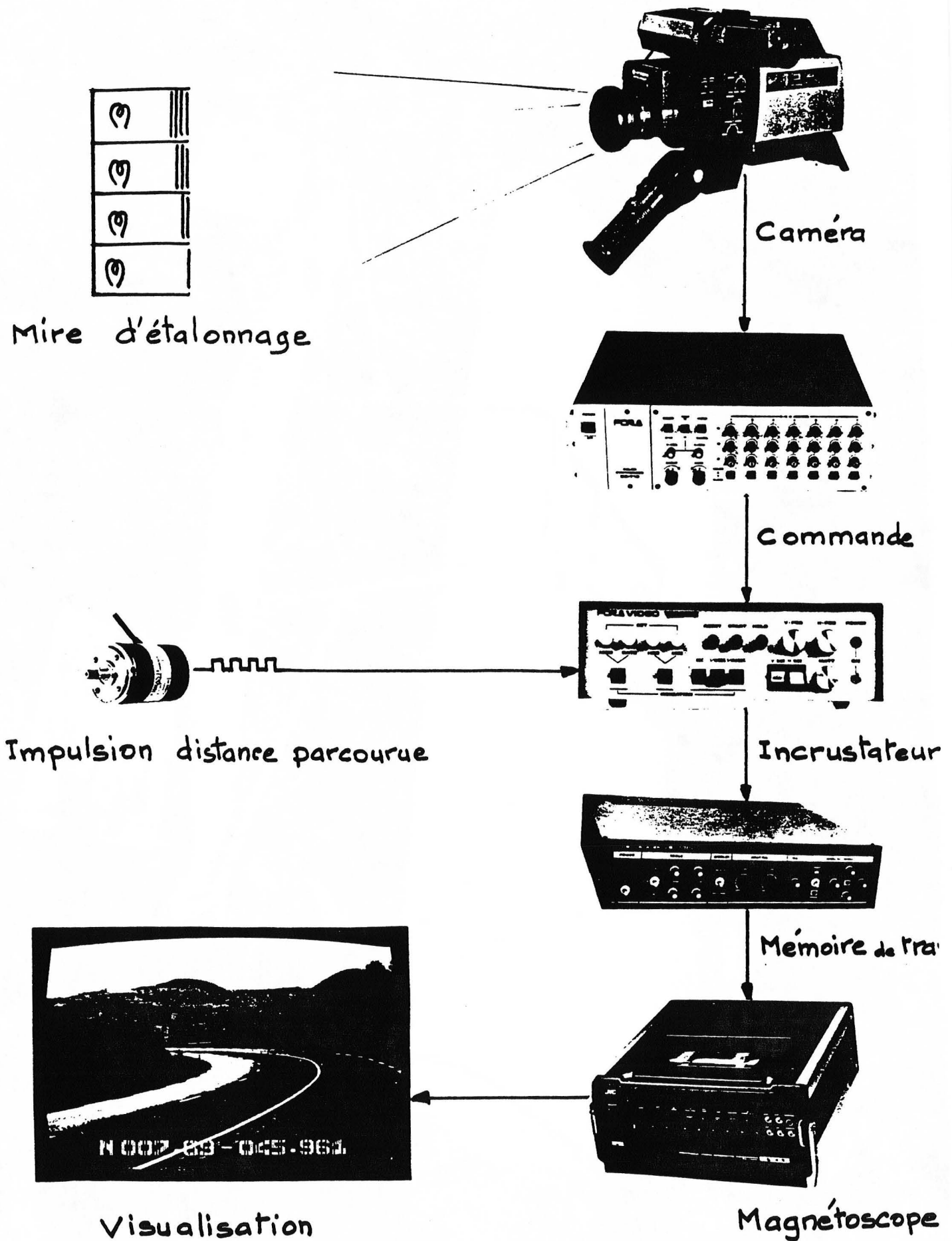
L'image vidéo est numérisée en 256×256 points avec 64 niveaux de gris. Grâce à la mire de luminance connue, on peut relier luminance et niveaux de gris. Un programme développé sur micro-ordinateur type IBM PC ou compatible permet d'analyser chaque point ou des groupes de points sélectionnés par leurs coordonnées ou un crayon graphique. Il est possible de trouver la valeur moyenne de luminance de toute courbe tracée avec le crayon graphique sur l'écran du moniteur vidéo.

4 - ANNEXES

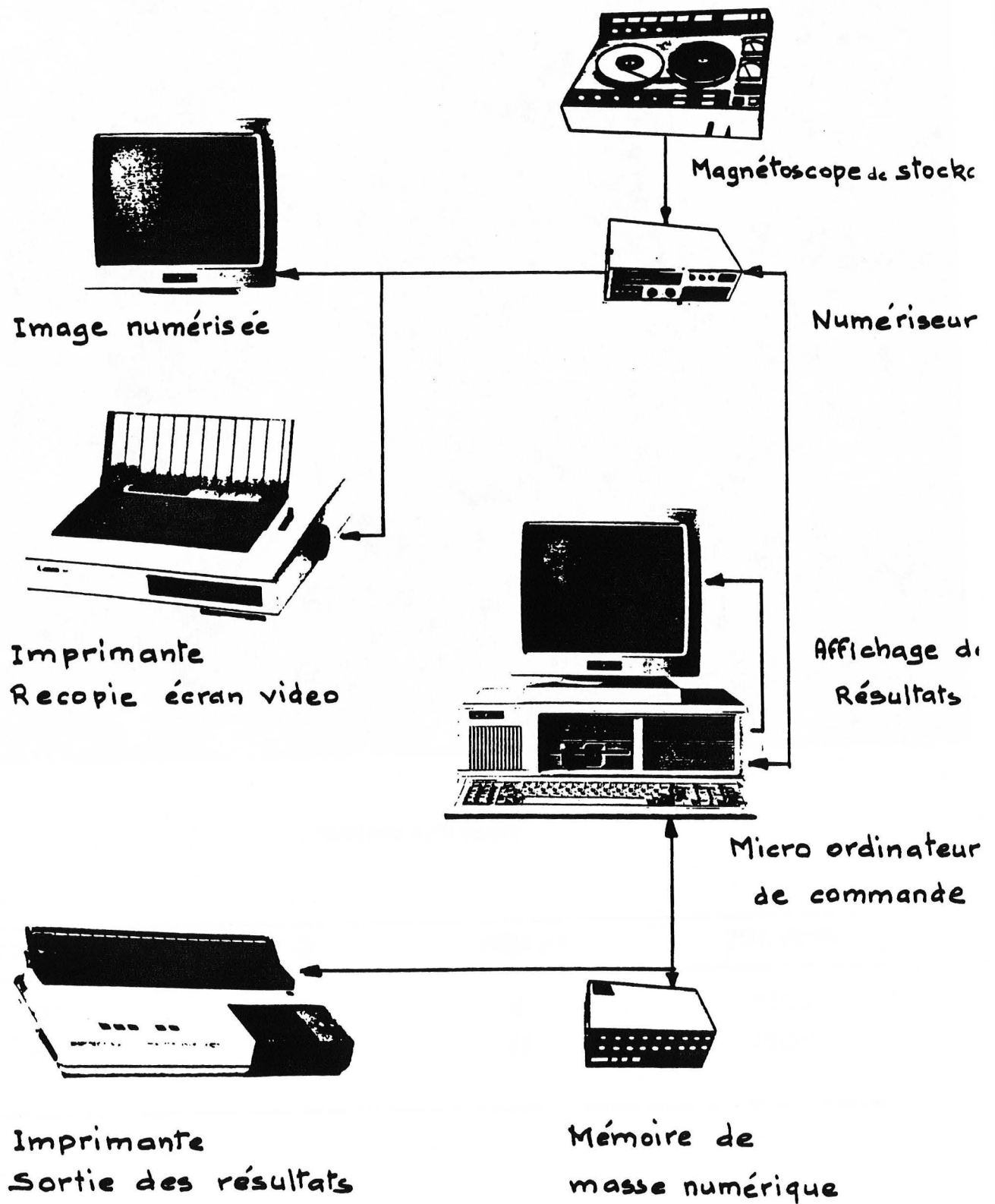
Vue avant de VISOROUTE et de son éclairage supplémentaire
 Synoptique acquisition
 Synoptique analyse
 Utilisation du crayon lumineux.



VISOROUTE : ACQUISITION



¹²⁷ VISOROUTE : ANALYSE





Tracé d'un contour

SURFACE	G. MINI	G. MAXI	G. MOY.
13139	6	63	23
02181	12	54	25

UN VÉHICULE D'ESSAIS DESTINÉ AUX MESURES DE VISIBILITÉ SUR ROUTE ET EN TUNNEL : POLLUX

Bernard MONIÉ : Centre d'Étude des Tunnels

Nul ne conteste que l'éclairage des entrées des tunnels routiers, de par leur importance des installations et des niveaux d'éclairement nécessaires de jour, doive se résoudre en termes de visibilité routière. Les niveaux d'éclairage naturel sont difficilement reproductibles en laboratoire et les phénomènes complexes d'adaptation de la vision d'un conducteur entrant en tunnel ne peuvent pas être étudiés globalement sur maquette. Il convenait donc, pour le Centre d'Étude des Tunnels, de mettre au point un véhicule d'essais équipé pour procéder aux mesures photométriques nécessaires à la poursuite des recherches et études en site réel.

DESCRIPTION DU VÉHICULE D'ESSAIS

Il s'agit actuellement d'un "Ford-Transit" surélevé, véritable laboratoire mobile, évolutif et adaptable à des campagnes spécifiques qui a été mis au point. IL peut embarquer des appareils très différents, entre autre des capteurs de pollution que nous citerons pour mémoire en signalant leur intérêt dans le domaine de la visibilité en trafic congestionné, particulièrement dans les tunnels longs.

La distribution électrique est obtenue à partir d'un groupe électrogène de 500 W situé à côté du moteur sous le capot avant.

Un véritable "poste de distribution" est situé à l'arrière de la cabine. Il est pourvu d'un régulateur automatique de tension à 1 % et le véhicule à l'arrêt peut se connecter sur tous les réseaux existants en tunnel, qui ne sont pas forcément du type E.D.F. (cas des tunnels frontaliers). L'intérieur du véhicule est compartimenté en trois parties aux fonctions distinctes :

- la cabine avant où peuvent prendre place outre le conducteur, deux passagers qui tous les trois peuvent effectuer des essais de visibilité ;
- la surélévation dans laquelle sont situés les capteurs, derrière une vitre relevable, sauf bien sûr ceux relatifs aux mesures d'éclairement qui sont situés à l'extérieur du véhicule ;

- la cabine arrière équipée de deux postes de travail et aménagée pour y placer les différents appareils de mesure, amplificateurs, enregistreurs, contrôles et calculateurs.

GRANDEURS MESURÉES ET CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DU MATÉRIEL UTILISÉ

Il est possible d'effectuer les mesures photométriques suivantes :

1) L'éclairement horizontal au niveau du sol

Il est mesuré à l'aide de deux cellules à une quinzaine de centimètres au-dessus du sol.

2) L'éclairement vertical au niveau du sol à l'avant du véhicule

C'est en fait la mesure de l'éclairement dans le plan vertical au pied d'un observateur éventuel. La cellule est placée au milieu du pare-choc avant.

3) L'éclairement vertical au niveau du sol à l'arrière du véhicule

C'est la mesure de l'éclairement dans le plan vertical de la face avant d'un éventuel obstacle que regarde le conducteur. La cellule est disposée au milieu du pare-choc arrière.

4) La luminance de la chaussée

Cette mesure est effectuée à l'aide d'un photomètre universel Hagner S1 situé dans la surélévation au-dessus des passagers. Le champ de mesure est de 1° et convient parfaitement en matière de visibilité routière.

5) La luminance de voile de Fry

Cette grandeur importante caractérise par une unique mesure l'état d'adaptation de l'oeil en intégrant tous les paramètres de l'éblouissement. Elle est obtenue en plaçant une lentille de Fry (fabriquée par photo Research (USA) et conçue pour le luminancemètre Pritchard) sur un photomètre universel Hagner S2.

6) La luminance d'adaptation équivalente dans un champ 20°

Il s'agit là de la luminance moyenne, dans la partie centrale du champ de vision du conducteur, normalisée par la C.I.E. dans un champ de 20°.

7) Les luminances ponctuelles dans le champ de vision du conducteur

Cette mesure est obtenue à l'aide d'un luminancemètre Massart-Schreder ponctuel dont le champ est limité à quelques minutes d'angle. Elle permet donc de mesurer la luminance de petites surfaces à grande distance, entre autre la luminance d'un objet-test.

Elle permet également, suivant que l'on ouvre ou non la vitre située devant les capteurs à l'avant de la surélévation, d'évaluer la luminance de voile de pare-brise. Elle permet aussi, du fait qu'on peut mesurer à de grandes distances, d'appréhender la valeur du voile atmosphérique, grandeur très importante dans le phénomène de visibilité. Ces relevés sont les seuls effectués à l'arrêt.

En ce qui concerne les six premières mesures énumérées, elles peuvent être effectuées de façon dynamique, le véhicule roulant à une vitesse voisine de 60 km/h. L'ensemble des grandeurs mesurées passe par des préamplificateurs logarithmiques spécialement conçus, indispensables pour des domaines de variation aussi importants que ceux rencontrés à l'entrée et à la sortie d'un tunnel.

L'enregistrement de ces valeurs est ensuite effectué sur un enregistreur six pistes dont le défilement du papier est assuré par un moteur pas à pas asservi à l'avancement du véhicule. Ce système n'impose pas de rouler à vitesse constante, et permet d'enregistrer les distances de visibilité.

Toutes ces données peuvent simultanément être recueillies sur un ensemble de calcul et de traitement informatique. Cet ensemble se compose d'un multiprogrammeur, d'un micro-ordinateur HP 9825 A et d'un lecteur de disquette. La capacité de cet équipement autorise l'enregistrement de l'ensemble des relevés effectués et permet un traitement différé.

Parallèlement, une caméra vidéo située dans la surélévation filme la totalité du champ de vision du conducteur.

Enfin, il est possible de mesurer les paramètres liés aux conditions de l'expérimentation et qui constituent autant de "voiles parasites" à la visibilité routière :

- facteur de transmission réel du pare-brise (très variable suivant la salissure)
- voile de pare-brise dû à la diffusion des rayons solaires directs
- luminance de voile atmosphérique pour la distance de visibilité prise en compte.

CONCLUSION

Chaque nouvelle campagne d'essais pose les problèmes spécifiques complexes qui imposent une série de mesures in situ appropriées aux conditions réelles de circulation routière.

C'est pour répondre à cette approche pragmatique que ce véhicule d'essais a été conçu, afin de recouper les mesures statiques par des relevés dynamiques effectués dans le flot de la circulation.

Sa souplesse d'utilisation permet aussi de faire simplement le diagnostic et de photographier des situations réelles qui ne donnent pas satisfaction afin de les améliorer.

MESURES PHOTOMÉTRIQUES D'ÉQUIPEMENT DE SIGNALISATION EN CHAMBRES DE BROUILLARD

M. PAUMIER : LABORATOIRE RÉGIONAL DES PONTS ET CHAUSSÉES

1 - INTRODUCTION

Avant de vous présenter les mesures photométriques d'équipements de signalisation en chambre de brouillard, il faut rappeler qu'en France d'après les statistiques de la D.S.C.R. et de la D.R., les accidents de la route par temps de brouillard en RASE CAMPAGNE se sont élevés en 1986 aux environs de 2 200 faisant :

- 182 tués,
- 751 blessés graves,
- et 1352 blessés légers,

soit 2,6 % de l'ensemble des accidents et 2,55 % des tués en rase campagne.

Sur les AUTOROUTES, où sont réunis les facteurs amplificateurs (que sont l'importance du trafic, les vitesses élevées, etc.), les conséquences de ces accidents sont en général beaucoup plus importantes que sur le réseau routier ordinaire.

Sur certaines autoroutes, ces accidents peuvent représenter 4 % de l'ensemble des accidents et 7 à 8 % des tués.

Dans la conduite par conditions de visibilité restreinte, c'est-à-dire par brouillard dense avec une visibilité inférieure à 200 mètres, le brouillard diminue de façon considérable la qualité et la quantité des informations visuelles. La conséquence pour l'automobiliste est une perte réelle de la notion de vitesse ainsi que la disparition du champ de vision d'un grand nombre de repères visuels fixes et de taille connue servant à l'estimation de la profondeur et des distances.

Mais pour les spécialistes, il existe aussi des facteurs non-visuels qui sont aussi déterminants dans le comportement de l'utilisateur tel que l'attention, la fatigue, la vigilance, etc.

Maintenant si l'on s'intéresse aux informations visuelles décisives dans toutes les situations de conduite et sur laquelle se base à 90 % la conduite automobile, la perte quantitative et qualitative de ces informations visuelles est essentiellement liée à la diminution des contrastes entre différents éléments de l'environnement ou encore entre un objet et le fond.

Cette diminution des contrastes est d'autant plus importante que les distances de visibilité sont faibles donc que les brouillards sont denses. Elle est essentiellement due, de jour comme de nuit, à la présence dans le champ de vision de l'automobiliste, de minuscules gouttelettes d'eau à l'état liquide, en suspension dans l'atmosphère et en concentration volumique plus ou moins importante (figure 1).

Les brouillards seront d'autant plus denses que les rayons et le nombre de gouttelettes par unité de volume seront élevés donc que le coefficient d'atténuation sera élevé.

Les gouttelettes d'eau auront pour effet d'atténuer, par diffusion essentiellement, un rayon lumineux qui traverse la couche de brouillard.

Ainsi une plus ou moins grande partie de l'environnement lointain disparaît, devient indifférenciable pour le conducteur, seules les informations qui se trouvent à l'intérieur du rayon délimité par la distance de visibilité sont à la disposition de l'observateur.

2 - DESCRIPTION DES CHAMBRES À BROUILLARD DU L.R.P.C. DE CLERMONT-FERRAND

De façon à estimer la diminution des contrastes de la signalisation routière par brouillard dense, le LRPC de Clermont-Ferrand en liaison avec le LCPC de Paris a conçu et mis au point un système capable de générer artificiellement du brouillard dense en laboratoire (figure 2).

Ces chambres sont installées au LRPC de Clermont-Ferrand. Les dimensions sont d'environ 15 mètres sur 6 mètres. Elles sont séparées par une salle de mesure sèche où sont placés l'électronique et l'informatique.

Ces chambres sont opérationnelles et permettent de recréer les brouillards diurnes et nocturnes.

Les mesures de granulométrie réalisées avec l'Institut et Observatoire du Globe de l'Université de Clermont-Ferrand ont montré que ces gouttelettes avaient des rayons compris entre 1 et 10 μm . Ce qui montre que leurs dimensions moyennes sont assez proches de certains types de brouillards naturels.

L'atmosphère trouble est obtenue par pulvérisations d'eau à haute pression. Le système est équipé d'un ensemble de filtration, d'un ensemble surpresseur comprenant une pompe et des diffuseurs montés sur des rampes

synthétiques semi-rigides qui traversent les deux salles d'essai à une hauteur d'environ deux mètres.

L'asservissement et l'acquisition des données sont gérés par micro-ordinateur placé dans le salle de mesure sèche (figure 3).

Les variations de luminance sont mesurées avec un photomètre-luminancemètre Pritchard 1980 APL. La densité du brouillard est contrôlée avec un visibilimètre du type transmissiomètre.

Ce système de production artificielle de brouillard nous permet de créer et de contrôler d'une façon continue dans le temps, des brouillards peu épais à des brouillards très denses correspondant à des distances de visibilité de quelques mètres donc des brouillards ayant un coefficient d'extinction voisin de 0,40/m.

Toutes les mesures photométriques d'équipements de signalisation ont été réalisées dans le brouillard nocturne sans présence de luminance environnante provenant de la diffusion de la lumière naturelle sur les gouttelettes d'eau.

Avant de réaliser un essai, une mise en route de quelques minutes du générateur, nous permet d'obtenir la saturation en eau de la pièce avec pour conséquence une bonne uniformité et une bonne homogénéité du brouillard à l'intérieur de la salle d'essais.

Le système informatisé coupe alors les vannes d'arrivée d'eau. La pulvérisation de l'eau est arrêtée. Les mesures de luminance et de densité du brouillard sont effectuées tout au long de la dissipation du brouillard qui se fait par sédimentation. Chaque essai dure environ 15 à 20 minutes.

3 - RÉSULTATS DE MESURES PHOTOMÉTRIQUES D'ÉQUIPEMENTS DE SIGNALISATION EN CHAMBRES DE BROUILLARD

Les premiers essais ont été réalisés sur les matériels suivants (figure 4) :

- des feux tricolores
- des feux rouges arrières de véhicule
- des feux rouges arrières brouillard

- le voile de diffusion créé par des projecteurs avant de véhicule sur la ligne de vision de l'automobiliste
- un film rétroréfléchissant éclairé par un projecteur avant de véhicule placé à environ 10 mètres du film.

Ces essais avaient pour but de connaître les lois de variation de luminance en fonction de la densité du brouillard, de façon :

- à pouvoir juger de leur efficacité photométrique dans le cas des équipements,
- à pouvoir être introduite dans un modèle de distance de visibilité pour la conduite automobile dans lequel tous les phénomènes physiques interviennent dans l'expression du contraste de luminance doivent être pris en compte.

Les premiers essais ont été réalisés sur un feu tricolore classique placé à environ 12 mètres du photomètre (figure 5).

Nous avons mesuré la variation de luminance du feu en fonction de la tension de sortie du détecteur du brouillard. La double échelle représente le coefficient d'atténuation du brouillard. La loi de variation est linéaire et nous obtenons une bonne corrélation. La luminance de 350 cd/m^2 en transmission parfaite chute à une valeur inférieure à 50 cd/m^2 dans les brouillards épais.

Dans une seconde étape, nous avons mesuré la décroissance de la luminance d'un feu arrière rouge de véhicule (figure 6).

De la même façon nous avons mesuré un feu arrière brouillard ; les luminances sont nettement plus élevées : de l'ordre de $2\ 400 \text{ cd/m}^2$ en transmission parfaite (figure 7).

On s'aperçoit pour ces feux que la décroissance est extrêmement rapide.

Dans une autre étape, nous avons mesuré la luminance de voile créée par les projecteurs avant des véhicules dans la direction de vision de l'automobiliste. Cette luminance est créée par la diffusion de la lumière sur les microgouttelettes par les projecteurs de véhicules.

La variation de luminance en fonction du coefficient d'atténuation du brouillard est donnée pour des feux de croisement et des feux de route (figure 8).

De nuit, l'effet de voile est maximum lorsque les brouillards sont très denses. Ceci est vérifié pour les deux types de feux. Dans ce cas les luminances peuvent atteindre des valeurs supérieures à $0,6 \text{ cd/m}^2$ pour des feux de croisement et $1,2 \text{ cd/m}^2$ pour des feux de route.

On pourrait noter, mais cela n'apparaît pas sur ces courbes, que cette luminance est inversement proportionnelle à la différence entre la hauteur de l'oeil et la hauteur du projecteur.

Si l'on cherche à éclairer au maximum une bande de marquage par exemple, en essayant de minimiser l'effet de voile sur la ligne de vision de l'automobiliste, il faudrait :

- soit rendre maximale la distance entre l'observateur et le projecteur,
- soit avoir des projecteurs avec peu d'intensité montante plus particulièrement dans la direction la plus proche de la verticale.

C'est ce qui est plus ou moins réalisé avec les feux arrières de brouillard.

Enfin, nous avons réalisé une série de mesures sur un film rétroréfléchissant placé à environ une dizaine de mètres du photomètre Pritchard (figure 9).

Pour qu'il soit visible et qu'il agisse comme une source de lumière secondaire, il a fallu l'éclairer avec les projecteurs avant de véhicules.

Dans ce cas, la lumière issue du projecteur de véhicule qui arrive sur le film subit déjà une atténuation importante. Il faut savoir que par un brouillard dense, visibilité 50 m environ de jour, $K = 0,06$, seulement 5 % du flux émis arriveront sur le film s'il est situé à 50 mètres et 50 % s'il est situé à 10 mètres.

Cette lumière, qui arrive sur le film est rétroréfléchi en direction de l'observateur. Si des gouttelettes sont accrochées sur le film, celui-ci pourra perdre jusqu'à 60 % de son efficacité par rapport aux conditions de fonctionnement normales (transmission parfaite - état de surface sec). C'est ce qui a été mesuré en laboratoire. Nous avons donc mesuré pour une gamme de coefficient d'atténuation pouvant atteindre $0,30/\text{m}$ (axe des abscisses) la quantité de lumière rétroréfléchi par le film.

Nous notons que la décroissance est très rapide dès l'apparition des gouttelettes d'eau. Malgré les conditions exceptionnelles d'éclairage du film celui-ci n'était plus visible pour des brouillards denses.

4 - CONCLUSION

Outre la connaissance des lois de variation de luminance de ces équipements, ces mesures sont essentielles dans la mise au point du modèle de distance de visibilité pour la conduite automobile développée par le LCPC et dans lequel tous les phénomènes physiques intervenant dans l'expression du contraste de luminance d'une cible par rapport au fond doivent être pris en compte.

Mais aussi, il faut signaler que ces salles ont été utilisées dès 1985 par des constructeurs ou des organismes de recherche pour la mise au point et le développement d'équipements adaptés aux besoins de la circulation routière.

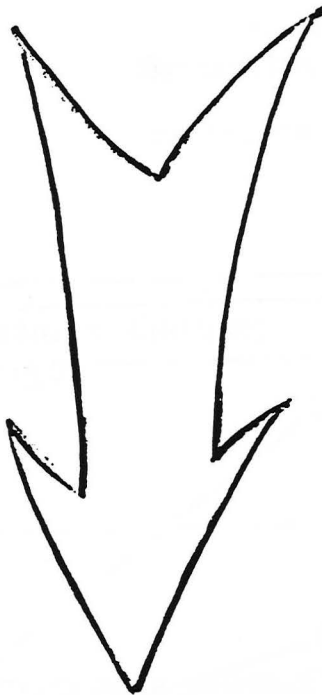
Évidemment elles sont aussi ouvertes aux équipes du réseau des laboratoires qui souhaiteraient réaliser des expériences.

À court terme, les perspectives entrevues pourraient être aussi leur utilisation dans une étape de qualification des visibilimètres routiers.

DIMINUTION DES CONTRASTES

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

L_o luminance de la cible
 L_f luminance du fond



Fonction de la densité du brouillard

$$K = 2\pi \sum_i n_i r_i^2$$

n_i : concentration volumique

r_i : rayon

PERTE QUALITATIVE ET QUANTITATIVE DES INFORMATIONS VISUELLES

Figure 1 : Dans le brouillard, la perte qualitative et quantitative des informations visuelles est essentiellement liée à la diminution des contrastes

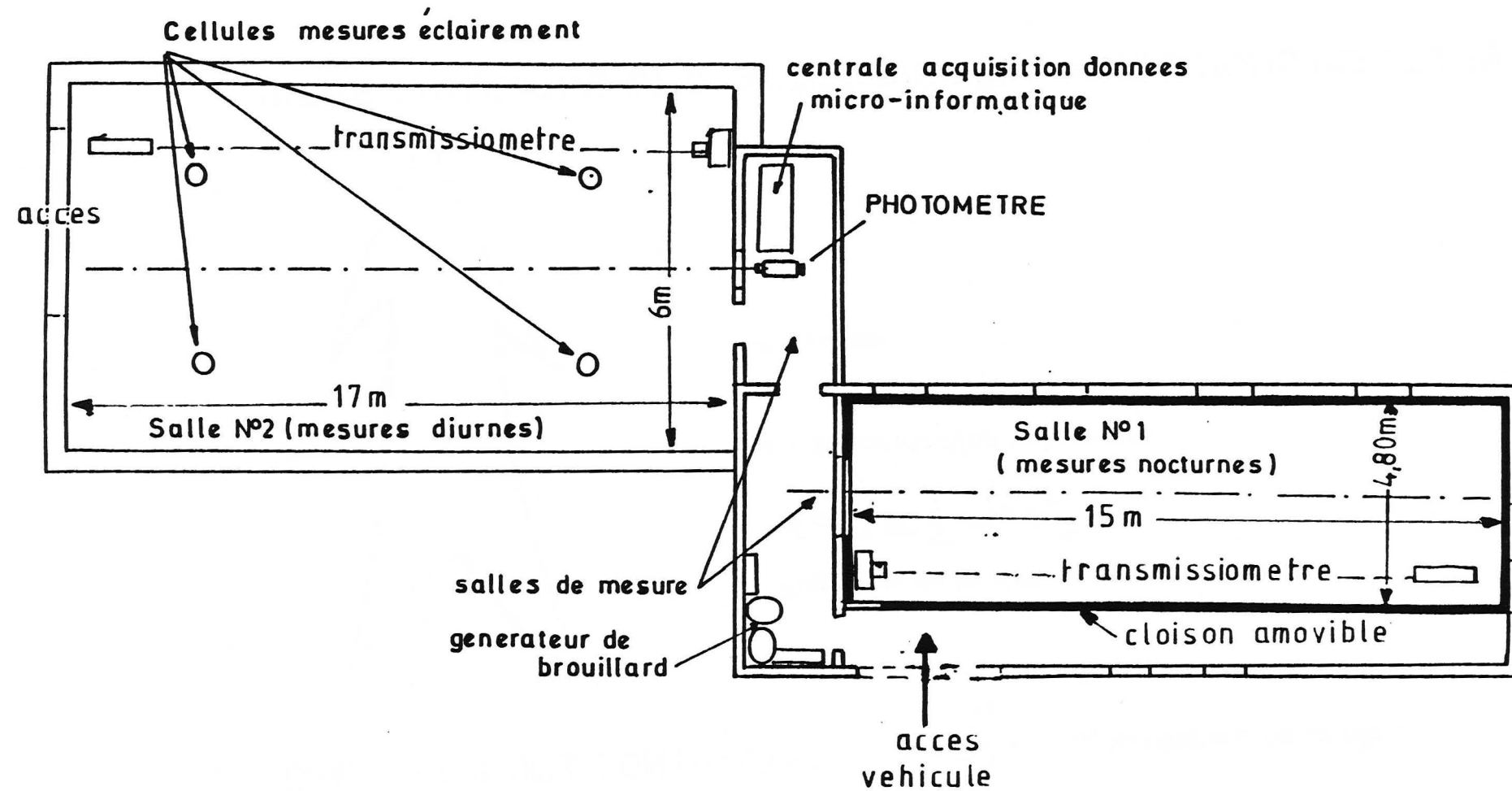
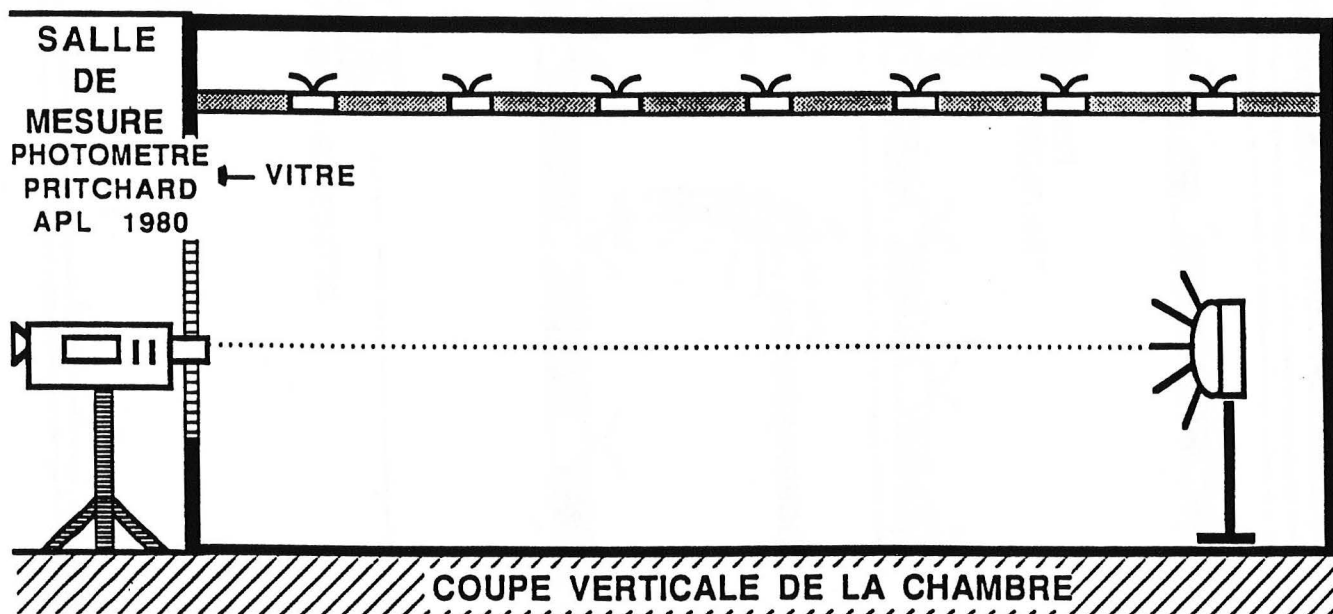


Figure 2 : Plan des chambres à brouillard du LRPC de CLERMONT-FERRAND

MESURES PHOTOMETRIQUES D'EQUIPEMENTS DE SIGNALISATION EN CHAMBRE A BROUILLARD



VUE DE DESSUS

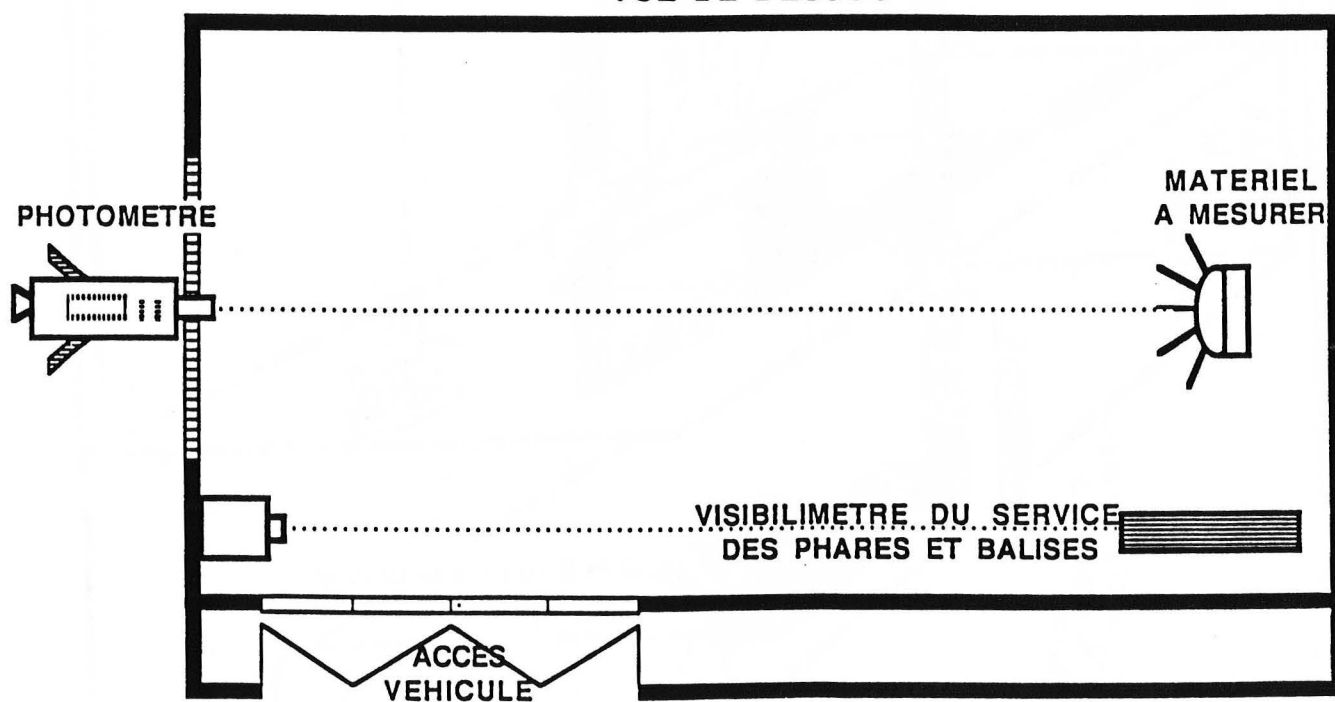
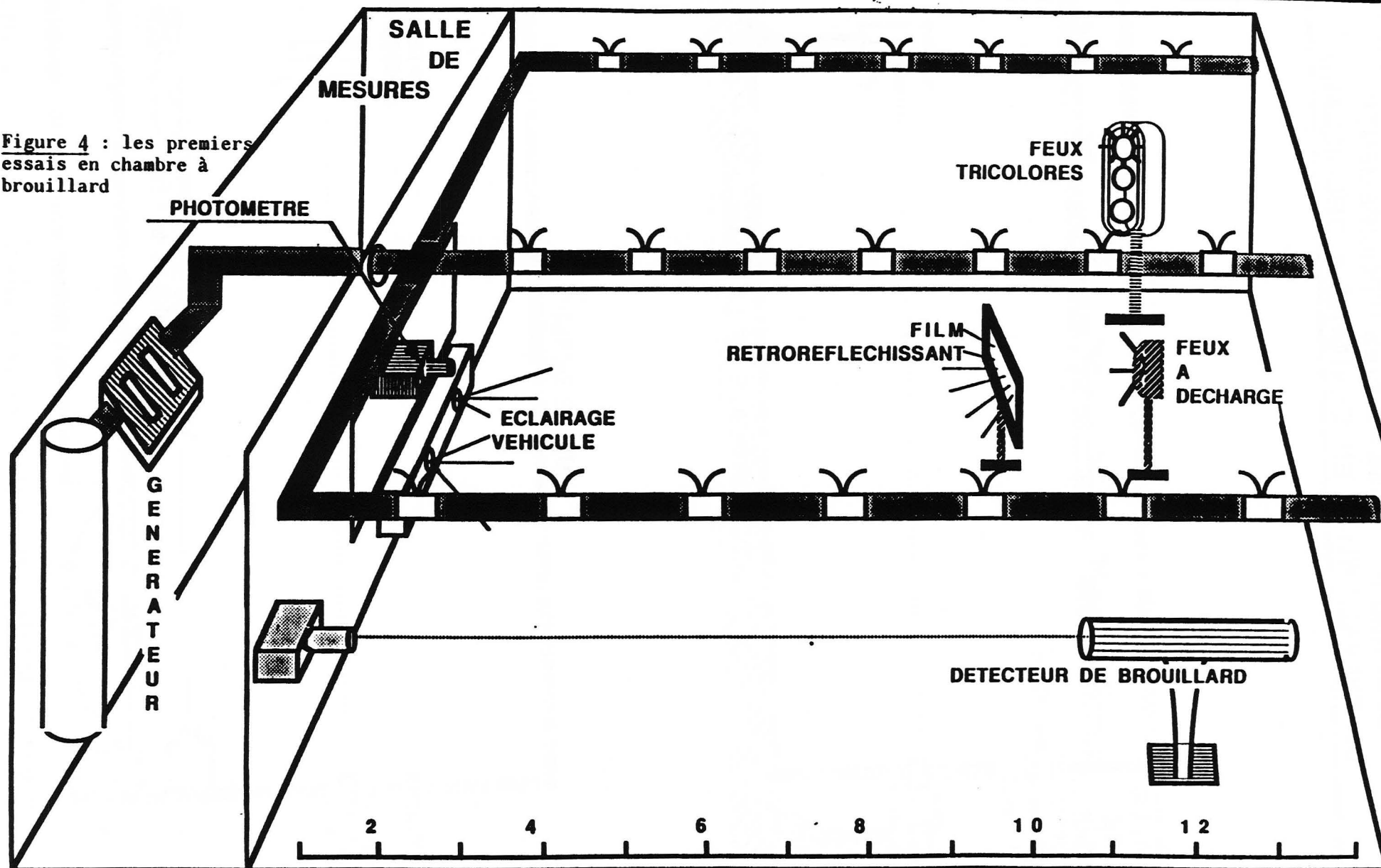


Figure 3 : Le schéma de principe des mesures dans les chambres à brouillard

MESURES PHOTOMETRIQUES D'EQUIPEMENTS DE SIGNALISATION EN CHAMBRE DE BROUILLARD

Figure 4 : les premiers essais en chambre à brouillard



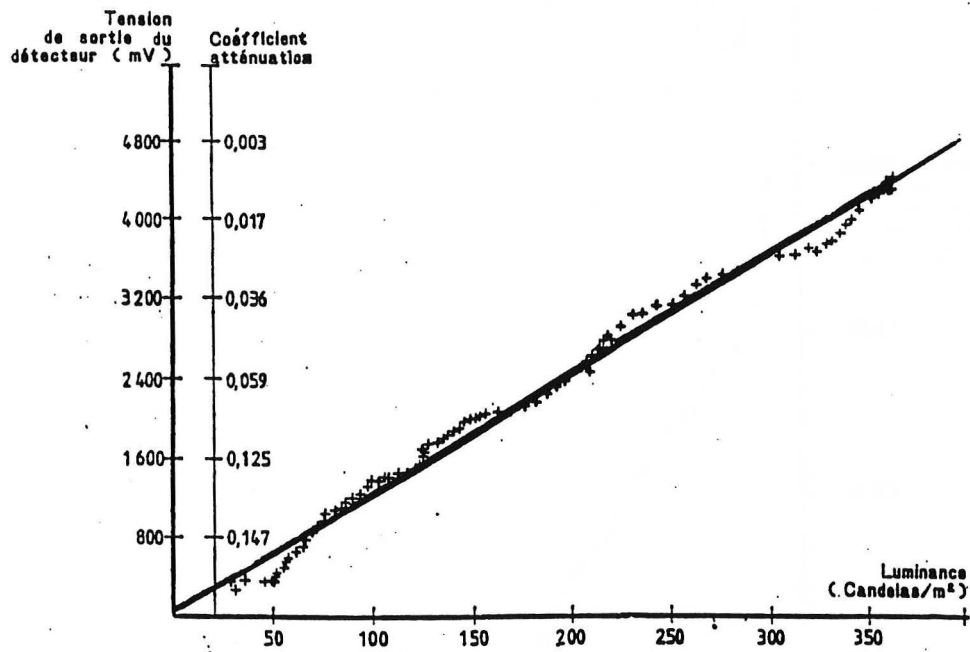


Figure 5 : la variation de luminance d'un feu tricolore en fonction de l'atténuation du brouillard mesurée en laboratoire

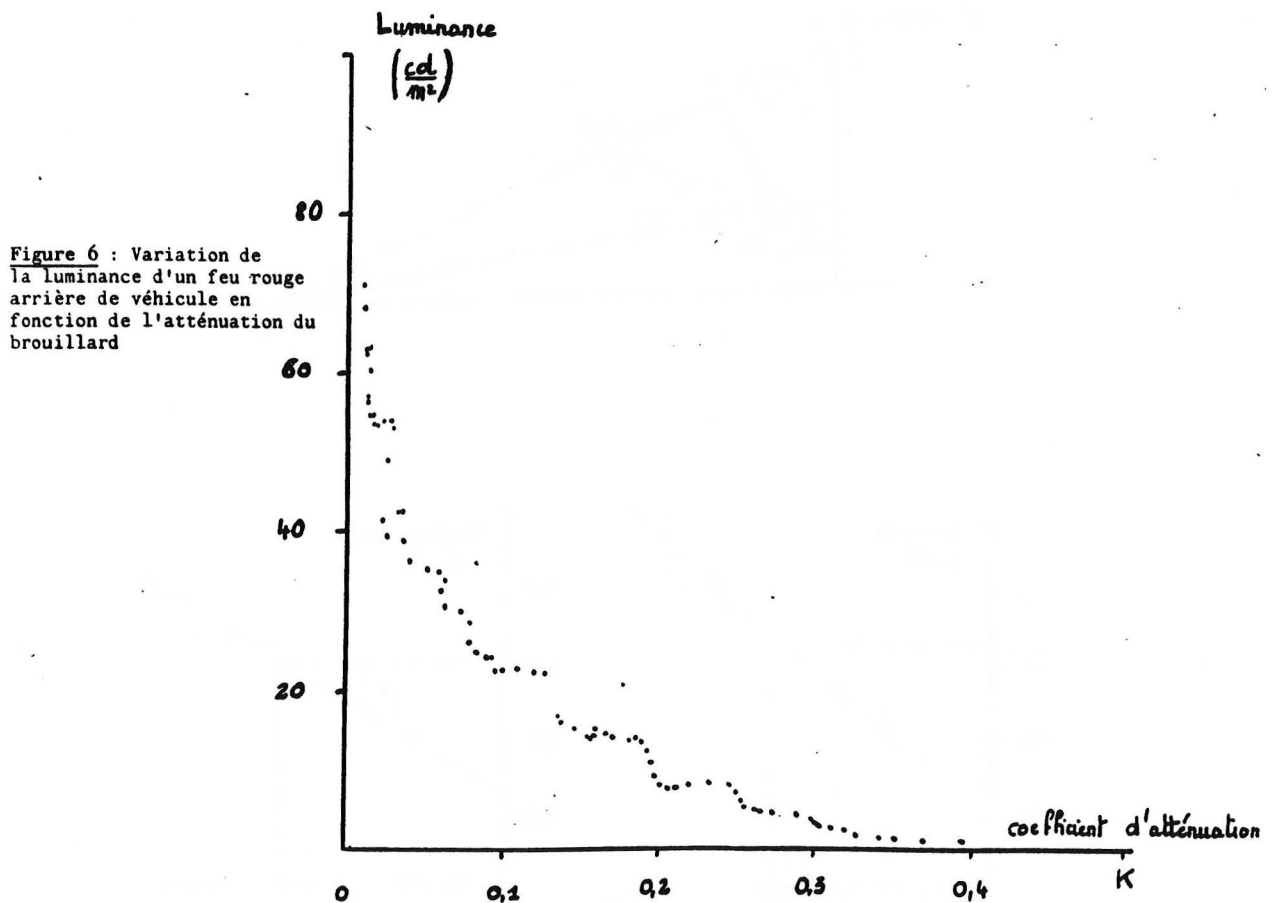
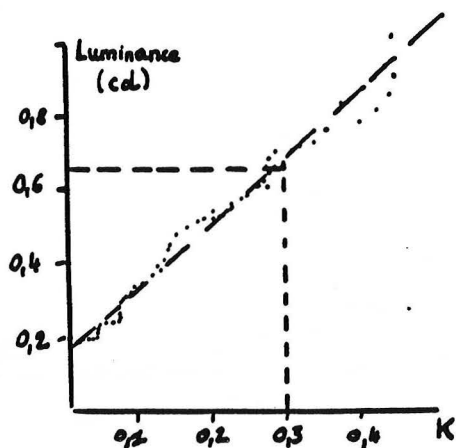
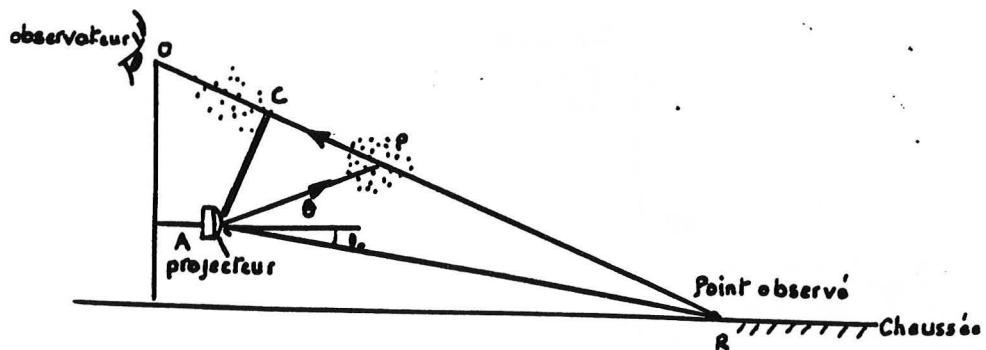
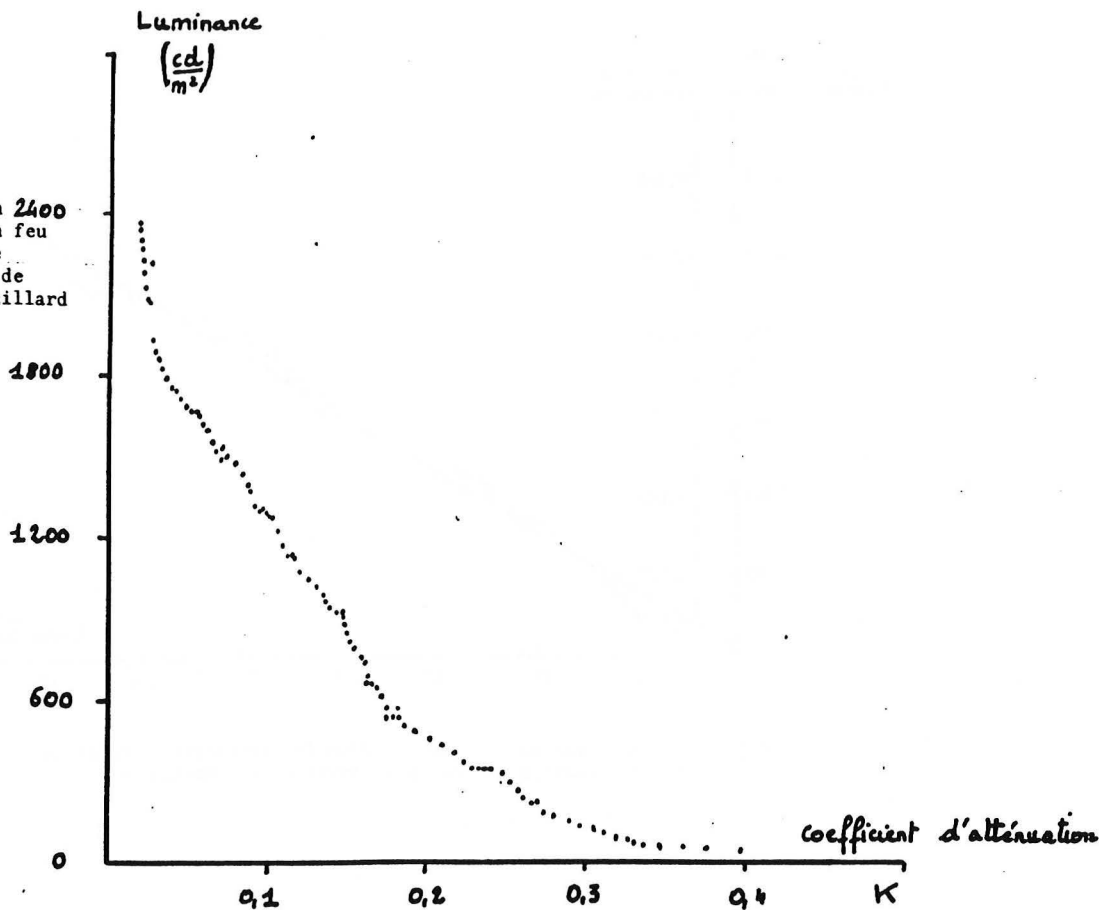
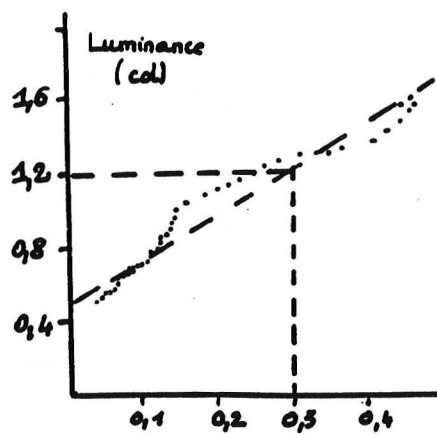


Figure 6 : Variation de la luminance d'un feu rouge arrière de véhicule en fonction de l'atténuation du brouillard

Figure 7 : Variation 2400 de la luminance d'un feu arrière brouillard de véhicule en fonction de l'atténuation du brouillard



- Feux de croisement



- Feux de route -

Figure 8 : variation de la luminance de voile créée par les projecteurs avant de véhicule en fonction de l'atténuation du brouillard

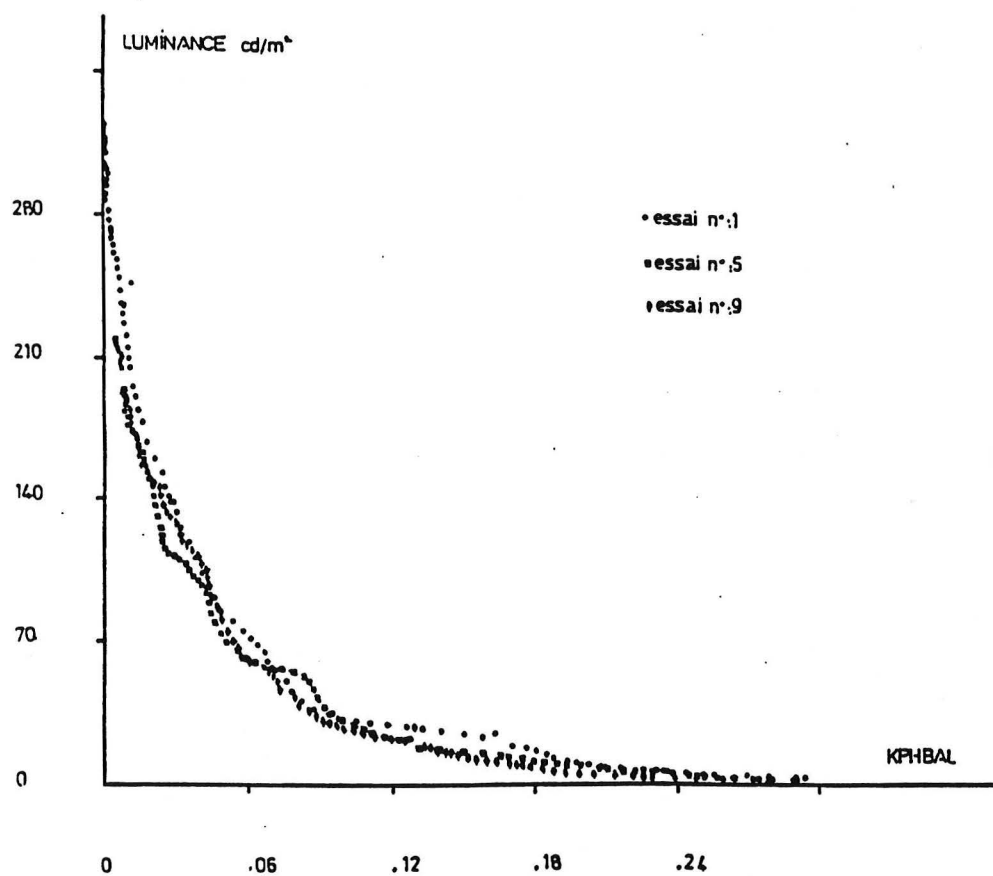


Figure 9 : variation de luminance d'un flux rétro réfléchissant éclairé par des projecteurs avant de véhicules (feux de croisement) en fonction de l'atténuation du brouillard

MODELE ET PROGRAMME DE PRÉVISION DE DISTANCE DE VISIBILITÉ ET LISIBILITÉ

J-S. DUBUISSON : CONSEIL LABORATOIRE CENTRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES
Y. GUILLARD : LABORATOIRE RÉGIONAL DES PONTS ET CHAUSSÉES
Mme LOOS : LABORATOIRE RÉGIONAL DES PONTS ET CHAUSSÉES

PREMIERE PARTIE

INTRODUCTION

Afin de réunir les approches théoriques et expérimentales dont nous disposons sur ce sujet au L.C.P.C. et dans les L.R., il a été décidé de réaliser un programme de calcul sur micro-ordinateur.

Outre les données géométriques définissant un site, sont prises en compte les données photométriques des véhicules et des messages à détecter ou à interpréter ainsi que les données physiologiques relatives aux performances visuelles des conducteurs.

L'approche théorique développée par M. DUBUISSON est présentée en deuxième partie.

I - PROGRAMME DE CALCUL

1 - PRINCIPE

De nuit, la distance à partir de laquelle un message peut être vu ou lu dépend à la fois des performances visuelles des usagers et des caractéristiques photométriques du message et des véhicules. Selon qu'il s'agit de détecter ou de lire, les principes de calcul utilisés seront légèrement différents et ceci essentiellement au niveau de la perception visuelle des conducteurs.

En effet, pour la visibilité, nous reprenons les résultats empiriques de Blackwell et Bodmann basés sur la notion de contraste de luminance entre l'objet à détecter et son environnement proche (voir article Dubuisson [1]). La lisibilité est également déterminée à partir de résultats empiriques, qui ne prennent en compte que la notion de luminance. Ils sont issus d'essais réalisés au L.C.P.C. [2].

1.1 - Luminance ou contraste de l'objet

Qu'il s'agisse du calcul du contraste ou de la luminance du message, la démarche utilisée est la même. La luminance (L) est égale au produit de

l'éclairement (E) du véhicule par le coefficient de luminance rétroréfléchie (CLR) de l'objet étudié. Le contraste (C) est égal au rapport : $C = L - L_f / L_f$. L_f est la luminance de fond.

La luminance de l'objet dépend à la fois de paramètres géométriques et photométriques.

1.1.1 - *Aspect géométrique des panneaux et marquages*

Les propriétés photométriques des films rétroréfléchissants et des marquages dépendent de l'angle d'incidence β de l'éclairage et de l'angle d'observation α (α correspond à la différence d'angle entre les directions d'éclairage et d'observation), (figure 1).

Les véhicules étant en mouvement, la géométrie va varier [5].

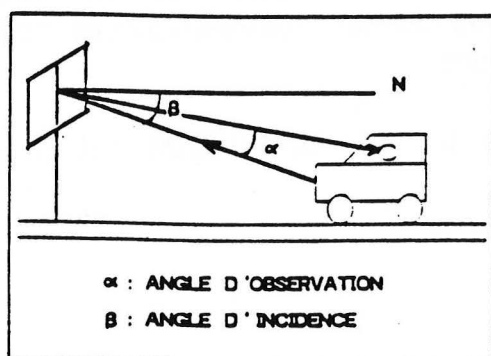


Figure 1 : conditions géométriques d'éclairage et d'observation d'un panneau

Ainsi α et β seront fonction de la distance, d , il en sera de même pour les coefficients de luminance rétroréfléchie et l'éclairement. La luminance et le contraste s'expriment alors comme suit :

$$L(d) = E(\beta(d), d) \times CLR(\alpha(d), \beta(d))$$

$$C(d) = \left| \frac{L(d) - L_f}{L_f} \right|$$

En plus de la distance, interviennent aussi les paramètres suivants que nous ne ferons que citer sans expliciter les calculs :

Pour les panneaux, il s'agit de :

- la distance véhicule-panneaux
- leur hauteur

- leur position par rapport à l'axe de circulation
- leur orientation
- la dimension du message (c'est la hauteur des lettres qui est prise en compte)

Les marquages peuvent être considérés comme un cas particulier des panneaux : leur hauteur est nulle et ils sont dans l'axe de la chaussée. Leur dimension apparente varie selon l'angle d'observation et à partir d'une certaine distance, la plus petite dimension apparente peut ne plus être la largeur mais la longueur.

Qu'il s'agisse des panneaux ou des marquages, à l'utilisation du programme il est possible de faire varier ces paramètres.

1.1.2 Aspect géométrique des véhicules

Pour les véhicules, sont pris en compte les paramètres suivants :

- la hauteur des phares
- la distance entre phares
- la position des yeux par rapport aux phares (hauteur, recul, position transversale)

À moins d'intervenir au niveau du logiciel, ces paramètres sont momentanément figés, nous avons configuré quatre types de véhicules :

- un véhicule léger (VL)
- un petit poids lourd (PPL)
- un poids lourd (PL)
- une moto

Les valeurs adoptées sont notées dans le tableau 1.

Type de véhicules	VL	PPL	PL
Hauteur des feux (en mètres)	0,7	0,7	0,9
Écartement des feux (en mètres)	1	1,2	1,2
Hauteur des yeux (en mètres)	1,2	1,8	2,5
Recul des yeux/feux (en mètres)	2	1,5	2
Distance entre les yeux et le feu droit (en mètres)	0,75	1	1

Tableau 1 : paramètres ayant servi à définir les différents types de véhicule

1.1.3 - Aspect photométrique des panneaux, marquages et chaussées

Les panneaux, les marquages et la chaussée sont caractérisés par leurs coefficients de rétro réflexion. Ceux-ci ont été mesurés en laboratoire de photométrie pour les produits et matériaux les plus souvent rencontrés en fonction des angles α et β .

Pour les films de panneaux ils sont disponibles sous forme de fichiers (figures 2 et 3).

Un seul fichier est nécessaire pour les marquages (figure 4) ; on peut passer d'un marquage à l'autre par simple extrapolation à partir des valeurs ECOLUX.

Pour le type de chaussée, nous avons considéré la rétro réflexion constante avec la distance (figure 5).

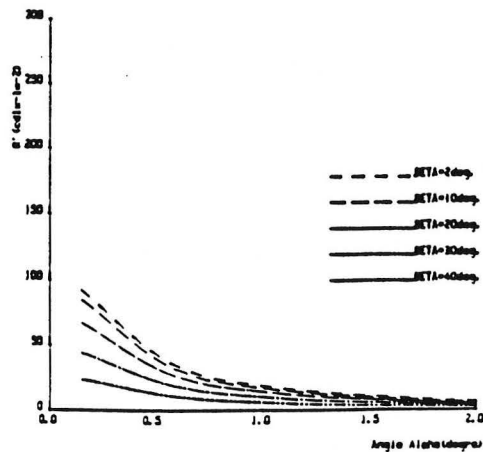


Figure 2. Coefficient de rétroreflexion en fonction de l'angle d'observation α pour divers angles β pour un film blanc de classe I

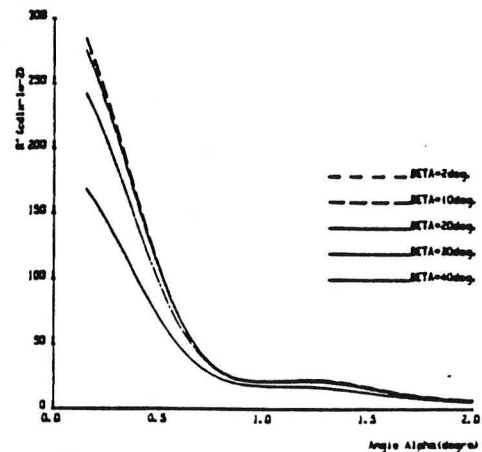


Figure 3. Coefficient de rétroreflexion en fonction de l'angle d'observation α pour divers angles β pour un film blanc de classe II

TABEAU DES CLR (alpha, beta)

MARQUAGE : P10

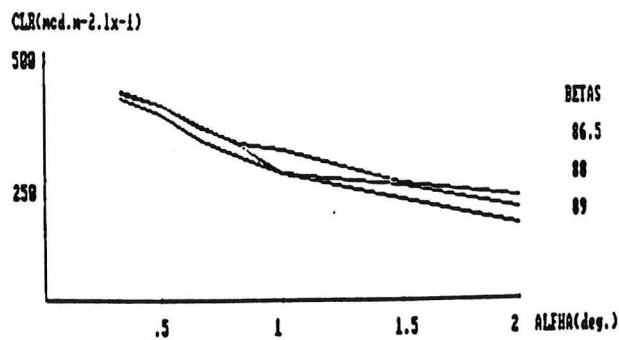


figure 4 : coefficient de rétroreflexion d'un marquage de référence (valeur ECOLUX)

x x x V.L. . . . P.P.L. . . . P.L.

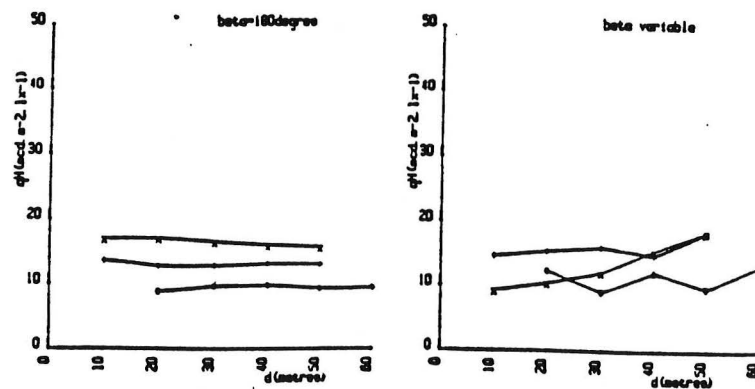


figure 5 : Coefficient de réflexion d'une chaussée en béton de ciment

Cinq supports sont configurés [6] :

- ciment	: $15 \text{ mcd.m}^{-2}.\text{lx}^{-1}$
- enduit superficiel clair	: $26 \text{ mcd.m}^{-2}.\text{lx}^{-1}$
- enduit superficiel sombre	: $10 \text{ mcd.m}^{-2}.\text{lx}^{-1}$
- enduit sombre	: $8 \text{ mcd.m}^{-2}.\text{lx}^{-1}$
- enduit clair	: $13 \text{ mcd.m}^{-2}.\text{lx}^{-1}$

L'utilisateur peut entrer une sixième valeur.

Par ailleurs, le coefficient de réflexion du revêtement de la chaussée permet d'intégrer au niveau de l'éclairement reçu pour les panneaux, les rayons incidents réfléchis sur la chaussée issus des feux de véhicules.

1.1.4 - *Aspect photométrique des véhicules*

Pour les feux de véhicule, on utilise un fichier contenant les valeurs de l'éclairement d'un phare dans un plan situé à 25 m de ce phare. Ce fichier a été établi à partir d'un phare de 205 Peugeot au moyen d'un appareil conçu au L.R. de Strasbourg et qui utilise une caméra CCD pour enregistrer l'image formée avec une lentille de régloscope (figure 6).

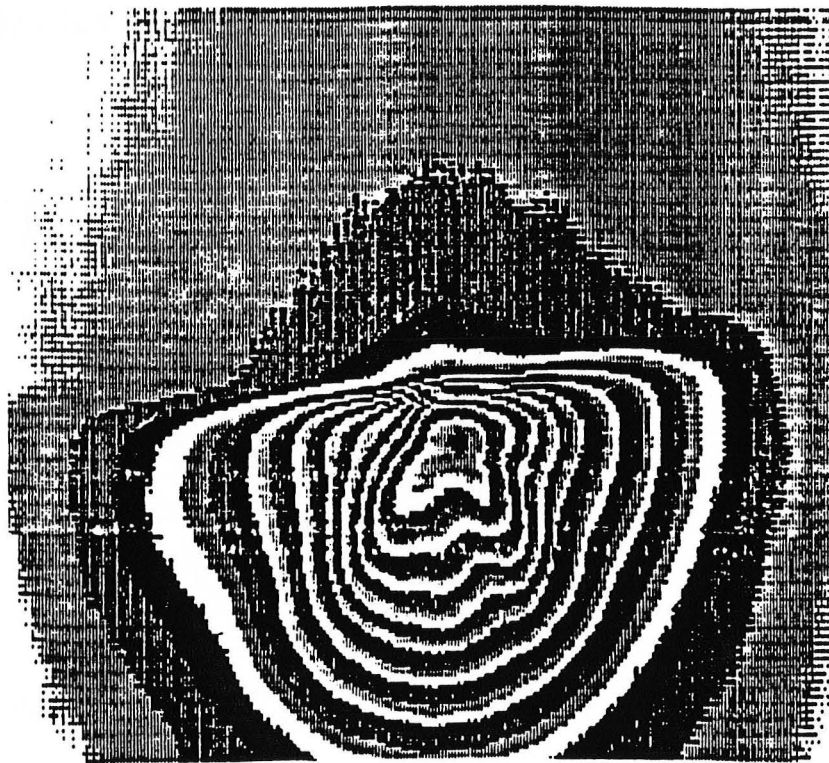


Figure 6 : image située dans un plan à 25 m du phare et enregistrée au moyen d'une caméra CCD

1.2 - Performances visuelles des conducteurs

1.2.1 - Détection des marquages

D'après le modèle de Blackwell retenu pour cela, le contraste minimum nécessaire C_{min} , pour qu'un usager ayant une vision normale puisse voir un objet de hauteur h à la distance d , est de la forme :

$$\text{Log } C_{min} = \frac{a}{h} \times d + b - \log \text{RCS}$$

a et b sont des coefficients déterminés expérimentalement par J-S. Dubuisson lors d'une étude de visibilité en tunnels routiers [1] :

$$a = 1,2 \cdot 10^{-3} ; b = 0,13.$$

RCS est la "Relative Contrast Sensitivity" déterminée expérimentalement, en laboratoire, par Blackwell et qui peut s'exprimer ainsi :

$$\text{RCS}(L_f) = 100 \left[\left(\frac{1,675}{L_f} \right)^{2/5} + 1 \right]^{-5/2}$$

L_f est la luminance de fond.

La RCS est la courbe de visibilité normalisée, elle est représentée sur la figure 7

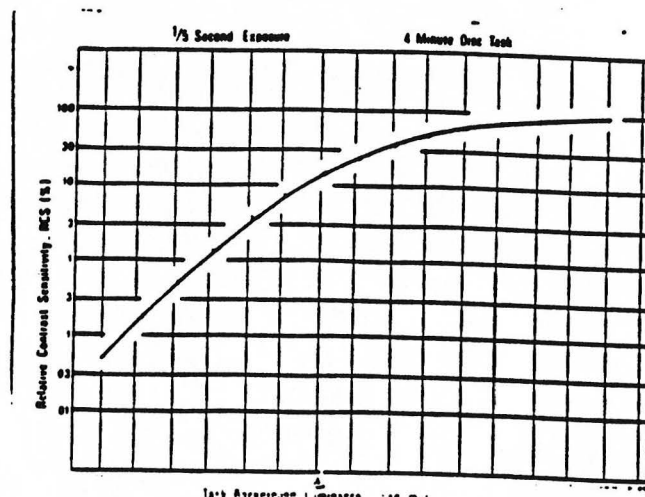


figure 7 : R.C.S. standard en fonction de la luminance de fond (d'après Blackwell et Taylor)

Pour qu'un objet soit visible, il faut que le point représentant son contraste avec le fond soit situé en-dessous de cette courbe. S'il est au-dessous, l'objet ne sera plus visible.

D'autres études [3] ont montré toujours de façon expérimentale que nous pouvions introduire, au niveau du contraste minimum, des termes multiplicateurs considérant :

- l'aspect linéaire du marquage (coef. = 0,2)
- l'âge du conducteur ; $A = -0,3796 + 0,134 \cdot AGE - 0,0044 \cdot AGE^2 + 5,510^{-5} \cdot AGE^3$

1.2.2 Lisibilité des panneaux

La lisibilité des panneaux est déterminée à partir d'un seuil de luminance. Il a été établi expérimentalement en laboratoire de photométrie à partir d'un échantillon de personnes soumises à des tests de lisibilité dans différentes conditions de luminance et pour différentes hauteurs de caractères. On peut montrer que pour une hauteur de lettre h et une distance oeil-message égale à d , le pourcentage $P(L)$ des individus parvenant à interpréter un message évolue avec le logarithme de la luminance de la manière suivante (figure 8) [4] :

$$P(L) = N \sum_{L = \log(0,1)}^{L = \log(0,5)} \exp(-L^2/M)$$

$$\text{avec } N = 56,7 H^2 + 22,95 H - 1,35$$

$$M = 99 H + 33$$

$$\text{et } H = h/d$$

Les coefficients N et M sont des coefficients obtenus par ajustement d'une exponentielle aux résultats expérimentaux.

2 - PROGRAMME

Écrit en turbo basic sur compatible IBM, il est composé de trois modules relatifs à la visibilité des marquages, la lisibilité des panneaux et à la détection de cibles.

Les distances de détection ou de lecture sont obtenues par comparaison des courbes de luminance (ou de contraste) réelle et des courbes de luminance (ou de contraste) nécessaires (figure 9). Chacune d'elle est calculée avec les paramètres et principes énoncés précédemment.

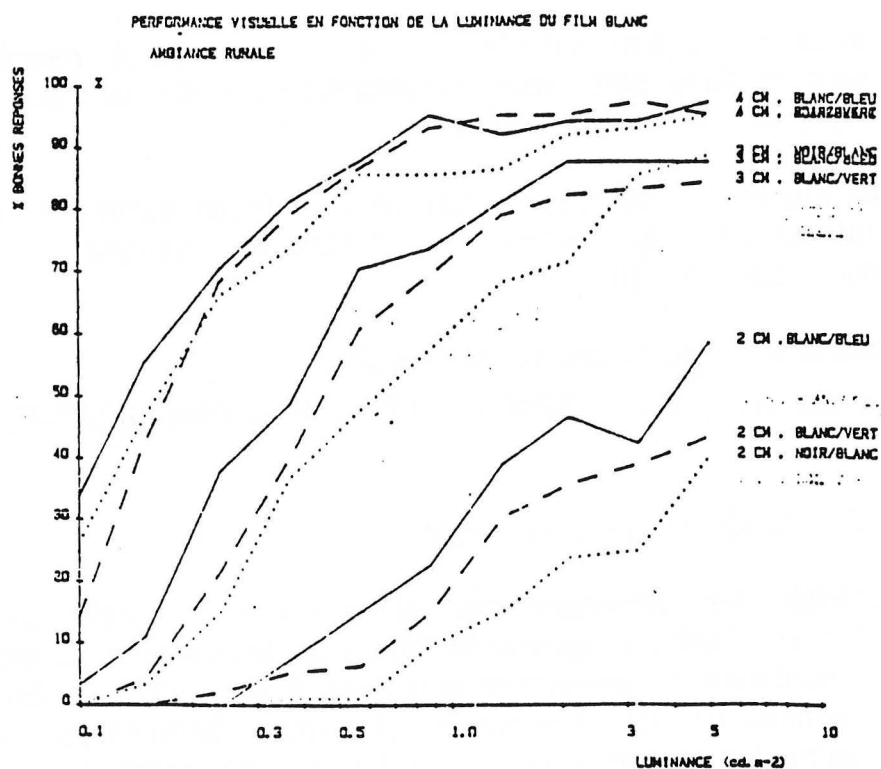
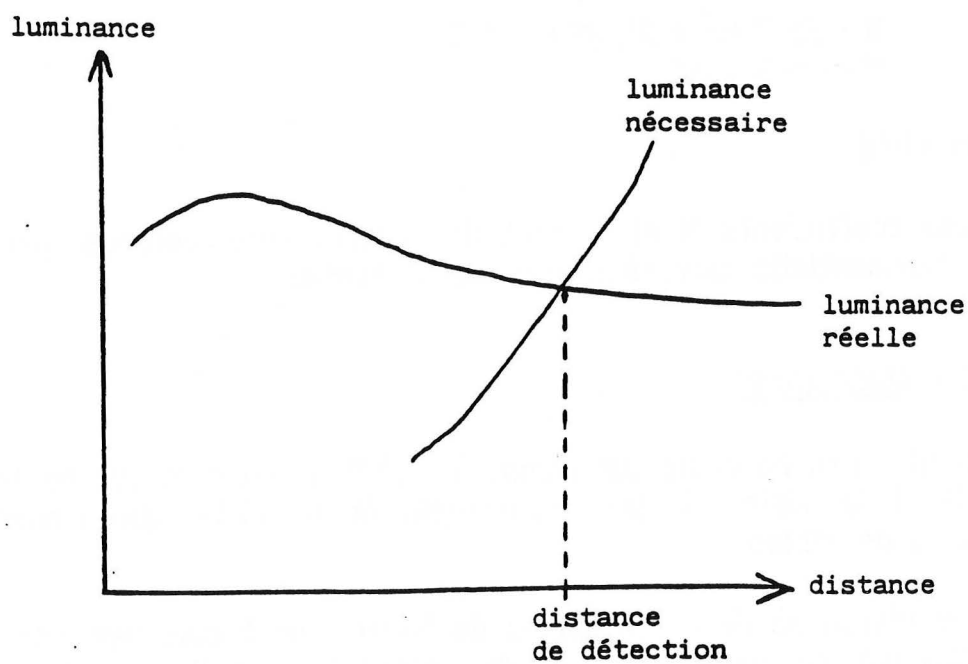


figure 8 : Pourcentage de bonnes réponses exprimées en fonction de la luminance des lettres de hauteur donnée

Figure 9 : Détermination de la distance de détection



2.1 - Lisibilité des panneaux

Au lancement du module intitulé "panneaux" tous les paramètres qu'il est possible de faire varier apparaissent à l'écran dont un exemple est reproduit sur la figure 10.

DISTANCE(S) de LISIBILITE pour 85 % des gens

Hauteur du panneau : 6.3 m. Orientation/axe : 5.0 deg.
 Distance / axe : 0.5 m. Hauteur des lettres: 32.0 ca.

Coefficient d'atténuation : 1.0
 Coefficient de réflexion chaussée: 5.0 %

Type de feu : MC.VL

Cette estimation est réalisée entre 130 m. et 200 m.

	VL	PPL	PL	MOTO
CLASSE I1	181 m.	173 m.	165 m.	170 m.
CLASSE I2	189 m.	180 m.	170 m.	178 m.
CLASSE II	197 m.	191 m.	182 m.	189 m.

Alt X pour sortir / Esc pour un nouveau calcul

figure 10 : Exemple de calcul de la distance de lisibilité d'un panneau

2.2. Marquages

Dans ce module basé sur le même principe que celui relatif aux panneaux, on peut faire varier les dimensions des marquages, leur coefficient de rétro réflexion (il suffit d'indiquer la valeur ECOLUX), le type de chaussée et introduire des paramètres tels que l'âge du conducteur (figure 11).

DISTANCE(S) de VISIBILITE des MARQUAGES pour 50% des gens

Largeur des bandes: 10 cm. Type de feux : MC.VL
 Longueur : 3 m. Âge du conducteur : 25 ans

Chaussée : Ciment (15 mcd.m⁻².lx⁻¹)
 Calculs réalisés entre 20 et 150 m.

Retro. mcd/m ² /lx	VL	PPL	PL	AUTRE
220	57 m.	65 m.	73 m.	//
267	60 m.	68 m.	77 m.	//
339	61 m.	71 m.	81 m.	//
475	63 m.	74 m.	85 m.	//
867	69 m.	81 m.	92 m.	//

figure 11 : Exemple de calcul de la distance de visibilité d'un marquage

2.3 - Cibles

Le dernier module a pour objet de calculer la distance à partir de laquelle une cible quelconque (un piéton par exemple) peut être vu, connaissant a priori sa luminance, la luminance de fond, sa taille et éventuellement l'opacité du milieu traversé.

Partant des résultats du paragraphe 2.2.1, on peut écrire que la distance d de détection est de la forme :

$$d = \frac{a}{h} \left[\log C + 1,87 - 2,5 \left[\left(\frac{1,675}{L_r} \right)^{2/5} + 1 \right] \right]$$

avec une opacité k , elle devient :

$$d_0 = \frac{d}{\left(1 + \frac{h}{a} k \right)}$$

Un exemple de calcul est donné en figure 12.

DIMENSION CIBLE (en M) ... :	.4
LUMINANCE FOND(CD/M2) ... :	.5
LUMINANCE CIBLE(CD/M2) .. :	.15
COEF.D'EXTINCTION	.015
CONTRASTE	= .7
CONTRASTE APPARENT	= .19
DISTANCE DE VISIBILITE ..	= 37.1 metres

figure 12 : Exemple de calcul de la distance de visibilité d'une cible

3 - CONCLUSION

Le programme actuellement disponible, pour lequel des évolutions seraient facilement envisageables permet, outre le calcul des distances de lisibilité ou de visibilité, d'estimer l'influence de la variation de certains paramètres. Il s'agit, entre autres, de la taille des lettres, de l'orientation ou de la situation d'un panneau, voire même de la position des yeux par rapport aux phares.

DEUXIEME PARTIE

II - APPROCHE THÉORIQUE

MODELE DE DISTANCE DE VISIBILITÉ POUR CONDUITE AUTOMOBILE

On rappelle la loi de luminance bien connue de KOSCHMIEDER qui est donnée par les formules :

$$L = L_0 T = L_v (1 - T)$$

L : luminance d'un objet

L_0 : luminance de cet objet sous brouillard

$$T = 10^{-kl} = e^{-Kl} ; K = 2,3k$$

T est le facteur de transmission du brouillard, de la pluie ou de la neige.

k est le coefficient d'extinction.

l est la distance de détection en mètres. Vous pouvez voir sur le schéma de la figure 1, l'évolution de la luminance quand la distance de visibilité augmente.

Sur le second schéma, figure 2, on considère la luminance de voile à l'intérieur de l'oeil donnée par la loi de FRY. Toute l'image du paysage envoie la lumière diffuse sur la fovéa. La loi est :

$$L_v = \frac{13 E}{\theta(\theta + 1,5)}$$

L_v FRY est la lumière diffusée sur la fovéa mesurée en cd/m^2 .

θ est l'angle entre la source éblouissante et l'axe de visée mesuré en degrés.

E est l'éclairement pupillaire causé par la luminance mesurée en lux.

ϕ est l'orientation de la source par rapport à l'axe horizontal (cf. figure 2)

Nous avons formulé une autre façon de décrire cette luminance de voile par la formule :

$$L_v = 4.10^{-3} \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} \frac{L(\vartheta, \varphi) \cos \vartheta \sin \vartheta \, d\vartheta \, d\varphi}{\vartheta (\vartheta + 1/38,2)}$$

où $L(\vartheta, \varphi)$ sont les luminances du paysage ϑ, φ sont exprimées en radians.

Nous avons aussi la quantité :

$$Y = \frac{4.10^{-3} \cos \vartheta \sin \vartheta}{\vartheta (\vartheta + \frac{1}{38,2})} L(\vartheta, \varphi)$$

où $L(\vartheta, \varphi)$ est uniforme. (voir figure 2).

On considère aussi la luminance du pare-brise L_{PB} qui est généralement proportionnelle à l'éclairement du pare-brise. Aussi nous avons toujours :

$$C = C_0(FTC) ; C_0 = \frac{\Delta L_0}{L_{f0}} ; C = \frac{\Delta L_s}{L_f}$$

avec C le contraste, ΔL l'écart de luminance, L_f la luminance de fond, l'indice 0 correspond à une mesure à courte distance.

FTC est la fonction transfert des contrastes et des exemples sont donnés sur les figures 3 et 4.

Figure 1 : Illustration de la loi de Koschmieder

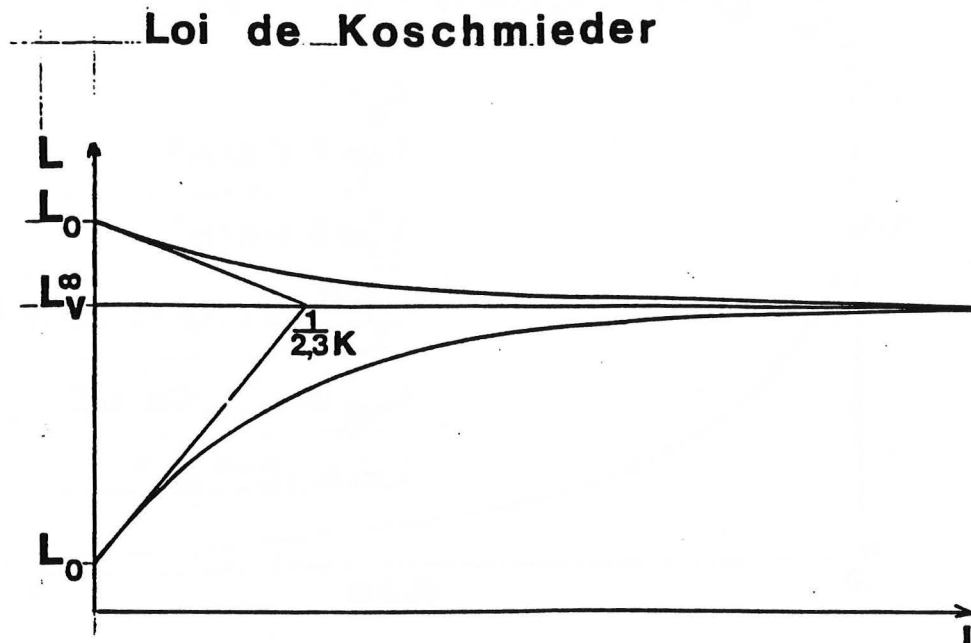


Figure 2

Y représente la luminance d'éblouissement pour un champ de luminance uniforme, en fonction de l'angle d'excentrement de la source lumineuse

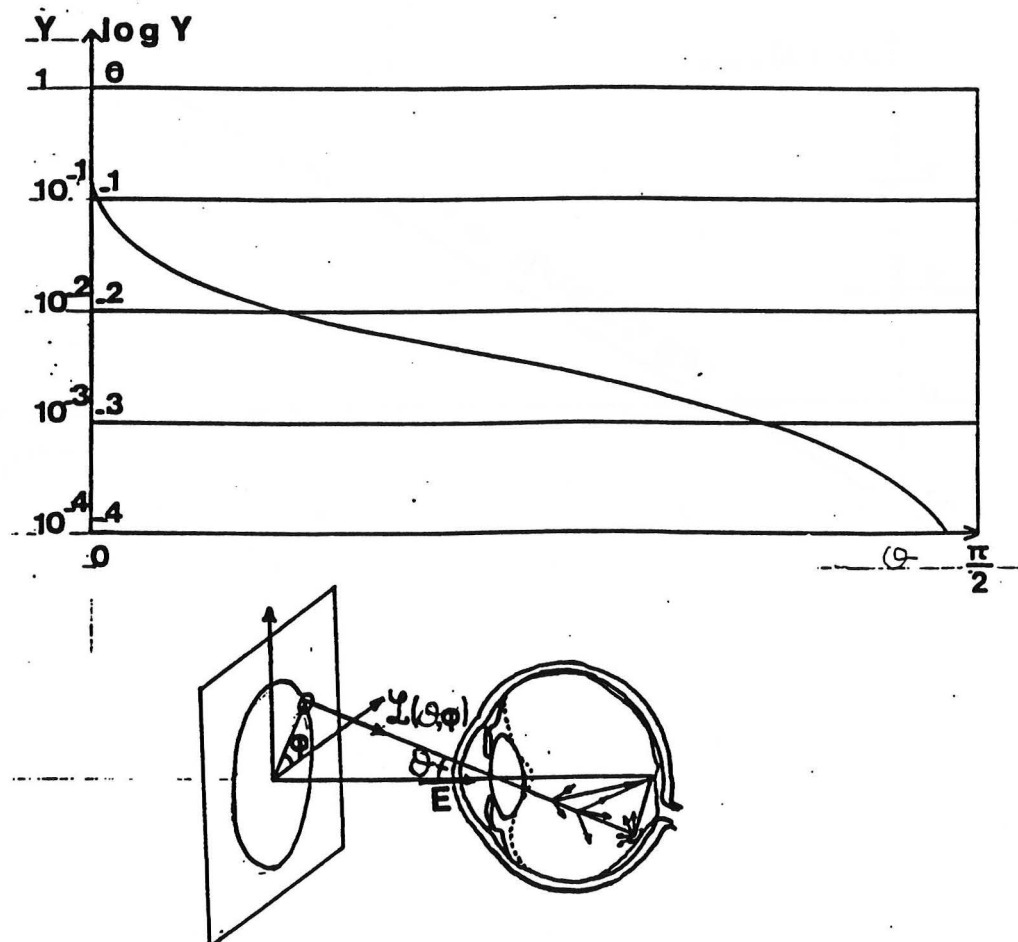


Figure 3 : Evolution du rapport de contraste en fonction de la distance

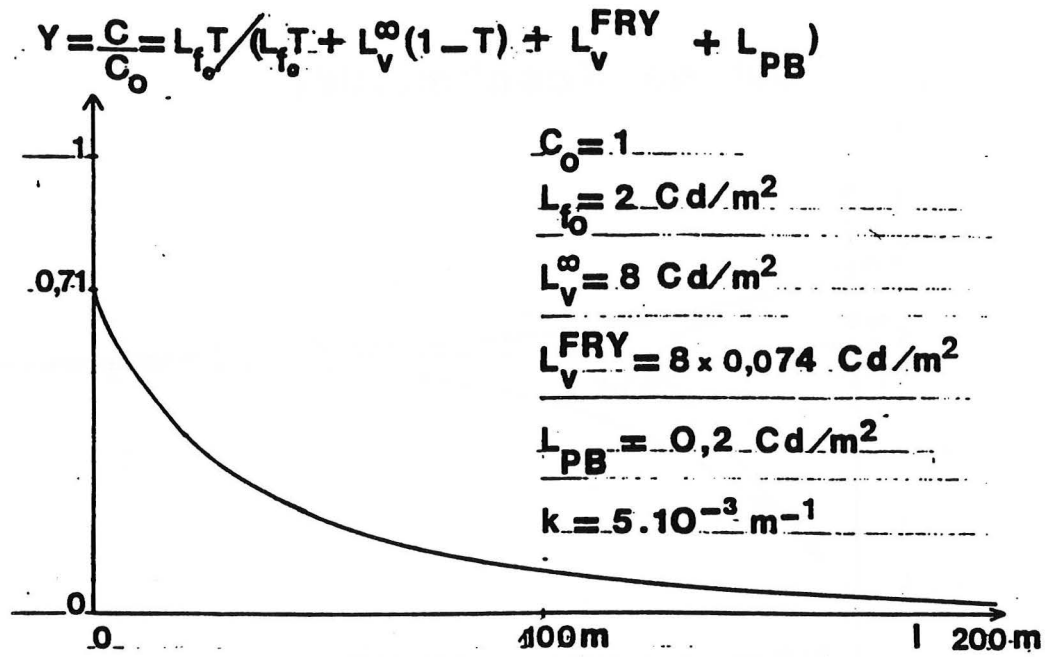
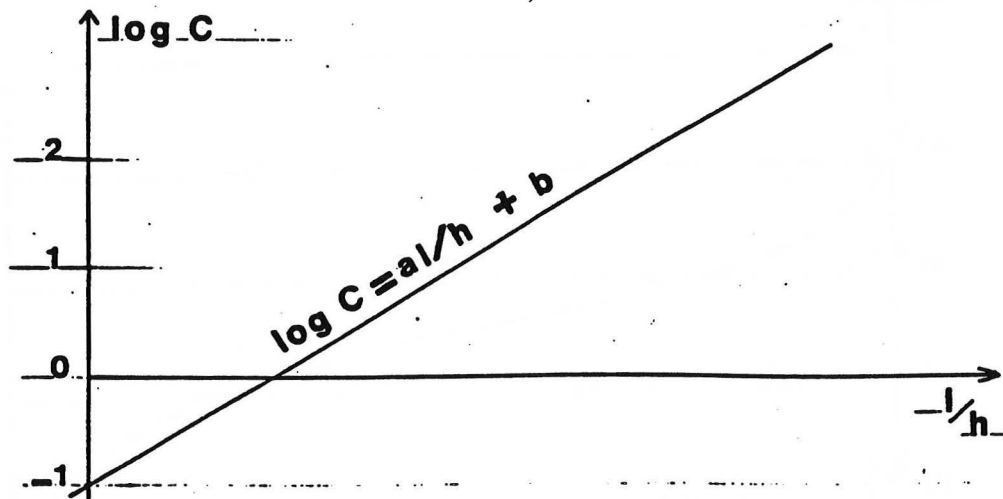


Figure 4 : Droite de seuil de contraste en fonction de la dimension apparente de l'objet



La différence de luminance est donnée par la loi $\Delta L_s = \Delta L_o \cdot T$, où ΔL_o est l'écart de luminance réelle de l'objet sur le fond à la distance zéro et ΔL_s est la différence de luminance vue par l'observateur et T est le facteur de transmission entre l'objet et l'observateur.

Une première campagne fut organisée dans le tunnel du Mont-Blanc : des cibles carrées ont été placées sur le trottoir et quatre jeunes observateurs étaient placés dans une voiture spéciale.

Les résultats expérimentaux obtenus ont été les suivants : le logarithme décimal du contraste C était bien corrélé à la distance de visibilité l

$$\text{Log } C = \log \frac{\Delta L_s}{L} = \frac{a}{h} l + b$$

ΔL_s est la différence de luminance au seuil à la distance l .

Pour une probabilité de détection $p(\gamma)$, nous avons la loi de CROZIER illustrée sur la figure 5, avec :

$$\Delta L = \Delta L_s (1 + 0,68 \gamma) \text{ et } p(\gamma) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^{\gamma} e^{-\xi^2} d\xi$$

Le seuil du contraste pour une taille d'objet donnée dépend de la luminance du fond.

Celui-ci est donné par la fonction des contrastes relatifs de sensibilité pour une probabilité de détection donnée : on établit la formule :

$$RCS = 100 \left[\left(\frac{1,675}{L_f} \right)^{0,4} + 1 \right]^{-2,5}$$

L_f est exprimé en cd/m^2

Pour les fortes luminances $RCS = 100$

Pour $L_f = 1 \text{ cd/m}^2$, $RCS = 13,5$

Nous pouvons voir que RCS dépend fortement de L_f sur la figure 6

Figure 5 : Probabilité de détection d'une cible de luminance L en fonction du coefficient γ relié à l'écart de luminance par la loi de Crozier

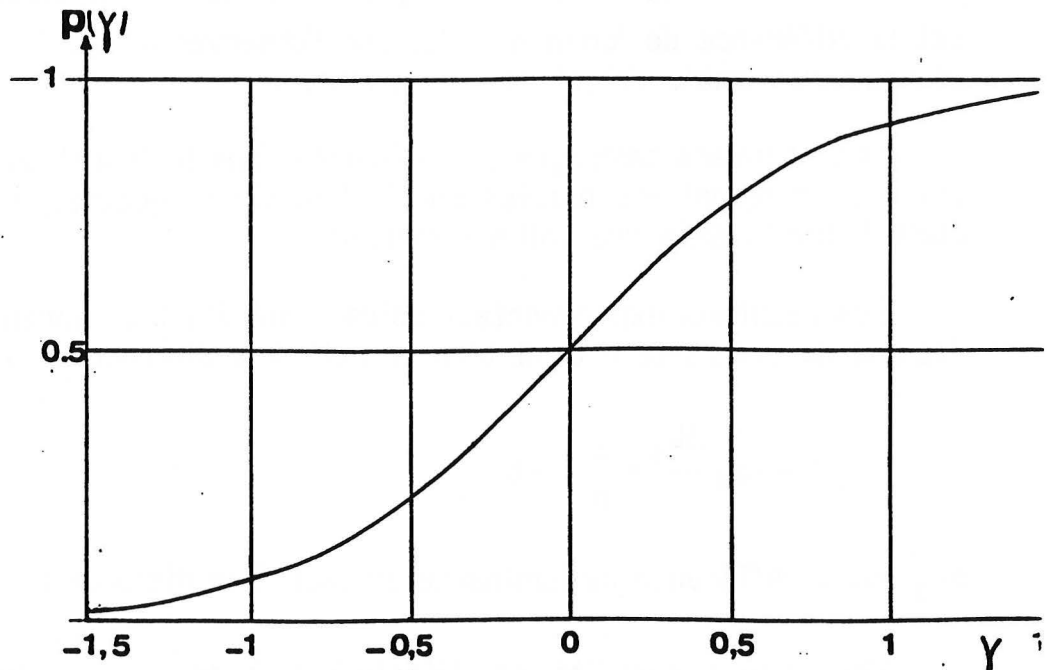
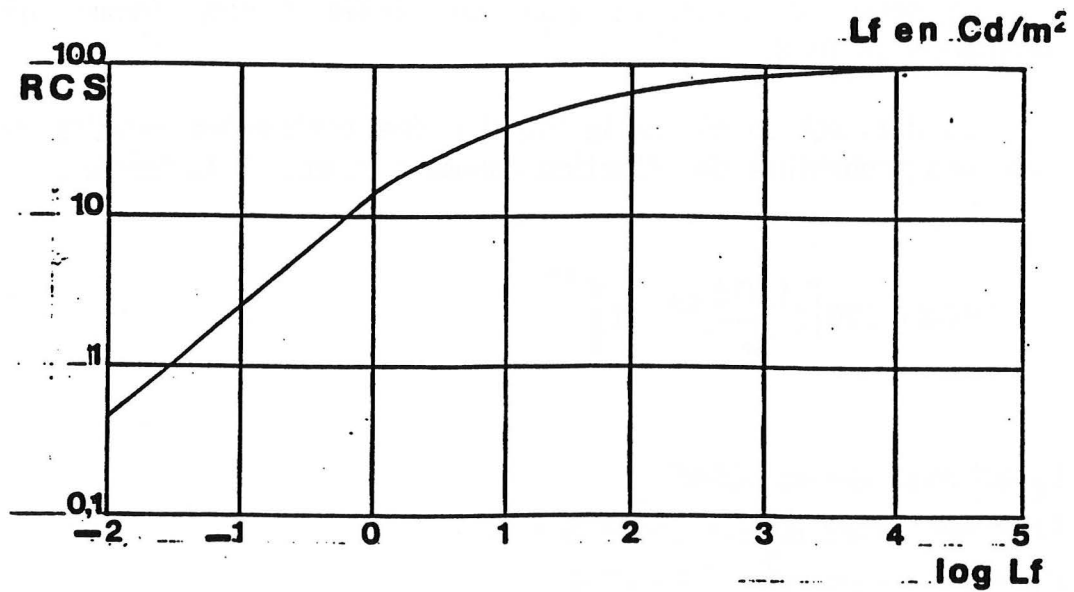


Figure 6 : Evolution de la sensibilité relative au contraste RCS en fonction de la luminance de fond



Nous pouvons récapituler par le schéma de la figure 7 l'expression de $\log C$ en fonction de l/h , l est la distance de visibilité et h une hauteur de l'obstacle.

Quand les deux courbes se coupent, nous avons le maximum de distance de visibilité pour la probabilité de détection donnée pour la valeur de γ .

La surface hachurée entre les deux courbes correspond à quelque chose de vu.

Nous pouvons aussi calculer ou dessiner la probabilité de détection de la cible en fonction de la distance de visibilité l .

Nous avons un exemple sur le schéma de la figure 8.

Figure 7 : schéma de détermination de la distance maximale de visibilité l_m à partir des droites de seuil de contraste

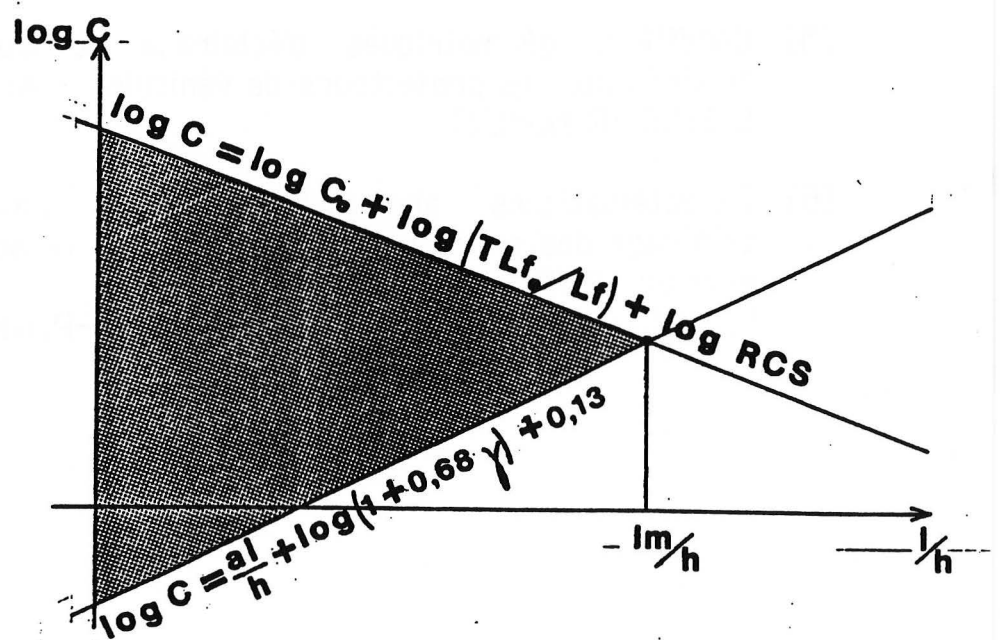
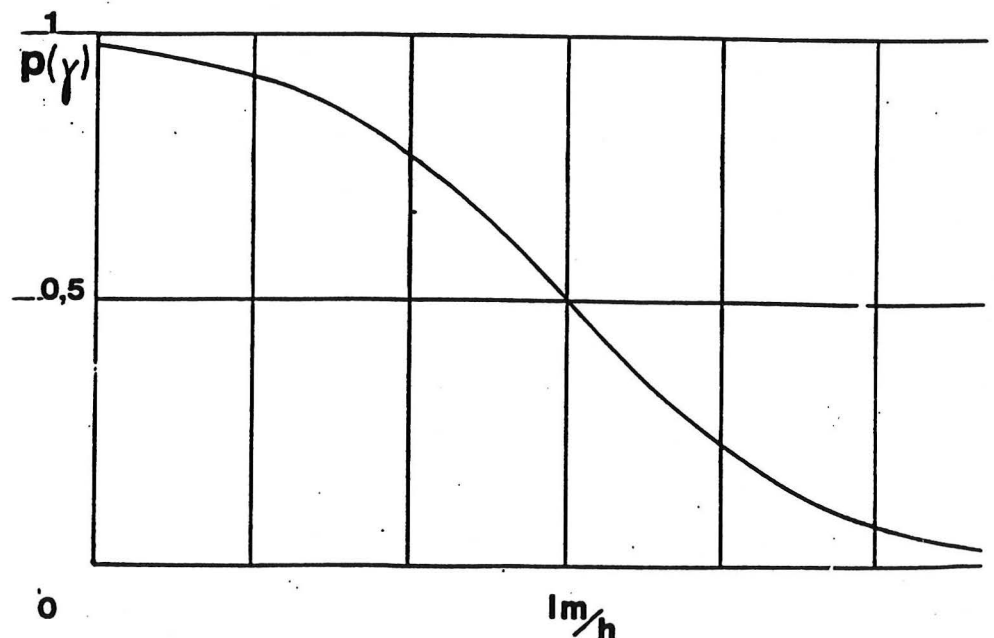


Figure 8 : probabilité de détection de la cible en fonction de la dimension apparente de l'objet l/h



RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Étude de la visibilité (applications aux tunnels routiers)
J-S. DUBUISSON - Revue Lux n° 96
- [2] Étude de la lisibilité nocturne de panneaux utilisant des films rétroréfléchissants - Octobre 1984
L.C.P.C. : M. COLOMB - M. BRY - C. BILLAU - R. HUBERT - J-P. RICHARD
O.N.S.E.R. : G. MICHAUT - J. DORÉ-PICARD
- [3] Traduction LCPC 82 T 3
- [4] Calcul prévisionnel des distances de visibilité et de lisibilité des panneaux de signalisation
L.R. de Strasbourg : FAER 1 20 03 5 - Y. GUILLARD
- [5] Conditions géométriques d'éclairage et d'observation des panneaux éclairés par les projecteurs de véhicules - Août 1984
L.C.P.C. : R. HUBERT
- [6] Caractéristiques photométriques des revêtements routiers sous éclairage des projecteurs de véhicule à l'état sec et à l'état humide - Février 1987
L.C.P.C. : R. HUBERT - M. CANESTRELLI - J-P. RICHARD

MODÉLISATION DE LA DIFFUSION MULTIPLE DE LA LUMIÈRE PAR CODE MONTE-CARLO

APPLICATION À LA VISIBILITÉ D'UN FEU ARRIÈRE DE VÉHICULE

J-P. BRITON - B. MAHEU : I.N.S.A. de Rouen

Nous présentons dans ce document, les premiers résultats concernant le problème de visibilité d'un feu arrière de voiture vu par temps de brouillard. L'outil pour décrire ce phénomène est un code de calcul basé sur une méthode de Monte-Carlo. Ainsi, nous exposerons successivement :

- une présentation du cadre de l'étude,
- une présentation du code de calcul,
- une discussion des premiers résultats.

Enfin, nous concluerons en élaborant les développements à poursuivre.

I - PRÉSENTATION DU CADRE DE L'ÉTUDE

L'étude que nous menons, a pour but de simuler les problèmes de visibilité que rencontre un conducteur au volant de sa voiture par temps de brouillard. Nous nous sommes tout d'abord limités à étudier le problème de la visibilité d'un feu arrière de voiture dans la nuit noire et dans le brouillard. Le problème physique mis en jeu dans ce cas, est la diffusion multiple de la lumière du phare par les gouttelettes d'eau du brouillard. Ce phénomène est pris en compte par le code de calcul MUSCAT développé au sein du L.E.S.P. de l'I.N.S.A. de Rouen, depuis deux ans. La validation du code a été faite d'un point de vue théorique et nous avons aussi comparé nos résultats à des résultats expérimentaux de la littérature concernant la diffusion multiple de faisceau laser. L'adaptation de MUSCAT à l'étude de la visibilité dans le brouillard nécessite plusieurs aménagements ayant trait à :

- la modélisation du phare,
- la modélisation du brouillard
- la modélisation du conducteur.

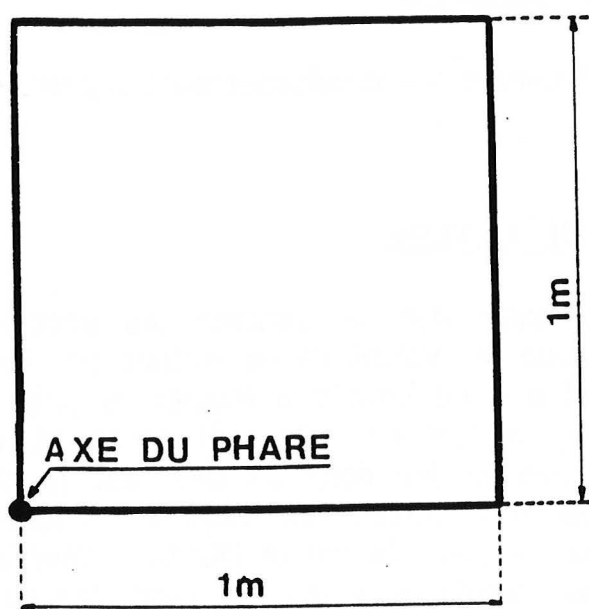
Ces différentes adaptations sont décrites au chapitre suivant. Dans cette étude préliminaire, nous avons étudié l'évolution du nombre de photons traversant une surface constante en fonction de la distance PHARE-SURFACE. La position et les dimensions de la surface sont décrites par la figure 1.

II - PRÉSENTATION DU CODE DE CALCUL

Le principe général du code de calcul a été présenté aux journées de Physique du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, tenues aux Arcs, en 1987. Dans ce chapitre, nous rappellerons tout d'abord ce principe et ensuite, nous expliciterons les différents aménagements propres au problème étudié (source, brouillard, détection).

II.1 - Rappel du code

Le code considère la lumière comme un ensemble de photons et il élabore leur progression dans le milieu. Les trajectoires des photons sont déterminées par l'algorithme suivant :



D1 : Initialisation d'un photon

T1 : Y-a-t'il collision ?

D2 : Détermination de la distance parcourue

T2 : Nature de la collision ?

D3 : Détermination de la nouvelle direction de propagation

SURFACE DE DETECTION VERTICALE (plan perpendiculaire à l'axe horizontal du phare).

Les différents événements subis par les photons sont déterminés aléatoirement. Cet aléatoire est pondéré par les connaissances que l'on a, de la diffusion simple.

II.2 - La source lumineuse

La source lumineuse est un feu arrière de voiture. Ce feu arrière est décrit par sa répartition spatiale énergétique. R. RENDU de l'U.T.A.C. nous a

transmis des relevés donnant les intensités lumineuses émises dans certaines directions par un tel feu. Comme la description directionnelle n'était pas continue, mais seulement discrète, nous avons tout d'abord dû évaluer l'indicatrice d'émission du phare afin d'obtenir un maillage dense et constant du phare. Par la suite, l'indicatrice du phare est symétrisée car nous avons considéré qu'à de grandes distances (là où le problème de visibilité est intéressant), la visibilité des deux phares était proche de celle d'un seul phare symétrique. Le feu arrière est alors décrit par le maillage discret suivant :

+15° dessous, -15° dessus par pas de 5°,

+80° extérieur, -80° intérieur par pas de 10°.

Au niveau du programme, le phare est modélisé suivant une technique de Monte-Carlo. Ainsi, la direction de propagation d'un photon issu du phare, est déterminée à l'aide de deux nombres aléatoires. Ces deux nombres fixeront les deux angles décrivant cette direction en accord avec les intensités du maillage précédemment décrit. Ceci nous permet donc d'obtenir un balayage quasiment continu du phare à l'intérieur des directions extrêmes d'émission. De plus, le phare est considéré comme ponctuel.

II.3 - Le brouillard

Nous considérons le brouillard comme une monodispersion de gouttelettes d'eau de concentration connue. Le diamètre d des gouttelettes nous permet d'évaluer leur section efficace d'extinction C_{ext} par la formule suivante :

$$C_{ext} = 2 \times \frac{\pi d^2}{4} \quad \text{valable pour } d \geq 10 \mu\text{m à } 10 \%$$

Nous pouvons aussi calculer le coefficient d'extinction K_{ext} défini par :

$$K_{ext} = N \times C_{ext}$$

où N représente le nombre de particules par unité de volume. Ces gouttelettes permettent de plus de calculer la fonction de phase d'un élément de volume du brouillard. Cette fonction de phase est calculée en accord avec la théorie de Lorenz-Mie pour un indice réel de 1.33 et une

longueur d'onde 700 nm (700 nm correspondant à la couleur rouge). Nous supposons de plus le brouillard comme non absorbant.

II.4 – La détection

Il est certain que nous devons aussi modéliser le récepteur qui est un oeil humain. Il y a de plus à prendre en compte les notions de contraste et de luminance de voile. Notre étude préliminaire ne s'occupe pas de tels facteurs. Cette première approche nous permet seulement d'avoir l'équivalent de l'éclairement de l'oeil et de suivre son évolution quand on s'éloigne de la source.

III – LES RÉSULTATS

Nous avons utilisé le programme obtenu pour étudier différentes sortes de brouillards. Ainsi, nous avons fait varier la concentration en gouttelettes ainsi que leur section efficace. Nous nous sommes attachés dans un premier temps à étudier l'évolution de la visibilité de trois types de gouttelettes pour trois concentrations. Les résultats sont présentés en III.1. En III.2, nous avons repris des études analogues au III.1 afin de pouvoir mettre en évidence l'influence de la taille des gouttelettes à un coefficient d'extinction donné. Enfin en III.3, nous présenterons une utilisation possible des courbes.

III.1 – Étude standard

Nous avons calculé la diffusion multiple pour trois diamètres de gouttelettes :

- $d = 1 \mu\text{m},$
- $d = 10 \mu\text{m},$
- $d = 19 \mu\text{m}.$

$d = 10 \mu\text{m}$ représente un diamètre moyen de gouttelettes de brouillard tandis que les deux autres sont caractéristiques d'une déviation autour de celui-ci. Nous avons aussi étudié trois concentrations différentes :

- $N = 10^8 \text{ particules/m}^3,$
- $N = 5 \cdot 10^8 \text{ particules/m}^3,$
- $N = 10^9 \text{ particules/m}^3.$

Nous pouvons alors calculer les différents coefficients d'extinction envisagés. Ils sont rapportés (en m^{-1}) dans le tableau ci-dessous :

$d (\mu m)$	$N(m^{-3})$	10^8	$5 \cdot 10^8$	10^9
1 *		$1.6 \cdot 10^{-4}$	$7.9 \cdot 10^{-4}$	$1.6 \cdot 10^{-3}$
10		$1.6 \cdot 10^{-2}$	$7.9 \cdot 10^{-2}$	0.16
19		$5.7 \cdot 10^{-2}$	0.28	0.57

Nous pouvons remarquer que dans le domaine d'étude, le coefficient d'extinction K_{ext} reste faible quand $d = 1 \mu m$. Les figures 2 et 4 représentent les courbes "NOMBRE DE PHOTONS vs DISTANCE AU PHARE". Toutes les courbes rapportées dans ce document ont été déterminées en étudiant 10^5 photons dans la source. Nous remarquerons que nous avons bien une atténuation plus importante quand K_{ext} augmente. Les variations de K_{ext} peuvent être obtenues en modifiant le diamètre d des gouttelettes ou leur concentration N . Nous pouvons constater que pour un diamètre de $1 \mu m$ les courbes correspondant aux trois concentrations sont sensiblement identiques. Dans le domaine de concentration étudié, un tel brouillard affecte peu la visibilité. Dans ces courbes, les termes "NOMBRE DE PHOTONS" représentent le nombre de photons qui traversent le carré précédemment défini et cela pour les différentes distances au phare. Nous avons aussi limité l'étude sur 100 mètres.

III.2 - Influence de la taille des gouttelettes

Nous avons envisagé le rôle joué par la taille des gouttelettes en étudiant des brouillards de même opacité mais de granulométries différentes. Les courbes obtenues sont tracées sur les figures 5 et 7. Les coefficients K_{ext} portés à côté des courbes ont été choisis en fonction de ceux portés dans le paragraphe III.1. En comparant les courbes de même K_{ext} (fig. 2 et 4 : fig. 5 et 7) entre elles, nous remarquons qu'en moyenne le nombre de photons comptabilisés diminue plus vite pour un même K_{ext} pour des particules plus

* Pour un diamètre de $1 \mu m$, ces valeurs ne donnent qu'un ordre de grandeur car le coefficient d'extinction exact n'est pas rigoureusement donné par la formule de la page 167.

petites. Ceci risque d'être amplifié quand on s'intéressera à l'oeil humain. Les particules plus petites diffusant de façon plus isotrope, cela aura pour effet d'augmenter la luminance de voile. Une étude plus approfondie demandera aussi que l'on étudie plus de photons afin de s'affranchir des problèmes statistiques rencontrés aux grandes distances.

III.3 - Utilisation éventuelle des courbes

L'utilisation des courbes est simulée sur la figure 8 et elle se fait de la façon suivante :

Supposons que l'on ait déterminé en tenant compte de différents paramètres, que le seuil de visibilité soit de 50 photons. On trace alors la droite horizontale 50 photons. Les abscisses des intersections de cette droite avec les trois courbes donnent les distances limites de visibilité. Ainsi, on pourrait dire que pour une concentration de 10^8 particules/m³, le conducteur perçoit le phare à moins de :

- ≈ 40 m du phare pour un diamètre de gouttelettes de $19\ \mu\text{m}$,
- ≈ 60 m du phare pour un diamètre de gouttelettes de $10\ \mu\text{m}$,
- ≈ 90 m du phare pour un diamètre de gouttelettes de $1\ \mu\text{m}$.

IV - CONCLUSIONS

Cette étude nous permet donc de connaître l'évolution de l'éclairement moyen (sur $1\ \text{m}^2$) avec la distance à la source. Nous avons aussi commencé à mettre en évidence l'influence de la taille des gouttelettes sur cet éclairement. Nous avons vu que celui-ci diminue plus rapidement avec des gouttelettes plus petites à opacité égale par ailleurs (même K_{ext}). Dans un deuxième temps, il va falloir essayer de se rapprocher du comportement d'un oeil humain. Nous pensons pour cela différencier les photons suivant leur direction de propagation et/ou suivant le nombre de collisions qu'ils ont subi. De tels résultats permettront d'accéder au contraste et à la luminance de voile dans le brouillard.

Atténuation du nombre de photons en fonction de la distance
pour une concentration de 10^8 particules/m³

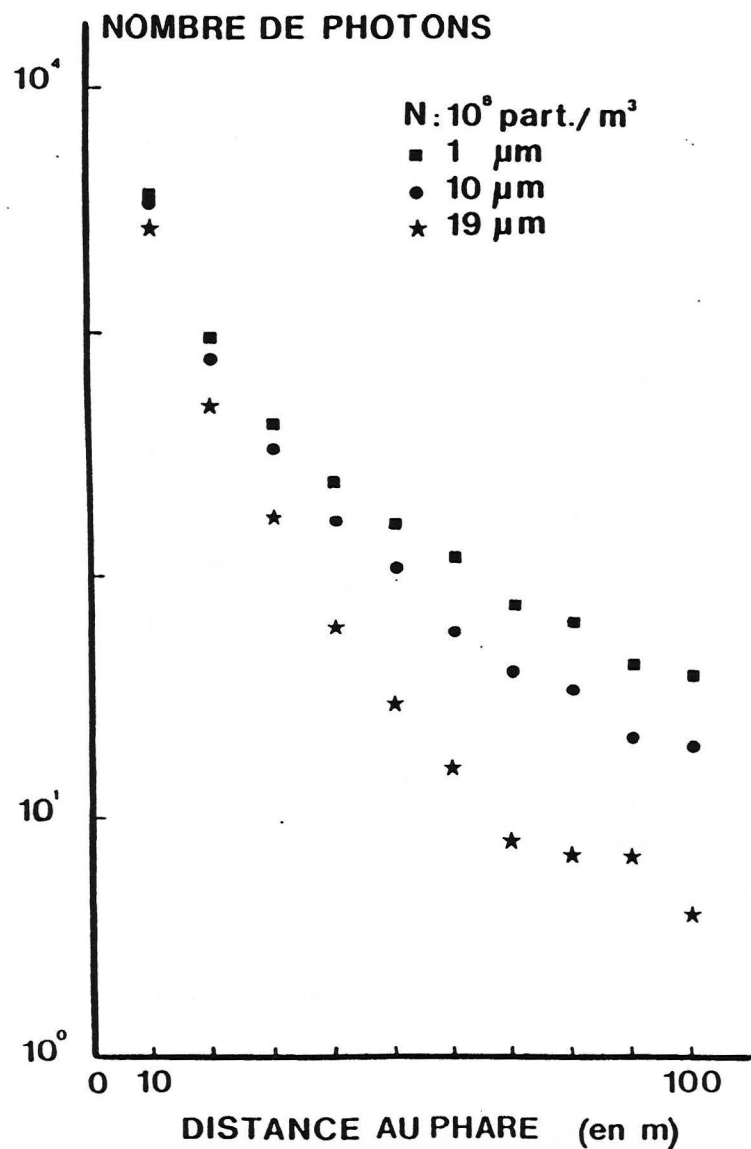


FIGURE 2:

Atténuation du nombre de photons en fonction de la distance
pour une concentration de $5 \cdot 10^8$ particules/m³

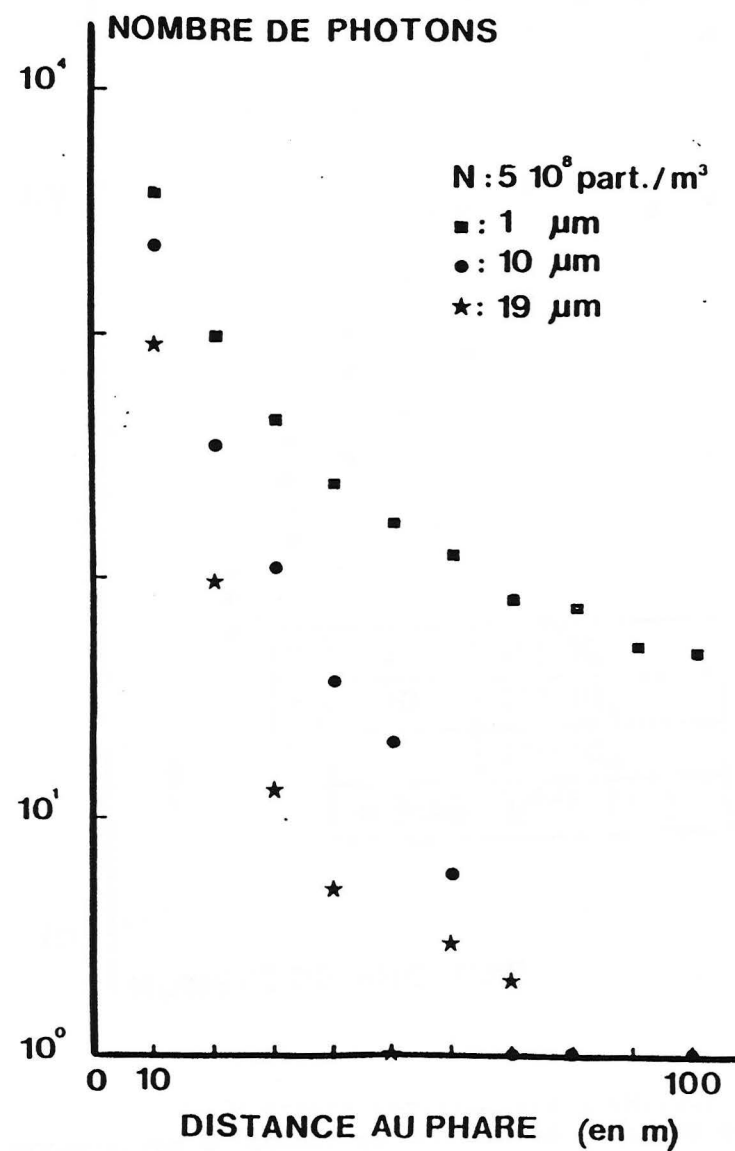


FIGURE 3:

Atténuation du nombre de photons en fonction de la distance
avec 10^9 particules/m³

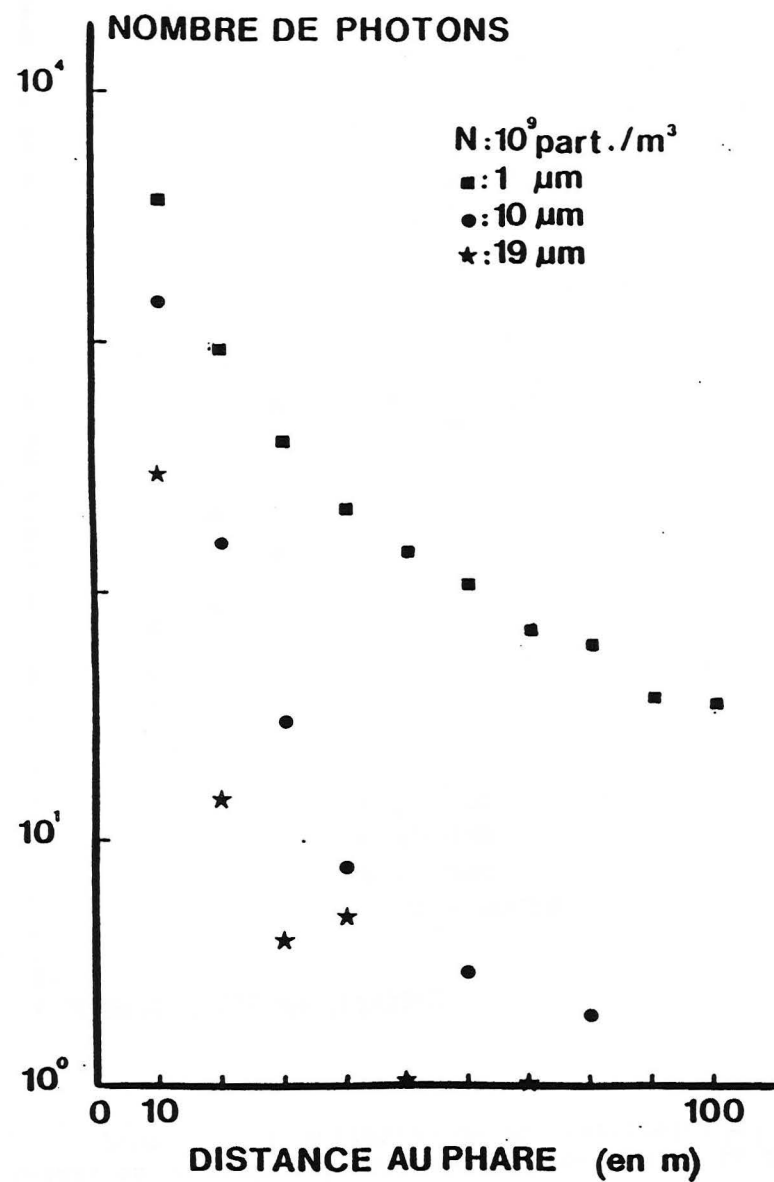


FIGURE 4:

Atténuation du nombre de photons en fonction de la distance
pour divers coefficients d'extinction

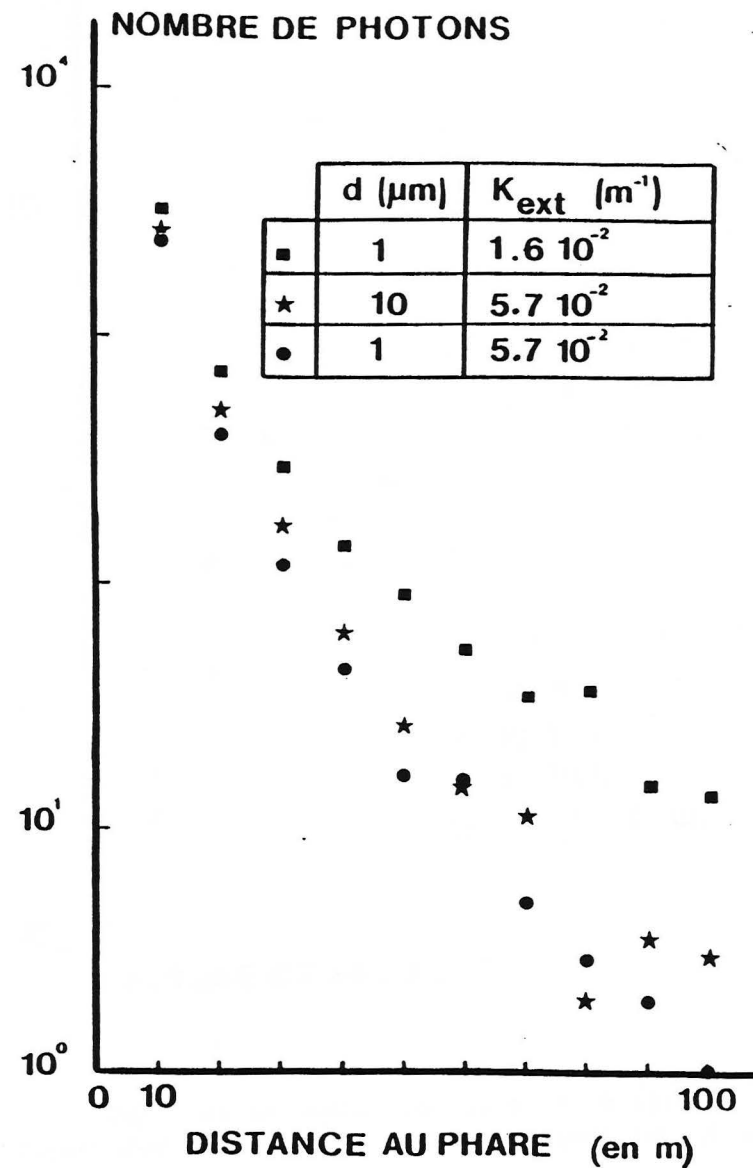


FIGURE 5 :

Atténuation du nombre de photons en fonction de la distance
pour divers coefficients d'extinction

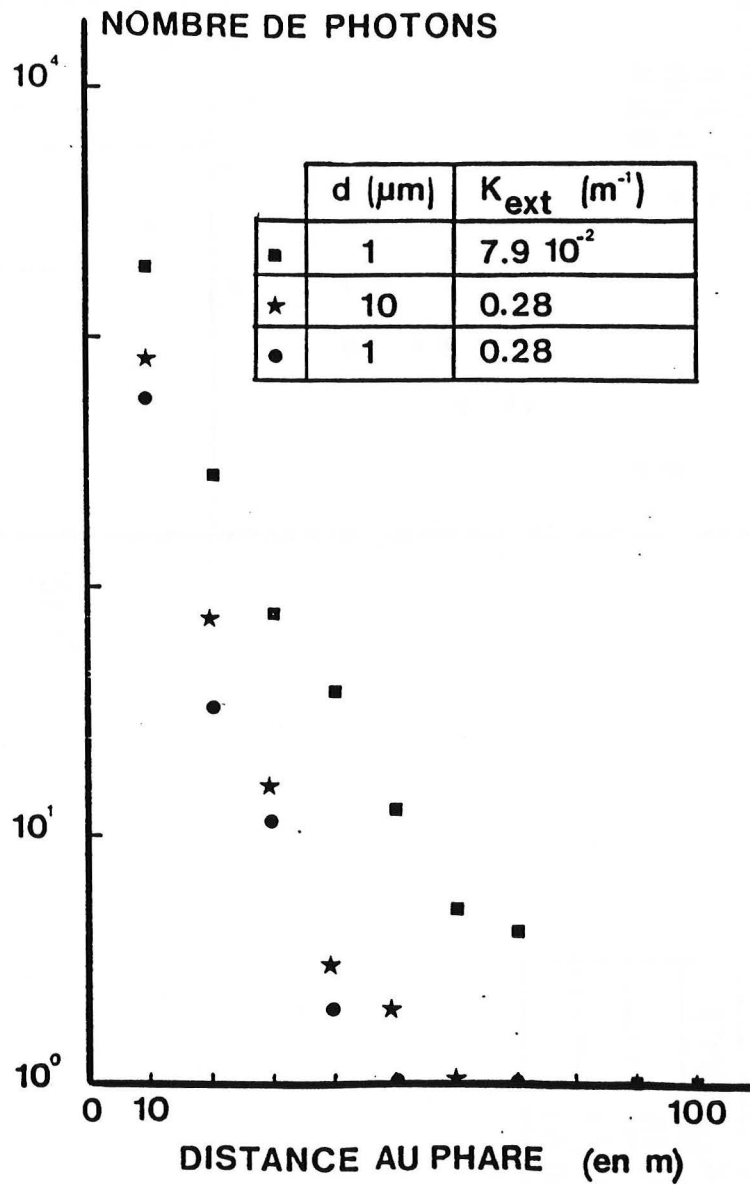


FIGURE 6 :

Atténuation du nombre de photons en fonction de la distance
pour divers coefficients d'extinction

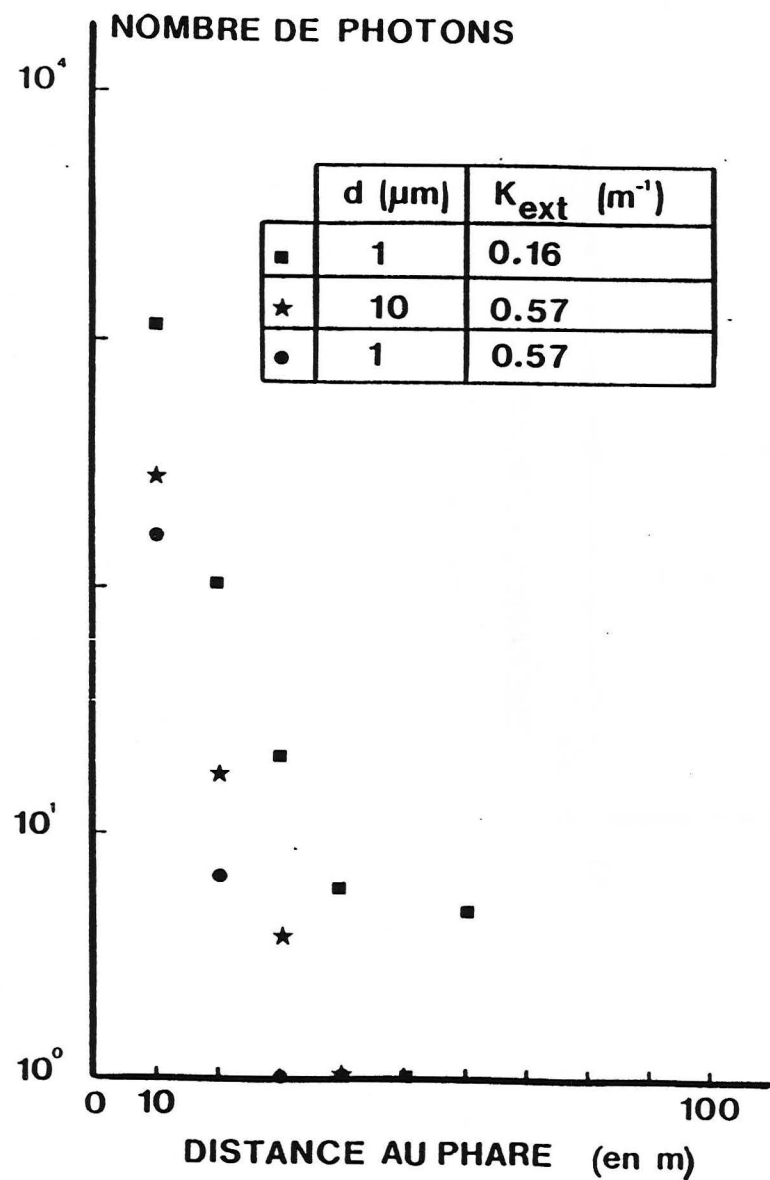


FIGURE 7 :

Atténuation du nombre de photons en fonction de la distance.
Détermination de la distance limite de détection pour
diverses tailles de particules 1, 10, 19 μm

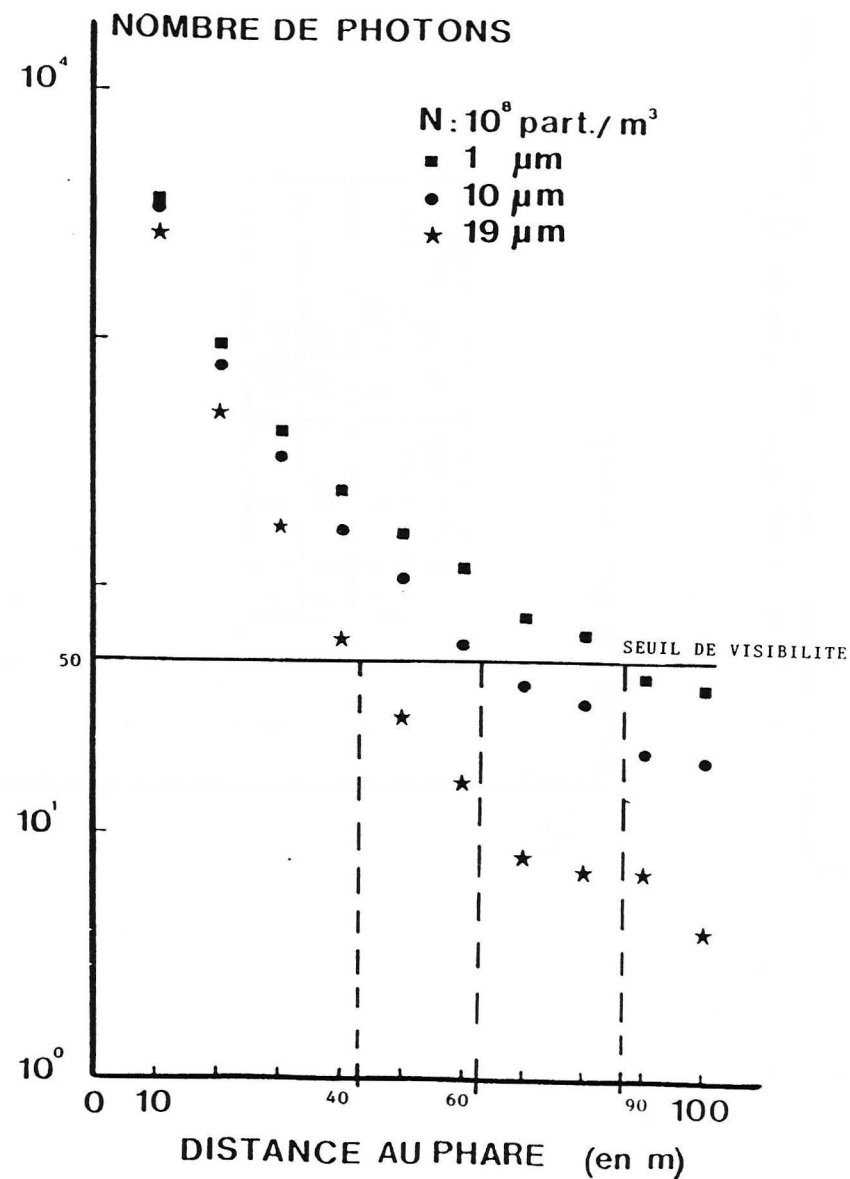


FIGURE 8 :

