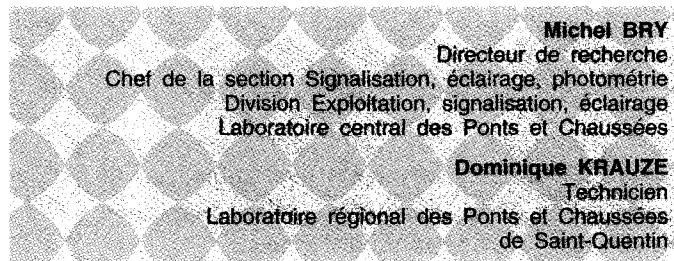


Recherche de seuils de contraste de luminance pour les marques de chaussées



RÉSUMÉ

La visibilité de jour et de nuit des marques de chaussées utilisées pour la signalisation horizontale constitue un élément important pour la sécurité des usagers de la route. Pour évaluer les seuils de contraste de luminance nécessaires à l'obtention d'une visibilité satisfaisante, les laboratoires des Ponts et Chaussées ont réalisé une étude avec une cinquantaine d'observateurs circulant sur trente-trois zones convenablement sélectionnées, réparties sur un circuit routier d'environ 200 kilomètres.

Les appréciations des observateurs pour le jour et la nuit, comparées aux résultats de mesures réalisées avec ECODYN, ont permis, d'une part, de valider le bien-fondé des valeurs de R_L actuellement exigées sur les routes françaises ($150 \text{ mcd m}^{-2} \cdot \text{lx}^{-2}$) et, d'autre part, de proposer des valeurs pour les contrastes de luminance.

MOTS CLÉS : 73 - Marquage (chaussée) - Luminance - Contraste - Limite - Visibilité - Jour (lumière) - Nuit - Conducteur.

Introduction

Les marques de chaussées utilisées pour la signalisation horizontale doivent être visibles de jour et de nuit pour assurer l'information et le guidage des usagers de la route et contribuer ainsi à la sécurité de leurs déplacements [1 à 7].

Au cours des dernières décennies le marquage des voies ouvertes au trafic s'est considérablement développé, tant en rase campagne sur les réseaux principaux et secondaires qu'en milieu urbain. Ce développement s'est accompagné d'un ensemble d'évolutions techniques touchant à la fois aux performances des produits, aux techniques d'application et aux moyens de contrôle sur le terrain [8 à 10]. Par ailleurs, des procédures de certification s'appuyant sur un corps normatif de plus en plus complet permettent de fournir aux applicateurs des produits de qualité constante adaptés à diverses conditions d'usage [14].

La qualité d'une marque de chaussées s'évalue en mesurant son coefficient de luminance sous éclairage diffus (Q_d), sa couleur (facteur de luminance β et coordonnées de chromaticité x, y), son coefficient de luminance rétro-réfléchie (R_L), son coefficient SRT (*Skid Resistance Tester*) et sa durabilité. Les valeurs de Q_d , β , x et y concernent la visibilité de jour, R_L la visibilité de nuit et le coefficient SRT la glissance. Pour l'usager de la route, la notion de durée de vie d'une marque est directement liée à sa visibilité de jour et de nuit. En effet, si le niveau nécessaire de l'une des caractéristiques n'est plus atteint, la marque ne remplit plus une de ses fonctions essentielles, sa limite de durée de vie est atteinte.

L'utilisateur de la route perçoit les marques dans un environnement qui n'est pas neutre pour leur visibilité. La qualité intrinsèque d'une marque n'est donc pas suffisante car l'œil est sensible au contraste de luminance qui existe entre la marque et le revêtement de la chaussée qui lui sert de support. En toute rigueur, l'évaluation de la qualité d'un marquage devrait donc se faire en intégrant les caractéristiques du support au moyen du contraste de luminance défini par la relation :

$$C = \frac{L_M - L_c}{L_c}$$

L_M et L_c étant respectivement les luminances du marquage et de la chaussée pour des conditions d'éclairage et d'observation données.

Ces conditions sont différentes pour le jour et la nuit, en particulier pour l'éclairage : les projecteurs des véhicules plus éventuellement un apport d'éclairage public pour la nuit, l'ambiance lumineuse naturelle pour le jour. La sensibilité au contraste de l'œil étant différente en fonction de son niveau d'adaptation, il y a lieu de considérer au moins deux valeurs de contraste l'une pour le jour (C_j) et l'autre pour la nuit (C_n).

Ces différentes considérations ont conduit le LCPC à intégrer la mesure de C_n et C_j dès l'origine du projet ECODYN [11].

Le matériel ECODYN, développé à partir de 1989 spécialement pour le contrôle en continu et sous trafic de la visibilité de jour et de nuit des marques, mesure le coefficient de luminance rétro-réfléchi R_L et les contrastes de jour et nuit C_j et C_n . L'utilisation de plus en plus importante d'ECODYN, d'abord en France, avec environ 100 000 km contrôlés en 1994, puis dans divers pays, fournit aux gestionnaires des tables de valeurs pour R_L , C_n et C_j .

Faute de connaissances précises relatives à des valeurs seuil de C_n et C_j répondant aux besoins des usagers de la route en situation de conduite et validées par plusieurs expériences, on utilise contractuellement le coefficient R_L .

Le manque de connaissance sur C_n et C_j résulte en partie des difficultés rencontrées pour organiser des études, dans des conditions réalistes, avec des observateurs en maîtrisant parfaitement les paramètres d'influence. Si, en laboratoire ou sur site protégé, on gère en général bien les principaux paramètres physiques des expériences, les situations de conduite réelles ou simulées sont par contre souvent éloignées de la réalité. Les expériences menées sur le terrain sont souvent plus réalistes pour la

conduite mais généralement insuffisante quant à la maîtrise et la constance des paramètres physiques.

Grâce aux appareils de mesure à grand rendement, capables de mesurer facilement sur un itinéraire les valeurs de R_L , C_n et C_j avec des pas de mesures faibles, se sont ouvertes de nouvelles perspectives pour organiser, sur le terrain, des études de visibilité des marques. Il est ainsi possible de sélectionner des zones dont les caractéristiques physiques des marques sont différentes et de faire procéder, par des observateurs, à l'évaluation de la visibilité des marques.

L'article présente les résultats de cette expérience, qui se décompose en trois phases :

- préparation et déroulement de l'expérimentation,
- traitement des données recueillies,
- analyse et discussion des résultats.

Il convient de noter que les mesures de R_L et C_n ont été réalisées avec une géométrie de mesure de $3,5^\circ$ pour l'angle d'éclairage et $4,5^\circ$ pour l'angle d'observation, et les mesures de C_j sous un angle d'observation de $4,5^\circ$. Les conclusions présentées ici, tirées des comparaisons des résultats de mesure avec les appréciations des observateurs, devront être pondérées pour d'autres géométries. On devra, en particulier établir les relations entre les résultats obtenus avec l'actuelle géométrie d'ECODYN et des résultats obtenus avec d'autres géométries de mesure.

Préparation et déroulement de l'expérimentation

Sélection des zones à observer

Dans une première phase, on a repéré des zones ayant une longueur suffisante pour permettre une durée d'observation d'au moins 30 s à des observateurs circulant normalement sur un itinéraire. La longueur retenue pour les zones est d'environ 1 000 m. Sur chaque zone les paramètres physiques étudiés (R_L , C_n et C_j) doivent être aussi constants que possible. Sur l'ensemble des zones retenues, l'étendue de valeurs doit être aussi grande que possible pour donner aux observateurs le moyen d'exprimer des jugements différents sur la visibilité des marques. En particulier, les revêtements routiers sont choisis de nature différente.

Pour limiter les jugements relatifs, les zones retenues ne comportent que des marques en axe. Les marques en rive pourraient en effet présenter des valeurs de R_L , C_n et C_j de niveaux différents

et conduire les observateurs à porter un jugement en comparant la qualité du marquage axial et celle du marquage en rive.

Une campagne de mesures ECODYN sur les chemins départementaux des environs de Saint-Quentin a permis de sélectionner 33 zones présentant des caractéristiques répondant aux critères retenus. Ces zones sont dispersées sur un itinéraire d'environ 200 km, chacune étant séparée de la suivante de plusieurs kilomètres afin de limiter les possibilités de comparaison.

Les valeurs obtenues des paramètres R_L , C_J , C_N avec ECODYN, sous un ciel couvert quelques jours avant les observations, figurent dans le tableau I (colonnes R_{LC} , C_{JC} et C_{NC}), ainsi que la nature des revêtements. Les valeurs des paramètres R_L , C_J , C_N sont très représentatives des résultats habituellement rencontrés sur les routes françaises.

Il convient de rappeler que la valeur de R_L habituellement exigée en France est de $150 \text{ mcd.m}^{-2}.\text{lx}^{-1}$ et que dix zones présentant des valeurs inférieures à ce seuil ont été volontairement retenues pour l'expérimentation.

Sélection des observateurs

Pour des questions pratiques d'organisation, la sélection des observateurs s'est faite sur invitation à partir d'une liste de personnes pouvant être *a priori* intéressées par l'étude. Chaque observateur disposant de son propre véhicule, il devenait ainsi possible d'organiser et de concentrer l'ensemble des observations sur une période de temps relativement courte et donc d'offrir sur chacune des zones des marques identiques à tous les observateurs. De plus, cette solution permet de couvrir un éventail aussi large que possible des conditions matérielles d'observations (type de véhicule, réglage des projecteurs, acuité visuelle des observateurs, expérience et mode de conduite des observateurs...).

Au total 52 observateurs ont participé aux observations de jour et 54 aux observations de nuit, répartis à bord de 26 véhicules pour le jour et 27 pour la nuit, à raison de deux observateurs par véhicule (un conducteur et un passager chargé de remplir les feuilles de résultats).

Les observateurs étaient des conducteurs expérimentés, d'âge relativement élevé et parcourant annuellement des distances nettement supérieures à la moyenne nationale (en moyenne 31 860 km/an). 60 % d'entre eux portaient des verres correcteurs. Les trois-quarts des véhicules étaient équipés de projecteurs blancs, les autres de projecteurs jaunes.

Ainsi, chacune des 33 zones a pu être vue de jour et de nuit par l'ensemble des observateurs sur une période de temps n'excédant jamais 3 heures.

Déroulement de l'expérimentation

Les observations se sont déroulées le 12 octobre 1994. Une brève réunion a permis de rappeler les objectifs de l'étude et de fournir à chaque observateur un dossier contenant différents documents utiles pour le bon déroulement de l'étude.

Chaque observateur devait indiquer s'il jugeait la visibilité des marques de chaque zone « acceptable » ou « insuffisante » en considérant d'une part la signalisation axiale dans sa globalité et, d'autre part, en considérant la visibilité d'une seule marque en tentant de l'isoler des marques voisines. Pour le jour, l'appréciation était complétée par l'heure d'observation et les conditions d'éclairement (ciel couvert, soleil de face, de dos ou de côté).

Durant les observations de jour une nouvelle série de mesures ECODYN a été réalisée dans le même créneau horaire afin d'intégrer les conditions d'éclairage naturel du jour des essais. Ces résultats figurent dans le tableau I (colonnes R_{LS} , C_{JS} et C_{NS}).

Les feuilles de résultats pour la visibilité de jour ont été collectées immédiatement après la fin des observations de jour afin de procéder à d'éventuels compléments d'information avant les observations de nuit. Les feuilles de résultats pour la visibilité de nuit ont été recueillies le lendemain matin au cours d'une réunion de bilan. Selon les véhicules, le passager et le conducteur ont soit, après discussion, rendu des résultats identiques, soit rendu des résultats différents. Dans le dépouillement tous les résultats ont été traités, même lorsqu'ils étaient identiques pour les deux observateurs.

Traitement des données

Dans une première étape, on a regroupé les résultats par zone : appréciations de jour (avec examen de l'heure de passage et indication de la position du soleil), appréciations de nuit, commentaires.... Dans une deuxième étape, les données ont été traitées graphiquement et au moyen de diverses méthodes d'analyse statistique et comparées aux résultats des mesures réalisées avec ECODYN.

Le tableau II donne pour chacune des 33 zones les appréciations moyennes fournies par les observateurs.

TABEAU I
Nature des revêtements et résultats des mesures réalisées avec Ecodyn sur les 33 zones
sous un ciel couvert (indice c) et sous un ciel ensoleillé (indice s)

	Revêtements	R_{LC} mcd.m ² .lx ⁻¹	C_{JC}	C_{NC}	R_{LS} mcd.m ² .lx ⁻¹	C_{JS}	C_{NS}
1	ES 10/14-4/6 Quartzite	134	1,15	7,60	119	0,93	7,10
2	ES 10/14-4/6 Quartzite	222	1,90	9,40	214	1,98	9,80
3	Non identifié	100	0,81	5,20	97	1,09	4,50
4	ES 6/10 Quartzite	170	1,80	8,80	179	1,92	8,60
5	ES 6/10 Quartzite	176	1,23	8,90	184	1,89	8,50
6	ES 6/10 Quartzite	103	0,94	6,30	103	1,14	6,20
7	ES 6/10 Silico	300	1,09	15,60	268	2,21	19,20
8	ES 6/10 Quartzite	408	1,30	22,80	285	2,19	21,60
9	BB 0/10	404	1,41	21,00	373	1,75	23,80
10	ES 10/14-4/6 Quartzite	226	1,25	14,80	248	2,10	18,20
11	BB 0/10	220	1,07	10,30	195	1,04	10,40
12	ES 6/10 Quartzite	105	1,55	8,70	94	1,74	10,20
13	BB 0/10	409	1,41	19,00	389	1,82	19,60
14	ES 6/10 Quartzite	471	1,87	18,80	416	1,72	18,40
15	ES 10/14-4/6 Quartzite	445	1,91	21,10	396	1,12	22,10
16	ES 6/10 Quartzite	418	1,61	18,50	360	1,06	19,20
17	ES 6/10 Quartzite	185	1,86	11,80	158	0,96	5,70
18	ES 10/14-4/6 Quartzite	466	2,34	16,20	436	1,23	13,60
19	ES 6/10 Quartzite	533	1,62	21,20	398	0,96	13,70
20	ES 10/14-4/6 Quartzite	472	1,50	23,90	369	1,20	12,10
21	ES 6/10 Quartzite	408	1,43	18,80	370	1,37	12,50
22	ES 6/10 Silico	131	0,78	8,30	128	0,36	4,30
23	BB 0/10	475	1,49	20,90	437	0,98	14,90
24	ES 10/14-4/6 Quartzite	141	1,00	6,40	125	0,74	4,40
25	ES 6/10 Quartzite	390	1,44	15,80	338	0,96	12,00
26	BB 0/10	406	1,59	16,00	298	0,89	9,90
27	ES 10/14-4/6 Quartzite	114	1,16	4,80	103	0,80	3,50
28	ES 6/10 Silico	122	1,05	6,20	120	0,41	4,00
29	BB 0/10	491	1,34	23,70	445	1,12	14,60
30	ES 6/10 Quartzite	135	1,04	9,20	136	1,12	4,60
31	ES 10/14-4/6 Quartzite	143	1,29	8,90	136	1,09	4,90
32	BB 0/10	152	1,21	9,20	155	0,87	5,60
33	ES 10/14-4/6 Quartzite	249	1,95	13,40	243	0,39	8,30

ES = enduit superficiel,
BB = béton bitumineux,
 R_{LC} , C_{JC} , C_{NC} = mesures réalisées sous un ciel couvert,
 R_{LS} , C_{JS} , C_{NS} = mesures réalisées sous un ciel ensoleillé.

TABLEAU II
Bilan des appréciations portées par les observateurs.
Pourcentage de situations « acceptables » de jour et de nuit sur chacune des 33 zones

	Jour					Nuit	
	% A _{cc} /J _{SA}	% A _{cc} /J _{MI}	Face	Côté	Dos	% A _{cc} /N _{SA}	% A _{cc} /N _{MI}
1	71	37	50	50	0	96	88
2	98	94	0	17	83	91	90
3	2	6	0	33	67	4	10
4	98	90	0	54	46	98	92
5	79	73	0	0	100	80	83
6	31	29	0	85	15	35	29
7	73	69	4	59	37	91	85
8	100	96	4	40	56	98	90
9	100	96	4	92	4	100	100
10	100	94	4	21	75	100	96
11	92	83	4	63	33	100	64
12	85	79	4	63	33	70	56
13	100	96	0	96	4	100	100
14	90	79	88	8	4	98	98
15	92	69	92	4	4	100	100
16	54	35	88	8	4	94	90
17	94	83	52	48	0	91	83
18	100	94	60	40	0	100	96
19	92	85	100	0	0	100	98
20	100	96	27	73	0	100	100
21	100	94	12	88	0	100	100
22	4	6	96	4	0	30	33
23	98	94	0	100	0	100	100
24	67	38	0	96	4	69	50
25	98	81	0	100	0	96	100
26	98	87	23	77	0	100	96
27	19	27	62	38	0	39	31
28	33	12	92	8	0	48	31
29	92	79	88	8	4	94	94
30	19	8	4	81	15	17	17
31	81	50	4	63	33	81	62
32	94	85	0	16	84	94	85
33	100	94	4	96	0	100	100

% A_{cc}/J_{SA} = pourcentage acceptable pour le jour, signalisation axiale,

% A_{cc}/J_{MI} = pourcentage acceptable pour le jour, marque isolée,

% A_{cc}/N_{SA} = pourcentage acceptable pour la nuit, signalisation axiale,

% A_{cc}/N_{MI} = pourcentage acceptable pour la nuit, marque isolée,

Face = pourcentage des observateurs ayant vu les zones avec le soleil de face,

Côté = pourcentage des observateurs ayant vu les zones avec le soleil de côté,

Dos = pourcentage des observateurs ayant vu les zones avec le soleil de dos.

Parmi les commentaires recueillis, on peut citer que :

- des marques peu visibles avec le soleil de face sont très visibles avec le soleil de dos,
- la visibilité des flèches de rabattement est jugée très souvent insuffisante (principalement de nuit) alors que la visibilité des autres marques est satisfaisante,
- il est difficile de dissocier une marque individuelle de l'ensemble des marques axiales,
- de nombreux observateurs considèrent que certaines zones présentent des marques peu visibles de jour et très visibles de nuit. Ce commentaire n'est pas vraiment confirmé à l'examen des appréciations données dans le tableau II,
- la qualité du marquage est jugée hétérogène sur quelques zones aussi bien de jour que de nuit.

À la question posée à tous les observateurs à l'issue des essais : la visibilité moyenne de jour de la signalisation horizontale des 33 zones observées vous paraît-elle :

- a) représentative de la visibilité de jour de la signalisation horizontale des routes françaises ?
- b) plutôt meilleure ?
- c) plutôt moins bonne ?
- d) ne sais pas.

Les réponses sont respectivement pour chacune des quatre propositions : 45 %, 35 %, 16 % et 4 % avec une note moyenne attribuée par les observateurs de 12,5 sur 20. Cette appréciation moyenne sur la visibilité de jour est à rapprocher de la valeur moyenne, 1, 4, de C_j mesurée avec ECODYN.

À la même question concernant les observations de nuit, les réponses sont respectivement pour chacune des quatre propositions : 34 %, 58 %, 4 % et 4 % avec une note moyenne de 14,9 sur 20. Cette appréciation moyenne sur la visibilité de nuit est à rapprocher des valeurs moyennes pour R_L et C_N mesurées avec ECODYN : respectivement $282 \text{ mcd.m}^{-2}.\text{lx}^{-1}$ et 13,7.

Analyse et discussion des résultats

Comparaison des résultats des mesures ECODYN réalisées avant les observations (ciel couvert) et durant les observations (ciel sans nuage)

Les figures 1, 2 et 3 représentent les valeurs de R_L , C_N et C_j obtenues sous un ciel couvert (indice c) et sous un ciel ensoleillé (indice s).

Les valeurs des coefficients de corrélation obtenus entre les mesures effectuées sous un ciel couvert et sous un ciel ensoleillé pour R_L , C_N et C_j sont respectivement de 0,978, 0,823 et 0,167.

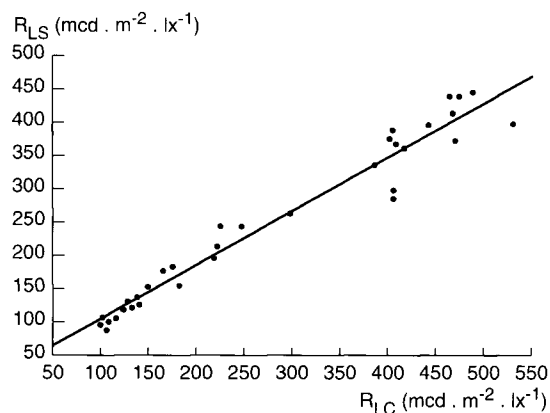


Fig. 1 - Représentation des valeurs du coefficient de R_L obtenus sous ciel ensoleillé en fonction de obtenus sous ciel couvert.

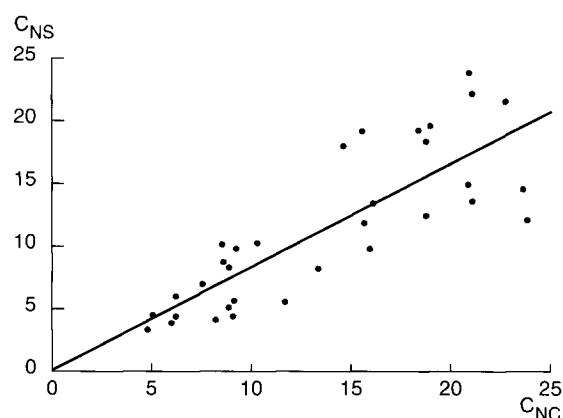


Fig. 2 - Représentation des valeurs des contrastes de nuit C_N obtenus sous un ciel ensoleillé en fonction de C_N sous un ciel couvert.

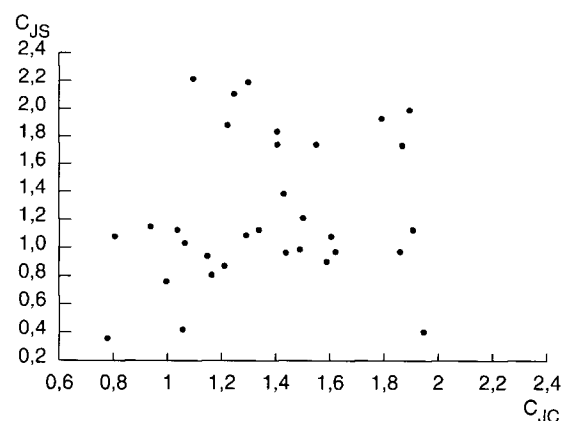


Fig. 3 - Représentation des valeurs des contrastes de jour C_j obtenus sous ciel ensoleillé en fonction de C_j obtenus sous ciel couvert.

Les variations des valeurs des contrastes de jour C_j entre les deux séries de mesures sont tout à fait explicables puisque le coefficient de réflexion d'une surface varie en fonction des angles d'éclairage et d'observation. Les mesures réalisées avec ECODYN en présence de soleil ne sont significatives que pour la position du soleil au moment des essais et ne peuvent être extrapolées à d'autres positions du soleil. Ainsi les mesures de C_j effectuées avec un ciel couvert sont les seules qui soient reproductibles. Elles permettent de caractériser un site et éventuellement d'effectuer des comparaisons avec un autre site.

Dans la suite de l'analyse et des discussions, seules les valeurs obtenues par temps couvert seront utilisées pour R_L et C_N ; pour C_j , les deux séries de mesures seront considérées.

Visibilité de la signalisation axiale et de marques isolées

Les appréciations portées en distinguant la signalisation axiale dans son ensemble des marques considérées isolément sont représentées pour le jour et la nuit sur les figures 4 et 5. Pour l'ensemble des résultats des 33 zones, au seuil de probabilité de 95 % le test de comparaison de séries appariées montre que l'hypothèse d'égalité des valeurs est rejetée pour la nuit entre les valeurs de % Acc/N_{SA} et % Acc/N_{MI} . Les appréciations portées sur la signalisation axiale et les marques individuelles sont donc significativement différentes, l'écart moyen vaut 4,2 %.

Pour le jour, la conclusion est identique avec un écart moyen de 9,5 %. Dans les deux cas les écarts sont plus importants pour les zones pour lesquelles le degré de satisfaction des observateurs est voisin de 50 %. L'écart moyen plus important constaté pour les observations de jour provient vraisemblablement des conditions d'observation rendues plus difficiles dans de nombreux cas avec le soleil de face, avec des réflexions spéculaires importantes sur certaines zones, provoquant une gêne visuelle néfaste à l'observation des marques isolées.

En conclusion, il faut des exigences plus élevées pour assurer une visibilité équivalente des marques isolées (exemple : les flèches de rabattement). Dans ce qui suit, à cause des difficultés mentionnées par les observateurs pour évaluer avec précision les marques isolées, seuls les résultats relatifs à la signalisation axiale J_{SA} et N_{SA} seront considérés.

Exigence pour le coefficient de luminance rétrofléchie R_L

L'exigence française de $150 \text{ mcd.m}^{-2}.\text{lx}^{-1}$ pour le coefficient de luminance rétrofléchie R_L correspond à la géométrie de mesure pour les angles

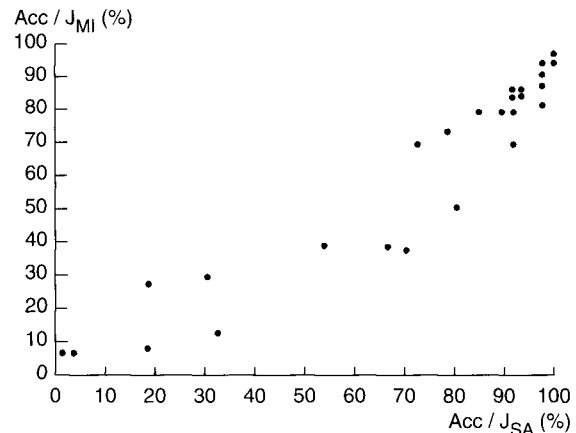


Fig. 4 - Pourcentage « Acceptable » d'une marque isolée en fonction du pourcentage « Acceptable » de la signalisation axiale pour les observations de jour.

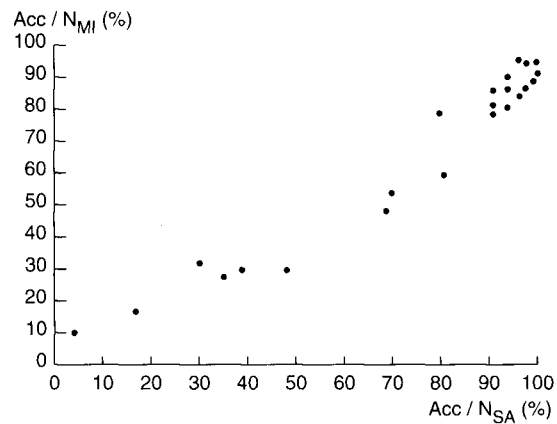


Fig. 5 - Pourcentage « Acceptable » d'une marque isolée en fonction du pourcentage « Acceptable » de la signalisation axiale pour les observations de nuit.

d'éclairage de $3,5^\circ$ et d'observation de $4,5^\circ$. Cette exigence a été fixée il y a plus de quinze ans sur les bases d'une expérience similaire.

Si l'on considère les pourcentages acceptables pour la nuit, signalisation axiale, obtenus en fonction des valeurs de R_L représentés sur la figure 6, 80 %, au moins, des observateurs considèrent la signalisation comme satisfaisante lorsque R_L est supérieur à $150 \text{ mcd.m}^{-2}.\text{lx}^{-1}$. En dessous de cette valeur, les appréciations sont très hétérogènes pour des valeurs de R_L sensiblement voisines. Ces résultats confirment donc ceux enregistrés lors de l'étude précédente.

Exigence pour le contraste de nuit C_N

Si l'on considère les résultats présentés sur la figure 7, relation entre les valeurs de pourcentages acceptables pour la nuit, signalisation axiale et de C_N , 80 %, au moins, des observateurs considèrent la signalisation comme satisfai-

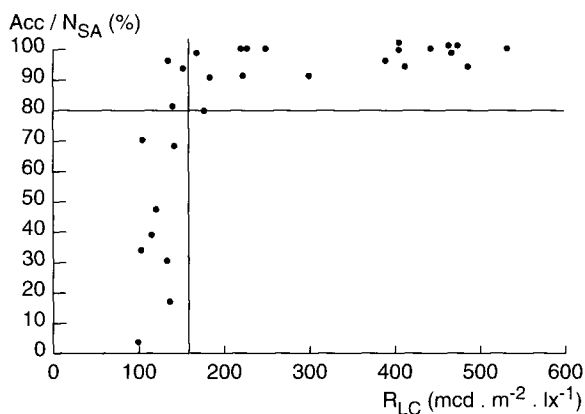


Fig. 6 - Pourcentage « Acceptable » de la signalisation axiale en fonction de R_L mesuré sous un ciel couvert.

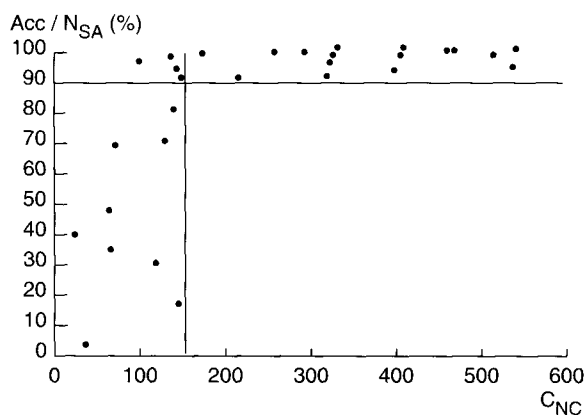


Fig. 7 - Pourcentage « Acceptable » de la signalisation axiale en fonction de C_{NC} mesuré sous un ciel ouvert.

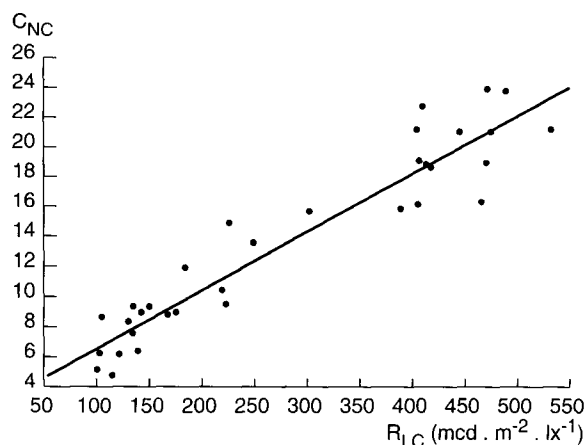


Fig. 8 - Contraste de luminance de nuit en fonction du coefficient de luminance rétro-réfléchie R_L .

sante lorsque C_N est supérieur à 10. En dessous, les appréciations sont très hétérogènes pour des valeurs de C_N voisines.

Le graphe de la régression entre les valeurs de R_L et C_N est représenté sur la figure 8.

La régression linéaire entre C_N et R_L donne la relation $C_N = 0,039 R_L + 2,72$, avec un coefficient de corrélation $R = 0,95$. Pour R_L égal à $150 \text{ mcd.m}^{-2}.\text{lx}^{-1}$ la valeur de C_N est ainsi de 8,6.

Au vu de ces résultats, il apparaît que sur les 33 zones étudiées les valeurs de R_L et C_N apportent la même information pour juger de la visibilité de nuit des marquages appliqués sur les revêtements. Il reste à vérifier que ce résultat est valable pour tous les types de revêtements routiers.

Une étude en laboratoire a montré que les valeurs de R_L des revêtements routiers français varient de 5 à $40 \text{ mcd.m}^{-2}.\text{lx}^{-1}$ selon qu'il s'agit de bétons bitumineux neufs ou d'enduits superficiels réalisés avec des granulats clairs. Le calcul des valeurs de R_L des revêtements des 33 zones expérimentales à partir de la relation

$$C_N = \frac{R_{L \text{ marquage}} - R_{L \text{ revêtement}}}{R_{L \text{ revêtement}}}$$

montre que les valeurs de R_L sont comprises entre $10,8 \text{ mcd.m}^{-2}.\text{lx}^{-1}$ pour le revêtement le plus noir et $27,1 \text{ mcd.m}^{-2}.\text{lx}^{-1}$ pour le revêtement le plus clair, avec une valeur moyenne de $18,5 \text{ mcd.m}^{-2}.\text{lx}^{-1}$.

Les deux valeurs extrêmes, qui présentent un rapport de 2,5, sont dans la fourchette des valeurs extrêmes trouvées en laboratoire dont le rapport est 8. En considérant ces données et les courbes de sensibilité au contraste en fonction de la luminance de fond de Blackwell [12], il est probable que la valeur seuil du contraste C_{NC} de 8,6 obtenue dans la présente étude devrait être augmentée pour les revêtements ayant des valeurs de R_L inférieures à $10 \text{ mcd.m}^{-2}.\text{lx}^{-1}$ et diminuée pour les revêtements ayant des valeurs de R_L proches de $40 \text{ mcd.m}^{-2}.\text{lx}^{-1}$ (la luminance de fond étant directement proportionnelle à R_L pour un éclairage obtenu avec un véhicule donné).

Exigence pour le contraste de jour C_j

Comme le montre la figure 3, les résultats de C_j donnés par ECODYN varient considérablement selon les conditions d'éclairage ambiant : ciel couvert ou journée ensoleillée. Les figures 9a et 9b présentent les valeurs de pourcentages accep-

tables pour le jour, signalisation axiale en fonction de C_{JC} et C_{JS} . La position du soleil au moment des observations est précisée (face, côté, dos) sur les figures.

On remarque que la distribution des points sur la figure 9a (à l'exception du point représentatif de la zone 16 : $C_{JC} = 1,61$ et $\%Acc/J_{SA} = 54$) est assez caractéristique des études réalisées avec des observateurs à qui l'on présente un stimulus d'intensité variable : performance faible jusqu'à un certain niveau, accroissement rapide de la performance pour de faibles accroissements de l'intensité du stimulus et, enfin, faible accroissement de la performance pour des accroissements importants du stimulus.

La distribution des points sur la figure 9b est plus dispersée pour $C_j \leq 1,2$. La position du soleil au moment des observations ne semble pas être le facteur explicatif de la dispersion.

De nombreuses zones observées ne présentaient pas une luminance homogène du revêtement au moment des observations (à cause d'une texture de surface hétérogène et d'un éclairage principalement directionnel), la méthode de mesure ECODYN, qui intègre une largeur de mesure de seulement 50 cm, ne rend que partiellement compte des impressions visuelles des observateurs, qui embrassent un champ beaucoup plus large et intègrent en partie les hétérogénéités. Les mesures effectuées avec un ciel couvert et donc avec des hétérogénéités plus faibles de luminance semblent mieux rendre compte des impressions visuelles surtout lorsque C_j est proche et inférieur au seuil de satisfaction des observateurs.

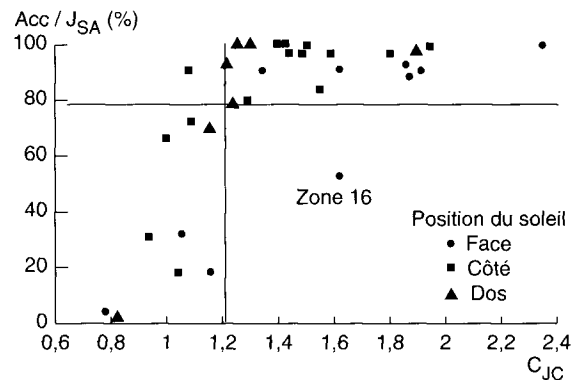
Il ressort cependant des figures 9a et 9b qu'une valeur de $C_j \geq 1,2$ satisfait dans presque tous les cas plus de 80 % des observateurs.

Actuellement, la visibilité de jour d'une marque de chaussées est estimée en mesurant son facteur de luminance β , avec des minima en France de 0,27 pour les revêtements bitumineux et de 0,40 pour les bétons de ciment.

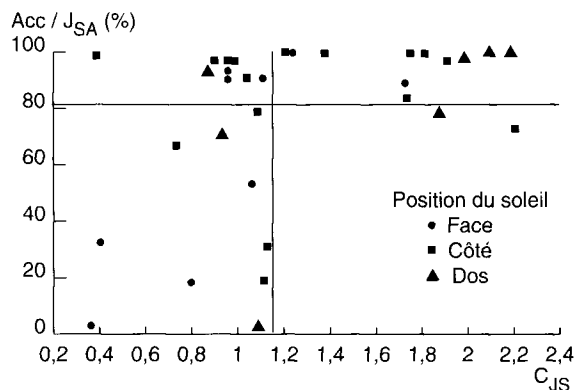
Les valeurs de β des chaussées françaises sont comprises entre 0,05 et 0,30 selon qu'il s'agit de bétons bitumineux neufs ou de bétons de ciment. En utilisant les valeurs de β , il est possible de calculer l'équivalent du contraste seuil utilisé ici. Une marque ayant une valeur de β de 0,40, appliquée sur une chaussée très claire ayant une valeur de β de 0,30 présenterait ainsi un contraste de 0,33. De la même façon une marque ayant une valeur de β de 0,27 appliquée sur une chaussée très foncée de β de 0,05, présenterait un contraste de 4,4.

Bien que les conditions d'éclairage et d'observation diffèrent entre la mesure de β avec un colorimètre et de C_j avec ECODYN, les deux valeurs de contraste calculées dans le paragraphe précé-

Fig. 9 - Pourcentage « Acceptable » de la signalisation axiale en fonction du contraste de luminance



a. Mesuré sous un ciel couvert.



b. Mesuré sous un ciel ensoleillé.

dent à partir de β (0,33 et 4,4) encadrent les résultats extrêmes obtenus pour C_j avec ECODYN sur les 33 zones :

$$C_j \text{ mini} = 0,36 \text{ et } C_j \text{ maxi} = 2,21.$$

Conclusions

Cette étude réalisée *in situ* avec des observateurs circulant dans des conditions normales de trafic de jour et de nuit s'est appuyée sur des résultats de mesures du coefficient de luminance rétro-réfléchie et du contraste de luminance avec l'appareil à grand rendement ECODYN.

Les réponses fournies par les observateurs, comparées aux résultats des mesures, permettent de tirer divers enseignements. Certains concernent des critères de qualité faisant déjà l'objet de spécifications comme R_L : il s'agit alors de vérifier le bien-fondé des valeurs existantes. D'autres concernent de nouveaux critères de qualité accessibles avec des appareils de type ECODYN comme C_N et C_j , pour lesquels il convient de définir les valeurs nécessaires aux usagers de la route.

Les marques isolées sont moins visibles que les marques groupées formant les lignes de délimitation de voies. Les exigences concernant les marques isolées devraient donc être plus élevées.

Pour R_L , le bien fondé de l'exigence française de $150 \text{ mcd.m}^{-2}.\text{lx}^{-1}$ pour la géométrie de mesure correspondant à des angles d'éclairage et d'observation de $3,5^\circ$ et $4,5^\circ$ est confirmé.

Le contraste de luminance de nuit C_N ne donne pas, pour les 33 zones étudiées, une information meilleure sur la visibilité de nuit des marques que la valeur de R_L . Il conviendra de vérifier cette conclusion sur des revêtements de chaussées présentant des valeurs de R_L supérieures et inférieures aux valeurs extrêmes rencontrées dans cette étude.

Au-delà d'un certain seuil de contraste de jour, mesuré sous un ciel couvert ou sous un ciel ensoleillé, les observateurs considèrent dans leur grande majorité les marques comme suffisamment visibles. Ce seuil se situe à environ 1,2.

Cette étude n'a pas permis, par faute de moyens adaptés à la mesure à grand rendement sur site du coefficient de luminance sous éclairage diffus (Q_d), d'établir une relation pour le jour entre les appréciations des observateurs et entre C_j et Q_d comme cela a été fait pour la nuit à partir des appréciations des observateurs et entre C_N et R_L . Les valeurs minimales fixées pour Q_d dans la norme européenne [13] restent donc à valider. Les valeurs de C_j observées dans cette étude fourniront une première information.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] (1988), Aspects visuels des marquages routiers, *Rapport technique CIE/AIPCR*, 73.
- [2] BRY M., COLOMB M. (1988), Visibilité de la signalisation, les besoins des usagers et les techniques disponibles, *Revue générale des routes et aérodromes*, 658, déc.
- [3] HELMERS G., LUNDKVIST S.O. (1991), Visibility distances to road markings in head-light illumination. *VTI, Meddelande* 657.
- [4] ETHEN J.L., WOLTMAN H.L. (1986), Minimum retroreflectance for nighttime visibility of pavement markings, *Transportation research record* 1093.
- [5] BARTON R., SANDERSON R., STAPLIN L. (1992), *Driver visibility retroreflectivity standards*, Proceedings of the 1992 annual conference of the transportation association of Canada, vol. 3.
- [6] CLEE H. (1991), More sight on night visibility : road marking, *CROW* vol. 65, 10, pp. 22-7.
- [7] SERRES A.-M., La visibilité des marquages routiers, *Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, 114, juillet-août, 198 pages.
- [8] DOMHAN M., SERRES A.-M. (1987), Des marquages visibles la nuit par temps de pluie, *Revue générale des routes et aérodromes*, 644, sept.
- [9] MESEBERG H.H., Neue Messmethoden zur Beurteilung der Lichttechnischen Eigenschaften von Fahrbahnmarkierungen, Forschungsgesellschaft fuer das Strassen und Verkehrswese E.V.
- [10] HUBERT R., CANESTRELLI, RICHARD J.-P., *Caractéristiques photométriques des revêtements routiers sous éclairage des projecteurs de véhicules, à l'état sec et à l'état humide*, Rapport de la division Exploitation, Signalisation, Éclairage du LCPC, (FAER 120 084/085).
- [11] BRY M., GUILLARD Y. (1990), Visibilité des marquages routiers : une nouvelle approche de qualification, *Revue générale des routes et aérodromes*, 678, oct.
- [12] BLACKWELL R.H., Contrast thresholds of the human eye, *Journal of the Optical Society of America*, vol. 36, 11, pp. 624-643.
- [13] (1994), Projet EN 1436. Horizontal road markings, Markings applied on the road, Performance for road users.
- [14] (1995), Règlement particulier - version 2 - *Marque nationale de conformité aux normes NF - Équipement de la route* - Août - éd. AFNOR/ASQUER.

ABSTRACT

Seeking contrast and luminance thresholds for pavement markings

M. BRY - D. KRAUZE

The visibility of pavement markings by day and night is an important factor of security for road users. To evaluate the thresholds of contrast and luminance necessary for satisfactory visibility, the Laboratoires des Ponts et Chaussées carried out a survey using some fifty observers driving in 33 selected zones on a road circuit covering about 200 km.

The day and night assessments of the observers, compared with the results of measurements made with ECODYN, validated the R_L values required on French roads ($150 \text{ mcd m}^{-2}.\text{lx}^{-2}$) and also enabled values for contrast and luminance to be proposed.