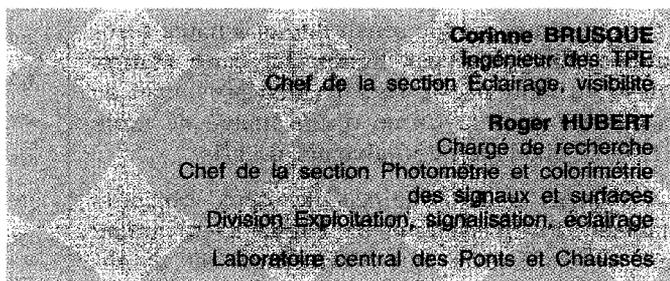


La métrologie de la luminance par caméra CCD Étalonnage et qualification du système MÉLUSINE



RÉSUMÉ

MÉLUSINE est un appareil de mesure de luminance mis au point par le réseau des laboratoires des Ponts et Chaussées. Il réalise des cartographies en luminance du champ visuel nocturne d'un usager de la route. Les mesures de luminance sont faites à partir d'images numérisées prises par une caméra CCD.

L'étalonnage en luminance du système est présenté ainsi que la mise en équation de l'abaque d'étalonnage de l'appareil.

La précision des mesures a été également évaluée. On a pu définir les conditions d'utilisation du système.

La qualification de MÉLUSINE a été effectuée par la comparaison de mesures de luminances de chaussée réalisées avec MÉLUSINE et avec un luminancemètre. Les écarts moyens obtenus, entre les deux systèmes de mesure, sont inférieurs à 5 %.

MOTS CLÉS : Appareil de mesure - Luminance - Caméra - Cartographie - Nuit - Champ de vision - Usager de la route - Traitement d'image - Étalonnage - Revêtement (chaussée) - Abaque - Mesure - Précision.

Introduction

La métrologie de la luminance par caméra CCD est en plein essor. Ses applications sont très diverses, que ce soit pour obtenir des cartographies de la luminance du ciel utilisées pour les calculs d'éclairage naturel, pour réceptionner une installation d'éclairage intérieur ou extérieur, ou encore en goniophotométrie pour mesurer les caractéristiques photométriques de luminaires ou de surfaces.

Le réseau des laboratoires des Ponts et Chaussées a développé un système de mesure à bas niveau de luminance, MÉLUSINE, pour analyser en termes de visibilité la qualité d'un aménagement nocturne [1].

La chaîne de mesure MÉLUSINE est constituée d'une caméra CCD, de deux objectifs et d'un filtre correcteur assurant une réponse spectrale du système de mesure assimilable à la fonction de sensibilité de l'œil humain.

Cet article présente les différentes phases de l'étalonnage et de la qualification du système de mesure, réalisées par le laboratoire de photométrie du LCPC [2].

Description du matériel

Le système de mesure est constitué par :

- une caméra CCD IMC500 avec un double système d'intensification du signal vidéo,
- un ordinateur portable,
- une carte Matrox PIP-1024B, qui assure la numérisation et l'affichage des prises de vue,
- une carte ISM205, qui assure le couplage de la caméra avec l'ordinateur.

La caméra IMC500 est commercialisée par la société I2S. Il s'agit d'une caméra matricielle CCD 2/3" d'une grande sensibilité et à haute résolution (500 points par ligne). La carte Matrox PIP-1024B numérise le signal vidéo provenant de la caméra sous la forme d'une image de taille 512*512 pixels, en 256 niveaux de gris.

La caméra a été équipée de deux objectifs (tableau I). Un système de bague a été ajouté aux objectifs afin que l'ouverture du diaphragme soit réglable par crans pour assurer la reproductibilité des réglages.

Réglage de la sensibilité de la caméra

La sensibilité du système peut être accrue soit en jouant sur le gain d'amplification du signal vidéo, soit en augmentant le temps d'exposition des images.

Le gain analogique peut prendre des valeurs comprises entre 0 et 255. Les niveaux 0 et 255 correspondent respectivement à une forte et une faible amplification du signal vidéo. L'observation des variations du niveau de gris numérisé par le système MÉLUSINE en fonction de la valeur du gain montre que l'étendue de l'amplification est de l'ordre de 10 et que l'amplification maximale peut être obtenue en diminuant le gain de 80 à 30 (fig. 1). Par la suite, les variations du gain seront limitées à cet intervalle.

Le temps d'exposition de la caméra peut varier de 1 ms à 1 000 ms. On a limité les variations du temps à l'intervalle [10 ms, 300 ms]. L'utilisation de temps supérieurs à 300 ms nécessite la mise en place d'un système de refroidissement pour réduire le bruit vidéo. De plus, on a écarté les temps d'exposition dont l'ordre de grandeur est inférieur à la demi-période du courant d'alimentation des sources d'éclairage. Par ailleurs, les temps retenus sont des multiples de cette demi-période.

Réponse spectrale de la caméra

La réponse spectrale de la caméra IMC500, dans le domaine visible (c'est-à-dire entre 380 nm et 740 nm), a été mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre « Optronic Laboratories ».

TABLEAU I
Caractéristique des objectifs

Référence de l'objectif	Monture	Focale	Taille du champ de prise de vue		Ouverture du diaphragme
			Horizontal	Vertical	
Schneider Xénon	C	17 mm	29° 5 à 10 m	22° 4 à 10 m	0,95 ; 1,4 ; 2 ; 2,8 ; 4 ; 5,6 ; 8
Schneider Xénon	C	50 mm	9° 4,7 à 30 m	7° 3,7 à 30 m	0,95 ; 1,4 ; 2 ; 2,8 ; 4 ; 5,6 ; 8

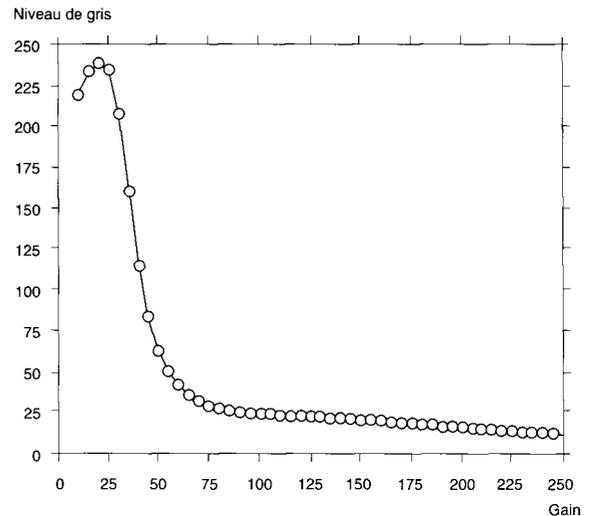


Fig. 1 - Intensification du signal vidéo en fonction de la valeur du gain.

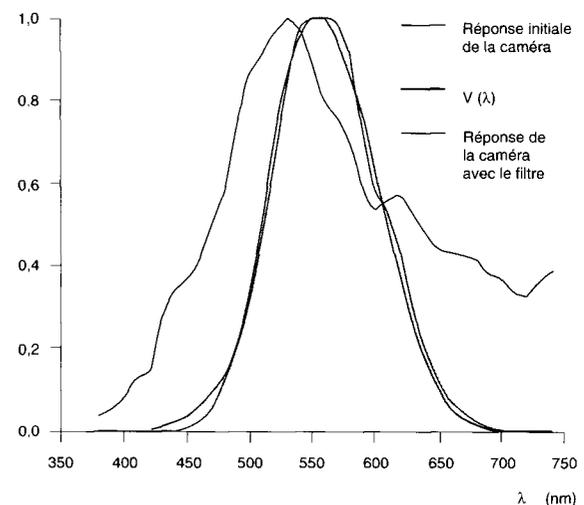


Fig. 2 - Réponse spectrale de la caméra avec et sans filtre.

La réponse de la caméra est très éloignée de la fonction spectrale de sensibilité de l'œil humain $V(\lambda)$ dans le domaine photopique. On a donc calculé le filtre qu'il fallait adapter à la caméra pour que la réponse spectrale du système soit assimilable à la courbe $V(\lambda)$.

Le filtre retenu est une combinaison collée de deux filtres Schott : un filtre FG 13 d'épaisseur 2,50 mm et un filtre BG 39 d'épaisseur 1,15 mm. Sa transmittance maximale est égale à 35 %.

En contrepartie d'une baisse notable de la sensibilité du système (de l'ordre de 70 %) qui sera compensée par une augmentation du temps d'exposition, on peut considérer que la réponse spectrale de l'appareil de mesure MÉLUSINE est assimilable à la courbe $V(\lambda)$ (fig. 2). La mesure de luminance pourra donc être réalisée quelle que soit la couleur des objets présents dans le site et quelles que soient les sources d'éclairage utilisées.

Étalonnage en luminance du système

L'étalonnage consiste à déterminer, pour les différents réglages de la caméra, la relation qui lie la luminance et le niveau de gris numérisé par MÉLUSINE.

Comme pour tout appareil électronique, l'utilisation de MÉLUSINE nécessite un temps d'attente préalable afin que le système se stabilise. On a donc, tout d'abord, déterminé le temps de stabilisation du système, qui est de l'ordre de 30 minutes.

Réglage du niveau de référence du signal vidéo

Pour compenser la dérive du signal de sortie de la caméra, on a la possibilité de régler l'offset de la carte Matrox. On a ajusté, pour différents réglages de la caméra, la valeur d'offset afin d'obtenir, lorsqu'on ferme complètement le diaphragme, un niveau de référence égal à 5 pour l'ensemble des pixels de la zone test. Le niveau 5 a été fixé arbitrairement comme origine. On a ainsi déterminé pour une série de couples (temps d'exposition, gain analogique) la valeur d'offset à appliquer à la carte Matrox. Cette opération a été réalisée deux fois et la mise en équation de l'abaque de l'offset a été effectuée à partir des données moyennées (fig. 3).

Grâce à un changement de variable, les variations de l'offset (O), pour un temps donné (t), sont modélisées en fonction du logarithme du gain (G), par une fonction du second degré :

$$O = c + b * \lg(G) + a * [\lg(G)]^2$$

Les variations des coefficients a, b et c, en fonction du temps, peuvent être décrites par un modèle linéaire.

Le modèle de régression multiple suivant permet d'ajuster les variations de l'offset en fonction du gain et du temps d'exposition :

$$O = A + B * t + C * \lg(G) + D * t * \lg(G) + E * [\lg(G)]^2 + F * t * [\lg(G)]^2$$

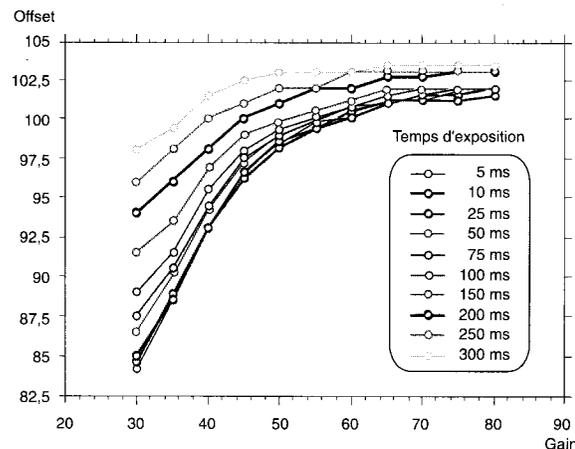


Fig. 3 - Variations de l'offset pour différents gains analogiques et temps d'exposition.

Le coefficient de corrélation multiple R est égal à 0,997. On a vérifié que tous les coefficients du modèle étaient significativement différents de zéro.

La valeur de l'offset à appliquer à la carte Matrox étant une valeur entière comprise entre 0 et 255, on prend la valeur entière la plus proche de la valeur de l'offset déterminée par le modèle.

Définition de l'abaque d'étalonnage en luminance de MÉLUSINE

L'étalonnage en luminance de MÉLUSINE a été réalisé dans la chambre noire du laboratoire de photométrie du LCPC (fig. 4).

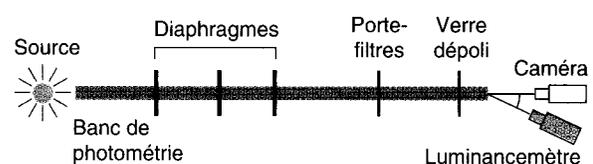


Fig. 4 - Schéma de principe de l'étalonnage en luminances.

On a utilisé une source à incandescence dont l'alimentation est stabilisée et dont le spectre est proche de celui de l'illuminant A¹. Un verre dépoli permet de générer une plage de luminance uniforme (la dispersion étant inférieure à 2 %). Une série de diaphragmes est disposée le long du trajet lumineux, afin d'éliminer les interférences de la lumière. La variation de la luminance de la plage est obtenue en faisant varier la

¹ Lampe à incandescence de température de couleur égale à 2 856 K.

distance séparant le verre dépoli et la source et en disposant des filtres neutres. L'écart angulaire entre la direction de visée de la caméra et celle du luminancemètre est de l'ordre de 2 degrés.

La plage de luminance homogène est de forme circulaire. La zone de mesure du luminancemètre recouvre l'ensemble de la plage, par contre, la zone de mesure de MÉLUSINE est un carré inscrit dans la zone circulaire de taille 100×100 pixels. Le système calcule le niveau de gris moyen et son écart type dans la zone.

Prise en compte du gain et du temps d'exposition dans l'abaque d'étalonnage

La correspondance luminance - niveau de gris moyen a été déterminée pour une série de réglages de la caméra équipée de l'objectif Schneider Xénon 50 mm, l'ouverture du diaphragme étant égale à 0,95 (tableau II).

TABLEAU II
Réglages de la caméra utilisés pour l'étalonnage

Temps d'exposition (ms)	Gain analogique	Ouverture du diaphragme
10	30, 40, 55, 70, 80	\varnothing 0,95
20	30, 40, 55, 70, 80	\varnothing 0,95
100	30, 40, 55, 70, 80	\varnothing 0,95
200	30, 40, 55, 70, 80	\varnothing 0,95
300	30, 40, 55, 70, 80	\varnothing 0,95

Les relations liant la luminance de la plage et le niveau de gris moyen mesuré par MÉLUSINE (N_G) peuvent être modélisées par un réseau de droites (fig. 5). Si on soustrait au niveau de gris la valeur du niveau de gris de référence, qui a été fixée arbitrairement à 5, l'ensemble des droites de régression passe par l'origine. Le coefficient

de corrélation correspondant à ces droites est égal à 1.

$$L = a * (N_G - 5)$$

où L est la luminance et N_G le niveau de gris.

Pour mettre en équation l'abaque d'étalonnage, il faut connaître les variations de la pente, a, de la droite en fonction du gain analogique et du temps d'intégration. Si l'on multiplie le coefficient a par la valeur du temps d'exposition, on constate que les variations de la variable « a * t » ne sont plus expliquées que par les variations du gain. Les variations de la variable « a * t » peuvent être modélisées par un polynôme du second degré fonction du logarithme du gain, le coefficient de corrélation est égal à 0,999.

$$a * t = A + B * \lg(G) + C * [\lg(G)]^2$$

Prise en compte de l'ouverture du diaphragme dans l'abaque d'étalonnage

Pour prendre en compte l'ouverture du diaphragme des objectifs dans l'abaque d'étalonnage de MÉLUSINE, il suffit d'appliquer un coefficient multiplicatif à l'équation d'étalonnage obtenue précédemment pour l'ouverture 0,95 de l'objectif Schneider Xénon 50 mm (fig. 6). Pour estimer les valeurs des coefficients, on a mesuré, pour une série de valeurs de luminance, le niveau de gris moyen numérisé par MÉLUSINE, pour les différentes ouvertures des objectifs Schneider Xénon 50 mm et 17 mm.

Le coefficient multiplicatif $Coeff_i$, correspondant à l'ouverture i du diaphragme, que l'on doit appliquer à l'abaque d'étalonnage, se déduit des niveaux de gris $N_{G,0,95}$ et $N_{G,i}$, mesurés respectivement pour l'ouverture 0,95 et pour l'ouverture i, de la manière suivante :

$$C_i = \frac{N_{G,0,95} - 5}{N_{G,i} - 5}$$

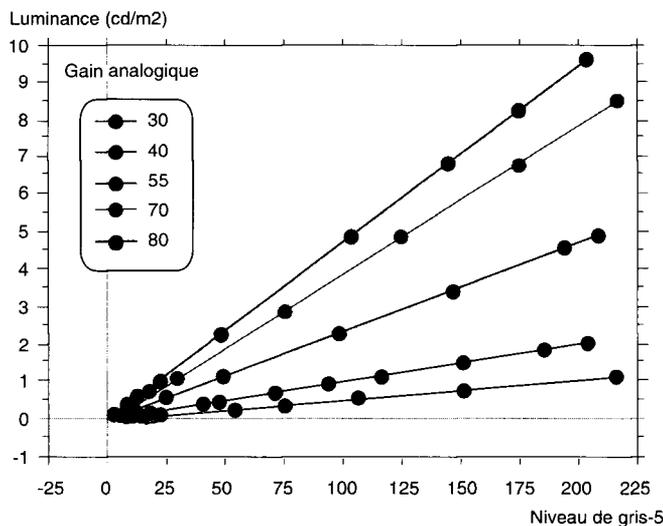


Fig. 5 - Relation entre le niveau de gris et la luminance pour différentes valeurs de gain et un temps d'exposition de 200 ms.

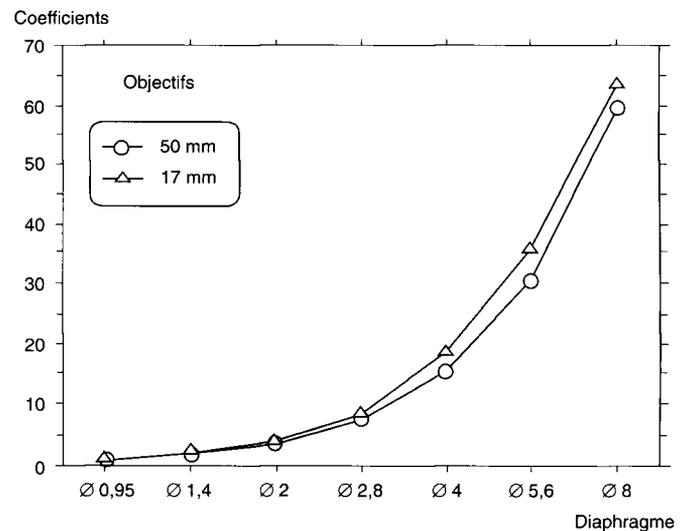


Fig. 6 - Variations du coefficient multiplicatif à appliquer à l'abaque d'étalonnage en fonction de l'ouverture du diaphragme.

L'abaque d'étalonnage en luminance du système a été calculé. Quel que soit le réglage utilisé pour la prise de vue (ouverture du diaphragme, temps d'exposition et gain analogique), cet abaque permet de mettre en correspondance le niveau de gris numérisé par la caméra et la luminance de la plage mesurée.

La plus petite différence de luminance mesurable est égale à $0,004 \text{ cd/m}^2$ et la luminance maximale mesurable est $14\,000 \text{ cd/m}^2$.

Précisions des mesures

Estimation du niveau de bruit vidéo

Lors de l'étalonnage en luminance on a calculé, pour chaque plage de luminance et chaque réglage du système, le niveau de gris moyen numérisé par MÉLUSINE et l'écart type correspondant. Le coefficient de variation du niveau de gris constitue une estimation du bruit vidéo, c'est-à-dire de la précision des mesures ponctuelles réalisées avec l'appareil. Le bruit vidéo croît lorsque le temps d'exposition augmente et lorsque la valeur du gain diminue. De plus, le bruit vidéo varie en fonction du niveau de gris moyen.

La précision des mesures est de l'ordre de 5 % pour des niveaux de gris supérieurs à 64. Par contre, l'erreur peut atteindre, pour certains réglages, 50 % pour de faibles niveaux de gris (fig. 7). Il faudra donc privilégier, lors de la mesure, les réglages de la caméra permettant d'obtenir, après numérisation, un histogramme des niveaux de gris pour lequel la plage de niveaux de gris [0, 64] est sous-représentée. Dans la mesure du possible, l'utilisation des gains 30 et 40 est à éviter. Dans le cas où ceux-ci seraient utilisés, on préférera, si la zone considérée présente une luminance homogène, le calcul de la luminance moyenne de la zone plutôt que le relevé ponctuel de luminance.

Estimation du niveau de l'hétérogénéité spatiale

L'hétérogénéité spatiale (ou bruit spatial), c'est-à-dire la réponse non uniforme du système à une même sollicitation lumineuse suivant la localisation de celle-ci dans l'image, est due à la fois au vignettage de l'objectif et à la non-uniformité éventuelle de la réponse du capteur CCD.

Pour mettre en évidence le bruit spatial, il n'était pas possible techniquement de solliciter l'ensemble du champ de la caméra avec une plage de luminance homogène. On a donc utilisé une zone de luminance homogène de forme carrée et de dimension angulaire $0,46^\circ$ et on a mesuré la réponse de MÉLUSINE à cette sollicitation en

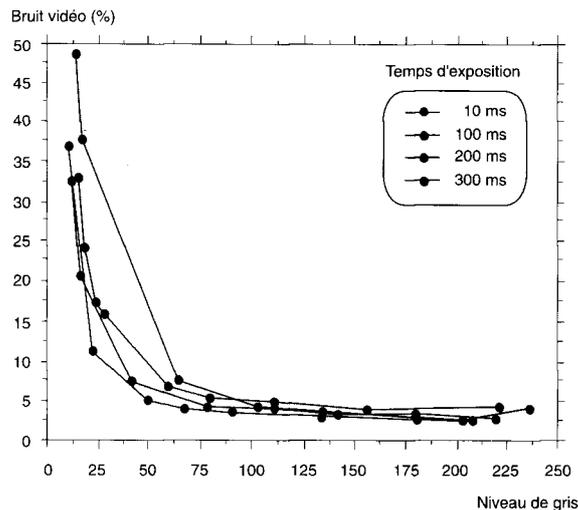


Fig. 7a - Variations du bruit vidéo pour un gain de 30 en fonction du niveau de gris et en fonction du temps d'exposition.

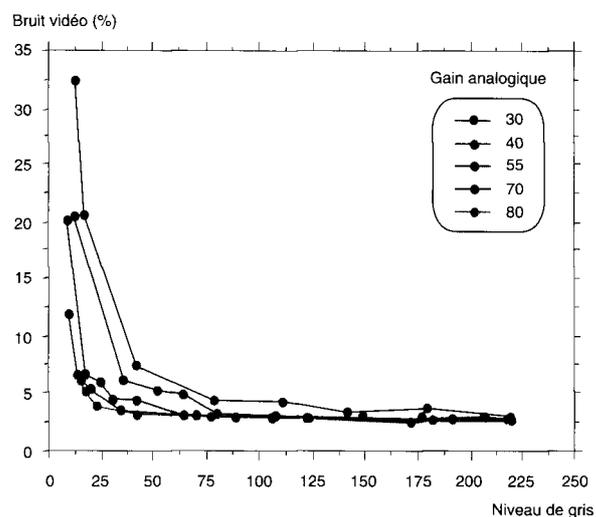


Fig. 7b - Variations du bruit vidéo pour un temps d'exposition de 100 ms en fonction du niveau de gris et en fonction du gain.

fonction de la localisation du stimulus dans le champ de la caméra. L'estimation de l'hétérogénéité spatiale a été réalisée pour différentes ouvertures de diaphragme des deux objectifs Schneider Xénon 50 mm et 17 mm et pour 63 localisations de la plage. Le déplacement de la sollicitation dans le champ de la caméra a été fait en disposant la caméra sur un plateau tournant et en lui faisant décrire deux mouvements de rotation ; un dans le plan vertical et l'autre dans le plan horizontal. L'estimation du bruit spatial est présentée sous la forme d'un tableau à sept lignes et neuf colonnes donnant, pour chaque position, l'écart relatif de la réponse du système par rapport à la réponse au centre de l'image, l'écart étant exprimé en pourcentage.

Le bruit spatial est maximum pour l'ouverture maximale des objectifs et décroît lorsqu'on réduit l'ouverture du diaphragme (fig. 8). Pour les ouvertures de diaphragme inférieures à 1,4,

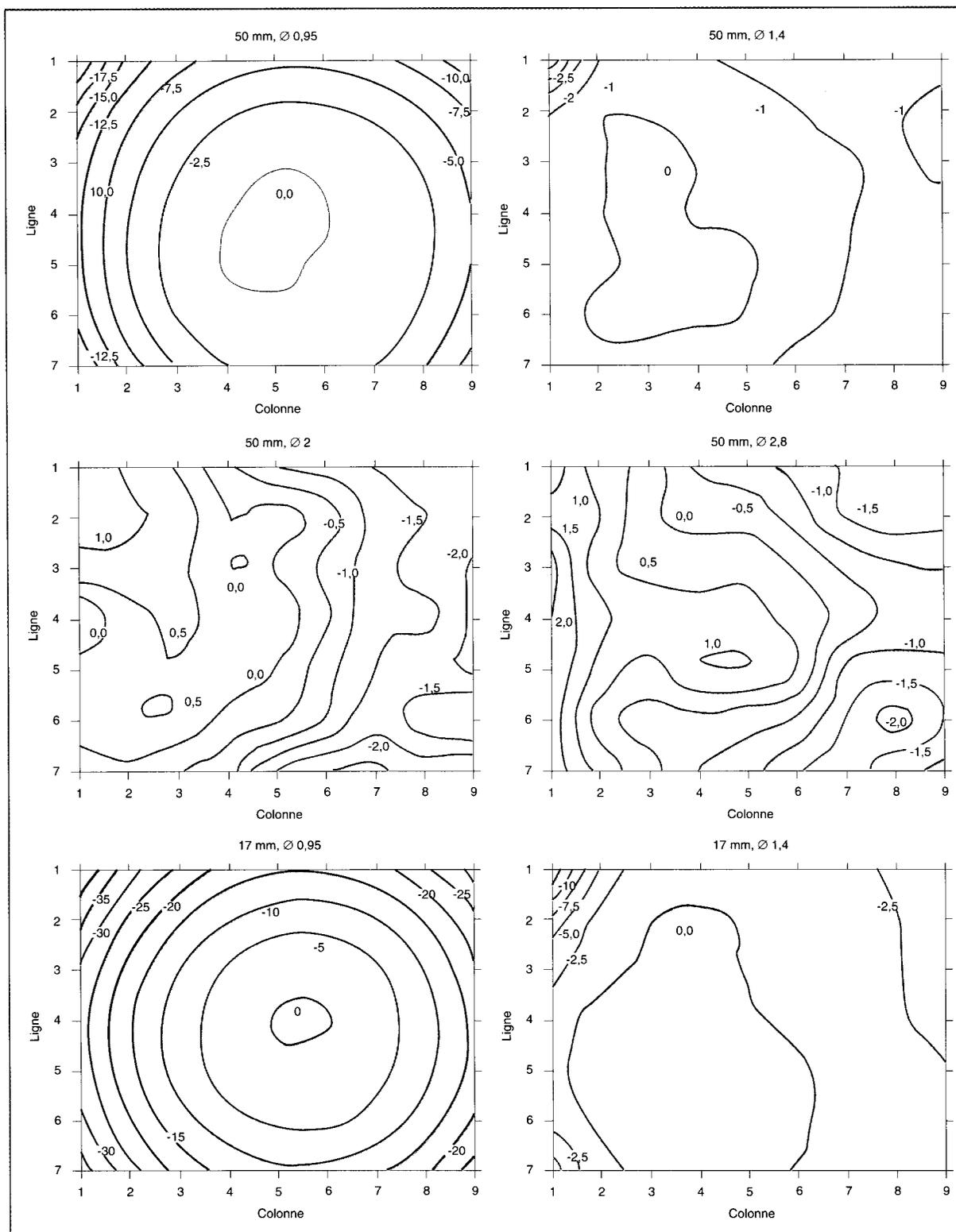


Fig. 8 - Cartographies du bruit spatial (en %) pour les deux objectifs.

le vignettage de l'objectif est le phénomène prépondérant générant le bruit spatial. Au-delà, le bruit spatial est dû principalement à la non-uniformité de la réponse du capteur CCD. On constate une décroissance de la réponse du capteur, le long des lignes de l'image, de la gauche vers la droite, de l'ordre de 6 % .

L'hétérogénéité spatiale due au vignettage présente une symétrie circulaire dont le centre est décalé par rapport au centre géométrique du champ de la caméra. Le bruit spatial est, ainsi, maximum pour les bords gauche et supérieur de l'image. Ce phénomène s'explique par le fait que le centre optique des objectifs, le centre géomé-

trique du capteur CCD et le centre géométrique de l'image fournie par la caméra ne coïncident pas parfaitement. Le décalage peut être estimé à 30 pixels en horizontal et 40 pixels en vertical, ce qui correspond à une erreur de centrage de l'ordre de 0,5 mm.

Pour les ouvertures supérieures ou égales à 2, les écarts sont négligeables. Pour les ouvertures 1,4 du 50 mm et du 17 mm, il est préférable de réduire la surface utile de l'image en éliminant la bande verticale de 60 pixels de largeur située à gauche de l'image. Ceci entraîne une réduction de 18 % de la surface utile. Pour l'ouverture 0,95 de l'objectif 50 mm, il est conseillé de travailler uniquement dans la partie centrale de l'image, en réduisant de 45 % la surface utile de l'image afin de limiter l'écart maximum à 5 %. L'utilisation de l'ouverture \varnothing 0,95 pour l'objectif 17 mm est, par contre, à proscrire.

Influence de la température sur la mesure effectuée par MÉLUSINE

Pour mettre en évidence l'influence de la température sur la mesure effectuée par MÉLUSINE, la caméra a été placée dans une enceinte climatique. La caméra visait une surface de luminance homogène située à l'extérieur de l'enceinte. Pour différents paliers de température, après un temps de stabilisation de l'ordre de 50 mm, on a mesuré le niveau de gris moyen numérisé par la caméra.

Toutes les phases précédentes de l'étalonnage ayant été réalisées pour une température de l'ordre de 20 °C, on a estimé les écarts de mesure obtenus en fonction de la température. L'utilisation nocturne de MÉLUSINE permet de se limiter aux températures inférieures à 25 °C. Pour l'intervalle [10 °C, 25 °C] les écarts sont compris entre ± 2 %. Pour des températures inférieures à 10 °C, les mesures devront être réalisées en plaçant le système MÉLUSINE à l'intérieur d'un véhicule.

Qualification de l'appareil

La qualification de MÉLUSINE a consisté à comparer, sur site, les mesures de luminances réalisées avec MÉLUSINE à celles d'un luminancemètre. La qualification a été effectuée sur la piste d'éclairage du Laboratoire régional des Ponts et Chaussées de Rouen. Il s'agit d'une chaussée de 7 m de large et de 400 m de long, équipée d'une installation d'éclairage. L'installation se compose de cinq points de feu dont l'espacement ainsi que la hauteur et l'inclinaison des luminaires sont réglables.

Un semis de points de mesure a été défini sur la chaussée entre le deuxième et le troisième luminaires. Le semis est constitué de 28 points de

mesure espacés de 5 m dans le sens longitudinal et 1,75 m dans le sens transversal. Le luminancemètre et la caméra étaient disposés à 50 m du deuxième luminaire et à une hauteur de 1,2 m. Placés au centre de la chaussée, les deux appareils de mesure étaient distants d'environ 1 m. Le luminancemètre utilisé est un luminancemètre PRITCHARD, qui possède cinq ouvertures circulaires de diamètre respectif 3 °, 1 °, 20', 6' et 2'. Les mesures de la luminance de chaussée ont été réalisées avec l'ouverture du diaphragme de diamètre 2'. Les mesures avec MÉLUSINE ont été faites avec l'objectif 50 mm et pour six réglages de la caméra (tableau III).

Pour mesurer avec MÉLUSINE, la luminance, en chaque point du semis on a utilisé une fonctionnalité du logiciel de traitement qui permet de saisir une prise de vue avec des marqueurs de position. Cette vue est utilisée comme « toile de fond » lors du relevé des valeurs de luminances afin de définir, avec plus de précision, les zones de mesure de luminance. Les marqueurs utilisés sont des plots, placés en chaque point du semis et éclairés par les phares du véhicule d'essai. La luminance en chaque point du semis a été relevée sur une zone rectangulaire enveloppant le plot et en calculant la luminance moyenne correspondante. La surface des zones variait de 16 à 6 pixels suivant la distance du point de mesure à la caméra.

On a comparé les luminances ponctuelles de la chaussée mesurées avec le luminancemètre et avec MÉLUSINE. On a calculé, pour chaque réglage de la caméra, l'écart systématique et l'écart relatif. Ils restent respectivement inférieurs, en valeur absolue, à 0,06 cd/m² et à 2 % (fig. 9 et tableau III). Si l'on compare les réponses du luminancemètre et de MÉLUSINE, pour l'ensemble des six réglages, la moyenne des écarts peut être considérée comme égale à zéro, au seuil de probabilité de 95 %.

On a estimé les luminances moyenne (L_{moy}), minimale (L_{min}) et maximale (L_{max}) de la chaussée ainsi que les uniformités générale (U_g), longitudinale (U_l) et transversale (U_t) à partir des deux séries de mesures (fig. 10).

L'écart d'estimation des deux systèmes de mesure est de 0,3 % pour la luminance moyenne ; l'écart augmente pour les luminances extrêmes et atteint 1 % et 5 % respectivement pour les luminances minimale et maximale. En ce qui concerne les uniformités, l'écart moyen reste inférieur à 5 %. Lors de l'expérimentation, un léger biais a été introduit, par le décalage de positionnement du luminancemètre et de MÉLUSINE.

TABLEAU IV

Écart systématique et écart relatif entre les luminances ponctuelles de la chaussée mesurées avec le luminancemètre et avec MÉLUSINE, en fonction des réglages de la caméra.

Réglages de la caméra			Luminance maximale mesurable (cd/m ²)	Précision (cd/m ² /N _G)	Écart systématique (cd/m ²)	Écart relatif (%)
Objectif	Temps	Gain analogique				
50 mm, 1,4	300	55	7,14	0,030	0,049	1,67
50 mm, 0,95	300	80	7,47	0,032	0,053	1,81
50 mm, 0,95	200	70	9,18	0,039	- 7,143.10 ⁻⁶	-0,02
50 mm, 1,4	200	55	10,71	0,046	6,771.10 ⁻³	0,23
50 mm, 0,95	100	55	11,13	0,047	- 0,060	- 2,05
50 mm, 1,4	300	70	11,77	0,050	5,880.10 ⁻³	0,20

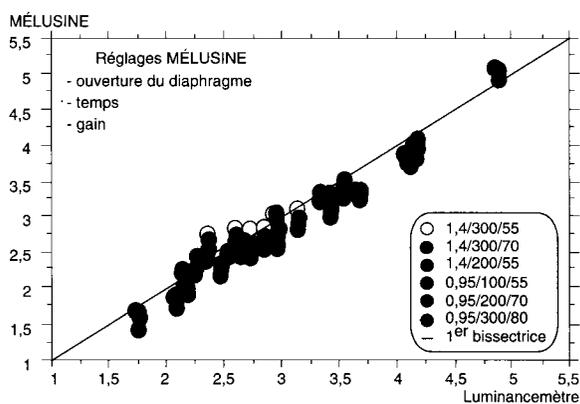


Fig. 9 - Comparaison des luminances ponctuelles de la chaussée mesurées avec le luminancemètre et avec MÉLUSINE et exprimées en cd/m².

Conclusion

Le système de mesure MÉLUSINE a été étalonné en laboratoire de photométrie afin de connaître, pour les différents réglages de la caméra (gain analogique, temps d'exposition et ouverture du diaphragme), la relation qui lie la luminance mesurée et le niveau de gris de l'image numérisée. On a pu déduire, de ces mesures, l'abaque d'étalonnage du système.

La précision des mesures a été évaluée, en estimant le niveau du bruit vidéo, l'hétérogénéité spatiale de la réponse du capteur et l'influence de la température sur la mesure. Cette étude a permis de définir les conditions d'utilisation du système et d'éditer des recommandations pour le choix des réglages du système.

La qualification de MÉLUSINE a été effectuée sur la piste d'éclairage du Laboratoire régional des Ponts et Chaussées de Rouen, par la comparaison des mesures de luminance réalisées, avec MÉLUSINE et avec un luminancemètre. Les écarts moyens obtenus entre les deux systèmes de mesure sont inférieurs à 5 %.

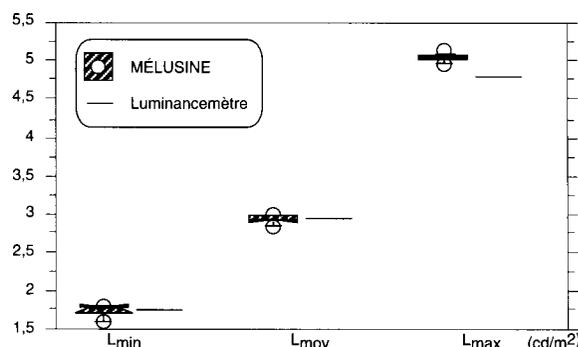


Fig. 10a - Comparaison des luminances moyenne L_{moy} , minimale L_{min} , et maximale L_{max} de la chaussée mesurées avec le luminancemètre et avec MÉLUSINE.

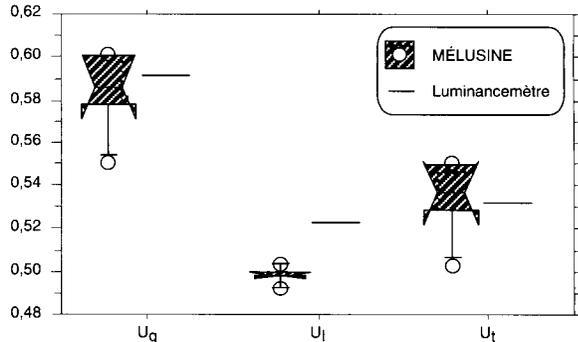


Fig. 10b - Comparaison des uniformités générale U_g , longitudinale U_l , et transversale U_t de la chaussée mesurée avec le luminancemètre et avec MÉLUSINE.

Les « boîtes » parties grisées contiennent 50 % des réponses. Le trait horizontal situé à l'intérieur de la « boîte » représente la médiane et la partie en biseau visualise l'intervalle de confiance à 95 %. Les « moustaches » s'étirent à l'extérieur de la boîte jusqu'au premier et neuvième déciles.

L'originalité du système MÉLUSINE réside dans la possibilité offerte d'analyser un panorama nocturne, en termes de luminance, de façon globale et rapide, par la localisation des zones de luminance insuffisante ou trop forte et par l'évaluation quantitative des contrastes existants.

Cet outil est destiné aux aménageurs travaillant à la rénovation et au contrôle de l'éclairage de sites urbains et périurbains. Il constitue également un outil d'analyse pour les recherches en matière d'aménagements nocturnes.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] CARIOU J., GRATIA G., ZOUBOFF V. (1991), *Les outils d'analyse du champ visuel de l'utilisateur de la route*, Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées, **175**, pp. 41-47.
- [2] BRUSQUE C., HUBERT R., V. NGUYEN (1995), *MÉLUSINE : étalonnage et qualification de l'appareil*, CRT, oct.
-

ABSTRACT

The Measurement of Luminance by CCD Camera: Calibration and Qualification of the MÉLUSINE System

C. BRUSQUE - H. HUBERT

MÉLUSINE is a luminance measurement system developed by the network of Laboratoires des Ponts et Chaussées. It produces luminance maps of the night visual field of a road user. The luminance measurements are made using digitized images taken by a CCD camera.

The luminance calibration of the system is described, along with the transformation of the calibration nomograph of the system into an equation.

The precision of the measurements was also evaluated. It was possible to specify the conditions of use of the system.

MÉLUSINE was qualified by comparing pavement luminance measurements made by MÉLUSINE and by a luminance meter. The mean deviations found between the two measuring systems are less than 5%.