

---

# Observation, modélisation et prédiction de la dégradation temporelle des marquages routiers

Nicolas Hautière\* — Vincent Ledoux\* — Jean-Philippe Tarel\*  
— Vincent Boucher\*\* — Pierre Charbonnier\*\*\*

\* *Laboratoire Exploitation Perception Simulateurs et Simulations*  
*Université Paris-Est, INRETS-LCPC*  
*58 boulevard Lefebvre, 75732 Paris Cedex 15*  
*nicolas.hautiere@lcpc.fr*

\*\* *Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées*  
*Equipe de Recherche Associée n° 17*  
*23 avenue de l'Amiral Chauvin, BP 69, 49136 Les Ponts de Cé Cedex*

\*\*\* *Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées*  
*Equipe de Recherche Associée n° 27*  
*11 rue Jean Mentelin, BP 9, 67035 Strasbourg*

---

*RÉSUMÉ. La prédiction de la dégradation temporelle des marquages routiers est un enjeu important de l'optimisation de la gestion des routes. Nous proposons une première étude visant à connaître les paramètres explicatifs de la dégradation des marquages routiers et à tester certains modèles. Une approche alternative consiste à observer très régulièrement les marquages en recueillant systématiquement sur un serveur opérationnel la performance de guidage estimée par des détecteurs de marquage utilisant une ou des caméras embarquées. Nous détaillons ces deux approches, leurs requis, les contraintes ainsi que les premiers résultats obtenus. Cela nous permet de faire le point sur les différents systèmes d'observation de la qualité des marquages et de dégager des perspectives de recherche dans ce domaine.*

*ABSTRACT. The prediction of the temporal degradation of road markings is a crucial stake to optimize the management of roads. We propose a first study which aims to know the explanation parameters of road markings degradation and test some models. An alternative approach consists of systematically collecting the guiding performance obtained by camera-based lane departure warning systems. We present the two approaches, their requirements, and their constraints as well as some preliminary results. This allows us to recall the different systems for highlighting quality observation and proposing research perspectives in the field.*

*MOTS-CLÉS : signalisation horizontale, visibilité, rétro réflexion, évolution temporelle, aides à la conduite, caméra.*

*KEYWORDS: road signs, visibility, retroreflectivity, temporal evolution, driver assistance, camera.*

---

## 1. Introduction

La signalisation horizontale permet, entre autres, de guider les usagers en toute sécurité le long d'un itinéraire (COST 331, 1999). La maintenance de la signalisation horizontale à des niveaux de performance en adéquation avec la demande des usagers est un enjeu important pour le gestionnaire routier sur le plan économique comme technique. Mais un sur-entretien est dommageable économiquement pour le gestionnaire. A l'opposé, un sous-entretien peut avoir des conséquences graves pour la sécurité des usagers. L'enjeu est donc de savoir prédire l'évolution des indicateurs de qualité des marquages dans le temps pour optimiser au mieux l'entretien du réseau. Nous rappelons les moyens d'évaluation existants et proposons de nouvelles approches pour évaluer la qualité des marquages en termes de visibilité de nuit ou de jour. Dans une première partie, nous rappelons la notion de visibilité des marquages. Dans une deuxième partie, nous présentons les appareils à grand rendement existants dans le réseau scientifique et technique aptes à estimer des indicateurs de performance des marquages. Finalement, nous présentons les nouveaux moyens que le déploiement des systèmes coopératifs permettrait de proposer, à savoir des modèles d'évolution temporelle alimentés soit par des données de trafic, soit par des estimations du contraste des marquages faites par des aides à la conduite visant à la prévention des sorties de voies.

## 2. Visibilité des marquages

La visibilité des marquages routiers dépend, entre autres, du contraste photométrique ou de luminance existant entre le marquage et la chaussée.

$$C = \frac{L_M - L_C}{L_C} \quad [1]$$

Ces luminances sont fonction des propriétés de réflexion des matériaux considérés et des conditions d'éclairage et d'observation. De nuit, et en l'absence d'éclairage public, l'éclairage de la chaussée et du marquage est assuré par les seuls projecteurs du véhicule. Le conducteur perçoit les marquages dans une position proche de celle des projecteurs. Il en résulte alors que ce sont les propriétés de rétro réflexion des matériaux qui doivent être caractérisées. Dans le cas des marquages routiers, elles sont déterminées par le coefficient de luminance rétro réfléchie défini par :

$$R_L = \frac{L}{E_{\perp}} \quad [2]$$



détermination, en un seul passage, des visibilité diurne et nocturne des produits de marquage dont il contrôle la qualité tous les 40 cm. Une source pulsée de lumière blanche est projetée sur le marquage et sur la chaussée environnante. La lumière rétrofléchée, issue du marquage et de la chaussée, est focalisée sur un détecteur. Un ensemble électronique assure l'amplification et le filtrage des signaux détectés en séparant les signaux rétrofléchés des signaux relatifs à la lumière ambiante. Outre la mesure du coefficient de luminance l'ECODYN délivre des mesures du contraste en rétro réflexion de nuit entre le marquage et la chaussée. Il peut aussi fournir une valeur du contraste de jour qui, contrairement à la rétro réflexion, est une fonction des conditions de l'éclairage ambiant, comme lorsque l'on utilise une caméra. Cela implique que le contraste de jour mesuré par ECODYN est lié au  $Q_d$  seulement lorsque les acquisitions sont réalisées par ciel très couvert (Coulomb *et al.*, 1997). Ces informations sont généralement restituées par zone de 100 m à partir de la moyenne des mesures réalisées tous les 40 cm. Des illustrations de l'appareil sont proposées sur la figure 2.

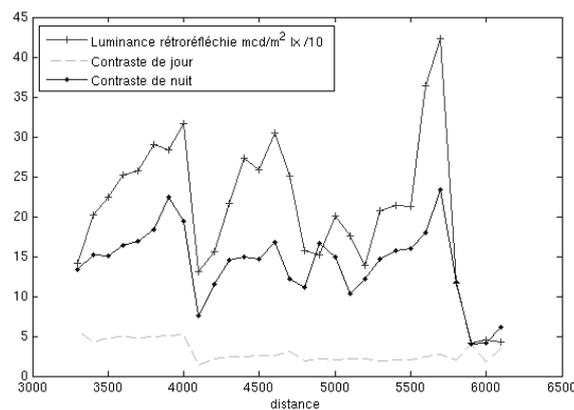


Figure 2. Appareil de mesure ECODYN et exemple de mesures fournies

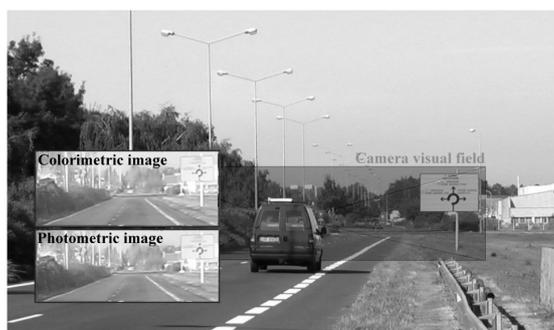
### 3.1.2. *Domaine d'emploi*

De nombreux gestionnaires routiers (Autoroutiers, Conseils Généraux, DIR) procèdent à un contrôle régulier de rétro réflexion des marquages. Certains gestionnaires réalisent une inspection de l'intégralité de leur réseau soit annuellement soit sur deux ou trois années, d'autres limitent ce contrôle à certains tronçons routiers. Ce type de contrôle, qui peut s'inscrire dans un marché à garantie de résultat, est mis à profit par les gestionnaires pour définir leur politique d'entretien des marquages. Le linéaire de marquage contrôlé est relativement important puisqu'il est estimé à environ 100 000 km par an.

## 3.2. **CYCLOPE**

### 3.2.1. *Principe*

Le système CYCLOPE est un véhicule équipé d'un « œil électronique » (Boucher *et al*, 2008). L'architecture de CYCLOPE est basée sur une caméra numérique disposant de propriétés proches de celles de l'œil humain en termes de sensibilité spectrale. Elle est placée dans l'axe de vision du conducteur, à bord du véhicule, et permet d'enregistrer des images photométriques (mesures de luminance) et colorimétriques (mesures de chrominance) comme illustré sur la figure 3. Les luminances et les chrominances étant les grandeurs physiques auxquelles est sensible l'œil humain, CYCLOPE permet donc d'enregistrer des images étroitement représentatives de la perception visuelle du conducteur.



**Figure 3.** *Illustration du principe de CYCLOPE*

Le système de mesure vidéocolorimétrique est constitué d'une caméra CCD 12 bits couleur associée à un objectif photographique. Cet ensemble fait l'objet d'une caractérisation en termes de sensibilité spectrale pour vérifier la concordance avec celle d'un œil humain et est étalonné à l'aide de systèmes de référence (sphère intégrante, monochromateur, eux-mêmes raccordés à des étalons nationaux). Cette

étape permet de déterminer les matrices de passage des images brutes à des images photométriques et colorimétriques. Cette procédure permet de reconstituer le signal visuel à partir d'un seul et unique temps de pose et permet donc d'embarquer le système dans un véhicule pour fonctionner à la cadence initiale de la caméra (ici 10 image/s). Il est ainsi possible de faire des mesures de contraste photométrique selon (1) entre les objets d'intérêt et le fond.

### 3.2.2. *Domaine d'emploi*

CYCLOPE est aujourd'hui utilisé de façon opérationnelle pour le diagnostic de l'éclairage public des voies urbaines. Il s'agit de mesurer les luminances de chaussée de nuit sous éclairage public pour les comparer à des seuils définis dans la norme NF 13201 (AFNOR, 2005). C'est aussi un outil de recherche utilisé notamment pour mesurer des niveaux de visibilité nécessitant des données en luminance. Ces images colorimétriques sont aussi utilisées pour constituer ou évaluer des modèles de vision (algorithmes de saillance) et pour tester des algorithmes de traitements d'images tels que l'extraction automatique des marquages. Ces derniers algorithmes peuvent aussi être utilisés sur les images CYCLOPE afin d'estimer le contraste photométrique des marquages (voir paragraphe 4.3). De nuit, sans éclairage public, c'est le contraste de nuit qui sera obtenu pour un modèle donné de feux de croisement. De nuit, avec éclairage public, le contraste qui est mesuré a du sens car les conditions d'éclairage peuvent être considérées comme figées (Fournela et Greffier, 2006). De jour, c'est le contraste de jour qui sera obtenu. Mais comme avec un ECODYN, ce contraste est fonction du type d'éclairage ambiant.

## **4. Les systèmes coopératifs**

### **4.1. *L'émergence de nouvelles solutions***

L'émergence des systèmes coopératifs à des fins de sécurité et de mobilité permet d'entrevoir de nouvelles façons d'évaluer en continu l'état de l'infrastructure, en particulier l'usure des marquages. Une première façon consiste à mettre en œuvre un modèle d'évolution temporelle de la rétroflexion des marquages au sein d'un serveur opérationnel qui serait alimenté par les données de trafic relevées en continu. La modélisation de l'évolution temporelle de la rétroflexion des marquages fait l'objet du premier paragraphe. Une seconde façon de procéder consiste à recueillir sur le serveur opérationnel l'estimation du contraste des marquages relevés par les aides à la conduite utilisant des caméras. On peut espérer que ce type d'aides à la conduite équipera, demain, un grand nombre de véhicules. Une analyse statistique en ligne permettrait alors d'estimer l'état de la signalisation horizontale. Le second paragraphe donne quelques directions pour l'utilisation de ce type d'approche.

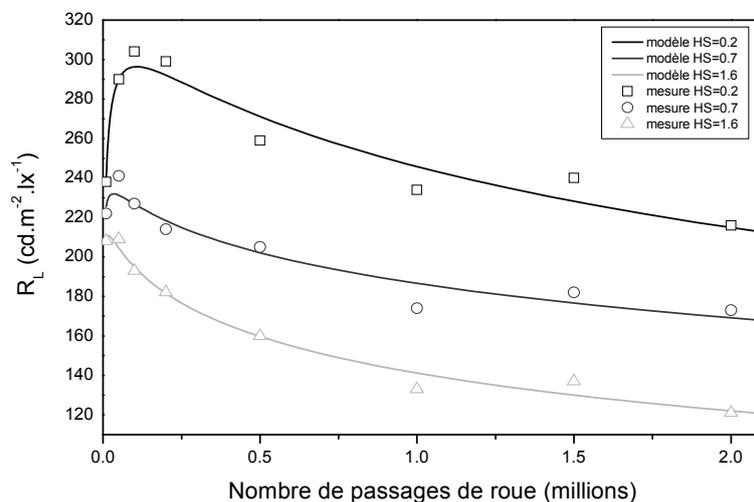


Figure 4. Comparaison entre les valeurs mesurées et le modèle proposé pour plusieurs hauteurs au sable (HS en mm) du revêtement

#### 4.2. Modélisation de l'évolution de la rétroreflexion des marquages

A l'instar des travaux sur les modèles d'évolution de l'adhérence, il serait pertinent de disposer de modèles de vieillissement de la rétroreflexion des marquages routiers pour planifier au mieux les programmes d'entretien ou prendre en compte les données actualisées dans le calcul des fonctions de risque. De tels modèles ont été récemment proposés dans (Pellecuer, 2009) et (Sitzabee, 2009). Les travaux présentés dans ce paragraphe s'inscrivent dans cette logique et s'appuient sur les données collectées, soit sur simulateur d'usure soit par essai routier, dans le cadre du programme de recherche européen sur la durabilité européenne, initié il y a plusieurs années par le CEN\TC226\WG2 « Produits de marquage ».

##### 4.2.1. Paramètres d'influence

L'établissement de la liste des paramètres ayant une influence sur l'évolution de la rétroreflexion des marquages, mais surtout la quantification de cette influence, est un exercice délicat. En effet, l'évolution de la qualité des marquages dépend non seulement des caractéristiques intrinsèques du produit mais également d'autres paramètres extrinsèques comme le trafic (volume, nature, utilisation de pneus à clous), la texture, le climat, les conditions d'application des produits. De plus, ces paramètres présentent souvent l'inconvénient d'avoir des interactions mutuelles sur la durabilité de la rétroreflexion.

#### 4.2.2. Utilisation de données de laboratoire

Dans le cadre du projet DIVAS nous avons donc décidé de tester des modèles simplifiés d'évolution de la rétro réflexion des marquages. L'examen des données fournies par le manège d'usure espagnol nous a incité à modéliser l'évolution de la rétro réflexion d'un produit de marquage par une fonction de la forme  $R(r) = R_o e^{a \cdot \ln^2(r+1) + b \cdot \ln(r+1) + c}$  où  $r$  représente le nombre de passage de roue circulant sur le marquage et  $R_o$  la valeur initiale du coefficient de luminance rétro réfléchie du marquage. Il est attendu que  $a$ ,  $b$  et  $c$  soient fonction de la texture  $t$  du revêtement.

En écartant les valeurs mesurées à l'état neuf c'est-à-dire les valeurs correspondant au marquage non circulé, l'adéquation du modèle avec les données est relativement bonne (figure 4), l'erreur relative absolue entre prédiction et mesure n'excédant pas 8 % sur l'ensemble des valeurs. Il est important de préciser qu'aucune corrélation entre manège d'usure et essai routier n'a pu être clairement établie jusqu'à maintenant.

#### 4.2.3. Utilisation de données acquises sur site d'essai routier

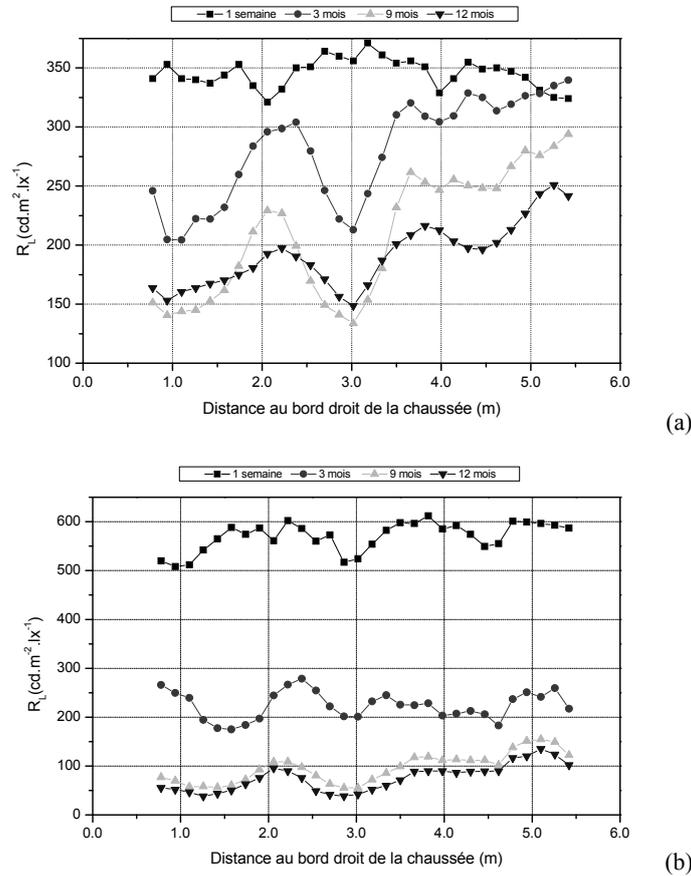
Compte tenu du nombre relativement faible de points de mesure, nous avons alors appliqué ce type de modèle à d'autres valeurs en notre possession. Ces valeurs sont issues du circuit d'essai français utilisé dans le cadre du programme de recherche sur la durabilité. Il s'agit du site de la RN2 utilisé pour la certification NF des produits de marquage (figure 5).



**Figure 5.** *Vue générale du site d'essai routier sur la RN2 utilisé par la certification NF des produits de marquage*

6 produits différents ont été appliqués transversalement à la chaussée sur une zone d'environ 50 m de long. Un système de comptage permet de connaître la distribution transversale du nombre de passages de roue par pas de 16 cm. Ce système permet également de différencier les roues des véhicules légers de celles

des poids lourds. Il est utile de préciser que contrairement aux pratiques de la certification, l'application s'est déroulée sur une chaussée dont le tapis était ancien et présentait, visuellement, de fortes disparités de la texture de surface. Le coefficient de luminance rétrofléchie a également été mesuré pour plusieurs distances  $d_i$  (mesurées du bord droit de la chaussée et comprises entre 0,78 m et 5,42 m) par pas de 16 cm. Les produits ont été mesurés à 4 périodes différentes de l'année : une semaine, 3 mois, 9 mois et 12 mois après l'application des produits. Dans le cas de la bande préformée, les premières mesures se sont déroulées immédiatement après la pose du produit. Les valeurs de  $R_L$  mesurées dans ces conditions sont illustrées sur la figure 6 pour un thermoplastique et une peinture.



**Figure 6.** Mesures transversales du  $R_L$  à différentes périodes au cours du temps pour un thermoplastique (a) et une peinture (b)

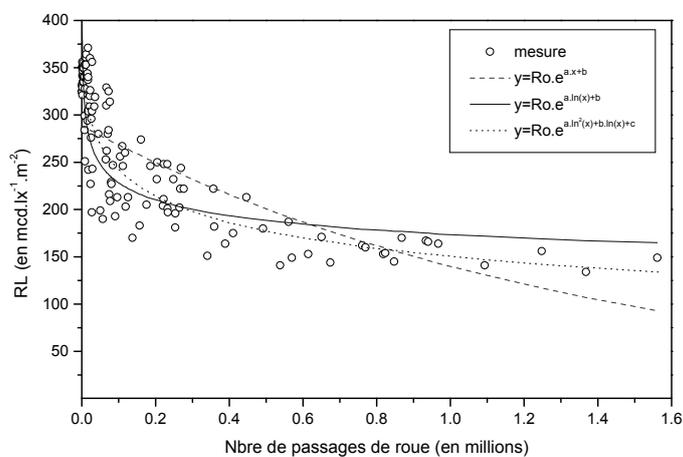
A l'aide de ces données, les trois modèles suivants ont été testés :

– Modèle 1 :  $R_L = R_o \cdot e^{a \cdot r + b}$

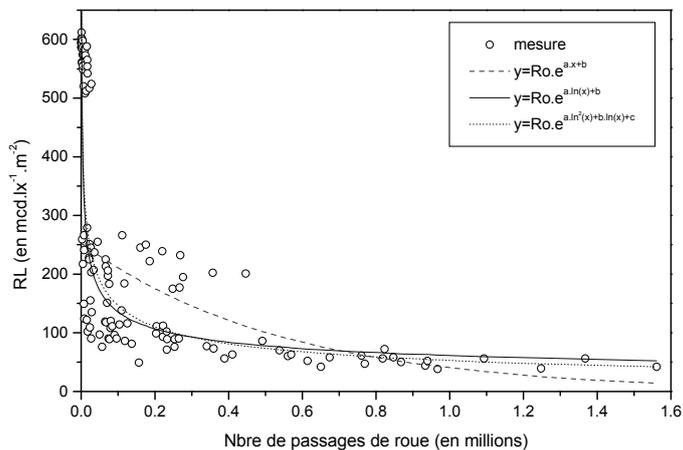
– Modèle 2 :  $R_L = R_o \cdot e^{a \cdot \ln^2(r+1) + b}$

– Modèle 3 :  $R_L = R_o \cdot e^{a \cdot \ln^2(r+1) + b \cdot \ln(r+1) + c}$

La figure 7 compare, pour un thermoplastique et une peinture, les trois modèles ajustés aux mesures. L'erreur quadratique moyenne résultant de ces ajustements est donnée dans le tableau 1 pour l'ensemble des produits.



(a)



(b)

**Figure 7.** Comparaison entre modèle d'ajustement et mesure pour un thermoplastique (a) et une peinture (b)

Modèle	Erreur quadratique moyenne (%)						
	Thermo1	Thermo2	Thermo3	Peinture 1	Peinture 2	Bande préfabriquée	Moyenne
$R_L = R_o \cdot e^{a \cdot r + b}$	22,1	31,1	19,2	58,1	73,7	11,1	<b>35,9</b>
$R_L = R_o \cdot e^{a \cdot \ln^2(r+1) + b}$	16,6	21,8	16,3	42,5	50,5	26,5	<b>29,0</b>
$R_L = R_o \cdot e^{a \cdot \ln^2(r+1) + b \cdot \ln(r+1) + c}$	13,4	21,1	13,5	40,3	52,7	15,6	<b>26,1</b>

**Tableau 1.** Erreur quadratique moyenne des modèles d'ajustement

Les valeurs élevées des erreurs quadratiques confirment qu'il n'est pas possible de prédire le coefficient de luminance rétro réfléchée d'un marquage à partir de la seule connaissance du nombre de passage de roue. On notera que les erreurs sont particulièrement importantes pour les peintures.

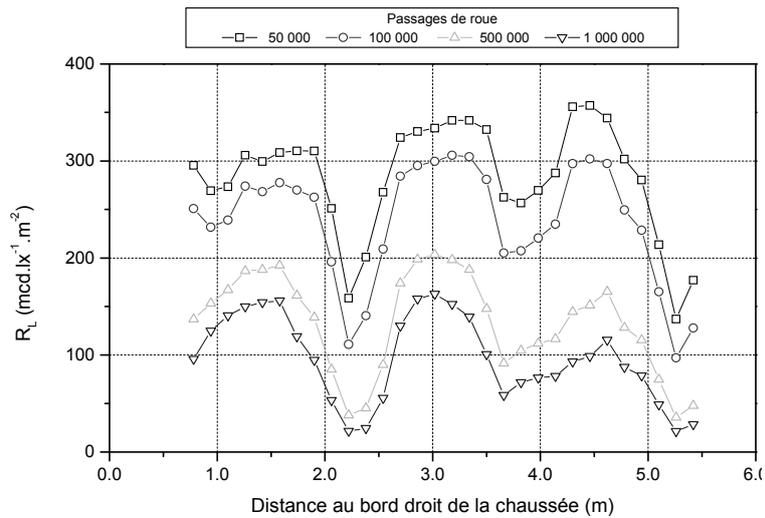
#### 4.2.4. Utilisation des données sur site : comportement transversale

De nouvelles analyses ont été menées en appliquant les modèles d'ajustement décrits précédemment à chaque position transversale  $d_i$  en utilisant les 4 valeurs de  $R_L$  mesurées, à différentes périodes, en chaque point pour chaque produit. Les erreurs quadratiques moyennes résultantes sont indiquées dans le tableau 2 ci-après.

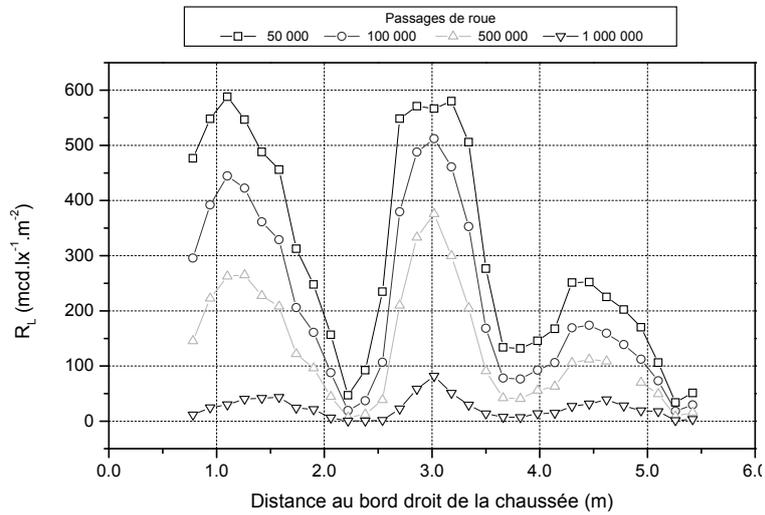
Modèle	Erreur quadratique moyenne (%)						
	Thermo1	Thermo2	Thermo3	Peinture 1	Peinture 2	Bande préfabriquée	Moyenne
$R_L = R_o \cdot e^{a \cdot r + b}$	22,3	23,9	15,2	21,3	35,0	7,0	<b>20,8</b>
$R_L = R_o \cdot e^{a \cdot \ln^2(r+1) + b}$	16,1	26,6	19,0	43,9	42,1	22,7	<b>28,4</b>
$R_L = R_o \cdot e^{a \cdot \ln^2(r+1) + b \cdot \ln(r+1) + c}$	12,7	14,0	9,7	9,2	9,8	4,8	<b>10,0</b>

**Tableau 2.** Erreur quadratique moyenne des modèles d'ajustement appliqués transversalement

Les modèles sont caractérisés par un doublet ( $a_i, b_i$  pour les modèles 1 et 2) ou un triplet de coefficients ( $a_i, b_i, c_i$  pour le modèle 3) pour chaque position transversale  $d_i$ . Dans le cas du modèle 2, nous avons remarqué une corrélation entre  $a_i$  et  $b_i$ . Cette dernière constatation s'applique également aux coefficients  $b_i$  et  $c_i$  du modèle 3 pour lesquels  $b_i$  et  $c_i$  semblent fortement corrélés à  $a_i$ .



(a)

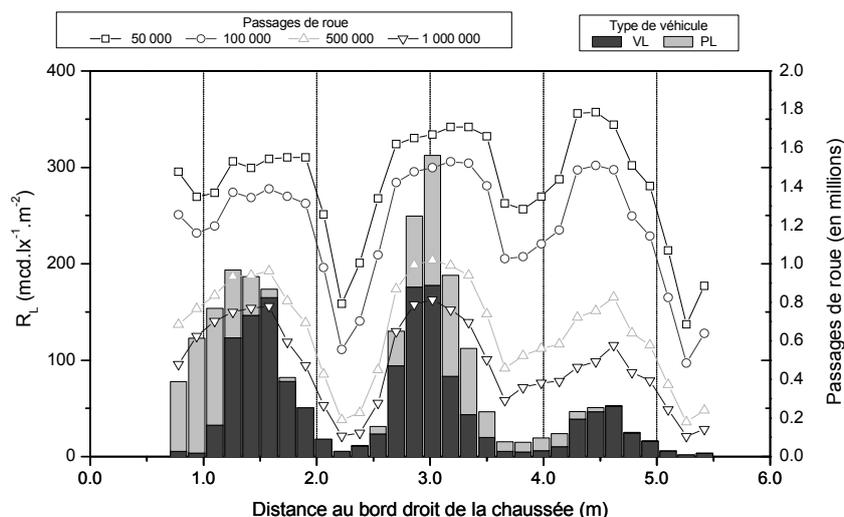


(b)

**Figure 8.** Simulation de la répartition transversale du  $R_L$  pour un thermoplastique (a) et une peinture (b) pour une répartition transversale uniforme du nombre de passages de roue

Compte tenu du faible nombre de données sur lesquelles est basé l'ajustement des différents modèles, il n'est pas possible de conclure sur le modèle décrivant le mieux l'évolution du coefficient de luminance rétro réfléchie. Toutefois le modèle 3 semble être celui qui s'ajuste le mieux aux données en notre possession. En utilisant ce modèle, il est possible de simuler quelles seraient les valeurs du  $R_L$  pour les différentes positions transversales  $d_i$  si elles étaient circulées par le même nombre de roues. Les valeurs de  $R_L$ , de chacune des positions  $d_i$ , ont donc été calculées en considérant les coefficients  $a_i$ ,  $b_i$  et  $c_i$  associés à ces positions pour 50 000, 100 000, 500 000 et 1 000 000 passages de roue. Les résultats de ces calculs sont présentés sur la figure 8.

On constate qu'une distribution transversale uniforme du nombre de passages de roue entraîne une forte disparité transversale du niveau de rétro réflexion. Certaines positions transversales induisent une érosion fortement accélérée et cela même pour un niveau de circulation relativement faible. Ces positions sont identiques pour le thermoplastique et la peinture mais leur effet est plus accentué pour la peinture que pour le thermoplastique. La comparaison de ces données à la répartition transversale du nombre de passages de roue et de sa composition indique que ces positions correspondent aux zones les moins circulées du site d'essai (voir figure 9).



**Figure 9.** Répartition transversale du trafic et du  $R_L$  simulé pour un thermoplastique

L'hypothèse la plus probable pour expliquer la forte variation transversale de l'érosion prédite par le modèle est sans doute à rechercher du côté de l'hétérogénéité transversale de la texture de la chaussée. En effet, la rugosité d'une chaussée

diminue avec le volume de trafic qui la circule. Il en résulte que les zones les plus circulées présentent une rugosité plus faible que les zones les moins circulées. Chaque position transversale de la chaussée en possède une rugosité qui lui est propre. Si cette hypothèse était confirmée, cela impliquerait que les coefficients  $a_i$ ,  $b_i$  et  $c_i$  de ce modèle sont bien fonctions de la texture.

#### 4.2.5. *Bilan*

Les éléments présentés dans cette partie confirment que l'évolution du coefficient de luminance rétro-réfléchie des marquages est difficile à modéliser. En effet, elle dépend de la nature et de la formulation de la marque routière mais également de caractéristiques locales de texture du revêtement ainsi que du trafic qui circule réellement. A ce stade de connaissance, il apparaît impossible de proposer des modèles d'évolution de la rétro-réflexion des marquages. Il s'avère indispensable de poursuivre des travaux de recherche sur ce sujet. Cela passe, d'une part par la réalisation d'expérimentations visant à étudier la modélisation de la rétro-réflexion en fonction du nombre de passages de roue et de la texture du revêtement et d'autre part par la détermination directe (mesure) ou indirecte (modélisation) de l'état de la surface sur laquelle est appliqué le marquage ainsi que du trafic qui circule réellement sur le marquage sur un itinéraire donné.

### 4.3. *Utilisation de véhicules traceurs*

#### 4.3.1. *Prévention des sorties de voies*

Des systèmes de prévention des sorties de voies font de plus en plus leur apparition à bord des véhicules. La plupart de ces systèmes ont recours à des caméras placées derrière le pare-brise pour repérer la voie. Généralement, ceux-ci détectent les marquages routiers et estiment par traitement d'images l'écart latéral entre le véhicule et la voie. En cas de franchissement inattendu (i.e. non signalé) des marquages, une alerte (vibration du volant par exemple) est générée à l'attention du conducteur. L'algorithme de détection des voies consiste généralement en plusieurs étapes. Dans la première étape, un ou plusieurs algorithmes à petite échelle extraient dans l'image les pixels clairs appartenant potentiellement à un marquage. Dans une deuxième étape, ces pixels sont regroupés en marquages à plus grande échelle, afin de construire la structure qui représente en 2D ou 3D la voie de circulation.

On conçoit donc que lors des traitements réalisés pour faire la prévention de sortie de voie, plusieurs des informations produites peuvent être utilisées comme indicateurs de la bonne visibilité des marquages par la caméra.



**Figure 10.** Scènes de nuit avec éclairage publique : image couleurs, en niveaux de gris mesurées par CYCLOPE et carte de l'extraction des pixels de marquage

#### 4.3.2. Les caméras automobiles

Il faut toutefois avoir bien conscience qu'actuellement les caméras utilisées pour faire la prévention des sorties de voie ne sont ni standardisées, ni calibrées. Ainsi, contrairement à la caméra CYCLOPE, les caméras embarquées sur les automobiles d'obtenir un contraste photométrique. Ce ne sont pas les mêmes contrastes qui sont obtenus pour le même signal visuel. La question du calibrage de ces caméras se pose donc, ainsi que de savoir quel type de calibrage est nécessaire. La donnée utile étant le contraste des marquages par rapport à la chaussée, le calibrage doit au minimum garantir une réponse linéaire par rapport au signal visuel. Souvent, les caméras embarquées dans les véhicules sont des capteurs reposant sur des matrices CMOS ayant donc une réponse logarithmique (Melexis, 2010). Si l'étape de correction de la réponse de la caméra pour en faire une réponse linéaire est possible, alors ce type de caméra peut être utilisé pour faire des statistiques sur le contraste photométrique des marquages et permet donc d'observer l'évolution du contraste de marquage au cours du temps. Il est alors possible de suivre l'évolution du contraste de nuit en l'absence d'éclairage public, c'est-à-dire l'évolution des propriétés rétro-réfléchissantes du

marquage (sachant que celles de la route évoluent plus lentement). En présence d'éclairage public ou de jour, les valeurs du contraste obtenues sont dépendantes de la nature de l'éclairage et des conditions météorologiques.

#### 4.3.3. Estimateurs du contraste

L'estimation du contraste d'un marquage peut être réalisée dès lors que les pixels associés aux marquages ont été extraits. Il n'est pas nécessaire d'avoir détecté précisément et complètement le marquage pour faire le calcul de son contraste. A titre d'exemple, nous avons utilisé l'algorithme d'extraction locale des éléments de marquages qui a donné les meilleurs résultats dans l'étude comparative (Veit *et al*, 2008). Cet algorithme produit une carte binaire des pixels appartenant potentiellement aux marquages. A partir de cette carte binaire, il est simple de calculer l'intensité moyenne du marquage et du fond dans n'importe quelle fenêtre de l'image. Ceci permet d'obtenir le contraste du marquage par rapport au fond dans la fenêtre. Des exemples d'extraction sont présentés dans la figure 10. Une alternative est d'utiliser, lorsqu'il est estimé, l'indicateur de qualité du résultat de détection des marquages. Il est en effet intéressant de suivre l'évolution de cet indicateur lorsque le même type de véhicule repasse sur le même marquage. Malheureusement, à moins d'une standardisation du type d'indicateur utilisé, ce type d'information risque d'être difficile à exploiter. En utilisant de nombreux véhicules équipés de caméras, la quantité importante de données recueillies permettrait, en associant des données contextuelles comme le niveau d'éclairement, les conditions climatiques ou météorologiques, de suivre l'évolution du contraste des marquages dans différentes situations : comme par temps de pluie, en présence de brouillard, à l'ombre, etc. Ces données pourraient aussi être très utiles pour construire et améliorer les modèles d'évolution de la qualité de la signalisation horizontale.

## 5. Conclusion

Dans ce papier, nous rappelons des moyens d'évaluation existants et proposons de nouvelles approches pour évaluer et suivre la qualité des marquages en termes de visibilité de nuit ou de jour. Dans une première partie, nous avons rappelé la notion de visibilité des marquages. Dans une deuxième partie, nous avons présenté les appareils à grand rendement existants dans le réseau scientifique et technique aptes à estimer des indicateurs de performance des marquages, à savoir ECODYN et CYCLOPE. Finalement, nous présentons les nouveaux moyens que le déploiement des systèmes coopératifs tels que DIVAS permettrait de proposer, à savoir des modèles d'évolution temporelle alimentés soit par des données de trafic, soit par des estimations du contraste photométrique des marquages faites par des aides à la conduite fondées sur des caméras logarithmiques calibrées linéairement visant à prévenir des sorties de voies.

Nous voyons quatre perspectives de recherche. Une première perspective consiste à étendre le champ d'application de l'ECODYN pour qu'il soit capable de faire des mesures du contraste de jour, avec un éclairage ambiant diffus contrôlé. Une deuxième piste consiste à approfondir nos connaissances sur les liens entre texture et durabilité des marquages. Une troisième perspective est d'analyser la durabilité, non plus à une échelle très locale, mais à l'échelle d'un itinéraire. Cette approche, qui n'a pas été présentée dans ce papier, a été testée dans le cadre du projet DIVAS mais n'a pas pu être validée faute de données expérimentales suffisantes. Une quatrième perspective est de faire des comparaisons entre les différents systèmes de mesure ici présentés à l'aide d'un site pilote instrumenté par exemple avec une caméra pour étudier la variation du contraste des marquages dans le temps et suivant les conditions d'éclairage, et pour faire le lien avec ce qui est estimé en embarqué dans un véhicule. Une autre comparaison qu'il serait intéressant de réaliser est celle entre les mesures données par l'ECODYN en rétro réflexion et par CYCLOPE de nuit, en absence d'éclairage public.

## 6. Références

- AFNOR, « Norme NF EN 1436 + A1 – Produits de marquage routier – Performances des marquages routiers pour les usagers de la route », mars 2009.
- AFNOR, « Norme NF EN 13201 – Eclairage public », février 2005.
- Boucher V., Greffier F., Fournela F., « High speed acquisition system of photo-colorimetric images to record and to model the human vision signal », *Proceedings of SPIE Optics + photonics*, paper 7073-67, San Diego, USA, 2008.
- Bry M., Guillard Y., « Une nouvelle approche pour qualifier la visibilité des marquages routiers », *Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, 176, 1991.
- Coulomb J.-M., Debreil B. et Perrin C., « Etude de faisabilité de la mesure de Qd avec Ecodyn : Signalisation horizontale et verticale », *Compte rendu de recherche, LCPC*, janvier 1997.
- COST 331, « Requirements for Horizontal Road Marking, Final Report of the Action », 1999.
- Fournela F., Greffier F., « La perception visuelle de l'environnement par les usagers de la route », *Actes des Journées des Sciences de l'Ingénieur*, Marne-la-Vallée, France, 2006.
- Maillard J.-C., Guillard Y., Bry M. et Hubert R., « Procédé et dispositif de mesure en continu et à la lumière ambiante de la rétro réflexion d'un marquage routier et du contraste », *Brevet LCPC numéro FR 0855812*, avril 1990.
- Melexis, « Autobrite® Imaging Technology: Wide Dynamic Range for Automotive Machine Vision », *White Paper*, 2010.
- Pellecuer L., Roy J.-P., St-Jacques M., Assaf G., « Gestion du marquage routier : analyse des acquis et perspectives pour le Québec », *Actes du congrès AQTR*, Montréal, Canada, 2009.

- Sitzabee W., Hummer J., Rasdorf W., « Pavement marking degradation modeling and analysis », *ASCE Journal of Infrastructure Systems*, Vol. 15, No. 3, septembre 1, p. 190–199, 2009.
- Veit T., Tarel J.-P., Nicolle P., Charbonnier P., « Evaluation of road marking feature extraction », *Proceedings of 11th IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC'08)*, 12-25 octobre, Beijing, Chine, p. 174-181, 2008.