

Nicolas HAUTIERE  
Directeur adjoint & Adjoint au  
directeur, chargé de la R5G  
Département COSYS

Adhérent individuel PIARC  
Collège C

Webinaire PIARC France  
« Véhicule automatisé - défis et  
opportunités pour les  
gestionnaires routiers »

2 février 2021

# Etat de l'art et projets en France

## Marquages au sol pour le véhicule automatisé

# PLAN DE L'EXPOSÉ

## 1. Etat de l'art véhicule automatisé et signalisation horizontale

- Signalisation horizontale
- Véhicule automatisé et infrastructure
- Contraste seuils vs  $R_L$
- Problématique

## 2. Projets de développement expérimental (TRL>6)

- Route ouverte
- Piste de référence
- Outils numérique

## 3. Projets de recherche & innovation amont (TRL<5)

- Intelligence artificielle
- Signalisation horizontale innovante
- Amers visuels
- Matériels routiers





**ETAT DE L'ART  
INTERACTION VA & SH**

**1**

# MARQUAGES ROUTIERS

- Les marquages routiers sont des équipements de la route très encadrés sur les plans normatif et réglementaire compte tenu de leur impact en termes de sécurité routière.
- Ce sont des dispositifs optiques passifs dont on dimensionne les propriétés photométriques en fonction des besoins des conducteurs « humains », notamment le coefficient de rétro réflexion  $R_L$ .
- Les produits de marquage sont homologués en France par l'ASCQUER qui opère un site d'essai sur la RN2 sur lequel on a établi que le nombre de passages de roue constitue le paramètre principal de vieillissement des marquages routiers.
- Faute de pouvoir compter les passages de roues, les marquages routiers sont contrôlés périodiquement à l'aide de dispositifs manuels ou d'AGR, comme l'ECODYN développé par le RST dans les années 1990 et qui continue d'être amélioré (version 3).



RN2 - ASCQUER

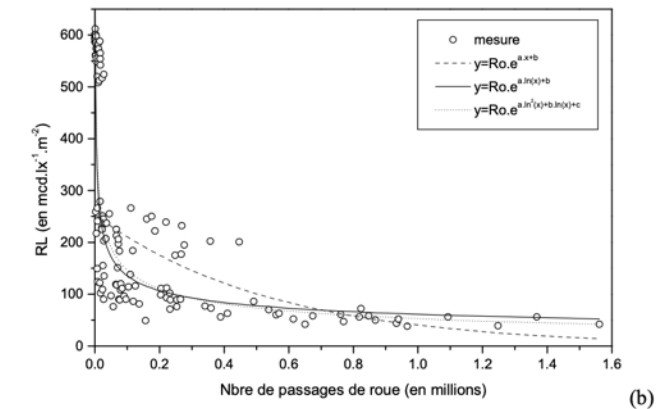
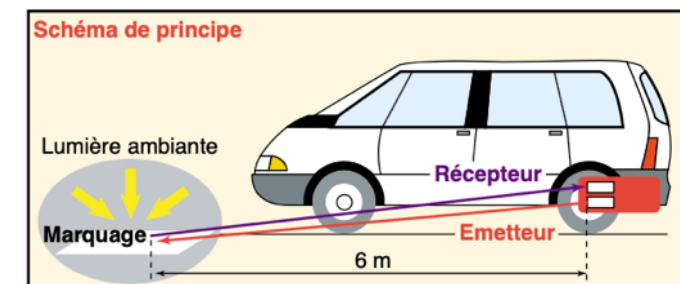


Figure 7. Comparaison entre modèle d'ajustement et mesure pour un thermoplastique (a) et une peinture (b)



# ADAS, VÉHICULE AUTOMATISÉ ET MARQUAGES ROUTIERS

Les aides à la conduite automobile, comme l'alerte en cas de sortie de voie ou l'aide au centrage dans la voie, fondent leur action sur la détection des marquages routiers par des caméras embarquées et vont devenir obligatoires dans les véhicules neufs.

- Cette détection des marquages est fondée sur le contraste marquage-chaussée afin de s'abstraire de la luminosité ambiante.
- Le véhicule automatisé (de niveau SAE>2) dépend de façon beaucoup plus critique de la signalisation routière.
- La révision 2019 de la directive européenne sur la sécurité des infrastructures traite largement de ces questions et recommande entre autres des spécifications communes à l'échelle continentale.

DOSSIERS

Véhicules connectés  
Véhicules autonomes

# DU NIVEAU DE RÉTRORÉFLEXION AUX SEUILS DE CONTRASTE

- ECODYN permet de mesurer le coefficient de rétroréflexion de la signalisation horizontale mais aussi d'en mesurer le contraste avec la chaussée.
- La recherche de niveaux de contraste « seuils » a été faite dans le passé pour les conducteurs.
- Ces travaux ont montré que les conditions d'éclairage et météorologiques influencent très diversement le contraste.

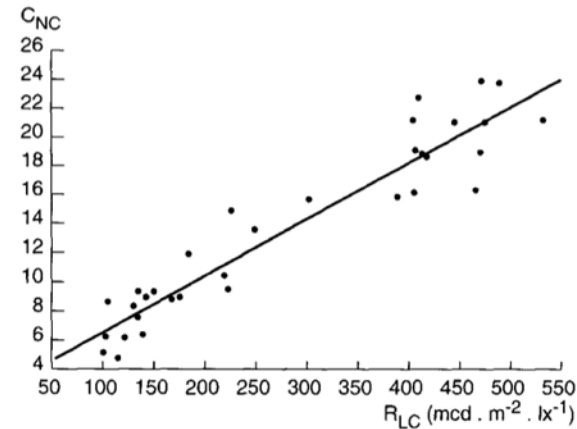


Fig. 8 - Contraste de luminosité de nuit en fonction du coefficient de luminosité rétroréfléchie  $R_L$ .

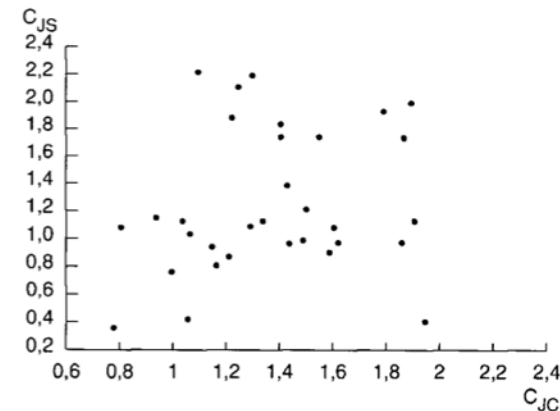


Fig. 3 - Représentation des valeurs des contrastes de jour  $C_J$  obtenus sous ciel ensoleillé en fonction de  $C_J$  obtenus sous ciel couvert.

## Recherche de seuils de contraste de luminosité pour les marques de chaussées

Michel BRY  
Chef de la section signalisation, éclairage, photométrie  
Division Exploitation, signalisation, éclairage  
Laboratoire central des Ponts et Chaussées

Dominique BIAUZE  
Ingénieur  
Laboratoire régional des Ponts et Chaussées  
de Saint-Quentin

### 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 permettant 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 luminosité sous éclairage diffus ( $Q_L$ ), sa couleur (facteur de luminosité  $\beta$  et coordonnées de chromaticité  $x, y$ ), son coefficient de luminosité rétroréfléchie ( $R_L$ ), son coefficient SRT (Skid Resistance Tester) et sa durabilité. Les valeurs de  $Q_L$ ,  $\beta$ ,  $x$  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.

# SYNTHÈSE DE LA PROBLÉMATIQUE

- La signalisation horizontale est un équipement de la route dont les caractéristiques sont normalisées et leur suivi établi par des dispositifs métrologiques, manuels ou AGR.
- Les indicateurs qui servent d'aide à la décision pour les gestionnaires de route ne sont que peu corrélés aux indices visuels exploités par les VA pour détecter la SH, comme le contraste de jour.
- Pour le conducteur humain, capable de compenser les changements d'apparence, la signalisation horizontale n'est pas considérée comme un élément « critique ».
- La problématique est donc de savoir si c'est le cas également pour le véhicule automatisé, à savoir si son intelligence est suffisante pour tolérer des marques avec des niveaux de service parfois décorrélés des conditions de référence ?



# **PROJETS DE DÉVELOPPEMENT EXPÉRIMENTAL | 2**

# AXES DE PROGRÈS IDENTIFIÉS – PROJET FVA

- La signalisation horizontale dispose d'un cadre normatif et réglementaire qu'il n'apparaît pas nécessaire de faire évoluer à court ou moyen termes.
- En effet, les capteurs des véhicules automatisés disposent encore d'une marge de progrès importante, notamment en termes de validation vis-à-vis de l'état courant de la signalisation routière.
- Le principal levier d'action identifié consiste ainsi à améliorer les éléments relatifs aux marquages routiers dans les outils existants de mise au point et d'expérimentation du véhicule automatisé :
  - Recueillir des données sur route ouverte à la fois en embarqué et sur l'infrastructure
  - Passer de la piste d'essai au concept de piste de référence
  - Mettre au point des outils de simulation numérique plus fidèles en matière d'équipements de la route



# EVALUATION SUR ROUTE OUVERTE

- Actions :
  - Constituer des parcours dédiés aux véhicules automatisés avec des marquages routiers plus ou moins récents
  - Coupler le recueil de données issus des capteurs embarqués avec les données mesurées in situ sur les infrastructures
  - Croiser les performances des véhicules automatisés avec le niveau de service de la route
- Projet phare au sein de Uni Eiffel : projet de Zone d'Expérimentation à Haut Niveau de Service (ZEHNS) sur A63



Essais dans l'Aisne - 2006

# DE LA PISTE D'ESSAI À LA PISTE DE RÉFÉRENCE

- Actions :
  - Equiper les pistes dédiées au test des véhicules automatisés de marquages de type « usés » sur différents types de chaussées
  - Faire des tests en croisant les mesures en provenant d'AGR notamment ECODYN et les détections issues de capteurs/véhicules prototypes
  - Identifier des protocoles d'essai pour limiter le nombre de passages
- Projet phare au sein de Uni Eiffel : plate-forme des Fromenteaux (Transpolis)



Road Markings for Machine Vision  
NCHRP Project 20-102(6) - 2016

# SIMULATION – VERS LA VALIDATION FONCTIONNELLE PAR LA FIDÉLITÉ PHOTOMÉTRIQUE

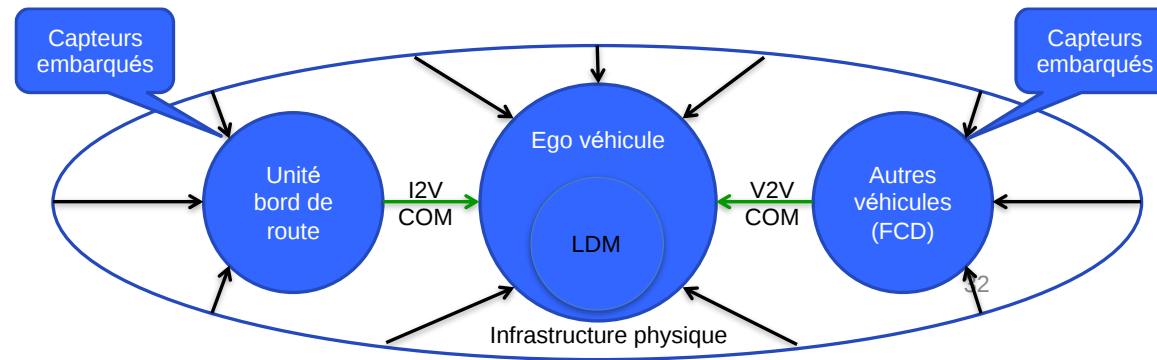
- Objectifs :
  - Aller au-delà de la validation des logiciels embarqués en cas de marquages effacés par exemple
  - Coupler simulation de capteurs, de conduite et de déplacement
  - Intégrer des données photométriques, comme la BRDF, sur les surfaces routières
  - Aller vers du test hybride combinant réel et virtuel
- Projet phare au sein de Uni Eiffel : plate-forme de simulation ImPACT3D



Banc de mesure de BRDF et image issue d'une simulation par ESI Pro-SiVIC

# SORTIES ATTENDUES DE CES DÉVELOPPEMENTS EXPÉRIMENTAUX

- Améliorer les spécifications des capteurs pour les ADAS et le VA afin que les capteurs embarqués s'adaptent mieux aux infrastructures existantes, notamment en présence de marquages vieillissants.
- Evaluer des stratégies de maintenance de la signalisation horizontale :
  - A court terme : évaluer des stratégies d'entretien des marquages routiers vis-à-vis des besoins exprimés par les concepteurs de véhicule automatisé
  - A moyen terme : évaluer la mise en place de stratégies de maintenance curatives et ciblées, à la condition notable que les véhicules soient connectés et permettent de faire remonter aux gestionnaires de façon systématique des non-détections localisées de la SH



Congrès de maîtrise  
des risques et de sécurité  
de fonctionnement



Prix « Recherche et Industrie » de l'IMdR

décerné le 19 janvier 2021 à

**Maxime Redondin**  
Institut VEDECOM

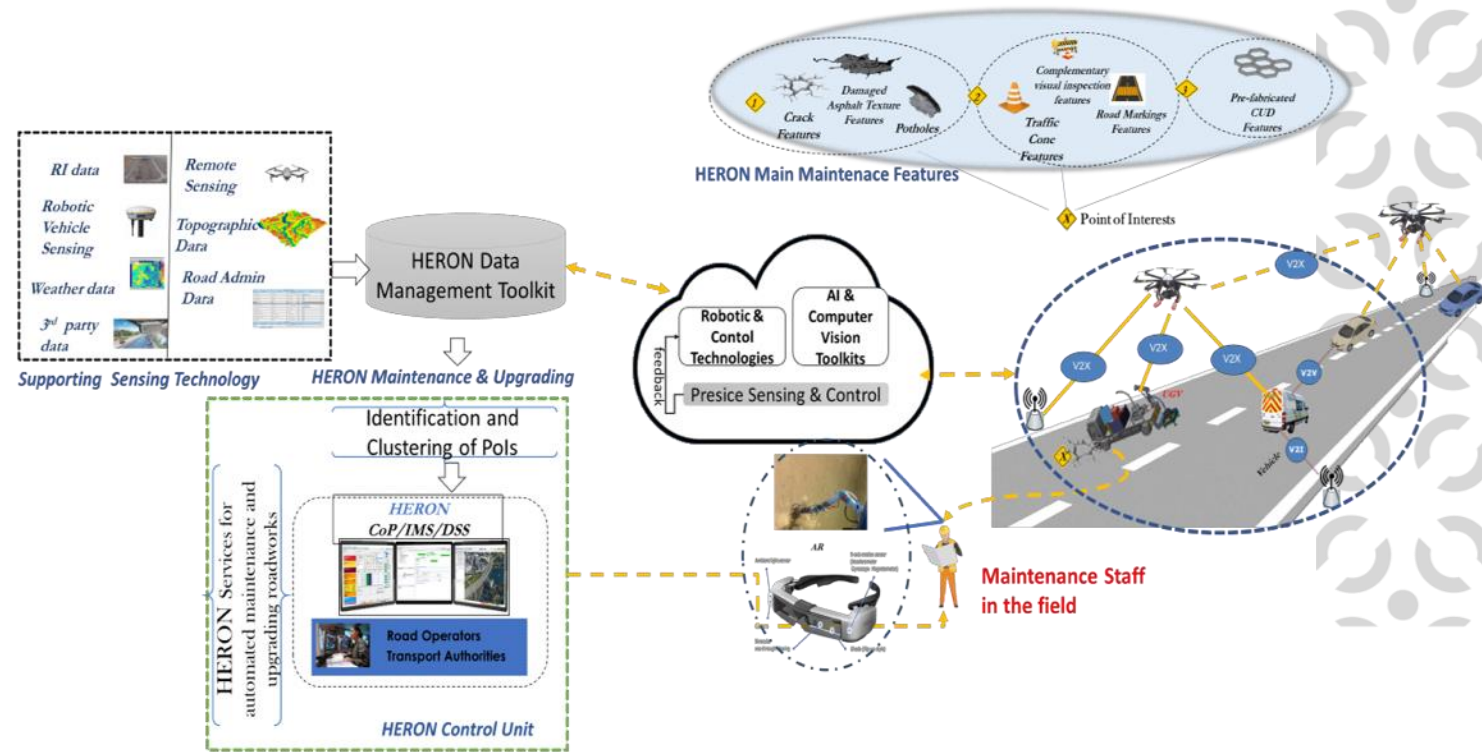
pour son travail de thèse intitulé  
« Comparaison de différentes approches par processus stochastiques  
pour le remplacement conditionné des marquages routiers »

Institut pour la Maîtrise des Risques  
dans le Transport Intelligent

# **PISTES DE RECHERCHE AMONT | 3**

# PISTES DE RECHERCHE AMONT

- Enjeux de recherche liés à l'IA et aux systèmes embarqués
  - Etablir des preuves formelles de la fiabilité des systèmes à base d'IA incluant les marquages routiers
  - Démontrer l'intérêt des marquages routiers comme une solution de localisation frugale
- Enjeux d'innovation
  - Exploiter les connaissances liées au processus d'homologation des produits de signalisation horizontale
  - Développer des alternatives aux marquages routiers en tant qu'amer de localisation
  - Développer des dispositifs de maintenance automatisés et robotisés



Vue d'ensemble du projet H2020 HERON  
Kick-off juin 2021

# CONCLUSION | 4

# CONCLUSION ET PERSPECTIVES

- Les marquages routiers constituent un composant clé de l'infrastructure routière pour le déploiement du véhicule automatisé de par ses interactions avec les capteurs embarqués
- La conception et les indicateurs de suivi de la performance de la signalisation horizontale ne sont pas alignés avec les besoins des véhicules automatisés
- A court et moyen termes, la coopération engagée entre les acteurs publics/privés doit permettre de faire progresser les performances des systèmes embarqués et potentiellement de fournir des nouveaux outils d'aide à la décision aux gestionnaires routiers
- La recherche doit permettre de préciser le rôle de la signalisation routière vis-vis de l'établissement de la preuve formelle de sécurité et de la frugalité des systèmes à base d'intelligence artificielle
- Plusieurs pistes sont en cours d'exploration pour corriger les « failles » connues de la signalisation routière actuelle ou encore aider les gestionnaires à optimiser leurs coûts d'entretien.

MERCI POUR VOTRE ATTENTION

- **Nicolas Hautière**
- [nicolas.hautiere@univ-eiffel.fr](mailto:nicolas.hautiere@univ-eiffel.fr)
- +33 (01) 81 66 85 19

