

INTRODUCTION

Le véhicule de mesure de l'état des chaussées (VMEC) a été élaboré par le ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports pour relever de façon automatisée les dégradations des chaussées sur les routes. Il permet d'ausculter plusieurs dizaines de milliers de kilomètres de chaussées du réseau routier chaque année. Ces relevés comprennent plusieurs caractéristiques de la chaussée comme les fissures, les ornières, la macrotexture et l'uni.

PROBLÉMATIQUES

De nombreux problèmes sont rencontrés lors des relevés d'auscultation des routes lorsque le positionnement transversal du véhicule n'est pas adéquat. Parmi ces problèmes, il faut mentionner les erreurs de détection des ornières, les erreurs de détection des lignes de marquage et l'augmentation des erreurs de répétabilité ou de reproductibilité entre les passages lors du calcul de l'indice de rugosité international (IRI) par le profilomètre inertiel.

Les erreurs de détection des ornières représentent la principale problématique rencontrée. Lorsque la déviation transversale du véhicule est importante par rapport au centre de la voie, une partie des ornières ne sera pas détectée et, par conséquent, la mesure de l'ornière ne sera pas calculée de façon optimale.

Des erreurs de détection des lignes de marquage peuvent également survenir en cas de déviations excessives du véhicule. D'une part, des données peuvent être perdues, car les systèmes d'acquisition ne couvrent pas la zone à relever. D'autre part, la répartition des caractéristiques sur les 5 bandes de roulement localisées selon la norme AASHTO R 55-10 sera affectée. Il sera alors difficile de comparer l'état des chaussées entre les différentes années d'auscultation.

Enfin, le calcul de l'IRI par le profilomètre inertiel est grandement influencé par la position transversale dans la voie. Par exemple, lors de la qualification de l'équipement, les déviations transversales du véhicule peuvent causer des erreurs qui empêchent de satisfaire les critères de répétabilité de l'équipement. Il peut aussi s'avérer complexe de reproduire des résultats entre les différents opérateurs du système.

OBJECTIF

L'objectif est de développer un système permettant de fournir au conducteur une aide à la navigation pour effectuer les relevés d'auscultation des chaussées. Ce système lui permettra d'améliorer le positionnement transversal du véhicule et, par conséquent, d'augmenter la qualité des relevés.

APPROCHE UTILISÉE

Le développement d'un système d'aide à la navigation exige l'estimation de la position transversale du véhicule en temps réel. Ainsi, afin d'aider le conducteur lors de la conduite du véhicule, le système détermine la déviation transversale du véhicule par rapport au centre de la voie. Dans le cas présent, l'approche est basée sur la vision numérique et, plus particulièrement, sur l'utilisation d'une caméra montée sur un VMEC ou sur tout autre véhicule d'auscultation des chaussées. Lors des relevés d'auscultation, des images à haute résolution sont capturées à chaque mètre parcouru par le véhicule. Ces images sont par la suite traitées pour détecter les lignes de marquage. L'estimation de la position transversale du véhicule s'effectue en utilisant un modèle de voie qui évolue en fonction des lignes de marquage détectées dans les images.

Lors du déploiement de la caméra, une procédure opérationnelle est requise pour assurer le bon fonctionnement du système. Cette procédure comprend deux étapes, soit l'alignement et l'étalonnage de la caméra. Tout d'abord, l'alignement consiste à calculer les paramètres du modèle de voie. Ces paramètres permettent de déterminer l'emplacement des lignes du modèle au moment de l'initialisation du système. Par la suite, l'étalonnage consiste à estimer les paramètres intrinsèques et extrinsèques de la caméra. Les paramètres intrinsèques sont estimés en utilisant des images prises d'une cible mobile en déplacement dans le champ de vue de la caméra, tandis que les paramètres extrinsèques sont estimés en utilisant une image d'une cible fixée au niveau du plan du sol.

Dans ce système monocaméra, l'étalonnage permet de trouver la relation entre les coordonnées spatiales d'un point dans le plan du sol avec le point associé dans l'image prise par la caméra. Ainsi, cette étape permet de mesurer des distances entre des points dans le plan de la chaussée en plus d'exprimer certains seuils de validation en unités métriques afin de prendre en considération les différentes géométries de véhicule utilisées. Un module logiciel a d'ailleurs été intégré à l'environnement multiagents pour automatiser les étapes d'alignement et d'étalonnage de la caméra. La figure 1 montre ces étapes.

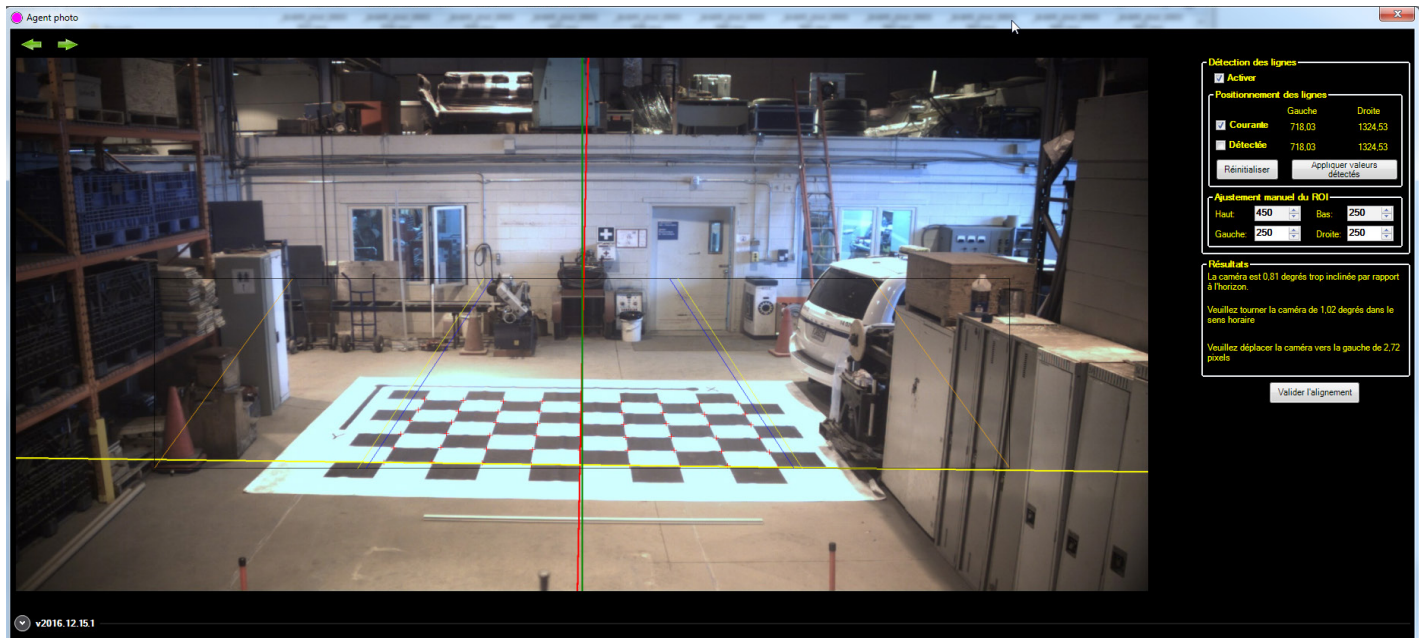


Figure 1 – Module d'alignement et d'étalonnage de la caméra dans l'environnement multiagents.

Afin de calculer le positionnement transversal du véhicule, un algorithme spécifique doit être appliqué sur les images capturées. L'architecture de l'algorithme proposé est décrite en trois phases. La figure 2 les illustre.

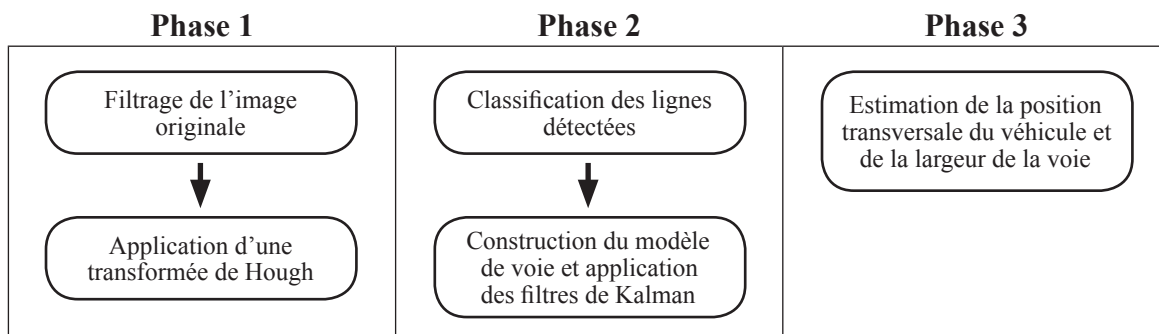


Figure 2 – Architecture de l'algorithme proposé pour le module d'aide à la navigation.

La première phase vise à détecter les lignes de marquage en effectuant un traitement adaptatif des images selon les conditions d'illumination. Pour ce faire, l'image originale est d'abord filtrée pour extraire les caractéristiques de la chaussée observée. Une transformée de Hough est ensuite appliquée sur l'image filtrée pour détecter les lignes présentes dans l'image. L'équation suivante présente l'ensemble des lignes détectées par la transformée de Hough :

$$L = \{L_0(p_d, p_f), L_1(p_d, p_f), \dots, L_{N-1}(p_d, p_f), L_N(p_d, p_f)\}$$

L représente l'ensemble des lignes détectées, N est le nombre de lignes et L_i correspond à la ligne i qui débute au point p_d et se termine au point p_f .

Dans la deuxième phase, le modèle de voie est mis à jour en utilisant les lignes détectées dans la phase 1. Les lignes détectées sont d'abord classifiées en quatre catégories, soit les lignes de gauche et les lignes de droite de la voie, puis ces classes sont à

leur tour divisées en lignes intérieures et extérieures. Le modèle de voie est ensuite construit en utilisant les lignes détectées qui sont pondérées en fonction de la distance et de l'angle qui les séparent des lignes qui composent le modèle de voie. Des filtres de Kalman sont également utilisés pour réduire le niveau de bruit des paramètres du modèle.

Enfin, dans la phase 3, la position transversale du véhicule et la largeur de la voie sont calculées. Une méthode trigonométrique est utilisée pour estimer la position transversale du véhicule. Un angle est formé par les deux droites intérieures des lignes de marquage détectées. La droite bissectrice coupe alors la droite inférieure de la région d'intérêt de l'image au point P_v . Ensuite, en utilisant l'équation ci-dessous, la différence ΔP entre P_v et le point milieu P_i est calculée selon l'axe des x dans l'image.

$$\Delta P = P_i - P_v$$

La figure 3 illustre le calcul de la déviation transversale du véhicule. Lorsque la différence ΔP est négative, cela signifie que le véhicule se trouve trop à droite par rapport au centre de la voie. Par ailleurs, la distance entre le centre de chaque ligne de marquage correspond à la largeur de la voie, W .

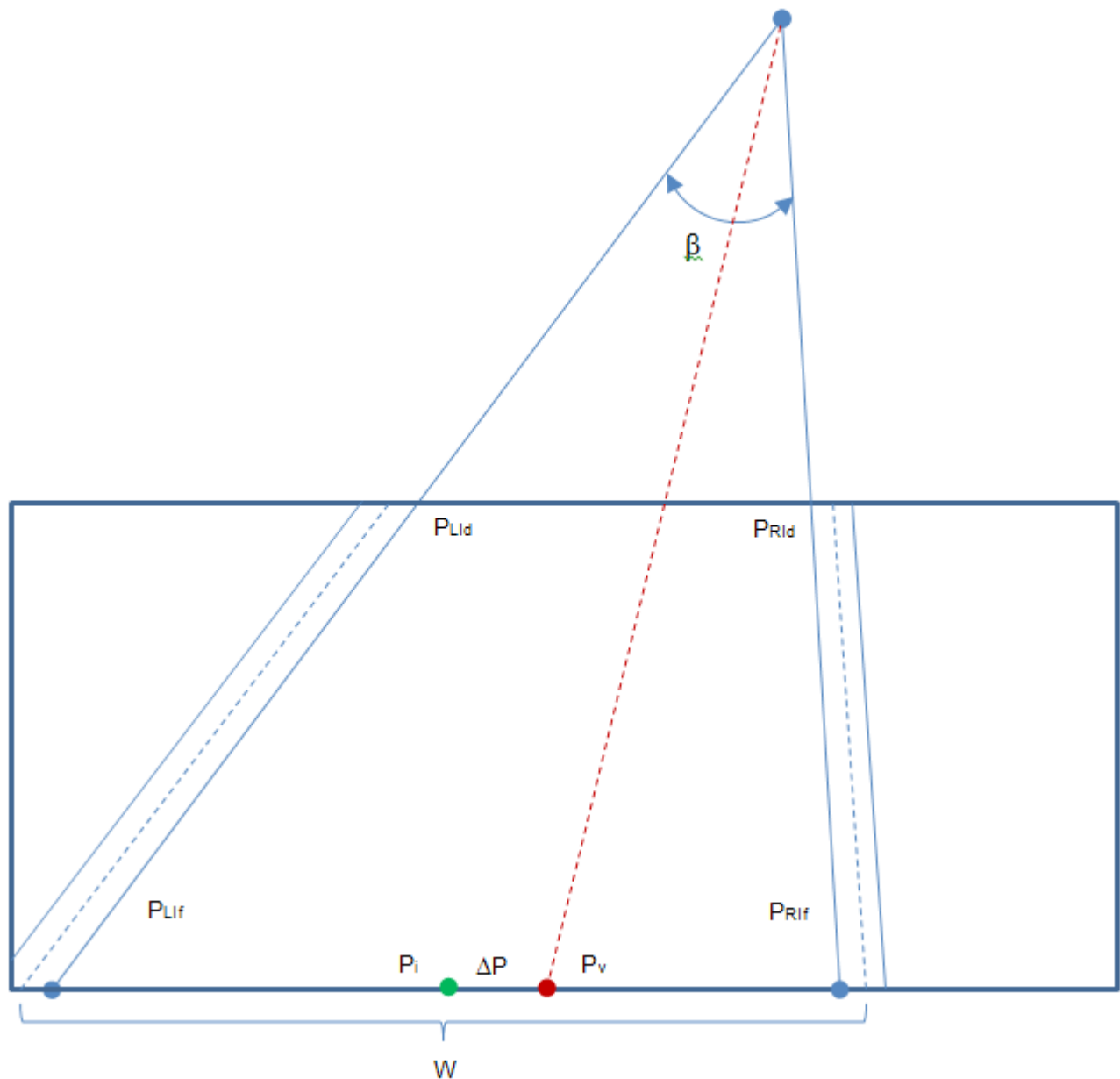


Figure 3 – Calcul de la déviation transversale du véhicule.

Les deux droites intérieures P_{LId} - P_{LIf} et P_{RId} - P_{RIf} des lignes de marquage détectées forment un angle β . La droite bissectrice coupe la droite inférieure de la région d'intérêt de l'image au point P_v . La différence ΔP entre P_v et le point milieu P_i est calculée selon l'axe des x dans l'image.

Les résultats de déviations transversales du véhicule sont présentés au conducteur sous la forme d'une barre de diodes électroluminescentes projetée dans le pare-brise du véhicule.

Ces mêmes résultats sont également affichés dans l'interface graphique de l'agent navigation dans l'environnement multi-agents. Les images ci-dessous montrent les résultats du calcul de la déviation transversale du véhicule par rapport au centre de la voie ainsi que l'estimation de la largeur de la voie.

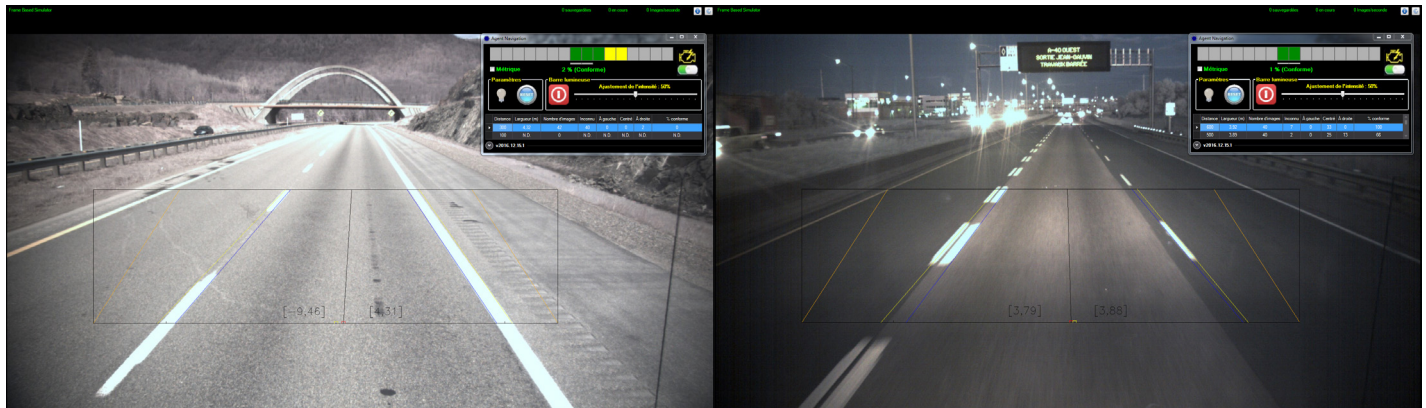


Figure 4 – Agent navigation dans l'environnement multiagents. L'image de gauche correspond au traitement d'une image dans des conditions de jour, tandis que l'image de droite correspond au traitement d'une image dans des conditions de nuit.

RÉSULTATS

Récemment, des essais visant à valider la performance du système d'aide à la navigation ont été réalisés. Lors de ces essais, quatre personnes ont conduit le véhicule SERG-2 sur un parcours d'environ 12 km comportant des pentes ainsi que plusieurs courbes. Ainsi, les conducteurs ont effectué le parcours dans les deux directions une première fois sans utiliser le système d'aide à la navigation. Ils l'ont par la suite activé afin de parcourir la distance une seconde fois. Le graphique ci-dessous montre un exemple des résultats de déviation transversale obtenus.

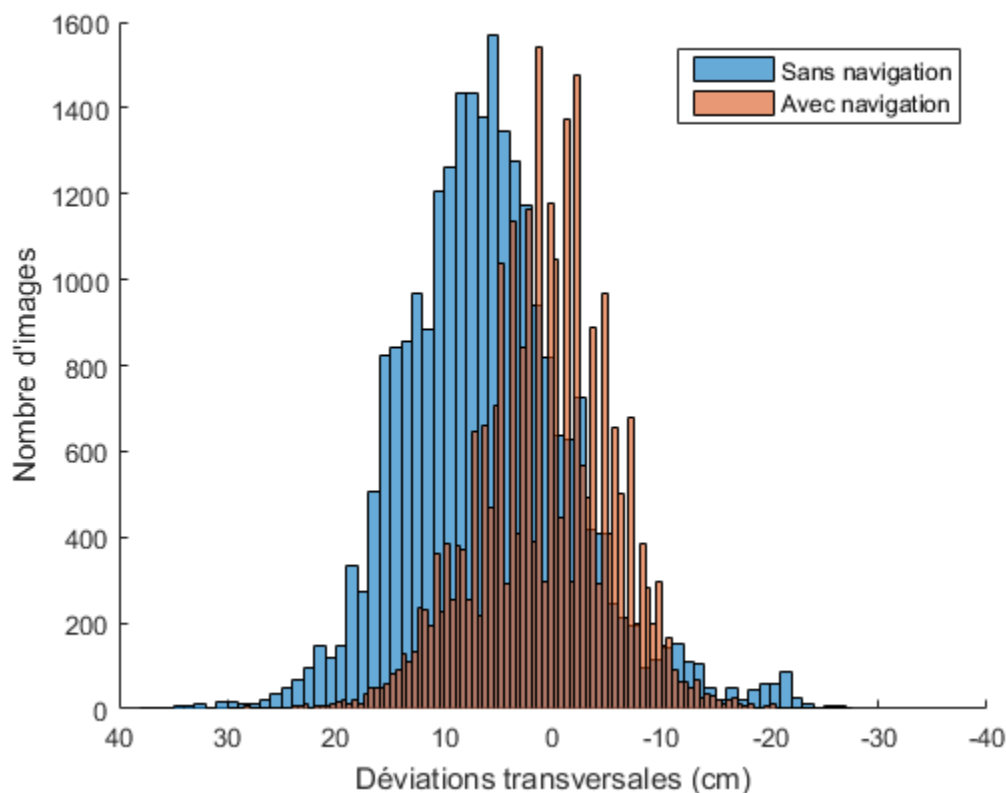


Figure 5 – Exemple de résultats des déviations transversales obtenus lors des essais de validation de la performance du système d'aide à la navigation.

Les deux histogrammes superposés illustrent la déviation transversale du véhicule par rapport au centre de la voie. L'histogramme en bleu correspond aux déviations transversales obtenues sans avoir recours au système d'aide à la navigation, tandis que l'histogramme en rouge correspond aux déviations transversales obtenues lorsque le conducteur tente de suivre la position centrale calculée par le système d'aide à la navigation. Globalement, pour le présent exemple, les résultats montrent une tendance du véhicule vers la gauche (valeurs de déviations transversales positives). Sans avoir recours au système d'aide à la navigation, la moyenne des carrés des erreurs (MCE) est de 98,36 cm². En utilisant le système d'aide à la navigation, la MCE est plutôt de 40,30 cm². Par ailleurs, une analyse a été réalisée afin de montrer la proportion dans laquelle les déviations transversales du véhicule peuvent avoir un effet sur la couverture des mesures des capteurs Laser Crack Measurement System (LCMS). Ainsi, en considérant que la trace des lasers des capteurs LCMS est d'environ 408 cm, il reste alors une marge d'erreur de 16,5 cm de chaque côté pour une route de 375 cm de largeur. Cela représente environ 4 % de la largeur de la voie. Sans avoir recours au système d'aide à la navigation, le ratio des données se situant au-dessus du seuil de déviation transversale est d'environ 12,5 %, tandis que le ratio est d'environ 1,8 % en utilisant le système d'aide à la navigation.

CONCLUSION

Un système d'aide à la navigation a été conçu pour améliorer le positionnement transversal des véhicules d'auscultation des chaussées. Bien que certains conducteurs soient plus habiles que d'autres, le système d'aide à la navigation tend à ramener la majorité des conducteurs à un même niveau en ce qui concerne le positionnement transversal. Par conséquent, la qualité des relevés sera plus uniforme et de meilleure qualité.

Certains aspects peuvent encore être améliorés dans le système d'aide à la navigation, notamment le dispositif de projection pour l'affichage tête haute (ATH) dans le pare-brise du véhicule, particulièrement pour les conditions d'ensoleillement intense.

RESPONSABLE : Michel Robert, ing., M. Sc.

DIRECTEUR : Yvon Villeneuve, ing.
Direction générale du laboratoire
des chaussées