



**HAL**  
open science

# Exploitation d'un capteur proche infrarouge (SWIR) pour la perception des robots mobiles en conditions météorologiques difficiles

Alexandre Riffard, Mathieu Labussière, Pierre Duthon, Romuald Aufrère

► **To cite this version:**

Alexandre Riffard, Mathieu Labussière, Pierre Duthon, Romuald Aufrère. Exploitation d'un capteur proche infrarouge (SWIR) pour la perception des robots mobiles en conditions météorologiques difficiles. Reconnaissance des Formes, Image, Apprentissage et Perception (RFIAP'24), Jul 2024, Lille, France. hal-04619118

**HAL Id: hal-04619118**

**<https://hal.science/hal-04619118>**

Submitted on 20 Jun 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Exploitation d'un capteur proche infrarouge (SWIR) pour la perception des robots mobiles en conditions météorologiques difficiles

Alexandre Riffard<sup>1</sup>

Mathieu Labussière<sup>1</sup>

Pierre Duthon<sup>2</sup>

Romuald Aufrère<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Université Clermont Auvergne, Clermont Auvergne INP, CNRS, Institut Pascal, F-63000 Clermont-Ferrand, France

<sup>2</sup>Cerema, Research Team "Intelligent Transport Systems", 8-10 Rue Bernard Palissy, CEDEX 2, F-63017 Clermont-Ferrand, France

alexandre.riffard@uca.fr



FIGURE 1 – Brouillard artificiel de jour, au Cerema, spectre visible (gauche) et SWIR (droite) ; temps exposition = 100  $\mu$ s. Dans l'image SWIR, les détails sont nettement plus visibles : le panneau, la maquette de voiture et un plus grand nombre de cônes de chantier ainsi que le mannequin sont clairement distinguables. De plus, le brouillard est considérablement moins diffusant dans le SWIR, ce qui permet une meilleure distinction globale des objets et de l'environnement.

## 1 Introduction

L'utilisation du spectre SWIR (Short Wave Infrared), compris généralement entre 0,7 et 2,5  $\mu$ m, a ouvert de nouvelles perspectives dans le domaine de l'imagerie, et ce plus particulièrement dans le développement des véhicules autonomes (AV). Alors que les solutions actuelles de détection d'obstacles démontrent une efficacité appréciable sous des conditions météorologiques favorables [1, 2], une marge d'amélioration subsiste pour accroître la sécurité des AV dans des environnements routiers partiellement inconnus et soumis à des conditions météorologiques difficiles (pluie, neige, brouillard, éblouissement...), tant de jour que de nuit [3], comme illustrée dans figure 1. C'est dans ce cadre que cette étude s'inscrit, avec l'intégration d'une caméra SWIR [4] dans l'architecture sensorielle des AV.

**Contexte et Motivation.** L'objectif de ces travaux est de lever les limitations actuelles des systèmes de détection en exploitant les caractéristiques particulières du spectre SWIR, offrant ainsi une perception plus fiable des obstacles dans des conditions météorologiques dégradées. En effet, l'utilisation d'un capteur SWIR, permet, entre autre, de réduire la diffusion de la poussière, de la pluie ou encore du brouillard [5]. L'utilisation de ce type de capteurs se ferait en complément des capteurs conventionnels (lidar, radar, caméra) déjà présents sur les AV. Ces avancées permettraient non seulement de renforcer la sécurité des AV, mais aussi de favoriser leur autonomie à long terme, notamment dans des zones rurales où les infrastructures routières sont moins développées. Nos travaux se concentrent actuellement sur les deux contributions suivantes :

- La comparaison entre le spectre visible et le spectre SWIR en conditions météorologiques dégradées grâce à l'appui de la plateforme "PAVIN Brouillard & Pluie" (PAVIN BP) du Cerema [6].
- La comparaison des technologies de capteurs SWIR (InGaAs et CQD).

## 2 Caméras SWIR et Conditions Météorologiques Difficiles

Parmi les technologies de capteur SWIR, l'InGaAs est la technologie la plus couramment utilisée. Récemment, les capteurs CQD<sup>®</sup> [7] ont permis l'émergence de nouvelles solutions. Pour la comparaison entre les caméras SWIR, InGaAs et CQD, nous avons utilisé deux caméras différentes, une de chaque type :

- **CQD** : une caméra SWIR Acuros<sup>®</sup> CQD<sup>®</sup> 1280 de SWIR Vision Systems [8].
- **InGaAs** : une caméra SWIR Bobcat 320 de Xenics Exosens Group [9].

Type de capteur	InGaAs	CQD®
Résolution	640x512	1280x1024
Bande spectrale	0.9µm - 1.7 µm	0.4 µm - 1.7 µm
QE ou D*	Haut	Haut dans le visible, bas dans le SWIR
Coût	\$\$	\$



TABLE 1 – Liste des principaux paramètres des caméras InGaAs et CQD®.

Certaines de leurs principales caractéristiques sont détaillées dans le tableau 1. Les caméras SWIR InGaAs, malgré leurs coûts de production et de vente élevés, restent des capteurs particulièrement fiables et performants en raison de leurs performances élevées dans des conditions de faible luminosité, grâce à une QE (Quantum Efficiency) élevée. Les caméras à points quantiques colloïdaux (CQD), quant à elles, représentent une avancée prometteuse grâce à leurs propriétés, offrant une sensibilité spectrale réglable et une résolution d'image plus élevée. Une première comparaison entre le spectre SWIR et le spectre visible a été réalisée dans un environnement contrôlé (plate-forme PAVIN BP au Cerema [6]) et dans différentes conditions météorologiques, telles que du brouillard et de la pluie de différentes intensités, de jour comme de nuit (voir Schéma d'expérience du tableau 2). Seuls de la pluie et du brouillard ont pu être générés sur la plateforme, mais on souhaite s'intéresser à toutes les conditions par la suite, grâce à des acquisitions en extérieur. L'acquisition des images s'est faite à l'aide d'une caméra classique pour le spectre visible et de la caméra InGaAs présentée précédemment pour le SWIR. Ces expériences préliminaires nous ont permis de constater une amélioration de la visibilité dans le brouillard épais et les fortes pluies pour le spectre SWIR par rapport au spectre visible, y compris de nuit, à condition qu'il y ait une source lumineuse dans la scène émettant dans le SWIR (phares de voiture...). Un exemple de ce qu'il est possible d'obtenir est observable dans la figure 1. Les paramètres sur lesquels nous avons influé sont listés dans le tableau 2.

Param.	Valeurs	Schéma d'expérience
Éclairage	Jour / Nuit, leds SWIR / halogène / phares arrières de voitures	
Météo	Brouillard (dissipation progressive) Pluie (de 20 à 170 mm/h)	
Spectre	Visible (380 - 750 nm) SWIR (0.9 - 1.7 µm)	
Caméra	Temps d'exposition NUC	

TABLE 2 – Liste des paramètres influencés lors des expériences préliminaires au Cerema (PAVIN BP).

### 3 Conclusion et Perspectives

Nos expériences préliminaires montrent qualitativement que la technologie SWIR améliore de manière significative la vision des véhicules autonomes, en particulier en cas de faible luminosité et de conditions météorologiques difficiles. Cela permet, par exemple, de distinguer plus facilement les marquages routiers, les panneaux et les obstacles, même sous la pluie ou dans le brouillard, ce qui ouvre des perspectives prometteuses pour les systèmes de conduite autonome. En outre, l'adoption généralisée de la technologie SWIR dans divers secteurs [10], notamment l'industrie, la recherche médicale, l'automobile, l'agriculture et la défense, souligne son utilité et son potentiel important. Nous envisageons par la suite la réalisation d'une analyse plus poussée entre les performances de l'InGaAs et du CQD® dans le spectre SWIR. Nous comptons également aborder la segmentation et la détection d'obstacles dans le spectre SWIR en utilisant les données collectées par ces capteurs. Nous évaluerons alors les algorithmes existants ainsi que nos propres versions modifiées pour optimiser la précision et la fiabilité de la détection des obstacles et de l'état de la route dans le SWIR. Nous comptons ensuite intégrer la caméra dans une architecture de fusion multi-capteurs, ce qui permettra une perception plus complète et précise de l'environnement routier. Bien que des travaux de fusion Visible+IR existe, peu se concentre sur Visible+SWIR (0,7 et 2,5 µm) [11, 12]. De plus, nous pourrions profiter des plateformes disponibles à l'Institut Pascal, notamment PAVIN et ZOE, pour acquérir et créer des jeux de données multimodales comprenant des données LIDAR, caméras, et bien d'autres.

## Remerciements

Ce travail a bénéficié du soutien du Centre International de Recherche "Systèmes Innovants pour les Transports et la Production" de l'I-SITE CAP 20-25.

## Références

- [1] A. S. Mohammed, A. Amamou, F. K. Ayevide, S. Kelouwani, K. Agbossou, and N. Zioui, "The perception system of intelligent ground vehicles in all weather conditions : A systematic literature review," *Sensors (Switzerland)*, vol. 20, pp. 1–34, 2020.
- [2] M. Bijelic, T. Gruber, F. Mannan, F. Kraus, W. Ritter, K. Dietmayer, and F. Heide, "Seeing through fog without seeing fog : Deep multimodal sensor fusion in unseen adverse weather," 2 2019.
- [3] M. Bertozzi, R. I. Fedriga, A. Miron, and J.-L. Reverchon, *Pedestrian Detection in Poor Visibility Conditions : Would SWIR Help ?*, vol. 8157 LNCS, pp. 229–238. 2013.
- [4] N. Pinchon, O. Cassignol, A. Nicolas, F. Bernardin, P. Leduc, J.-P. Tarel, R. Brémond, E. Bercier, and J. Brunet, *All-Weather Vision for Automotive Safety : Which Spectral Band ?*, pp. 3–15. 2019.
- [5] W. Ritter, M. Bijelic, T. Gruber, M. Kutilla, and H. Holzhüter, *DENSE : Environment Perception in Bad Weather—First Results*, pp. 143–159. Springer International Publishing, 2019.
- [6] S. Liandrat, P. Duthon, F. Bernardin, B. Daoued, and J.-L. Bicard, "A review of cerema pavin fog & rain platform : from past and back to the future," 2022.
- [7] C. Gregory, A. Hilton, K. Violette, and E. J. D. Klem, "Colloidal quantum dot photodetectors for large format nir, swir, and eswir imaging arrays," 2023.
- [8] SWIR Vision Systems, "Acuros SWIR Cameras | SWIR Vision Systems." <https://www.swirvisionsystems.com/acuros-swir-camera/> - 27/03/2024.
- [9] Exosens, "BOBCAT/BOBCAT+." <https://www.exosens.com/products/bobcat> - 27/03/2024.
- [10] M. P. Hansen and D. S. Malchow, "Overview of swir detectors, cameras, and applications," *Thermosense XXX*, vol. 6939, p. 69390I, 2008.
- [11] Y. Li, J. Moreau, and J. Ibanez-Guzman, "Emergent visual sensors for autonomous vehicles," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 24, no. 5, pp. 4716–4737, 2023.
- [12] J. Ma, Y. Ma, and C. Li, "Infrared and visible image fusion methods and applications : A survey," *Information fusion*, vol. 45, pp. 153–178, 2019.