

La plateforme PAVIN Brouillard Pluie : essais en conditions météorologiques dégradées

1. L'équipe de recherche STI et la plateforme PAVIN

Le Cerema s'implique dans le domaine du véhicule automatisé et connecté, stratégique pour le développement de la mobilité intelligente, en accompagnement à la fois des acteurs économiques, des collectivités et de l'administration dans la mise en place du cadre réglementaire d'homologation, mais également dans l'expérimentation et l'évaluation des technologies, des systèmes et des services associés.

L'équipe de recherche Systèmes de Transports Intelligents (STI) travaille en particulier sur l'évaluation des systèmes d'automatisation de la conduite. Les travaux de cette équipe de recherche s'appuient fortement sur la plateforme PAVIN BP (Plateforme Auvergne pour Véhicules Intelligents Brouillard & Pluie, Clermont-Ferrand). Cette dernière est sollicitée par de nombreuses commandes de clients nationaux, européens et internationaux du secteur automobile (industriels français, allemands, italiens, suédois, indiens, canadiens, israéliens, etc.) et également valorisée lors de partenariats avec co-financement par une subvention sur projets ANR, FUI ou H2020 comme les projets DENSE ou AWARD. On peut noter des partenaires tels que Renault, PSA, Valeo, Daimler ou encore Easymile.

L'équipement constitue une composante du LABEX Imobs3 « Mobilité innovante : solutions intelligentes et durables », et il est identifié comme plateforme d'évaluation des véhicules intelligents (PAVIN) de l'I-SITE CAP 2025, projet structurant de l'Université Clermont-Auvergne (UCA) et au niveau national dans les sites d'essais du plan France Véhicule Autonome.

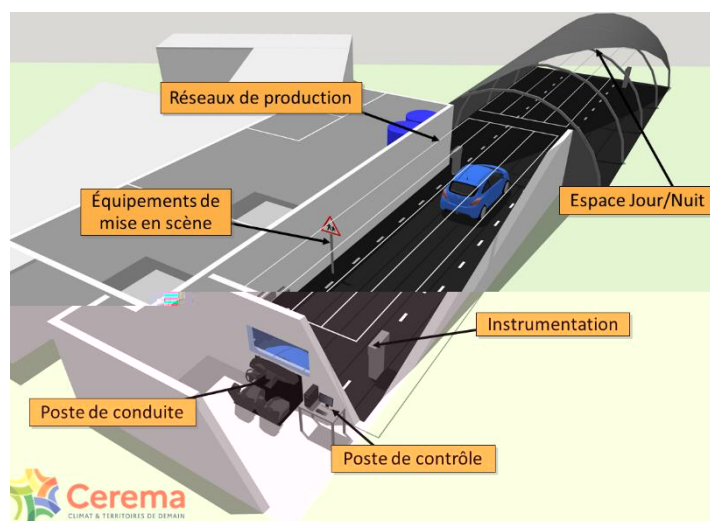


L'installation se présente sous la forme d'une piste couverte de 30 m de long, spécifiquement aménagée et instrumentée avec différents matériels : générateur de pluie et brouillard, capteurs météorologiques de pointe, capteurs de vision de référence.

Face au poste de contrôle, la piste est structurée en deux parties (tunnel en dur et serre avec couverture opaque amovible), ce qui permet de réaliser des essais en conditions de jour comme de nuit, selon une grande variété de scénarios.

De nombreuses conditions météorologiques sont reproductibles au sein de la plateforme :

- Brouillard dense à léger par dissipation (non stabilisé), visibilité météorologique de 10 m à 1 000 m.
- Brouillard dense par palier stabilisé, visibilité météorologique de 10 m à 80 m.
- 2 types de granulométrie du brouillard, radiation (0,8 microns) et advection (0,8 à 8 microns).
- Pluie forte par palier stabilisé, intensité de pluie de 20 mm/h (durée de 100 minutes maximum) à 180 mm/h (durée de 9 minutes maximum).



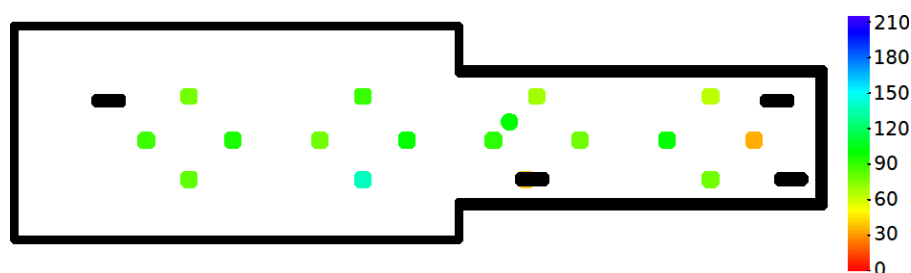
Cela permet de réaliser une typologie d'études très variée :

- Validation de capteurs et produits à déployer en extérieur.
- Mesure de performance des systèmes d'aide à la conduite / ADAS (ex : détecteurs de piétons et d'obstacles).
- Mesure de la performance de systèmes de signalisation et d'éclairage innovants.
- Étude de la perception du conducteur en conditions de visibilité réduite.
- Développement de nouvelles technologies d'imagerie adaptées aux conditions de brouillard et pluie (ex : infrarouge, laser, radar).
- Comparaison entre systèmes de vision artificielle et humaine.
- Conception d'algorithmes d'analyse et de traitement d'images et de nuages de point 3D.

2. Des conditions météorologiques toujours plus représentatives de la réalité

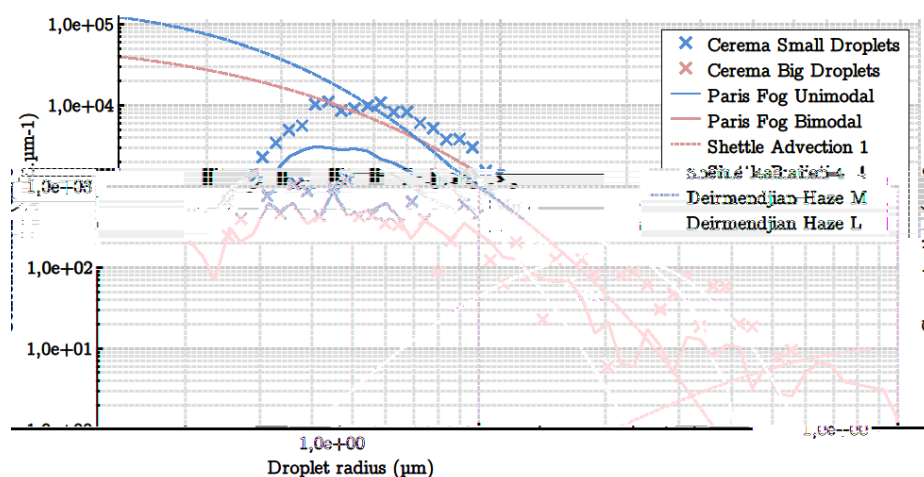
De nombreux travaux sont en cours pour garantir une reproduction des conditions météorologiques dégradées toujours plus proche de la réalité. L'unicité de la plateforme PAVIN du Cerema repose en effet sur la fidélité du brouillard et de la pluie générés.

Concernant la pluie, les travaux réalisés dans le cadre du projet européen DENSE ont permis d'étendre la gamme d'intensité de pluie (passant de [30,55mm/h] à [16,165mm/h]). En effet, le record français de 1982 est de 200mm/h sur 30min et de 360mm/h sur les 6min de pic de l'orage. Augmenter la capacité de la plateforme en termes d'intensité de pluie était donc un enjeu majeur. Le second enjeu concerne la représentativité de la pluie. Pour cela des travaux ont été menés afin de garantir une meilleure homogénéité spatiale de cette dernière au sol, comme le montre la figure ci-dessous.



Intensité de pluie mesurée sur l'ensemble de la plateforme PAVIN (mm/h).

Concernant le brouillard, les granulométries du brouillard ont été mesurées et comparées aux différents modèles de la littérature. On constate que le brouillard « Cerema Small Droplets » est très représentatif des brouillards de radiation (aussi appelé brouillards continentaux). En revanche, les brouillards maritimes (ou d'advection) sont moins bien reproduits au sein de la plateforme. Le brouillard « Cerema Big Droplets » ne contient en effet pas assez de grosses gouttes (diamètre autour de 20 microns). Des travaux sont en cours pour répondre à ce nouvel enjeu, et les résultats devraient être disponibles fin 2022, dans le cadre du projet H2020 AWARD présenté dans la section suivante.



Granulométrie des brouillards de la plateforme PAVIN comparée à différents modèles de la littérature.

3. Quelques exemples de projets

La plateforme PAVIN du Cerema peut être utilisée pour de nombreuses applications, dont trois exemples seront donnés dans cette partie.



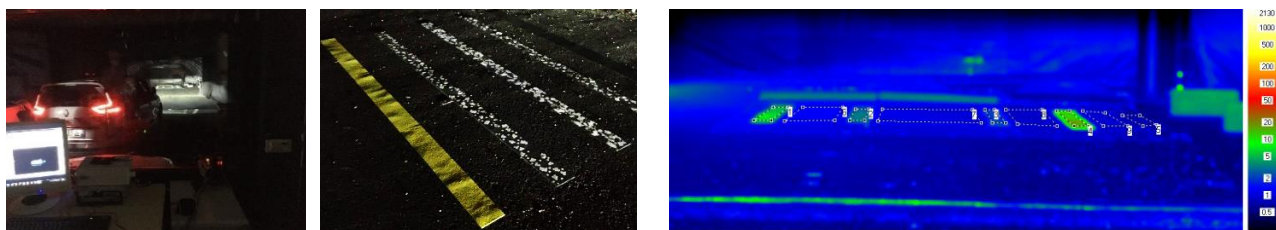
Le projet H2020 All Weather Autonomous Real logistics operations and Demonstrations (AWARD) vise à apporter des innovations majeures à l'industrie du transport, aux opérateurs de flotte et à l'ensemble du secteur de la logistique. Le projet contribuera au déploiement accéléré de solutions de transport de marchandises innovantes, connectées et automatisées en Europe et dans le monde entier.

L'équipe de recherche STI du Cerema joue un rôle important dans ce projet. Elle participe ainsi à plus de la moitié des essais du projet AWARD. Dans le cadre de AWARD, l'équipe de recherche a participé à la mise en place des protocoles et à la réalisation des essais en conditions météorologiques dégradées. Pour cela, la plateforme PAVIN Brouillard et Pluie a été utilisée lors des développements de la suite de capteurs et des algorithmes associés.

Le projet SAM, Sécurité et Acceptabilité de la conduite et de la Mobilité autonome, démarré en 2018 et financé par l'ADEME, réunit de nombreux acteurs industriels et de la recherche afin de traiter de sujets autour du véhicule autonome.

L'équipe de recherche STI du Cerema travaille notamment sur la tâche 2.6 portant sur la signalisation horizontale. Dans le cadre de cette tâche, une campagne d'essais a été organisée au sein de la plateforme R&D Brouillard et pluie avec les agences du Cerema d'Angers et de Strasbourg. L'objet de cette campagne était de réaliser des mesures sur des marquages routiers en conditions de visibilité dégradées. Dans le cadre du projet SAM, un grand nombre de marquages ont été confectionnés afin de représenter les différents contrastes existants dans la réalité. Plusieurs matériels de mesures des différentes agences du Cerema ont été placés au sein de la plateforme.

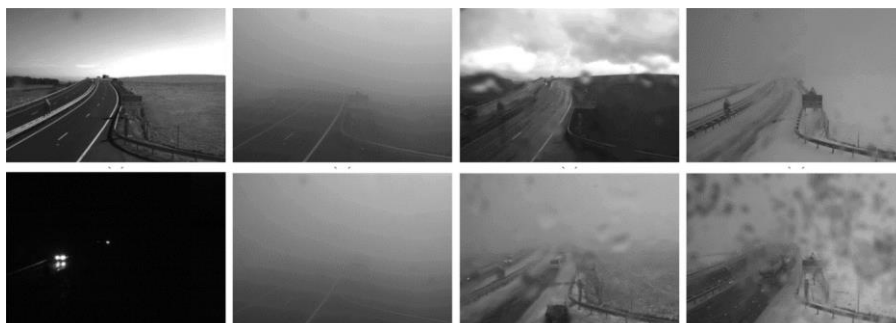
D'ici la fin du projet, il est également prévu que plusieurs industriels impliqués dans SAM réalisent une campagne d'essais similaire au sein de la plateforme brouillard & pluie.



De gauche à droite : mise en place d'un véhicule dans la plateforme, marquages testés avec différents niveaux d'usure, image en luminance avec mesure de chacun des marquages en conditions de brouillard léger.

Le projet de thèse de Khoulood Dahmane a consisté à montrer la faisabilité d'utiliser une caméra de bord de voie pour détecter les conditions météorologiques. Dans les environnements routiers, la connaissance en temps réel des conditions météorologiques locales est essentielle pour relever le double défi d'améliorer la sécurité routière et d'éviter les congestions. Actuellement, le principal moyen de quantifier les conditions météorologiques le long d'un réseau routier nécessite l'installation de stations météorologiques. Ces stations sont coûteuses et doivent être entretenues, alors qu'un grand nombre de caméras sont déjà installées sur le bord des routes. Une nouvelle méthode d'intelligence artificielle utilisant des caméras de circulation routière et un réseau de neurones convolutionnel pour détecter les conditions météorologiques a donc été proposée. Elle répond à un ensemble de contraintes clairement définies relatives à la capacité de fonctionner en temps réel, de classer l'ensemble des conditions météorologiques et de les ordonner en fonction de leur intensité. La méthode peut différencier cinq conditions météorologiques telles que le temps clair, la pluie forte, la pluie légère, le brouillard dense et le brouillard léger. Les phases d'entraînement et de test de la

méthode d'apprentissage profond ont été réalisées à l'aide de bases de données acquises au sein de la plateforme PAVIN et de sur des sites extérieurs. Après plusieurs étapes d'optimisation, la méthode proposée a obtenu une précision de 0,99 pour la classification.



Exemple d'images utilisées pour la détection des conditions météorologiques par caméra.

4. Une nouvelle plateforme pour 2023

Le projet de modernisation de la plateforme PAVIN Brouillard et Pluie, dont la livraison est prévue en 2023, permettra de répondre à de nombreuses limites de l'installation actuelle, et s'articule autour de quatre axes principaux :

- Les dimensions actuelles de l'enceinte climatique ne permettent plus de répondre à des besoins de scénarios de plus en plus réalistes et complexes. La nouvelle enceinte sera ainsi plus longue (50 m), plus large (10 m) et plus haute (5 m). Une piste d'accès extérieure de quelques dizaines de mètres de longueur permettra d'accéder à l'enceinte climatique, offrant la possibilité de réaliser des essais en dynamique à terme.
- Les conditions thermiques et hygrométriques intérieures de l'enceinte ne sont pas assez stables et trop hétérogènes, conséquence directe de la structure actuelle en deux parties (tunnel et serre). La nouvelle enceinte devra proposer des paramètres intérieurs homogènes dans le temps et dans l'espace à l'échelle d'une journée de tests. Cet objectif sera atteint par une isolation cohérente ainsi qu'un système de ventilation bien dimensionné.
- Les conditions d'éclairage de l'enceinte, que ce soit en lumière naturelle ou artificielle, devront également être davantage homogènes dans le temps et l'espace. Cet objectif sera atteint par une quantité et une disposition réfléchie des fenêtres et du système d'éclairage, permettant une adaptation aux conditions extérieures les plus courantes (notamment plein soleil ou ciel couvert) mais également de garder la possibilité de réaliser des essais en conditions nocturnes.
- La performance environnementale et notamment la gestion de l'eau en circuit fermé : la nouvelle plateforme devra pouvoir générer de la pluie avec une consommation d'eau quasi nulle par un système de récupération et de stockage d'eau disposé sous la chaussée de la plateforme. Un intérêt particulier sera porté aux aspects environnementaux de l'ensemble, l'usage de matériaux biosourcés sera encouragé et devra être compatible avec les conditions hygrométriques à l'intérieur de l'enceinte.

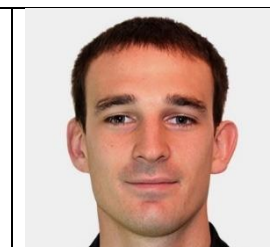


Premier croquis d'insertion. Projet et image Perichon-Jalicon architectes.

5. Conclusion

La plateforme PAVIN Brouillard et Pluie est donc un outil de recherche toujours en évolution. Cette évolution est rendue possible grâce à l'équipe de recherche STI associée à cette dernière. Cela fait du Cerema un acteur majeur pour relever les défis actuels liés aux développements des systèmes d'intelligence artificielle qui sont déployés sur nos routes, que ce soit au bord des infrastructures ou à bord des véhicules. Ces systèmes sont en effet à présent éprouvés en conditions normales. Cependant, ils ont des domaines opérationnels très restreints (temps clair). Tout l'enjeu des recherches actuelles porte sur l'extension de ce domaine opérationnel en incluant par exemple les conditions de pluie et de brouillard. Grâce à la plateforme PAVIN, l'équipe de recherche STI peut ainsi proposer des solutions pour répondre à ces enjeux.

Pierre DUTHON
Chercheur – Ingénieur
Adjoint au responsable du groupe recherche STI



Pierre Duthon est titulaire d'un diplôme d'ingénieur civil et transport de l'école d'ingénieur ENTPE de Lyon et d'une thèse de doctorat en optique et vision par ordinateur de l'Université Clermont Auvergne (impact des conditions météorologiques dégradées sur les systèmes de vision par ordinateur dans un contexte routier). Il est actuellement ingénieur chercheur dans l'équipe STI et travaille sur différents sujets en lien avec la vision par ordinateur, les conditions météorologiques dégradées (brouillard ou pluie) et l'intelligence artificielle. Par ailleurs, il est pilote pour le Cerema du projet H2020 AWARD.

Il a déjà travaillé sur plusieurs sujets de recherche en lien avec l'optique et le traitement d'images, comme l'optimisation des algorithmes de saillance dans un contexte routier, l'optimisation d'un luminancemètre basé sur une caméra par analyse spectrale ou l'implémentation et le développement d'algorithmes de défloutage. Il a également déjà participé à de nombreux projets européens.

Frédéric BERNARDIN
Chercheur
Responsable du groupe recherche STI



Frédéric Bernardin est titulaire d'un diplôme d'ingénieur civil et transport de l'école d'ingénieur ENTPE de Lyon et soutient en 2004 une thèse de doctorat en mathématiques appliquées (Université de Lyon). En 2017, il a obtenu de l'Université Clermont Auvergne une HDR (habilitation à diriger des recherches) et a encadré (ou encadre actuellement) 7 thèses de doctorat (5 sont liées à la dynamique stochastique pour les véhicules routiers et aux conditions météorologiques défavorables dans un contexte routier).

Il a mené et géré des projets de recherche sur l'impact des conditions météorologiques défavorables sur la visibilité et la surface de la route et sur le développement des ADAS par une approche probabiliste. Le Dr Bernardin est l'auteur de 40 publications scientifiques.

Au sein de l'équipe STI, il est actuellement responsable de la plateforme PAVIN Brouillard et Pluie du Cerema et chef d'une équipe travaillant sur l'impact des conditions météorologiques défavorables sur la mobilité et la sécurité routière.

Sébastien Liandrat
Ingénieur
Responsable d'étude STI



Sébastien Liandrat est titulaire d'un diplôme d'ingénieur en génie civil décerné par l'école d'ingénieur ENTPE de Lyon. Il dispose de neuf ans d'expérience au sein de thématiques liées aux infrastructures. Depuis 2019, il a rejoint l'équipe de recherche Systèmes de Transport Intelligents en tant que responsable d'études. En particulier, il est en charge de la plateforme de recherche et développement PAVIN Brouillard & Pluie du Cerema ainsi que de son projet de modernisation. Il pilote localement les projets portant sur les caractéristiques photométriques et radiométriques des revêtements routiers, activité reposant sur un matériel de laboratoire spécifique, un goniométre.

Il a une expérience antérieure en tant qu'adjoint au chef d'unité sur les thèmes des matériaux et des infrastructures. A ce poste, il assumait également le rôle de responsable Cofrac pour la caractérisation des matériaux. Dans le cadre de cette expérience, il a supervisé une thèse sur les mesures plein champ appliquées aux chaussées en enrobés recyclés. Il a également été impliqué dans plusieurs projets de recherche et d'innovation : comportement des chaussées en asphalte exposées aux cycles de gel/dégel, impacts environnementaux de l'utilisation de matériaux recyclés, etc. Il a ainsi rédigé plusieurs articles techniques et participé à des congrès scientifiques internationaux.

Michèle COLOMB
Directrice de recherche



Michèle Colomb est directrice de recherche au sein de l'équipe de recherche Systèmes de Transport Intelligents (STI) du Cerema. Elle est titulaire d'un doctorat en physique et météorologie. Après 10 ans d'activités à l'IFSTTAR dans le domaine de la sécurité routière et de la visibilité, elle a rejoint l'équipe de recherche du Cerema à Clermont-Ferrand où elle a développé la plateforme PAVIN sur le brouillard et la pluie.

Afin d'aborder tous les aspects de la conduite par mauvais temps, elle a également développé une activité complémentaire sur la perception du conducteur, afin de comparer la perception naturelle et artificielle par des capteurs intelligents. Elle a participé à des projets européens pendant plus de 15 ans, et a dirigé un work package dans le projet FOG FP5.

Elle représente le Cerema dans le " Plan national Véhicule Autonome " français et participe au projet national d'évaluation du véhicule autonome SAM (Sécurité et Acceptabilité de la conduite et la Mobilité autonome).



AWARD

This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 101006817.

The content of this reflects only the author's view. Neither the European Commission nor INEA is responsible for any use that may be made of the information it contains.