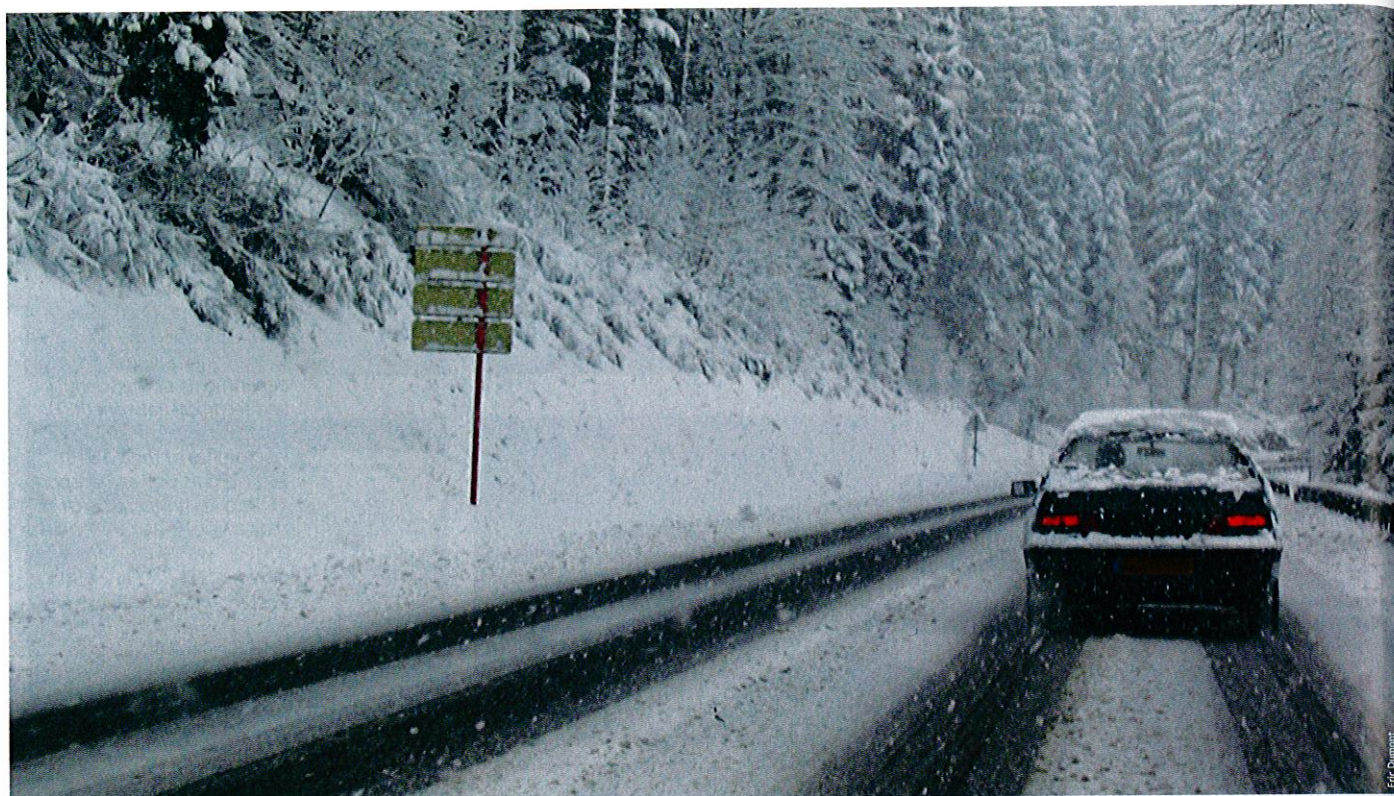




Précipitation neigeuse au printemps
Snow precipitation in the spring

Conditions météorologiques dégradées

Avancées et perspectives en exploitation

AUTEURS

Marie-Line Gallenne
Directrice de recherche
Institut français des sciences et technologies
des transports, de l'aménagement et des réseaux
(IFSTTAR)

Mario Marchetti
Chargé de recherche
Equipe de recherche associée 31
Laboratoire régional des Ponts et chaussées
(LRPC) Nancy

Nicolas Hautière
Chargé de recherche
Département infrastructures et mobilité
IFSTTAR

Eric Dumont
Ingénieur
Département infrastructures et mobilité
IFSTTAR

Didier Aubert
Directeur de recherche
Département infrastructures et mobilité
IFSTTAR

Vincent Boucher
Chargé de Recherche
Equipe de recherche associée 17
LRPC Angers

Ludovic Bouilloud
Ingénieur Pôle Routes
Météo France

Frédéric Bernardin
Ingénieur
Groupe mobilité durable et sécurité
LRPC Clermont-Ferrand



De nombreux outils de recherche en matière d'adhérence et de visibilité sont étudiés et développés dans le cadre de l'opération de recherche « Prévisions et alertes de situations météo-routières dégradées » (PALM) de l'IFSTTAR. Des outils doivent, à moyen ou long terme, fournir des aides à la décision aux gestionnaires, ou bien encore des aides à la conduite aux automobilistes. Les résultats portent alors autant sur la détermination de la visibilité à l'aide de caméras, sur la mesure de la quantité résiduelle de fondants routiers, que sur les modèles numériques de prévision météorologique.

Contexte et enjeux

Des progrès significatifs ont été faits en matière d'accidentologie avec réduction des accidents mortels. Toutefois, les accidents en conditions météorologiques dégradées restent encore nombreux. Ces situations météorologiques impactent la mobilité des usagers (réduction de l'adhérence et de la visibilité offertes), les conditions de circulation et l'organisation des services d'exploitation. Le blocage d'un itinéraire et l'écho médiatique associé se répercutent sur l'activité économique à toutes les échelles et

peuvent affecter l'image du gestionnaire. Les conditions de motricité des véhicules dans les rampes enneigées ou verglacées restent le problème majeur à traiter.

Une météorologie dégradée ralentit le trafic et accroît la consommation de carburant et l'émission de gaz à effet de serre (GES). Les traitements sont pour la plupart réalisés en prévention de l'événement. S'ils s'avèrent inappropriés, ceux-ci peuvent entraîner une pollution (dilution des fondants routiers dans l'eau de ruissellement, impact sur la flore et la faune) et un gaspillage des ressources.

Il convient pour cela de disposer d'outils conduisant à la bonne utilisation des ressources (matériels d'exploitation (consommation, maintenance)) et à l'appréciation des quantités de fondants routiers employées. Sur cette base, on pourra mieux apprécier la pollution engendrée et les dépenses associées, les impacts d'une intervention inadaptée sur les congestions générées (consommation des véhicules, conséquences sur l'activité économique). Ces éléments restent les préambules à une appréciation de bilans carbone.

Lorsque ces situations particulières risquent d'être critiques, elles sont généralement résolues au niveau politique local. Les outils d'aide à la décision adaptés aux différents niveaux de risque sont attendus. Pour cela, les prévisions à l'échelle d'un itinéraire doivent être fiabilisées et devenir de plus en plus précises à l'approche de l'événement. Le diagnostic de la situation à chaque instant et les mesures à prendre peuvent être consolidées par des observations *in situ* de l'évolution de la situation sur les itinéraires routiers.

Enfin, le changement climatique risque de modifier les méthodes d'exploitation avec des événements, peut-être plus rares, mais probablement plus extrêmes. Les outils d'aide à la décision développés pour l'information et l'alerte des gestionnaires routiers et des usagers et la gestion des crises deviendront primordiaux.

Dans ce contexte, l'IFSTTAR pilote de nombreuses actions de recherche afin d'étudier, de construire et de valider des outils pour mieux apprécier et prévoir ces situations météo-routières, et leurs impacts sur l'adhérence et la visibilité.

Adhérence

L'adhérence d'une surface est affectée dès qu'un fluide y est présent. La détection et la quantification de ce fluide sont deux données qui contribueront à l'élaboration d'informations et d'alerte pour les exploitants et les usagers.

Appréciation de la salinité résiduelle

L'exploitation hivernale des infrastructures s'appuie sur l'usage des fondants routiers pour empêcher la formation de verglas et la tenue de la neige, et maintenir ainsi un niveau d'adhérence adéquat.

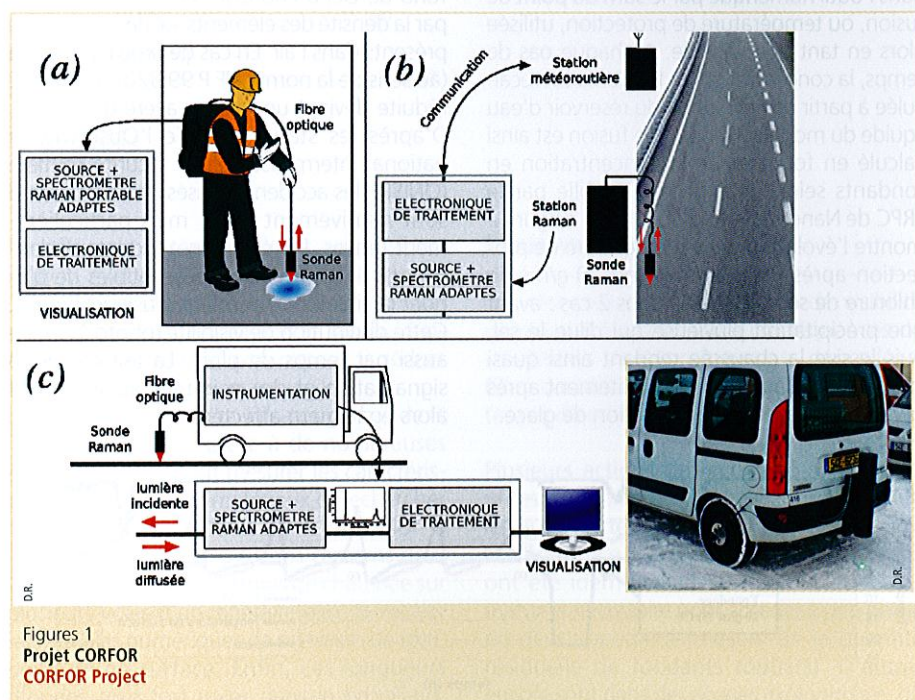
Leur application intervient avant l'apparition d'un phénomène glissant (action préventive), ou lorsque neige et/ou verglas sont déjà présents (action curative). Le fondant routier favorise alors leur fusion à des températures négatives. Intempéries, trafic, et écoulements contribuent aux pertes qu'il convient de connaître pour mieux apprécier la quantité à ajouter sur les revêtements

(routes, pistes d'aéroports, ...). La détection de cette quantité résiduelle a montré des limites (technologiques, métrologiques, contraintes d'utilisation). La méconnaissance de cette quantité résiduelle rend impossible leur usage maîtrisé, l'amélioration de la sécurité routière et la réduction des coûts et de l'impact environnemental.

Des travaux conjoints entre l'IFSTTAR, l'équipe de recherche associée (ERA) 31 et l'université Paul Verlaine de Metz ont montré qu'une technique spectroscopique optique sans contact accédait à cette salinité résiduelle. Un dispositif portable détecte et distingue précisément plusieurs types de fondants routiers. L'analyse du signal conduit à la mesure de leur concentration dans le fluide sur la chaussée, et le point de congélation associé. Le développement de ce capteur optique pour la détection de la quantité résiduelle de fondants routiers (CORFOR) (figures 1) peut maintenant être envisagé [1].

Modèles numériques et prévision

Depuis ces dernières années, de nombreux efforts ont été apportés à la thématique de la modélisation des états de surface des chaussées en conditions dégradées (température de chaussée, comportement de la neige sur les chaussées, quantité d'eau et de glace en surface des revêtements, ...) pour développer des outils d'aide à la décision destinés aux services d'exploitation routiers.



Caractérisation des états de surface

Selon les conditions d'éclairage, un individu est capable d'apprécier à l'œil nu le degré de mouillage d'une surface. Or, les réseaux sont équipés de nombreuses caméras dont l'une des fonctions est la surveillance du trafic. L'ERA 31 s'est attelée à étudier comment traduire cette observation en une analyse simple des images en conditions nocturnes pour un revêtement mouillé, et qui correspond à l'une des situations les plus accidentogènes. Il est ressorti qu'une discrimination était possible dans ces conditions pour déterminer le pourcentage de surface dont l'adhérence était altérée. On peut alors envisager de construire des seuils d'alerte.

Un modèle statistique de prévision a été mis au point à partir de données météo-routières de l'autoroute E30-A75 du réseau national dans sa partie Cantal. Les données de l'hiver 2008-2009 ont été utilisées.

La démarche est la suivante : pour chaque station météo-routière et pour un jour donné, on utilise les données de plusieurs jours précédents pour l'apprentissage du modèle. Ce dernier établit une régression linéaire entre la température de surface, la température de l'air, l'humidité relative, la vitesse du vent et les rayonnements (atmosphérique, solaire). L'utilisation des rayonnements conduit à de meilleures performances ($R^2 = 0,93$), et l'écart moyen entre prévisions et observations sur 24 h est de l'ordre de 1°C

en période nocturne et 2,5 °C en période diurne avec un pic de l'ordre de 4 °C en milieu de journée. Ces résultats sont similaires aux modèles physiques et laissent entrevoir des perspectives particulièrement intéressantes par application de méthodes plus élaborées de traitement de données.

Un modèle de chaussée a été développé par Météo-France, intégrant les résultats des recherches actuelles et antérieures menées en collaboration entre Météo-France et le réseau scientifique et technique, RST (IFSTTAR, Centre d'études techniques de l'Équipement, CETE). Ce modèle Interaction sol-biosphère-atmosphère (ISBA) adapté à la problématique routière, simule le comportement thermique et hydrique d'une chaussée ainsi que le comportement d'une couche de neige qui se dépose en surface. Les recherches actuelles conduisent à se rapprocher des conditions réelles, aspect essentiel pour l'exploitant routier. Ainsi, une modélisation des fondants routiers a été introduite dans l'outil numérique par le suivi du point de fusion, ou température de protection, utilisée alors en tant que variable. A chaque pas de temps, la concentration en fondants est recalculée à partir de l'évolution du réservoir d'eau liquide du modèle. Le point de fusion est ainsi calculé en fonction de la concentration en fondants selon une formule établie par le LRPC de Nancy à partir d'abaques. La figure 2 montre l'évolution de la température de protection après un épandage de 20 g/m² de chlorure de sodium (NaCl) dans 2 cas : avant une précipitation pluvieuse qui dilue le sel, puis lessive la chaussée rendant ainsi quasi inutile l'épandage ; puis un traitement après l'averse qui empêche la formation de glace.

Tous ces travaux amélioreront à terme la prévision de l'état de surface des chaussées et seront intégrés à l'outil de production sur les tronçons d'informations météo-routières agrégées (OPTIMA) de Météo-France, qui permet la prévision immédiate à 1 h, puis à 24 h des paramètres météorologiques et météo-routiers d'intérêt pour les exploitants, à l'échelle de tronçons routiers de 5 km sur la France entière. La connaissance fine de l'état météorologique doit contribuer à ce que les traitements puissent être entrepris au plus près de l'évolution météorologique, à savoir, dans l'exemple présenté, après la pluie et non pas avant.

Visibilité

La distance de visibilité météorologique est la plus grande distance à laquelle un observateur peut discerner un objet sombre sur fond de ciel à l'horizon. Elle est déterminée par la densité des éléments solides ou liquides présents dans l'air. En cas de brouillard dense (au sens de la norme NF P 99 320), la visibilité réduite devient un facteur avéré d'accident. D'après les statistiques de l'Observatoire national interministériel de sécurité routière (ONISR), les accidents causés par le brouillard sont relativement rares, mais particulièrement graves. De plus, ces accidents déclenchent des sur-accidents susceptibles de bloquer la circulation pendant plusieurs heures. Cette diminution de visibilité (photo 1) existe aussi par temps de pluie. La visibilité de la signalisation et des peintures au sol en est alors également affectée.

terrestre (BEA-TT) préconise de prévenir les usagers de la route en leur fournissant une information localisée et légèrement anticipée. Se pose alors le problème du recueil de l'information. En effet, la mesure de la distance de visibilité météorologique nécessite actuellement des appareils dont le coût élevé rend le déploiement impossible à l'échelle d'un itinéraire.



Photo 1
Brouillard sur autoroute
Fog on motorway

Il convient de trouver une solution cohérente avec OPTIMA, qui fournit une bonne appréciation de la météorologie tous les 2 à 5 km. L'objectif est ici d'étudier les variables et paramètres des phénomènes physiques impliqués dans la réduction de la visibilité. Cela nécessite de mettre au point des outils de détection des phénomènes météorologiques ayant un impact sur la visibilité et la lisibilité offertes aux usagers. Ils font appel à différentes technologies (imagerie traditionnelle ou thermographie infrarouge), associées à des traitements d'images spécifiques. Il s'agit dès lors de passer de l'image à la valeur d'un paramètre comme la visibilité météorologique, le niveau de visibilité d'un marquage ou le degré de mouillage d'une chaussée.

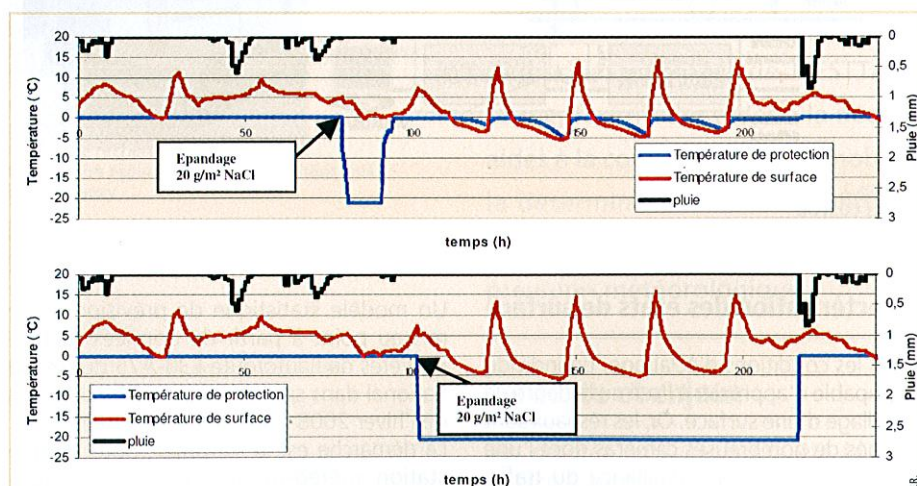


Figure 2
Estimation numérique de l'évolution de la température de protection en fonction des précipitations
Numerical estimation of protection temperature trends as a function of precipitation

Ces premiers pas concernant la modélisation des fondants routiers nécessiteront des approfondissements. Par exemple, la simulation représentée est théorique et il convient de confronter le modèle à des cas réels.

Ces accidents sont la preuve que les usagers de la route ont du mal à adapter leur comportement (vitesse, inter-distance) par temps de brouillard. Ainsi, le Bureau d'enquêtes sur les accidents de transport



L'IFSTTAR, associé à Météo-France, développe une méthode d'estimation de la visibilité météorologique exploitant les images des très nombreuses caméras de surveillance du trafic présentes sur le réseau routier. La méthode est basée sur la corrélation entre la densité du brouillard et

l'amplitude des contrastes dans l'image de la scène routière enregistrée par une caméra sous éclairage diurne (figure 3).

des perspectives prometteuses en termes d'alertes, compte tenu du déploiement des caméras routières.

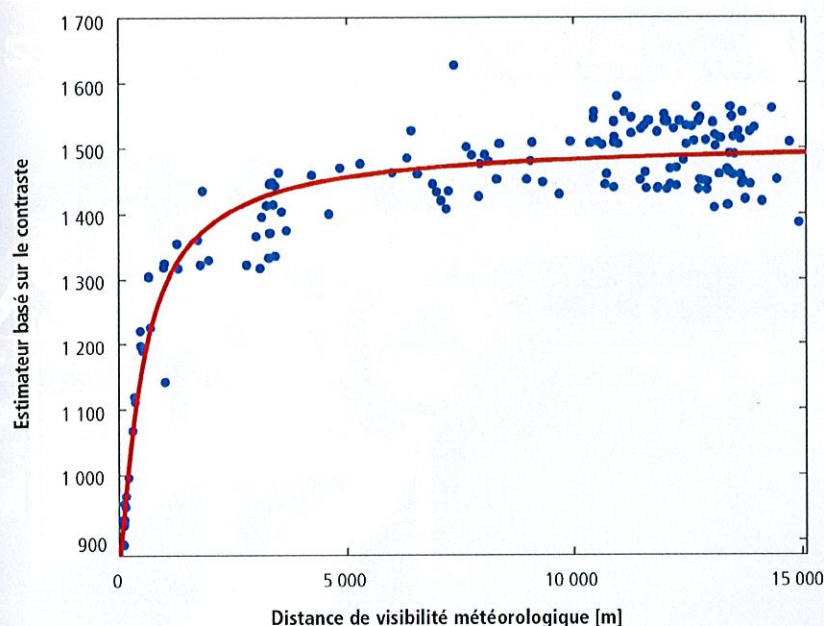


Figure 3
Moyenne pondérée des gradients en fonction de la visibilité météorologique
Weighted average of gradients as a function of meteorological visibility

Ces méthodes sont issues de développements par l'IFSTTAR au niveau national et européen :

- projet « assistance technologique pour la sécurité routière » (ARCOS) « dialogue infrastructure véhicules pour améliorer la sécurité routière » (DIVAS),
- projets d'amélioration de la sécurité routière par le développement de systèmes coopératifs véhicules-infrastructures et véhicules-véhicules (*SafeSpot*), et *Improved Camera based Detection under Adverse Conditions (ICADAC)* sur les systèmes d'aide à la conduite.



Elles exploitent le phénomène de variation de la luminance de la chaussée de jour et celui du halo lumineux autour des sources d'éclairage de nuit.

L'estimation de la distance de visibilité météorologique par caméras routières offre

Par ailleurs le système Cyclope, « œil électronique », évalue les variations de luminance et de chrominance selon différentes conditions météorologiques. Il quantifie le niveau d'inconfort pour l'usager, notamment la réduction de la visibilité des marquages.

L'utilisation de caméra infrarouge bande III (de 8 à 14 μm) se prête à de nombreuses applications. On peut mesurer les caractéristiques radiatives des matériaux et rechercher de nouveaux matériaux de signalisation à signature spécifique. De telles caméras peuvent relever les températures de chaussée sur plusieurs voies d'un itinéraire afin de recalculer les modèles numériques de prévision de température de surface. Enfin, ces longueurs d'ondes sont fort utiles dans le brouillard. Cela conduit à une visibilité accrue par rapport à des systèmes classiques quand les dispositifs traditionnels sont inefficaces. Les développements actuels des recherches des nombreux acteurs du RST (IFSTTAR, LIVIC ainsi que différents ERA) tendent à développer des systèmes d'alerte basés sur l'information délivrée par ces outils afin de les transformer en système d'aide pour le gestionnaire (traitement d'alertes, nouvelles signalisations), ou d'aide à la conduite.



Degraded meteorological conditions Advances and outlook in operation

Many tools for research on skid resistance and visibility have been studied and developed in connection with the IFSTTAR's research operation PALM (Prévisions et Alertes de situations Météo-routières dégradées – Forecasts and alerts on degraded weather and road situations). In the medium or long term, tools must be able to provide decision-making aids to administrators, or even driving aids to motorists. Results then cover as much the determination of visibility by means of cameras, and the measurement of residual amounts of de-icing products, as they do the numerical weather forecasting models.

Conclusion

Les réductions d'adhérence et de visibilité demeurent les principales conséquences de conditions météorologiques dégradées. Elles constituent la majorité des circonstances d'accidents sur le réseau routier.

Plusieurs actions de recherche sont entreprises de manière conjointe entre l'IFSTTAR, les autres acteurs du RST (ERA, CETE, ...) et Météo-France. Certaines pistes de recherche ont été identifiées. D'autres ont atteint la maturité nécessaire pour accéder à une phase de développement (mesure de la quantité résiduelle de fondants routiers). D'autres encore sont dans des phases exploratoires, ou montrent des résultats extrêmement prometteurs. L'ensemble des solutions constituera tout ou partie de systèmes d'aide à la décision ou à la conduite et devra faire l'objet d'une appropriation par leurs utilisateurs, ainsi que d'une incorporation cohérente parmi les autres outils déjà en place. ■

BIBLIOGRAPHIE

- [1] M.-F. Ossola, CORFOR : un procédé innovant ; capteur optique pour mesurer la concentration de sel de déneigement sur les routes, Revue générale des routes et des aéroports (RGRA), n° 879, octobre 2009, p. 30
- [2] Norme NF P 99-320 Météorologie routière – Recueil des données météorologiques et routières – terminologie – 5 avril 1998