

Utiliser les données des outils à grand rendement pour suivre l'évolution des dégradations d'origine géotechnique sur les infrastructures

Using High-Performance Measurement Data to Monitor the Evolution of Geotechnical Degradations in Infrastructure

Bakri BASMAJI ^{1*}, Salma CHIADMI ¹, Julien DRUET ¹, Arnaud Larriere¹, Vincent COIN ²
Laurent Sylvestre¹

1 Cerema 1, Nancy, France

2 DIR Est 2, Metz, France

**bakri.basmaji@cerema.fr*

RESUME : Avec le changement climatique, l'intensité et la fréquence des dégradations d'origines géotechniques affectant les infrastructures routières ont augmenté. L'alternance de périodes de sécheresse et de fortes précipitations a un impact direct sur la stabilité des sols et la durabilité des infrastructures. Cette évolution rend le suivi des dégradations d'origines géotechniques encore plus crucial, tout en compliquant les méthodes de surveillance et d'intervention. Les approches classiques, basées sur l'instrumentation in situ, deviennent de plus en plus contraignantes pour les gestionnaires en terme d'impact sur la circulation, de coûts, et d'approche au cas par cas avec des délais longs d'analyse. Face à ces contraintes, plusieurs sections de réseaux autoroutiers ont fait l'objet d'une approche complémentaire à l'aide d'appareils de mesure à grand rendement. Ces outils, parmi lesquels l'APL, l'Aigle 3D et l'imagerie IRCAN couplée à l'intelligence artificielle ont donné lieu à une évaluation afin d'apprécier leurs capacités à détecter et à suivre leur évolution de manière quasi transparente pour l'exploitant de l'infrastructure.

Cet article propose un retour d'expérience sur plusieurs sections touchées par un large spectre de dégradations géotechniques. Il présentera les résultats de suivi obtenus sur plusieurs années et comparera les performances des différentes méthodes employées, ainsi que leurs limites.

ABSTRACT: With climate change, the intensity and frequency of geotechnical distress affecting road infrastructure have increased. Alternating periods of drought and heavy rainfall directly impact soil stability and infrastructure durability. This evolution makes monitoring geotechnical degradations even more crucial, while complicating conventional surveillance and intervention methods. Traditional approaches based on in-situ instrumentation are becoming increasingly challenging for managers due to traffic disruptions, costs, and case-by-case analyses with long processing times. In response to these constraints, several highway sections have been monitored using high-performance measurement devices. Tools such as the APL, Aigle 3D, and IRCAN imaging coupled with artificial intelligence were evaluated to assess their ability to detect and track degradations with minimal impact on infrastructure operation.

This article provides feedback from several sections affected by a wide range of geotechnical degradations. It presents multi-year monitoring results and compares the performance and limitations of the different methods employed.

Mots-clés : Géotechnique, RGA, APL, Gestion de patrimoine, Changement climatique, Résilience,

1 INTRODUCTION

1.1 Contexte

Les dégradations observées sur les infrastructures et liées à des phénomènes géotechniques sont de plus en

plus fréquentes ces dernières années. Historiquement, les désordres d'origines géotechniques constatés sur le réseau routier étaient principalement associés aux mouvements de terrain profonds, aux glissements de versants, et à la chute de portance liée à des conditions hydriques ou au gel/dégel. Cependant, de nouveaux types de dégradations sont apparus cette dernière

années, liées en grande partie au changement climatique. Ces nouveaux désordres présentent généralement les caractéristiques suivantes :

- origine superficielle, liée au mouvement des couches supérieures du sol ;
- grands linéaires concernés ;
- phénomènes saisonniers ;
- impacts potentiels sur la sécurité des usagers, sans rupture généralisée de la route.

Deux exemples représentatifs de ces phénomènes sont :

- le RGA (Retrait-Gonflement des Argiles) ;
- les bourrelets transversaux, appelés communément « gonfles », liés à la dilatation thermique des couches d'assises des chaussées constituées de matériaux traités aux liants hydrauliques.

Les méthodes classiques de suivi des mouvements de terrain (inclinomètres, tassomètres, suivis topographiques) sont bien maîtrisées, mais peu adaptées aux phénomènes superficiels étendus : pose difficile, instrumentation lourde et coûteuse, faible pertinence pour les premiers décimètres et suivi complexe sur de longs linéaires.

Pourtant les gestionnaires expriment un besoin important portant en premier lieu sur la cinétique d'évolution du phénomène et le niveau de déformation observé. Ces intrants apportent un éclairage pertinent à la prise de décision quant aux mesures conservatoires à mettre en œuvre. Dans un second temps, ce besoin porte sur le suivi de l'efficacité des travaux réalisés notamment lorsque les travaux relèvent de l'expérimentation.

1.2 Appareils à grand rendement utilisés

Afin de répondre à ces enjeux, de nouvelles approches de suivi adaptées aux grands linéaires sont proposées dans ce travail.

Au Cerema, plusieurs méthodes de mesures à grand rendement, habituellement utilisées pour l'auscultation et le suivi des chaussées, ont été testées sur des sections présentant des dégradations d'origine géotechnique superficielle. Les trois méthodes étudiées sont :

- les mesures d'UNI longitudinal par l'APL
- les mesures Aigle 3D,
- l'imagerie IRCAN accompagné par l'IA

Ils ont l'avantage d'être faciles à déployer, peu contraignants pour les gestionnaires, et potentiellement adaptés pour détecter ou suivre les dégradations géotechniques « superficielles ».

1.3 Sites présentés

Plusieurs sites font l'objet d'un suivi par des méthodes de suivi à grand rendement. L'expérimentation sur deux sites sera présentée dans le cadre de cet article :

- Une section présentant une pathologie de dilatation thermique de la couche d'assises « gonfles » sur la RN4 à Lunéville. Les déformations constatées se manifestent sous forme de gonfles transversales ;
- Une section présentant une pathologie supposée de RGA sur la Route Nationale 4 à Courgiveaux dans le département de la Marne, pour laquelle plusieurs mesures ont été réalisées depuis 2020.



Figure 1 : Photo d'une gonfle au PR 44+230 (Cerema Nancy – août 2013)



Figure 2 : Photo d'une fissure résultant d'un phénomène supposé de RGA (Image IRCAN 2016 – Cerema Nancy)

2 LE SUIVI PAR LES MESURE DE L'UNI LONGITUDINAL (APL)

2.1 Présentation

L'Analyseur de Profil en Long (APL) est un dispositif monté sur un véhicule, destiné à mesurer en continu l'uni longitudinal d'une chaussée à vitesse normale de circulation.

L'amortisseur assure en permanence le maintien du contact entre la roue de mesure et la chaussée, tandis que le pendule inertiel basse fréquence établit en permanence une pseudo-horizontale de référence.

L'écart angulaire β entre le bras porte-roue et le pendule est traduit en amplitude de dénivellation.

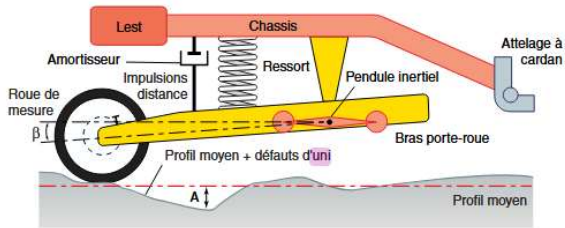


Figure 3 : Schéma de principe de l'APL

Le système mécanique de l'APL (roue + bras + amortisseur + masse suspendue) est modélisé par un oscillateur amorti excité par le profil de la chaussée. L'équation différentielle de base est la suivante :

$$M \frac{d^2z}{dt^2} + C \frac{dz}{dt} + kz(t) = M \frac{d^2h}{dt^2} \quad (1)$$

Avec

- $h(t)$ = profil longitudinal de la chaussée (excitation) ;
- $z(t)$ = déplacement mesuré entre la roue et la masse suspendue (réponse)
- M = masse équivalente du bras et de la roue de l'APL ; C = coefficient d'amortissement (frottement visqueux de la suspension)
- et K = raideur équivalente du ressort mécanique.

L'objectif de ce suivi est d'évaluer l'évolution de certaines sections soumises à des aléas géotechniques en mesurant le profil longitudinal de la surface de la chaussée.

2.2 Exécution de l'essai

Pour chaque intervention, trois passages successifs sont effectués afin de vérifier l'influence de « l'effet de trace ». La vitesse de mesure de 72 km/h permet de réaliser les relevés sur de longs linéaires sans interrompre la circulation.

2.3 Expression des résultats

Sur chaque segment, les irrégularités sont filtrées en fonction de leur longueur d'onde, selon les trois classes suivantes :

- **Petites ondes (PO)** : irrégularités se répétant tous les λ mètres, avec $0,7 < \lambda < 2,8$ m.
- **Moyennes ondes (MO)** : irrégularités se répétant tous les λ mètres, avec $2,8 < \lambda < 11,3$ m.
- **Grandes ondes (GO)** : irrégularités se répétant tous les λ mètres, avec $11,3 < \lambda < 45,2$ m.

Pour chacune de ces trois bandes, une énergie par bande d'onde (EBO) est calculée, puis une note est attribuée en fonction de cette énergie afin de qualifier l'état d'uni de la chaussée (0 : très mauvais ; 10 : excellent). Cependant, ce système de notation n'est pas

utilisé dans le cadre du suivi des désordres géotechniques. La comparaison s'effectue sur les valeurs d'énergie et directement fonction du pseudo-profil.

Hormis pour les phénomènes de gonfles pour lesquels les EPO sont utilisés, les désordres géotechniques se traduisent plutôt par des défauts pertinents des domaines EMO et EGO.

2.4 Exemple de suivi avec l'APL

2.4.1 Suivi du site affecté par les phénomènes de « gonfles »

Le premier exemple concerne une zone de la RN4 dans le département de la Meurthe-et-Moselle située entre les PR 27 et 47, affectée par un phénomène de gonflements lié à la dilatation thermique de couche de fondation de la route.

Une première campagne de mesures, en juillet 2024, a permis de localiser et de classer les « gonfles » par niveau de gravité sur une longueur de 14 km et cibler ainsi les zones prioritaires de déclenchement de travaux.

La DIR Est a entrepris des travaux de réparation sur 27 « gonfles », en sens 2, entre les PR 39+550 et 46+200, au mois de novembre 2024.

De nouvelles mesures ont été réalisées lors de la vague de chaleur survenue entre le 21 juin et le 2 juillet 2025 dans le Grand Est.

Cette campagne a permis de constater que les gonfles réparés en sens 2 n'avaient pas évolués, tandis qu'en sens 1, de nouvelles gonfles étaient apparus pendant cette période de forte chaleur. L'exemple ci-après illustre la progression altimétrique de la gonfle : en sens 1, au PR40+730, la déformation a doublé passant de 13 à 22mm alors qu'en sens 2, le même ordre de grandeur est observé (de 11 à 9mm).

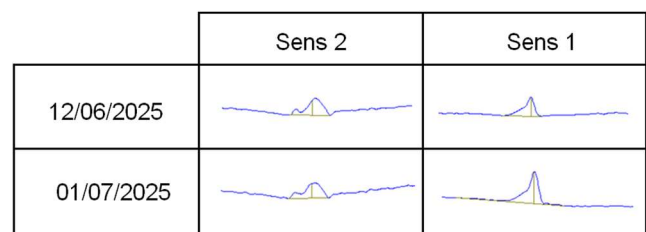


Figure 4 : comparaison du pseudo-profil sur « gonfle » au PR 40+730 (en trace gauche)

Cette expérimentation en est encore à un stade préliminaire ; des épisodes supplémentaires de vagues de chaleur seront nécessaires pour confirmer les tendances observées.

Toutefois, ce suivi des mesures apporte une traçabilité de la démarche, et un éclairage objectif de l'évolution des pathologies qui se révèle plus pertinent

que le ressenti « humain ». En effet la perception de l'évolution de ce type de défaut s'avère très délicate puisque fonction notamment de la sensibilité propre à chacun, du véhicule utilisé, et de la difficulté à comparer sur un laps de temps long.

Par ailleurs, ce suivi après travaux a permis de valider à ce stade pour les prochains travaux 2026, la méthode de réparation des gonfles et ce, après deux tentatives non concluantes.

2.4.2 Suivi du site affecté par un supposé phénomène de RGA

Le deuxième exemple concerne une section de la RN4 dans le département de la Marne située entre les PR 3 et 6, affectée par des désordres supposés liés au phénomène de retrait-gonflement des argiles (RGA).

En septembre 2020 entre les PR3+700 et 5+600, des mesures conservatoires ont été engagées par le gestionnaire afin de rétablir la planéité de la surface de la chaussée et supprimer les ondulations et roulis marqués susceptibles de porter atteinte à la sécurité des usagers.

Depuis la zone est sous surveillance afin d'évaluer la nécessité d'engager ou non des travaux pérennes.

Ce suivi avait pour objectif :

- d'évaluer la capacité de l'APL à détecter des zones soumises au RGA sans sondage ou suivi altimétrique par un géomètre. Cette technique nécessite des mesures à des temporalités spécifiques et propres au RGA correspondant aux optimums des mouvements antagonistes ; généralement en fin d'été où le retrait est optimum et en fin de période hivernale où le gonflement est à son apogée ;
- identifier les zones susceptibles d'être concernées par le RGA ;
- mettre en place un suivi après mise en œuvre de mesures conservatoires.

À ce jour, 18 interventions ont été menées, à raison d'environ une par trimestre.

L'analyse a été effectuée de deux manières : par les énergies EMO et EGO d'une part, et par le pseudo-profil d'autre part.

Pour le suivi du pseudo-profil, la hauteur des « bosses » a été relevée en plusieurs points caractéristiques, notamment aux PR 5+240, 5+120 et 5+000 en trace droite du sens moins (S2), où les évolutions sont les plus marquées. Ces hauteurs sont comparées au SWI (Soil Wetness Index), fourni par Météo France et représentées en bleu sur les graphiques.

Des similitudes apparaissent entre l'évolution du SWI et celle des hauteurs des 3 points. L'absence de mesures durant l'été 2021 ne permettait pas de confirmer cette corrélation, mais les observations de 2022 et 2023 montrent des tendances concordantes,

hormis durant l'été 2024, marquées par une absence de baisse de hauteur. Il convient de rappeler que 2024 a été une année très pluvieuse, sans réelle période de sécheresse.

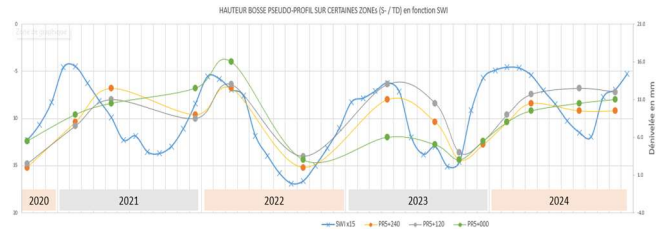


Figure 5 : évolution des hauteurs sur 3 points caractéristiques (S2 / TD) avec SWI dans le temps

L'analyse des mesures, par comparaison des énergies dans le domaine des MO (segments de 100 m) et des GO (segments de 200 m), met également en évidence des différences nettes.

Une première zone, comprise entre les PR 4+300 et 5+500, présente des variations d'énergie claire, suivant un comportement saisonnier, alors que la portion PR 3+000 à 4+300 reste stable depuis la mesure initiale d'octobre 2020.

Le schéma ci-dessous illustre ces observations : les courbes vertes représentent les EMO sur deux segments de 100 m aux PR 4+800/4+900 et 5+000/5+100, tandis que les courbes noires correspondent à deux segments stables aux PR 3+900/4+000 et 4+200/4+300.

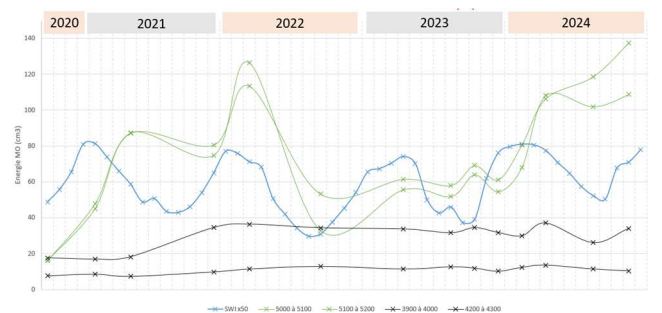


Figure 6 : EMO en fonction du temps sur 4 segments en S2 - TD

La zone boisée à proximité immédiate de la chaussée, entre les PR 4+500 et 5+600, uniquement côté sens 2, semble coïncider avec ces variations, alors que, sur la portion comprise entre les PR 4+000 et 4+500, les arbres ont été abattus début 2020 sur environ 20 m de largeur.

Le reste des abords de la section auscultée est constitué de terrains à usage agricole.

3 LE SUIVI PAR LES MESURE LCMS (AIGLE3D)

3.1 Présentation

L'outil **Aigle 3D** [1] est un dispositif de mesure laser à haut rendement (capteurs LCMS) permettant, en un seul passage à grande vitesse (jusqu'à 110 km/h), de relever :

- la surface : désenrobage, macrotexture ;
- la couche de roulement : fissuration, départs en plaque, orniérage de petit rayon ;
- les endommagements profonds : déformation de petites ondes (EPO), moyennes ondes (EMO), orniérage de grand rayon.

Dans le cadre de cette étude sur les désordres géotechniques, les descripteurs liés aux problèmes de surface ont été écartés au profit de ceux traduisant des désordres structurels. L'analyse se concentre ainsi sur les descripteurs EPO, EMO, l'orniérage grand rayon, ainsi que sur les descripteurs finaux de fissuration.

Pour plus d'informations sur l'outil Aigle 3D : https://www.cerema.fr/fr/system/files?file=document/s/2025/11/fiche_aigle3d_juillet2025.pdf.

Aussi, nous ne ferons ici qu'un focus sur l'UNI 3D [2] [3] qui permet de calculer les descripteurs EPO et EMO.

L'uni3D est une méthodologie d'analyse des déformations de surface développée par le Cerema pour l'IQRN3D depuis 2018. Elle s'appuie sur une adaptation de la méthodologie d'analyse par bande d'onde des profils en long. Le principe de base reste le même, à savoir l'analyse des déformations d'un profil en long par filtrage suivant des gammes d'ondes définie (Petites Ondes, Moyennes Ondes, Grandes Ondes). Mais elle s'en distingue sur plusieurs points :

- Elle n'est pas appliquée sur 2 profils, mais sur 40 profils répartis sur l'intégralité de la zone mesurée : ceci permet d'analyser les déformations dans une vision pseudo surfacique, et ainsi de visualiser leurs étendues transversales.
- Le résultat n'est pas restitué à un pas de 20, 100 ou 200 m, mais à un pas beaucoup plus fin, sous forme d'énergie lissée (moyenne glissante), permettant de connaître la localisation des défauts et leur amplitude.

A noter que ces longueurs d'onde sont identiques à celles de l'APL mentionnées au § 2.3 : dans le cadre de ce projet, seules les gammes d'ondes Petites Ondes et Moyennes Ondes sont utilisées, pour leur capacité à mettre en évidence des défauts structurels voire, pour l'énergie en Moyennes Ondes, des mouvements de sol dans le cas de remblais.



Figure 7 : schéma du principe de fonctionnement du LCMS et vue arrière AIGLE3D

Les Grandes ondes ne sont pas utilisées car elles représentent principalement la géométrie de la route et non l'endommagement.

3.1.1 Suivi du site affecté par les phénomènes de gonfle

L'application d'un filtre sur le descripteur final EPO ($EPO > 300 \text{ cm}^3$) a permis d'identifier les 27 gonfles (en rouge) qui avaient déjà été répertoriés sur la section analysée par l'APL (54N0004 en sens 2, entre les PR 39+550 et 46+200).

Les images de la chaussée permettent de confirmer qu'il s'agit bien de gonfles, car en général, celles-ci ont été rabotées ou ont fait l'objet de purges.



Figure 8 : Localisation visuelle des gonfles en appliquant un filtre sur le descripteur EPO

Dans un premier temps, l'évolution du descripteur EPO sur une des gonfles les plus importantes a été analysée : celle localisée sur la RN4 dans le département 54 au PR 40+726.

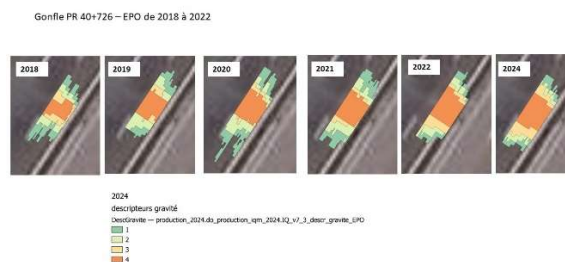


Figure 9 : évolution du descripteur gravité EPO sur une même gonfle de 2018 à 2024

L'évolution dans le temps n'est pas vraiment visible. Cela provient du fait que les valeurs d'EPO dépassent dès 2018 les seuils du niveau de gravité 4 ce qui induit une saturation visuelle (tâche orange).

L'analyse du descripteur de gravité EMO permet en revanche d'identifier l'évolution sur cette même gonfle (Figure 10) :

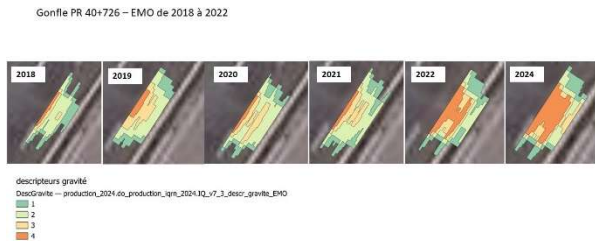


Figure 10 : évolution du descripteur gravité EMO sur une même gonfle de 2018 à 2024

Pour contourner l'effet de saturation rencontré pour les EPO, le descripteur final EPO a été analysé plutôt que le descripteur gravité.

Sur la même gonfle, le résultat est le suivant :

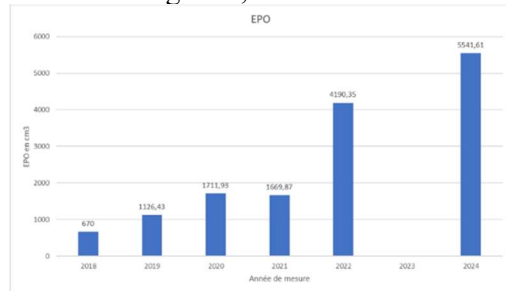


Figure 11 : évolution du descripteur final EPO sur une même gonfle de 2018 à 2024 (Pas de mesures en 2023 sur cette section)

Une augmentation de l'énergie au cours des années est constatée, ce qui induit que la gonfle a augmenté progressivement dans le temps.

Cependant, cette augmentation ne semble pas linéaire, ce qui est en accord avec les constats faits précédemment avec l'APL et qui met en évidence une variabilité de ces phénomènes en fonction des conditions climatiques.

Par ailleurs, il a été constaté que les mesures d'énergies pour l'année 2021 sont systématiquement plus faibles que pour les autres années. Il s'agit probablement d'un problème lors de la mesure ou lors du traitement de ces mesures.

Ce même travail a été fait pour l'ensemble des gonfles recensées sur ce secteur, ce qui nous donne le graphique suivant :

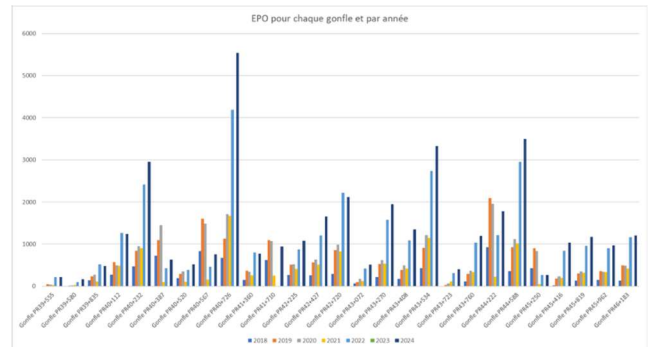


Figure 12 : évolution du descripteur final EPO sur les 27 gonfles recensées de 2018 à 2024

Il est constaté que les gonfles sont nombreuses et d'importances variées et que, dans l'ensemble, leurs EPO semblent évoluer à la hausse avec le temps.

En effet, seules certaines gonfles ont des valeurs d'EPO qui diminuent fortement d'une année sur l'autre, mais l'observation des images de la route à cet endroit montre la présence de travaux de réparation qui ont eu lieu entre deux passages de l'Aigle 3D.

4 SUIVI PAR IMAGERIE IRCAN ET IA

Au Cerema, une base de données « images » très riche et fiable est construite depuis 2008 sur les routes nationales de l'État. Les mesures sont renouvelées tous les trois ans, offrant ainsi une vision fiable et continue de l'état des chaussées et l'environnement.

Si le suivi de l'état des chaussées par l'Aigle 3D, présenté dans cet article, constitue un saut technologique indispensable pour une meilleure gestion du patrimoine routier en France, il présente néanmoins certaines limites pour la détection et le suivi des dégradations d'origine géotechnique.

Pour pallier ces limites, un travail a été engagé au Cerema avec la DIR Est et la Région Grand Est visant à développer un outil d'aide à la décision pour la détection automatisée des dégradations à potentiel géotechnique sur les réseaux routiers. Cet outil s'appuie sur les images d'auscultation géoréférencées issues des campagnes IRCAN et sur des techniques de deep learning afin d'identifier de manière systématique les dégradations les plus pertinentes pour l'expertise géotechnique.

En première approche, la vocation recherchée d'un tel outil serait une détection automatique des zones susceptibles de présenter des désordres d'origine géotechnique puis de prioriser leur intensité. Ce premier balayage guiderait plus efficacement les interventions d'expertise de terrain.

4.1 Démarche adoptée

Le projet présenté propose une démarche en deux temps : La première étape consiste en la détection automatique des dégradations ciblées. Dans la deuxième étape, l'objectif est de hiérarchiser les dégradations détectées selon un potentiel géotechnique en croisant des critères contextuels et morphologiques aggravants.

4.2 Première étape : détection automatique des dégradations ciblées

4.2.1 Classes retenues et intérêt géotechnique

Dans ce travail, trois dégradations de surface sont ciblées : fissures longitudinales, purges et fissures scellées. Le retrait-gonflement des argiles et les glissements de terrain se traduisent surtout par des fissures longitudinales dues à des déplacements différentiels. Comme ces phénomènes sont évolutifs, l'absence de fissure à un instant donné n'exclut pas un désordre profond, et réparer une fissure d'origine géotechnique ne corrige pas la cause. Les réparations deviennent donc des indicateurs de l'historique et de la récurrence des désordres, en particulier via les fissures scellées et les purges.

4.2.2 Données utilisées et modèle de détection

La base d'apprentissage repose sur deux sources principales :

- Les images **IRCAN** [4] du Cerema, géoréférencées, acquises tous les 5 m sur les routes de la région Grand Est depuis 2008 ;
- Le jeu de données **RDD2022** [5], qui rassemble plusieurs dizaines de milliers d'images routières annotées, issues de différents pays.

L'ensemble est équilibré de manière à obtenir un nombre d'instances du même ordre de grandeur pour les trois classes ciblées (environ 2 500 fissures longitudinales, 1 568 purges et 1 243 fissures scellées). Le modèle retenu est un détecteur de type YOLOv9, entraîné spécifiquement sur ces trois classes.

4.2.3 Performances et exemple de détection

Sur ce jeu de données mixtes, le modèle YOLOv9 spécialisé atteint une précision de 66,07 % sur les trois classes d'intérêt, ainsi qu'une précision d'environ 70 % sur les fissures longitudinales de RDD2022.

La figure 13 ci-dessous illustre la détection de dégradations situées à un endroit sujet au phénomène de RGA.

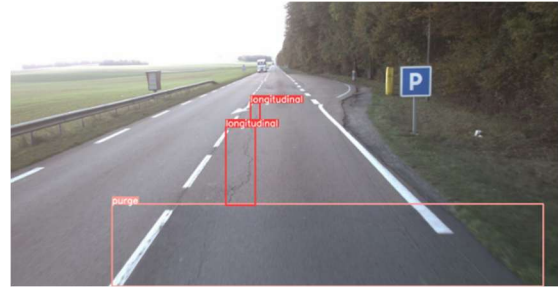


Figure 13 : Exemple de fissures longitudinales et purge détectées sur la RN4 au PR 3+700

4.3 Deuxième étape : hiérarchisation des dégradations selon leur potentiel géotechnique

4.3.1 Critères

-Type d'ouvrage en terre :

Le type d'ouvrage (section rasante, remblai, déblai, mixte) conditionne directement la sensibilité aux désordres géotechniques : les remblais sont, par exemple, plus exposés aux mouvements de terrain.

-Historique des dégradations / réparations :

La répétition de fissures ou purges au même endroit indique un désordre récurrent. Grâce aux images IRCAN disponibles depuis 2008, le modèle de détection analyse automatiquement les campagnes précédentes pour reconstituer l'historique des dégradations et interventions par zone.

-Type de sol :

La nature du sol influence la probabilité de phénomènes de type RGA. Ce critère est obtenu en intersectant la position des dégradations avec les cartes géologiques et les sondages disponibles.

-Végétation

La végétation intervient via les échanges hydriques : une forte densité végétale, par l'action des racines, peut renforcer les cycles de gonflement– retrait dans les sols argileux

La combinaison et la pondération de l'ensemble des critères contextuels et morphologiques pourraient permettre de classer chaque dégradation en fort, moyen ou faible potentiel géotechnique.

Plusieurs points restent à consolider : la fiabilité du type de sol, la caractérisation de la végétation, l'extraction automatique des critères morphologiques, la définition d'une pondération des critères et l'exploitation de l'historique sur les réseaux peu documentés.

4.3.2 Exemple

À titre d'illustration, une fissure longitudinale a été détectée en 2023 sur l'autoroute A31, au PR 294+60, comme illustré dans la figure 14.

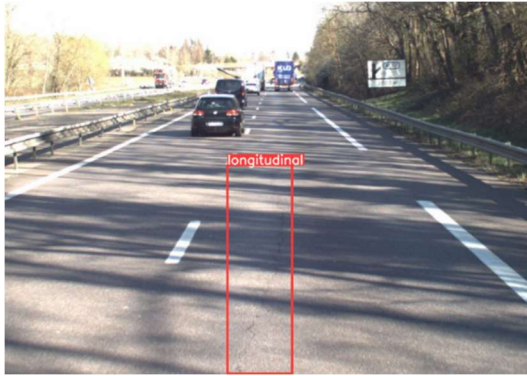


Figure 14 : Fissure longitudinale détectée en 2023 sur la A31 au PR 294+60

La détection sur les campagnes IRCAN antérieures met en évidence, au même emplacement, une fissure longitudinale en 2015 puis une purge en 2016, ce qui traduit la récurrence des dégradations et des interventions. Le croisement automatisé avec les données de contexte indique que la dégradation se situe sur un ouvrage rasant, en contexte de sol argileux, avec une végétation dense à proximité du talus. L'ensemble de ces éléments conduit à classer cette fissure en fort potentiel géotechnique, concordant avec un mécanisme de type retrait-gonflement des argiles. Ce classement est en adéquation avec le diagnostic réalisé par les géotechniciens.

5 CONCLUSION

Le suivi de certaines dégradations d'origines géotechniques (RGA, gonfles, etc) est complexe et contraignant lorsqu'il repose sur des méthodes classiques. Dans ce contexte, de nouvelles approches fondées sur des outils à haut rendement ont été proposées dans le cadre de ce travail.

Pour la détection de ces désordres, l'utilisation de l'intelligence artificielle, en croisant les dégradations identifiées automatiquement sur les images avec des données patrimoniales et environnementales, permet de développer des outils d'aide à la décision afin d'orienter l'expertise géotechnique. Cette approche a permis d'obtenir des résultats prometteurs en particulier dans le domaine de RGA. Ce travail est encore à approfondir et à développer pour les autres origines de dégradations.

Pour le suivi des dégradations déjà identifiées, les outils A3D et APL permettent de quantifier l'ampleur des pathologies et leurs évolutions dans le temps, apportant ainsi, au gestionnaire, un éclairage objectif sur la cinétique de dégradation des chaussées. A titre d'exemple, le suivi APL des gonfles après travaux valide, à ce jour, la nouvelle méthode de réparation

mise en œuvre, après deux tentatives initiales non concluantes.

D'autres campagnes de mesures sont en cours afin de consolider les résultats présentés dans ce travail et d'explorer la possibilité d'appliquer ces approches à d'autres types de pathologies géotechniques.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient la DIR Est et la Région Grand Est pour leur soutien, ainsi que pour le financement de ce projet.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] : Gayte P. et al (2019). IQRN3D : Un outil au service d'une meilleure gestion du patrimoine routier français. 26th World Road Congress. [IQRN-3D-A-tool-for-better-management-of-French-road.pdf](https://www.iqrn3d.com/wp-content/uploads/2019/10/IQRN-3D-A-tool-for-better-management-of-French-road.pdf)
- [2] : Y. KEMPF & E. DELAVAL - Cerema - Application de l'Uni3D des chaussées pour leur évaluation structurelle Une nouvelle approche de l'uni des chaussées, France - XXVII e Congrès mondial de la Route
- [3] : Apport des appareils d'auscultation de type « scanner » pour la détection et la caractérisation en 3-D des déformations de chaussée routière – PN ANR MOVE DVDC – 3 février 2022 - https://dvdc.fr/wp-content/uploads/2024/09/DVDCR036_TH2_Apport-des-appareils-dauscultation-de-type-scanner-pour-la-detection-et-la-caracterisation-en-3-D-des-deformations-de-chaussee-routiere_LC103.pdf
- [4] : :Cerema. Matériels d'acquisition pour routes [en ligne], disponible à l'adresse <https://ireve.cerema.fr/acquisition/routes>
- [5] : Arya, D., Maeda, H., Ghosh, S.K., Toshniwal, D. & Se kimoto, Y. (2024) RDD2022: A multi-national image dataset for automatic road damage detection. Geoscience Data Journal, 11, 846–862. Available from: <https://doi.org/10.1002/gdj>