



Centre de recherches routières
Ensemble pour des routes durables



5 | Instruments pour les gestionnaires routiers

GPR

Radiographie des structures routières

Le Centre de recherches routières (CRR) est un institut de recherche impartial fondé en 1952. Il exerce son activité au bénéfice de tous les partenaires du secteur routier belge. Le développement durable par l'innovation est le fil conducteur de toutes les activités du CRR. Le CRR partage ses connaissances avec les professionnels du secteur routier entre autres par le biais de ses publications (codes de bonne pratique, synthèses, comptes rendus de recherche, méthodes de mesure, fiches d'information, Newsletter CRR, Dossiers, rapports d'activités). Nos publications sont largement diffusées en Belgique et à l'étranger auprès de centres de recherche scientifique, d'universités, d'institutions publiques et d'instituts internationaux. Plus d'informations sur nos publications et activités: www.crr.be

Avis au lecteur

Bien que cette publication ait été rédigée avec le plus grand soin possible, des imperfections ne sont pas exclues. Ni le CRR, ni ceux qui y ont collaboré ne peuvent être tenus pour responsables des informations fournies qui le sont à titre purement documentaire et non contractuel. Cette publication consiste en une série de fiches, fournissant aux gestionnaires routiers des informations détaillées sur différents outils et méthodes de diagnostic pouvant mener à des mesures d'entretien et/ou de renforcement rationnelles et objectives.

Instruments pour les gestionnaires routiers (pour une approche globale, objective et rationnelle de la gestion des voiries). Fiche 5 GPR – Radiographie des structures routières / Centre de recherches routières. Bruxelles : CRR, 2023, 14 p. (Synthèse ; SF 48-Fiche 5 – rév. 2).

Dépôt légal: D/2019/0690/3

© CRR – Tous droits réservés.

Editeur responsable: Annick De Swaef, Boulevard de la Woluwe 42, 1200 Bruxelles.

Instruments pour les gestionnaires routiers
(pour une approche globale, objective et rationnelle de la gestion des voiries)
Synthèse SF 48 – rév. 2

Fiche 5 – **GPR** Radiographie des structures routières

Centre de recherches routières

Etablissement reconnu par application de l'arrêté-loi du 30 janvier 1947

Bruxelles

2023



✓ OUTIL

✓ AU NIVEAU DU PROJET

✓ AU NIVEAU DU RÉSEAU

SURFACE DE LA CHAUSSÉE

✓ STRUCTURE DE LA CHAUSSÉE

DO-IT-YOURSELF

Contact

*Tim Massart: +32 10 23 65 53;
t.massart@brrc.be*



5 | GPR

Radiographie des structures routières

Objectif

Les mesures au géoradar (*Ground Penetrating Radar – GPR*) permettent de collecter rapidement et de manière non destructive des informations sur la structure d'une chaussée. Ces données doivent ensuite être traitées de manière adéquate et interprétées soigneusement. Le GPR permet d'évaluer l'épaisseur des couches, de détecter des défauts et de vérifier l'homogénéité structurelle d'une chaussée.

Principe de fonctionnement – Méthodologie

Le géoradar (*Ground Penetrating Radar – GPR*) est un instrument non destructif basé sur la propagation et la réflexion d'ondes électromagnétiques haute fréquence allant de 20 MHz à 2 GHz. Cet instrument est sensible aux variations des propriétés électromagnétiques du milieu (permittivité, conductivité et susceptibilité magnétique). Cette méthode géophysique est utilisée en géologie (détection du bedrock, formations géologiques spécifiques, fractures, phénomènes karstiques, etc.), en archéologie (cartographie de sites ensevelis), en hydrogéologie (profondeur de la nappe phréatique, détection de zones contaminées) et en génie civil (inspection de structures, bâtiments, routes, etc.). Le radar est aussi utilisé par la police scientifique pour la détection de cadavres.

La résolution et la profondeur d'investigation dépendent de la fréquence utilisée.

Les systèmes radars se subdivisent en deux types d'antennes: les antennes de contact et les antennes aériennes. Les antennes de contact sont placées en contact direct avec le sol. Elles permettent une investigation précise sur des distances limitées. Les antennes aériennes envoient d'abord leur signal dans l'air. Elles sont utilisées sur des distances plus longues à une vitesse de déplacement plus élevée, et conviennent particulièrement pour l'investigation des routes.

Un appareil GPR avec antenne aérienne est accroché au véhicule de mesure sur un support, à environ 50 cm de la surface de la

route. L'appareil est tenu à distance du véhicule afin d'éviter toute interférence avec la carrosserie en acier (figure 2). La figure 3 représente le principe de la technique radar en auscultation routière.

Une antenne envoie des ondes électromagnétiques à une fréquence comprise entre 0,02 et 3 GHz vers le revêtement routier, où elles se propagent en profondeur. Lorsque le contraste diélectrique est suffisamment grand, une partie du signal envoyé est réfléchiée par la surface de la chaussée et la surface de contact entre les couches de la chaussée. Concrètement, lorsqu'une onde rencontre une couche dont certaines caractéristiques physiques diffèrent de la couche précédente, une partie de l'énergie de cette onde est alors réfléchiée vers la surface de la chaussée. Le temps qui se sera écoulé entre le moment où l'onde est émise et le moment où son écho est enregistré s'exprime en nanosecondes (ns). Ce processus est répété tant que l'onde émise dispose encore de suffisamment d'énergie pour renvoyer un signal lisible.

Si l'on connaît les caractéristiques électriques (conductivité électrique et constante diélectrique) des différentes couches de la chaussée, alors on connaît également la vitesse à laquelle se propagera cette onde électromagnétique dans chacune de ces couches. En mesurant le temps qui s'écoule entre le moment de l'émission et celui de son écho renvoyé par chaque couche, il est possible de déterminer par calcul simple l'épaisseur de chacune de ces couches individuellement.

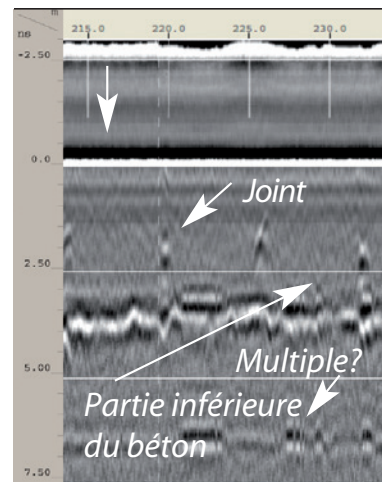


Figure 1 – Profil radar et carotte prélevée au même endroit



Figure 2 – Dispositif GPR du CRR

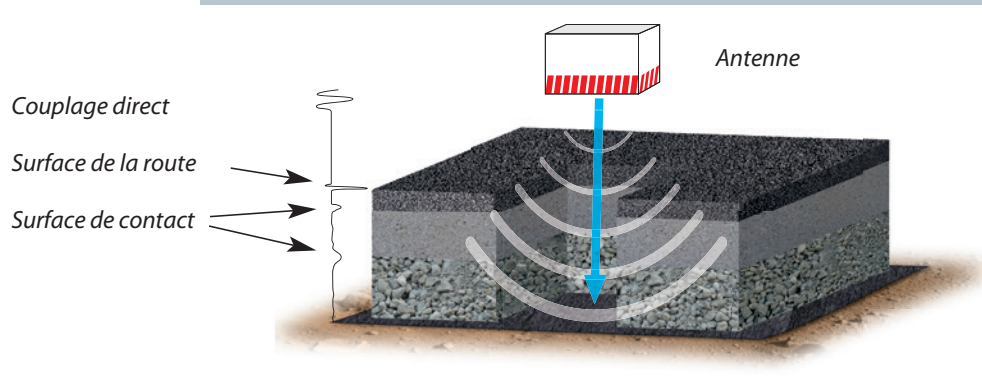


Figure 3 – Représentation schématique du fonctionnement du radar

Résultats

Estimation des épaisseurs de couche et détermination de l'homogénéité

Les résultats de mesure se présentent sous forme d'ondes et/ou d'images monochromes mettant en évidence les zones de transition entre matériaux dont certaines caractéristiques physiques diffèrent.

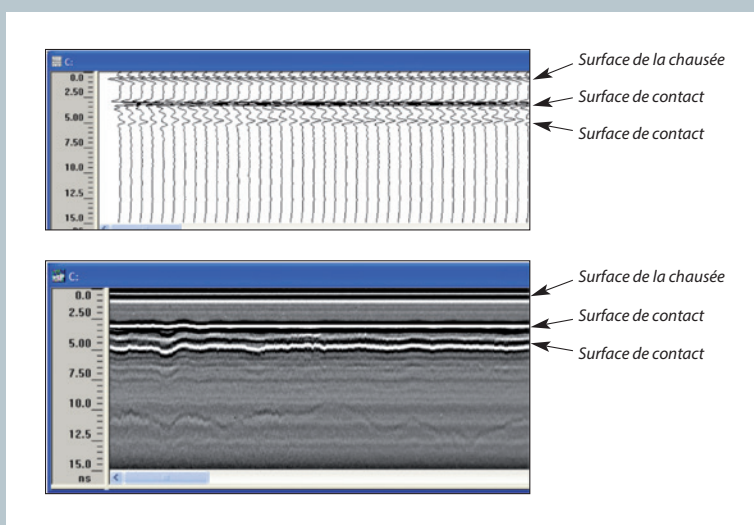


Figure 4 – Images radars: représentation des ondes (*wiggle trace* – en haut) et représentation en couleurs (en bas)

La représentation visuelle des données sous la forme d'ondes (*wiggle trace* – figure 4 en haut) représente les signaux individuels, avec une distinction entre les amplitudes positives et négatives. L'autre représentation (figure 4, en bas) associe une échelle chromatique aux amplitudes (du noir au blanc, respectivement pour les amplitudes minimale et maximale). Cette représentation est plus adaptée lorsque le nombre de signaux enregistrés est élevé.

Une analyse de ce type est effectuée régulièrement pour détecter les zones homogènes.

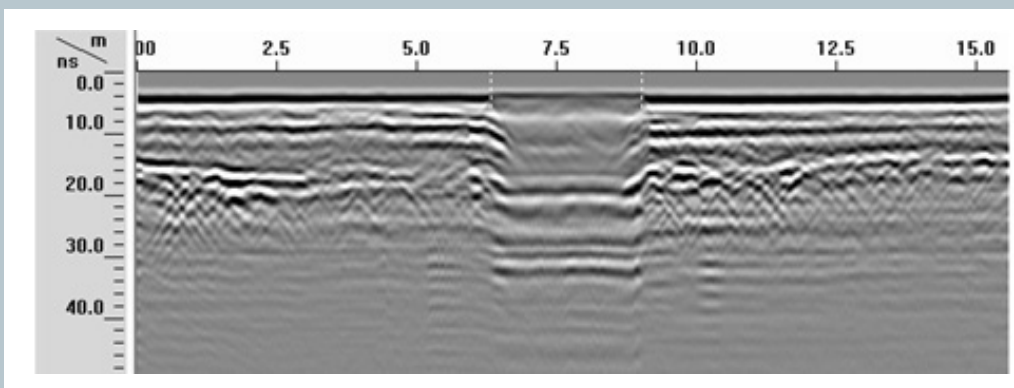


Figure 5 – Image radar d'une section de route présentant une zone réparée

Détermination précise des épaisseurs de couche

Une détermination précise des épaisseurs de couche n'est possible que si l'on dispose d'une connaissance exacte de la nature des matériaux utilisés pour chacune des couches identifiées par le géoradar.

Limites d'acceptation

Il n'existe pas de seuils d'acceptabilité en tant que tels. En effet, l'information fournie par un géoradar doit être considérée en fonction de ce que l'on cherche à voir d'une part (détermination des épaisseurs de couche, détection des zones homogènes, défauts ou câbles et canalisations souterrains) et, d'autre part, en fonction des résultats fournis par d'autres techniques de diagnostic.



Figure 6 – Antenne aérienne et antenne de contact du CRR



Figure 7 – Mesure avec le géoradar sur chaussée en vue de détecter des zones ponctuelles problématiques

Performances

Profondeur d'investigation

La profondeur d'investigation dépend de la nature des matériaux constituant le corps de chaussée, ainsi que de la puissance et de la fréquence de l'antenne émettrice:

- antenne aérienne de 2 GHz = ± 0,4 m;
- antenne aérienne de 1 GHz = ± 1,0 m;
- antenne de contact de 2,6 GHz = ± 0,3 m;
- antenne de contact de 2,0 GHz = ± 0,4 m;
- antenne de contact de 900 MHz = ± 1,0 m;
- antenne de contact de 400 MHz = ± 2,0 m.

Vitesse d'auscultation

Les mesures avec des antennes aériennes sont réalisées en roulant à une vitesse maximale de 90 km/h. Pour une auscultation classique, la vitesse est plutôt de 50-70 km/h. La vitesse dépend de la précision voulue: plus la vitesse d'auscultation augmente, moins le nombre de mesures par mètre parcouru est élevé.

Les mesures avec des antennes de contact sont réalisées au pas.

Restrictions

- Lors des mesures GPR sur les chaussées en béton armé continu, une grande partie de l'énergie est renvoyée par les armatures. Pour mesurer précisément les épaisseurs de couche, plusieurs mesures doivent être effectuées, de préférence avec un système à antenne de contact. La profondeur et la distance entre les armatures peuvent être déterminées avec précision.
- Les mesures GPR ne fournissent pas immédiatement des informations quantitatives comme des épaisseurs de couche, mais uniquement des informations qualitatives (une estimation des épaisseurs de couche). La prudence doit

Application

Type de route	Niveau du projet	Niveau du réseau
Autoroutes et routes principales	✓	✓
Voiries communales et urbaines	✓	✓
Trottoirs	✓	✓
Pistes cyclables	✓	✓
Parkings	✓	✓
Routes privées	✓	✓
Zones portuaires	✓	✓
Pistes aéroportuaires	✓	✓
Autres: - détection de canalisations et de câbles souterrains; - inspection d'ouvrages d'art.		✓

Complémentarité des résultats de mesure

Techniques et méthodes apparentées

toujours être de mise car deux matériaux de caractéristiques et d'épaisseurs différentes pourraient donner les mêmes épaisseurs apparentes avant traitement des données.

- Les résultats doivent être traités de manière adéquate et interprétés avec soin. L'expérience que l'on a de l'appareillage et du traitement de données revêt une importance cruciale.

Tout comme pour la plupart des appareils d'auscultation routière, il peut être utile de comparer les résultats obtenus avec le GPR à ceux des autres techniques et méthodes:

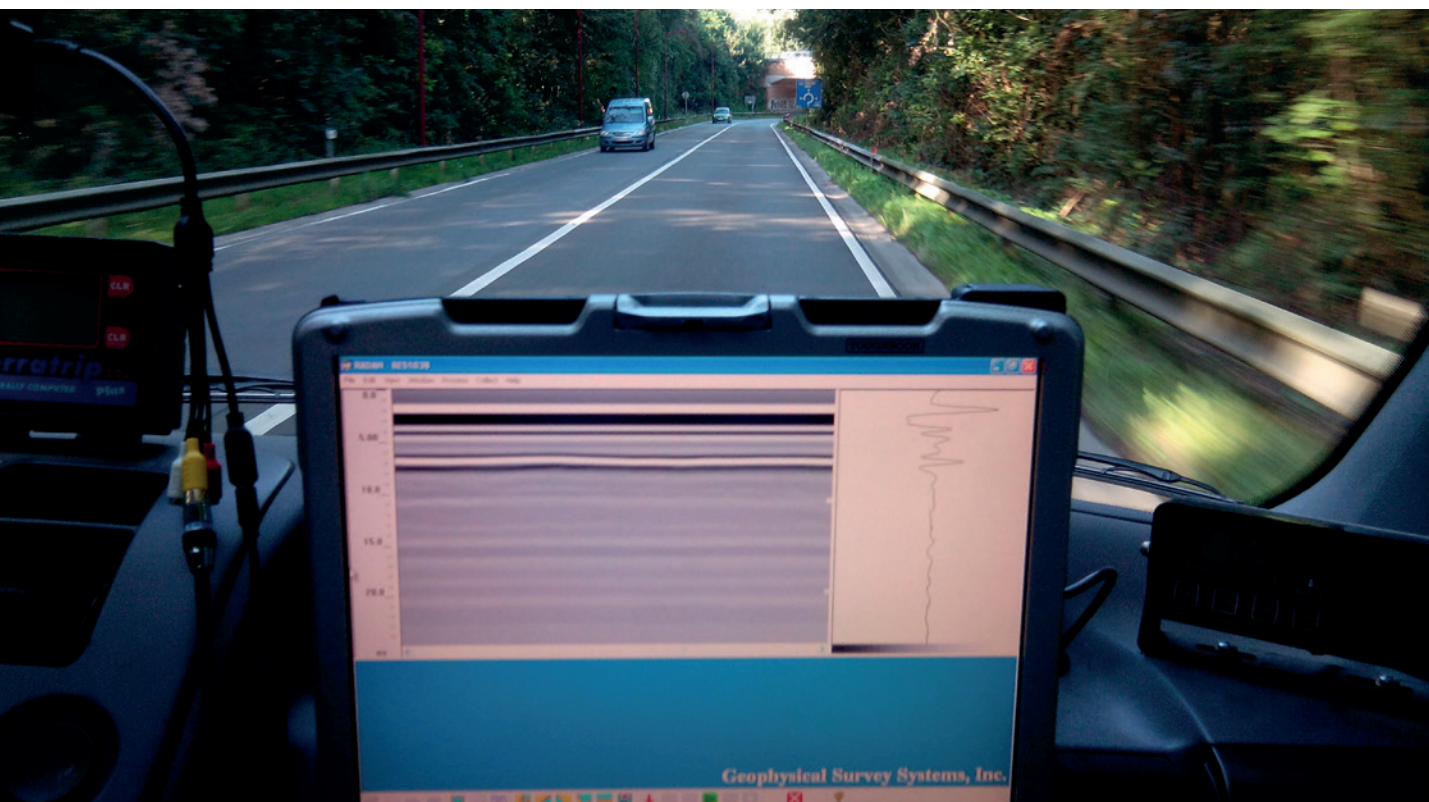
- carottages;
- mesures de la déformation temporaire d'une structure routière soumise à une charge verticale à l'aide du FWD (*Falling Weight Deflectometer* – déflectomètre à masse tombante), de la poutre Benkelman, du déflectographe Lacroix, etc.

- Géoradar tridimensionnel (GPR 3D).
- Tomographe.
- Gammadensimètre.

Sécurité – Signalisation

Le véhicule porteur est bien visible et équipé de la signalisation réglementaire (zébrage, gyrophare, etc.) de la Région ou du pays où sont réalisées les mesures. Il n'est en général pas nécessaire de mettre en place des mesures complémentaires parce que la vitesse d'auscultation correspond à celle des autres usagers.

Pour des mesures avec des antennes de contact, réalisées au pas, il est nécessaire de fermer la section de route à inspecter au moyen d'une signalisation conforme aux directives de sécurité en vigueur localement.



Bibliographie

Grégoire, C. & Van Geem, C. (2013)

Le CRR présente ses activités «radar» à IWAGPR 2013.

In : Bulletin CRR, (2013)96. pp. 13-15. Bruxelles : Centre de recherches routières (CRR).

Finnish Transport Agency, Swedish Transport Administration & Norwegian Road Administration (2011)

Recommendations for guidelines for the use of GPR in road construction quality control.

Brussels : European Commission (EC).

Jol, H.M. (ed.) (2009)

Ground penetrating radar : theory and applications.

Amsterdam : Elsevier. ISBN 978-0-444-53348-7.

Belgian Road Research Centre (2016)

Methodologies for the use of ground-penetrating radar in road condition surveys.

Brussels : BRRC. (Method of Measurement, ME 91/16).

Centre de recherches routières (2018)

Développement de la technique géoradar en auscultation de routes. Bruxelles : CRR. (Compte rendu de recherche, CR 46).

Liste des fiches descriptives

1. **APL** – Mesure de l'uni longitudinal des chaussées
2. **Cartographie** – Pour un diagnostic clair
3. **FPP** – Mesure de l'uni longitudinal des pistes cyclables
4. **FWD** – Mesure des caractéristiques structurelles des chaussées
5. **GPR** – Radiographie des structures routières
6. **SKM** – Mesure de l'adhérence des chaussées
7. **Qualidim** – Calcul de la durée de vie résiduelle des chaussées
8. **Inspection visuelle pour la gestion des réseaux de voirie des villes et des communes**
9. **Indicateurs de performances structurelles pour la gestion des chaussées**
10. **ViaBEL** – Logiciel pour la gestion des chaussées
11. **CPX** – Mesures du bruit selon la méthode *Close ProXimity*
12. **Mesure de la macrotecture et de la mégatecture des revêtements à l'aide du profilomètre laser**
13. **Observation du trafic et de conflits à l'aide de caméras**
14. **Analyse du trafic par tubes pneumatiques**
15. **Contrôle géométrique des dispositifs surélevés sur la voie publique: ralentisseurs de trafic et plateaux**
16. **Analyse du trafic par radar Doppler**
17. **Mesure de la rugosité à l'aide du *Skid Resistance Tester* (pendule SRT)**
18. **Chaise de mesure** – Outil pour l'évaluation du confort des revêtements piétons
19. **Fast-FWD** – Mesure des caractéristiques structurelles des chaussées