



Utilisation du géoradar dans le domaine routier

Par M. FISSAA Smail

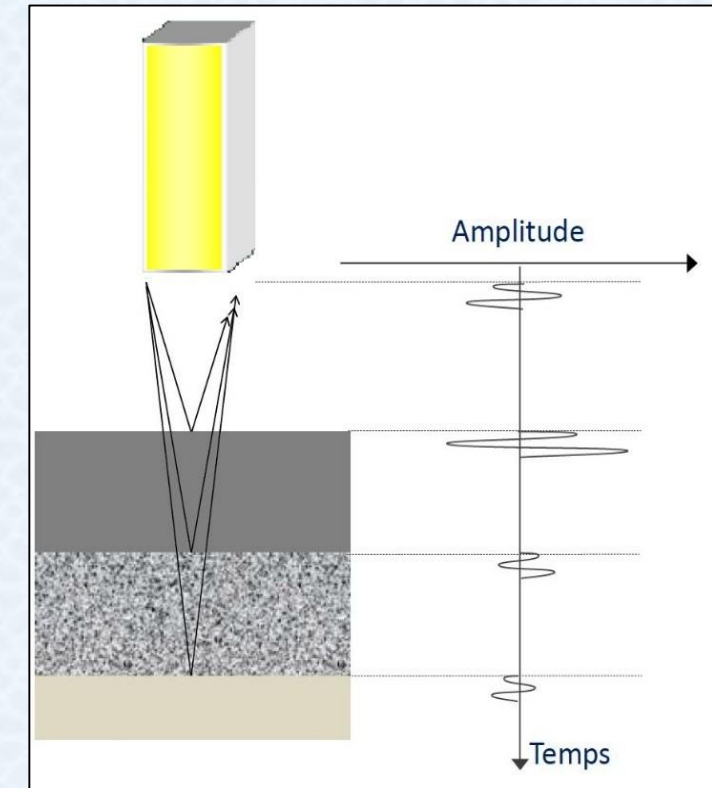
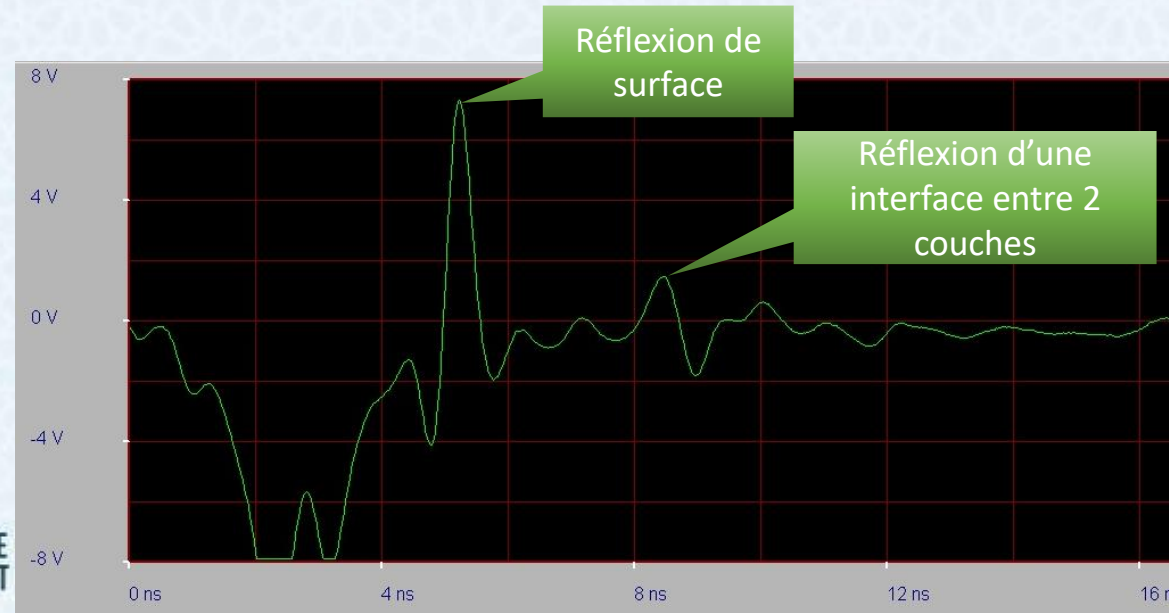
- **Présentation du géoradar**
 - Principe de fonctionnement
 - Fréquences utilisées
 - Visualisation des données
- **Différentes utilisations du géoradar pour la chaussée**
 - Variations de la structure / zones homogènes
 - Estimation des épaisseurs des couches
 - Détection de singularités
- **Conclusion & recommandations**

Principe

Fréquences utilisées

Visualisation des données

- Le fonctionnement du GPR est basé sur la propagation et la réflexion d'ondes électromagnétiques.
- L'antenne émettrice envoie une impulsion électromagnétique vers le sol. Quand cette impulsion rencontre une interface entre deux matériaux différents, une partie de son énergie est réfléchie, tandis que l'autre pénètre plus profondément.
- La profondeur de pénétration dépend de la fréquence des ondes.



Faible fréquence	Haute fréquence
Grande profondeur	Faible profondeur
Faible résolution	Haute résolution
Géologie & géophysique	Chaussées et tabliers de ponts

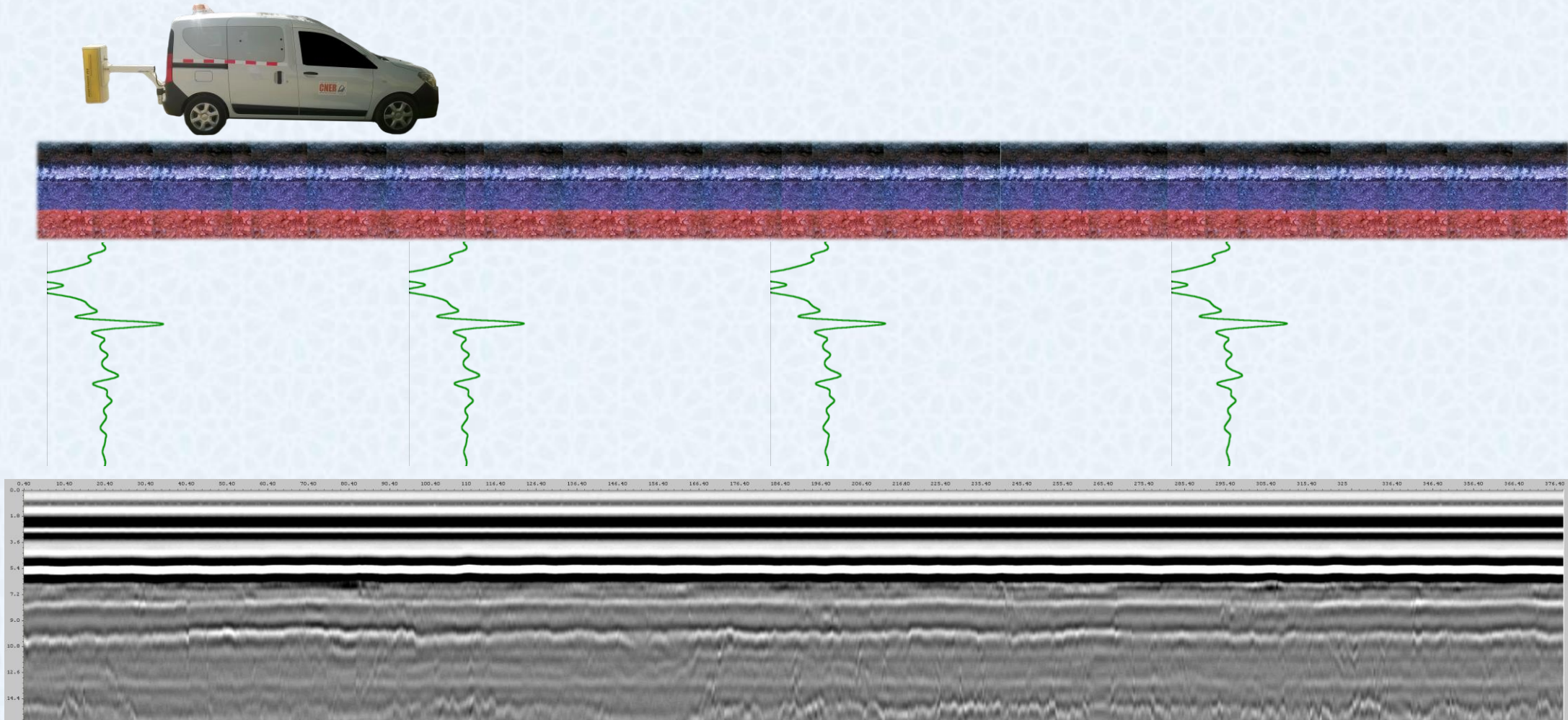
- Il y a un compromis à chercher, selon l'application envisagée, entre profondeur de pénétration et résolution.
- Pour le domaine routier, la fréquence adaptée est entre 1 GHz et 2 GHz pour une pénétration de 0,5m à 1m.
- Le CNER dispose d'une antenne aérienne de fréquence 1GHz.



Principe

Fréquences utilisées

Visualisation des données

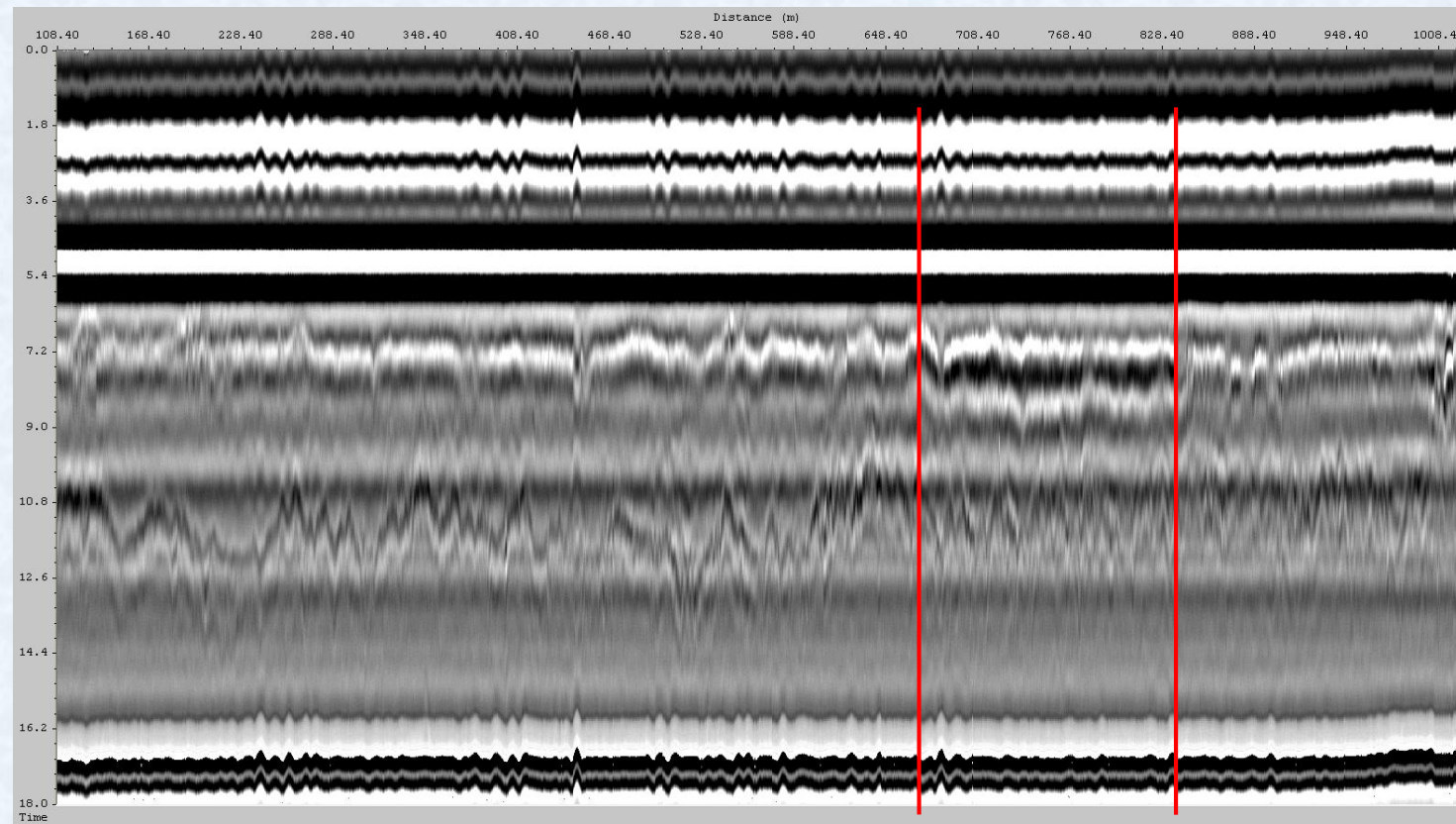


Variations de la structure & Zones homogènes

Estimation des épaisseur
Des couches

Détection de singularités

- Les interfaces entre les couches peuvent être visualisées le long d'une section donnée, ce qui peut être utilisé pour détecter les variations dans la structure de chaussée et ainsi déterminer les zones homogènes. On peut voir également le nombre d'interfaces et leurs positions relatives.



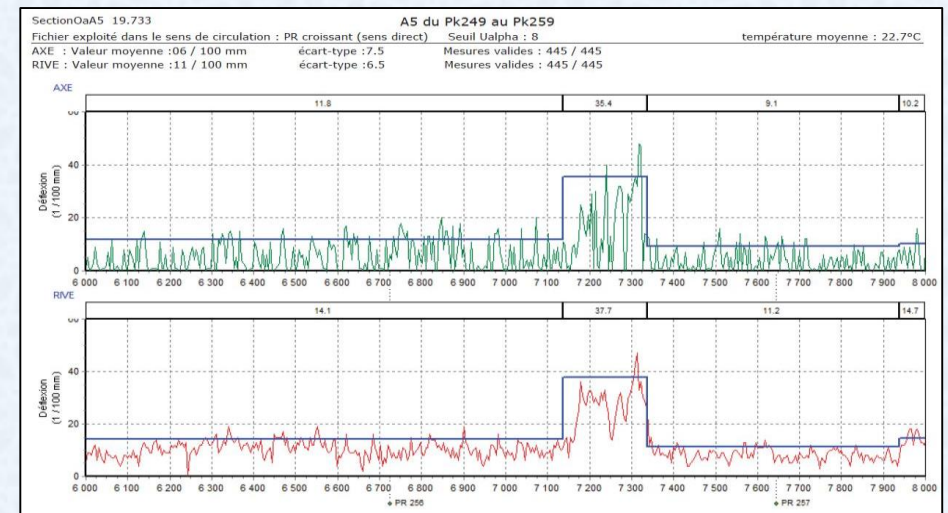
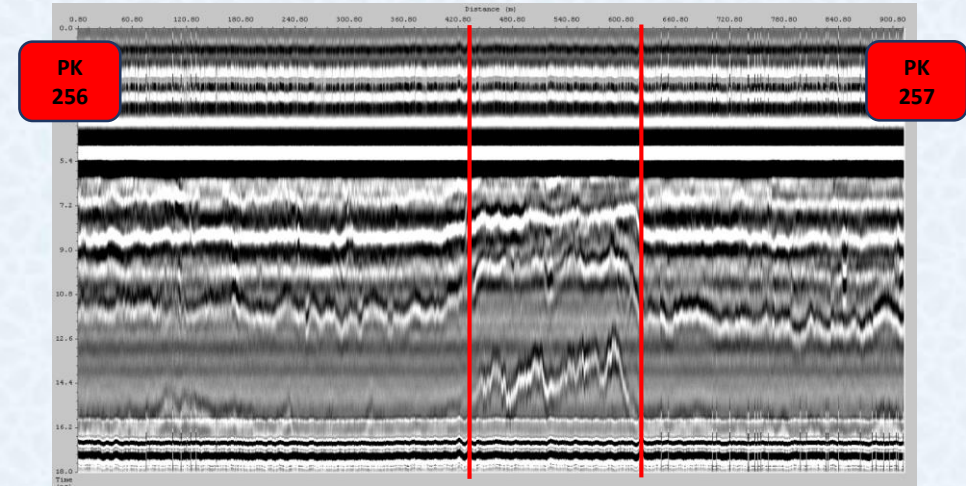
Section d'étalonnage du CNER (RP 4027)

Variations de la structure & Zones homogènes

Estimation des épaisseur
Des couches

Détection de singularités

- Le cas suivant représente la section de l'autoroute A5 (Kenitra - Rabat). On peut voir la présence d'une zone de changement de structure sur une longueur d'environ 200m.
- En comparant les résultats du GPR aux mesures de déflexion, on peut constater une augmentation de la déflexion sur la même section, sachant que la section ne présente aucune différence visuelle percevable par rapport aux sections qui l'entourent.

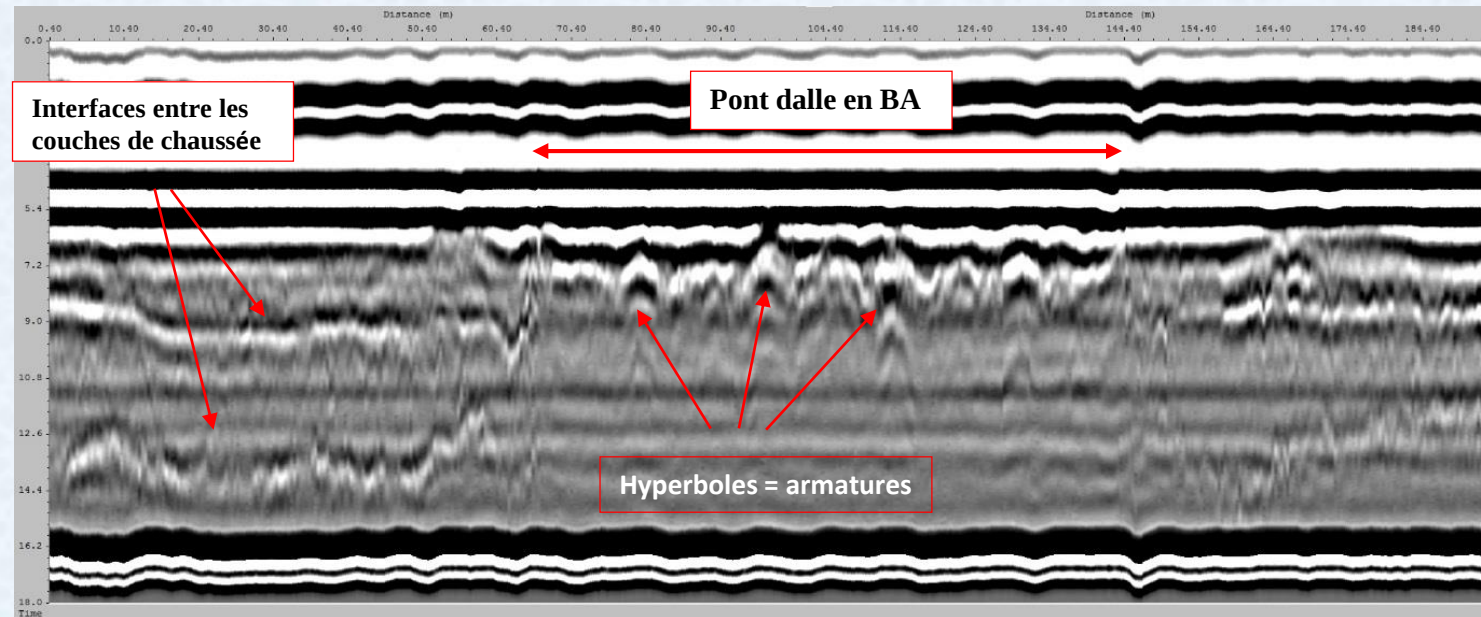


Variations de la structure & Zones homogènes

Estimation des épaisseur
Des couches

Détection de singularités

- La section suivante représente un Pont dalle en béton armé (Pont sur la RP 4301 franchissant Oued Korifla). On peut voir la structure de chaussée de part et d'autre du pont. Au niveau de la dalle, on peut voir les armatures sous forme d'hyperboles, qui est la signature typique d'un réflecteur local.



**Variations de la structure
& Zones homogènes**Estimation des épaisseur
Des couches

Détection de singularités

- Application : Implantation de la campagne géotechnique de dimensionnement de chaussée

Les études géotechniques routières sont basées sur la réalisation de sondages (ou de carottes pour les chaussées en matériau lié) le long de la route avec un pas constant (généralement 1 ou 2 par Km pour les sondages manuels). Ce pas constant résulte principalement du manque ou absence d'information préalable sur les propriétés du sol et / ou de la structure existante.

Le GPR, peut venir réduire ce manque d'information et ainsi rendre la campagne géotechnique efficace et ciblée. Le principe consiste à découper la route étudiée en sections homogènes à l'aide du géoradar. On peut ensuite déterminer le nombre de prélèvement nécessaires par section homogène (selon l'importance du projet et la variation des autres paramètres).

Variations de la structure
& Zones homogènes

Estimation des épaisseur
Des couches

Détection de singularités

- Le système GPR permet de calculer le temps que mets l'onde entre chaque interface de changement de matériau. Pour déterminer l'épaisseur des couches, il faut connaître la vitesse de propagation dans chaque matériau, qui est calculée par la formule :

$$V = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

Avec :

- c : vitesse de la lumière
- ϵ_r : permittivité diélectrique relative du matériau.

A titre d'exemple, on a $\epsilon_{r \text{ air}} = 1$ ($V = c$)
 $\epsilon_{r \text{ eau}} \sim 81$

Matériau	ϵ_r
Asphalte sec	2 - 5
Asphalte humide	6 - 12
Béton sec	4 - 8
Béton humide	8 - 15
Bitume	2,7
Sable sec	2,5 - 6
Sable humide	10 - 25
Glace	2,5 - 4
Sol sec	4 - 10
Sol humide	10 - 30
Sol gelé	4 - 8
Calcaire sec	7
Calcaire humide	8

Variations de la structure
& Zones homogènes

Estimation des épaisseur
Des couches

Détection de singularités

- Peut on remplacer le carottage par les mesures au géoradar?

	Géoradar	Carottage
Précision	Faible précision 	Résultats clairs et précis (mesure directe) 
Continuité	Données en continue 	Pas d'information entre les carottes 
Conditions d'exécution	Mesure sous trafic 	Nécessite de couper le trafic 
Rapidité	Grand rendement 	Faible rendement 
Type de l'essai	Essai non destructif 	Essai destructif 

Coût élevé

Variations de la structure
& Zones homogènes

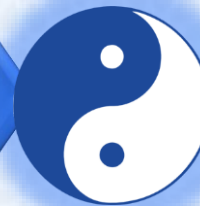
Estimation des épaisseur
Des couches

Détection de singularités

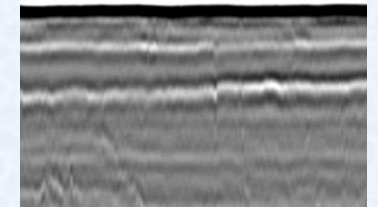
- Il ne s'agit pas de déterminer quelle est la meilleure méthode, mais il faut chercher à exploiter au maximum la **complémentarité** entre les deux approches.



Précision



Exhaustivité



Variations de la structure
& Zones homogènes

Estimation des épaisseur
Des couches

Détection de singularités

- Application : Contrôle de qualité des travaux routiers

En estimant les épaisseurs des couches de chaussée, le GPR peut être utilisé comme moyen de contrôle après travaux, Mais cela nécessite une connaissance préalable de la structure en place. Et malgré ça, l'estimation reste assez grossière (grande marge de variation de ϵ_r) et nécessite un calibrage avec des carottes.

En pratique, on peut adopter deux approches dans l'utilisation du GPR :

- Idéalement, on peut utiliser le géoradar pour mieux implanter les carottes ;
- Si le carottage est déjà effectué, on peut utiliser des carottes pour mesurer les épaisseurs réelles, et déterminer la permittivité diélectrique ϵ_r des matériaux en place par calcul inverse.

Variations de la structure
& Zones homogènes

Estimation des épaisseur
Des couches

Détection de singularités

Le GPR permet également de détecter la présence de singularités sous le sol. On peut citer notamment :

- ❖ Présence de cavité ;
- ❖ Présence de zone humide ;
- ❖ Détection de goudjous / barres d'ancrage (chaussées en béton) ;
- ❖ Localisation de réseaux (conduite / câble).

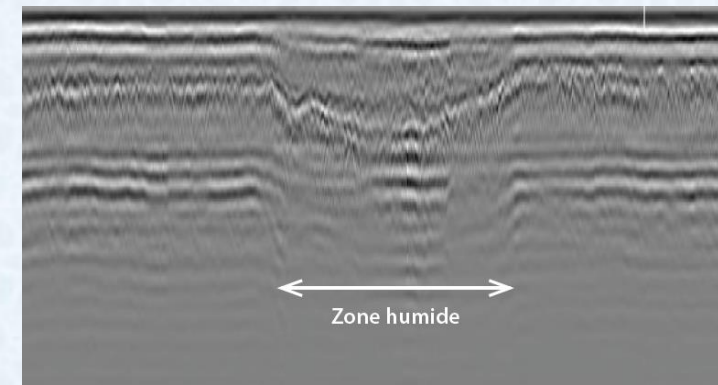
Toutefois, il faut utiliser la fréquence adaptée (la fréquence est inversement proportionnelle à la taille minimale détectable de l'objet).

Variations de la structure
& Zones homogènesEstimation des épaisseur
Des couches

Détection de singularités

- Application : détection de zone humide

La présence d'eau dans les matériaux de chaussée ralentit les ondes émises par le géoradar.



- Il ne faut pas lire les déformations présentes sur le signal comme déformations **physiques**

Le GPR est un outil important dans le domaine routier, et peut avoir plusieurs applications vu les nombreux avantages qu'il procure :

- Essai non destructif ;
- Rapidité d'exécution des mesures ;
- Exhaustivité et continuité des données ;
- Possibilité d'effectuer les mesures sans couper le trafic ;

Néanmoins, pour certaines applications où la précision est primordiale, il faut le coupler avec le carottage.

Merci pour votre attention

Utilisation du géoradar dans le domaine routier

Par M. FISSAA Smail