

Tomographie d'échantillons bitumineux du génie civil : remplacement du banc-gamma

Dans le domaine du génie civil, la réception de chaussées neuves s'accompagne d'un ensemble de contrôle de paramètres physiques, notamment de la densité par des méthodes normalisées. Ce contrôle permet en effet une bonne mise en œuvre des routes pour leur conférer une durée de vie optimale. Pour remplacer le banc-gamma de laboratoire, un système électromagnétique ultra large bande (ULB), constitué de deux antennes de type Vivaldi [1,4-20 GHz] et d'un analyseur de réseau vectoriel est proposé pour le contrôle de la masse volumique de carottages d'étalonnage des chaussées. Les premiers résultats de modélisations et de mesures sur des échantillons de laboratoire montrent que le système permet d'évaluer la permittivité relative de différents matériaux stratifiés.

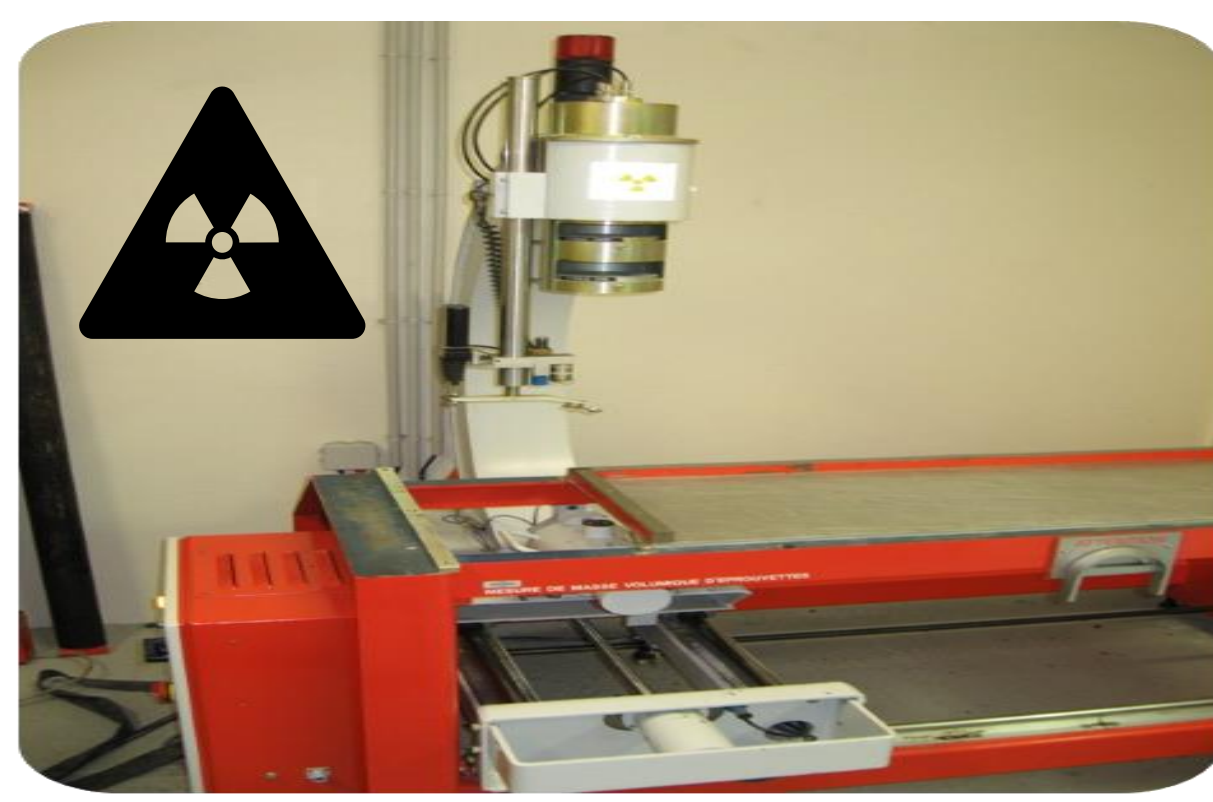
Introduction

Méthode normalisée classique pour contrôler la compacité en laboratoire [1] :



Carottage

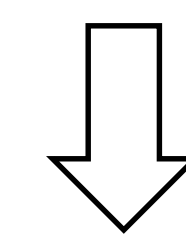
+



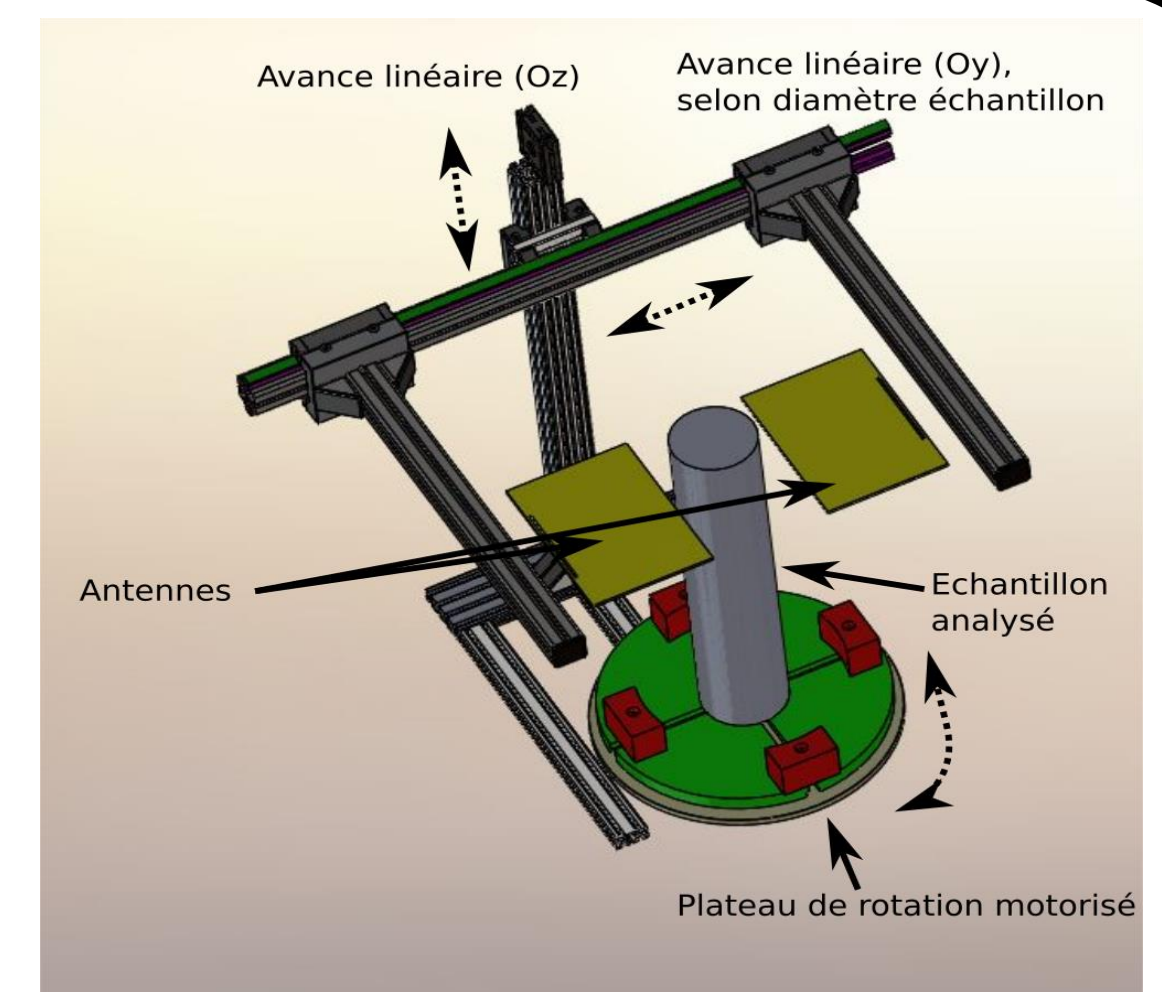
Banc-gamma

- ✓ Précise (~1%).
- ✗ Utilisation des rayons gamma
- ✗ Méthode destructive (carottage)
- ✗ Plusieurs contraintes (utilisation, stockage...)

Quelle méthode alternative en laboratoire ?



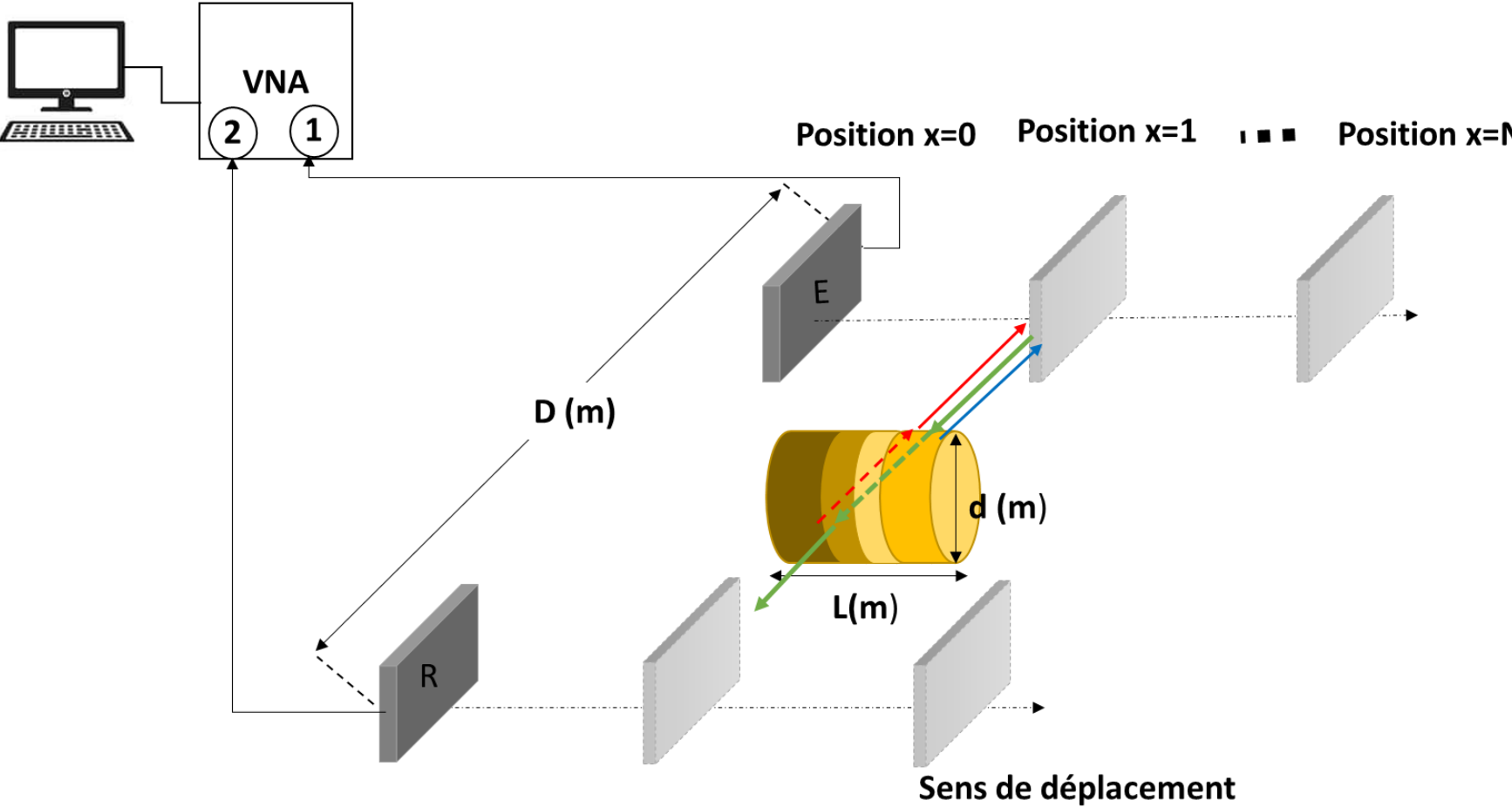
Utilisation d'ondes Électromagnétiques (EM)



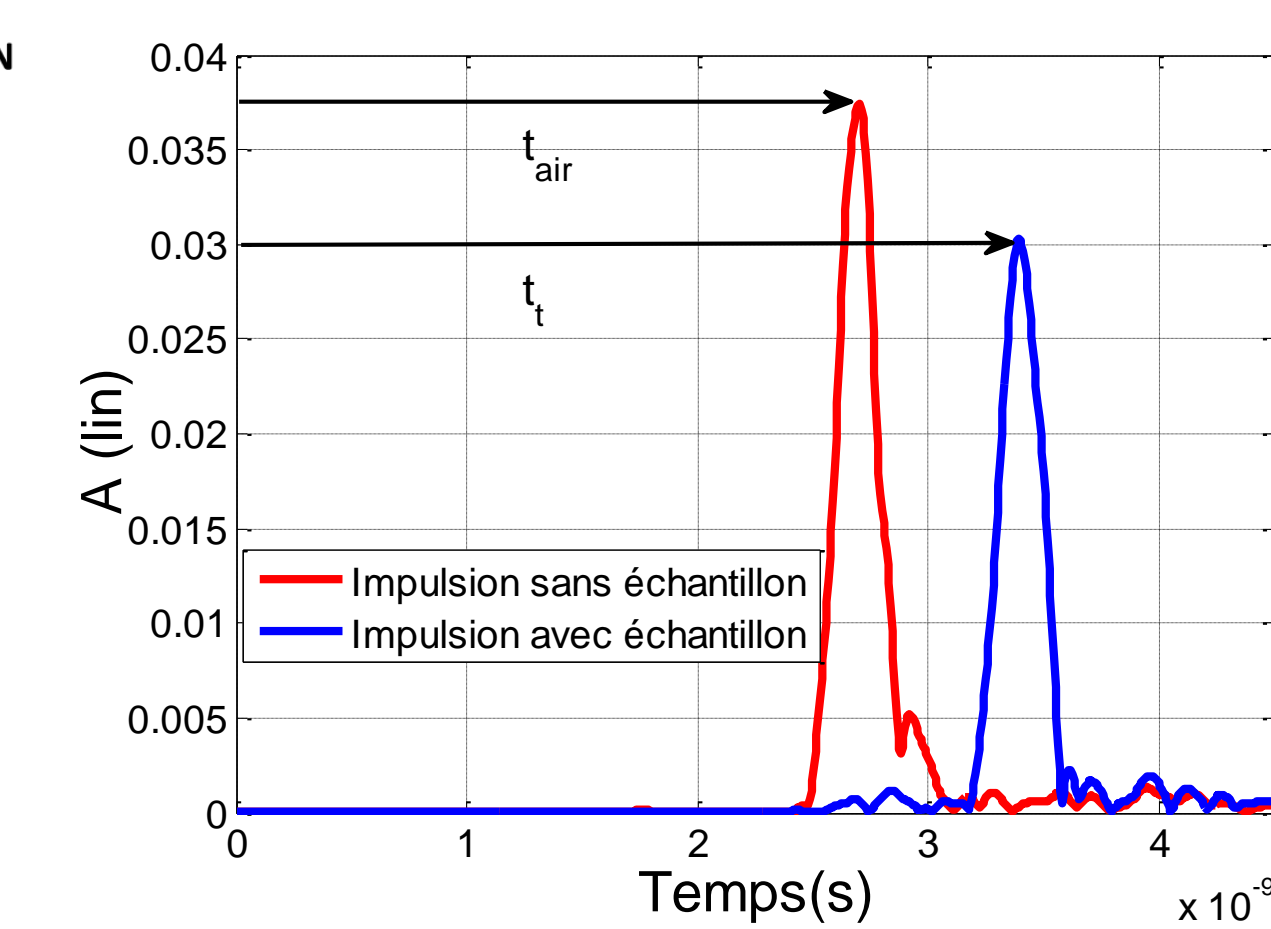
Banc EM envisagé (Cerema (CECP-Rouen))

Principe du banc électromagnétique

1. Schéma du banc électromagnétique

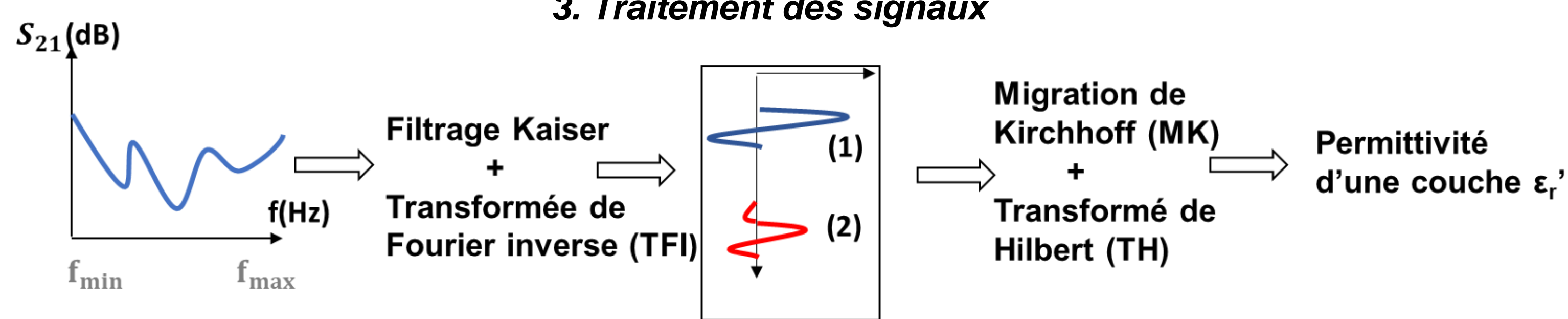


2. Modules des impulsions transmises avec et sans échantillon



L'étude de l'impulsion transmise et reçue (TFI $S_{21}(f)$) permet d'estimer la partie réelle de la permittivité (ϵ_r') de la carotte.

3. Traitement des signaux



$$\epsilon_r' = \left(\left(t_t - \frac{D-d}{c} \right) \frac{c}{d} \right)^2$$

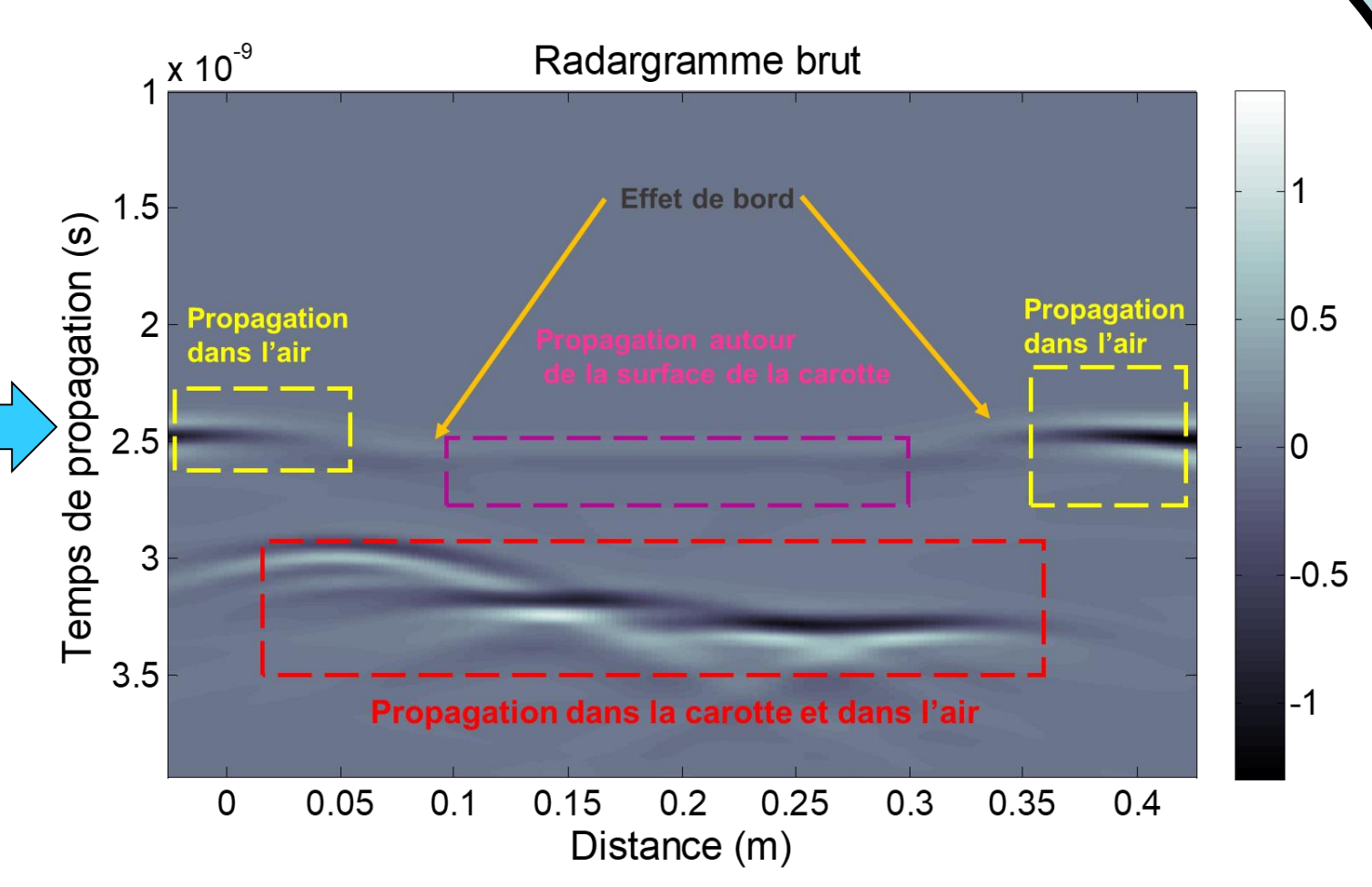
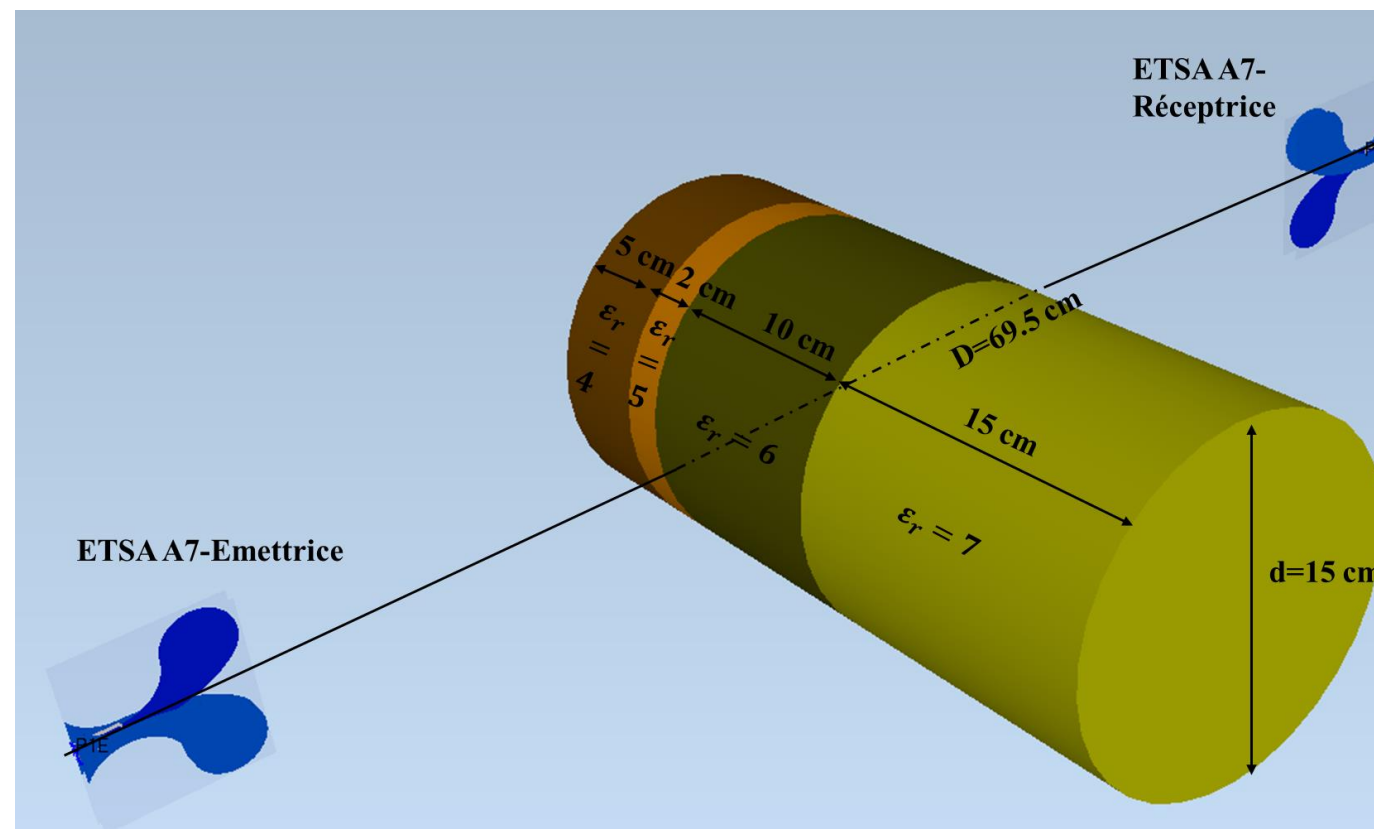
Avec
 t_t : temps de propagation total dans l'air et dans la carotte ;
 D : distance entre les deux antennes ;
 d : diamètre de la carotte ;
 c : vitesse dans le vide.

$$C = \frac{(\epsilon_r' - 1)Z}{\epsilon_a^a + \epsilon_b^b + \epsilon_f^f + \epsilon_e^e}, [2]$$

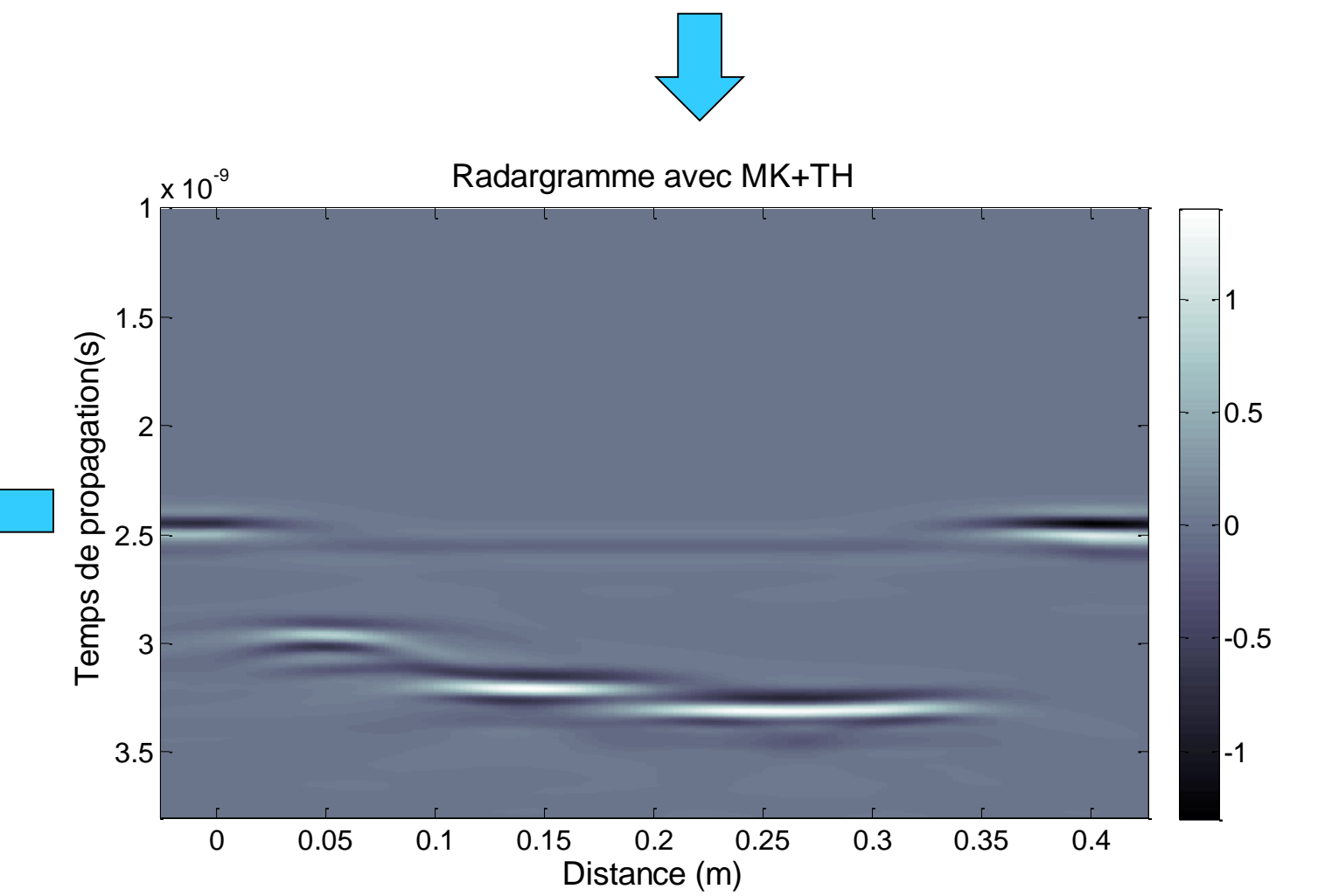
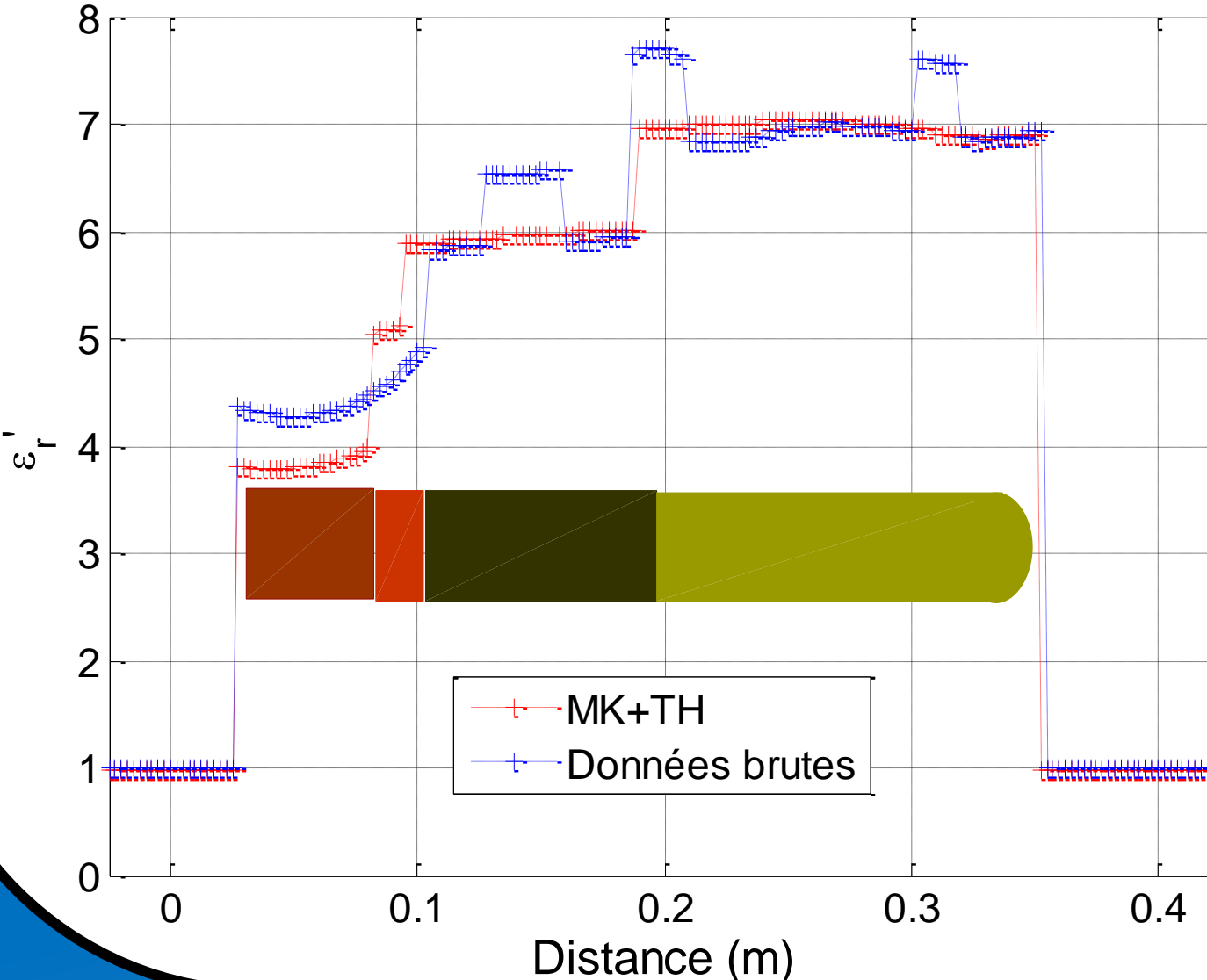
Avec
 α : coefficient entre 0 et 1 ;
 ρ_i : masse volumique du $i^{\text{ème}}$ constituant ;
 $Z = \left(1 + \frac{\rho_a T_a}{\rho_f T_a} + \frac{\rho_b T_b}{\rho_b T_a} + \frac{\rho_e T_e}{\rho_e T_a} \right)^{-1}$
 (a: agrégats, b: bitume, f: fines, e: eau)

Modélisation du système

8. Schéma du système de caractérisation de la permittivité en FDTD

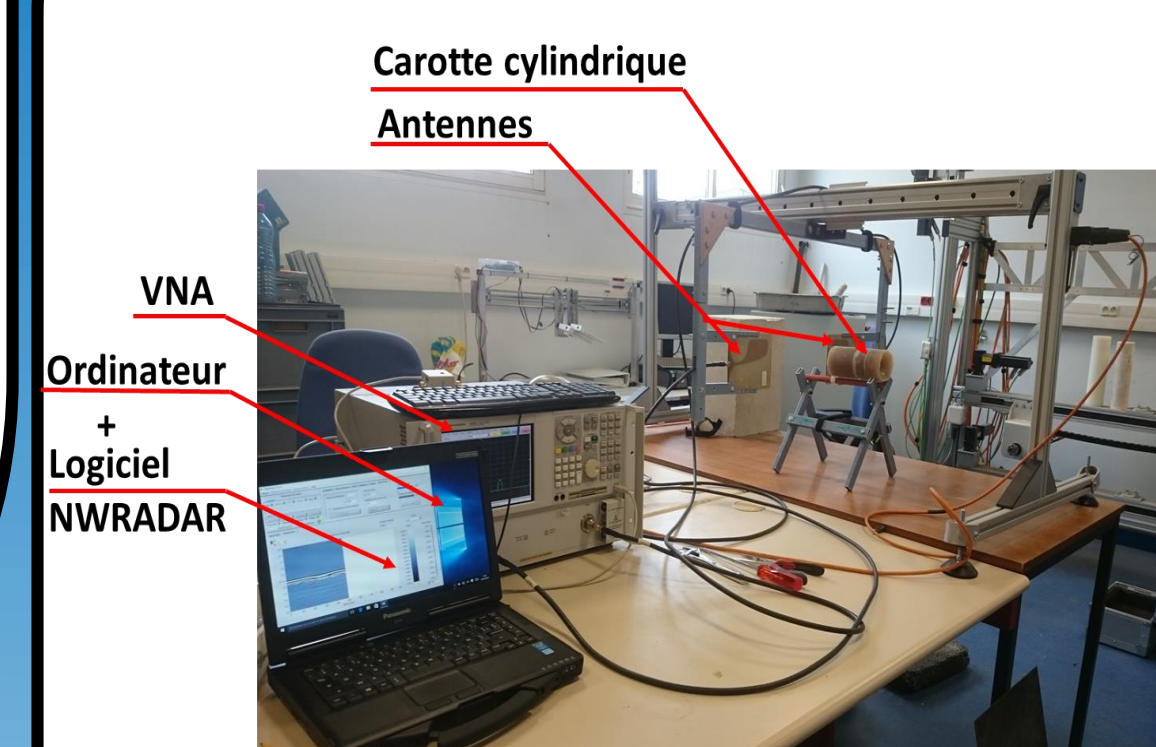


9. Profil de la permittivité calculée

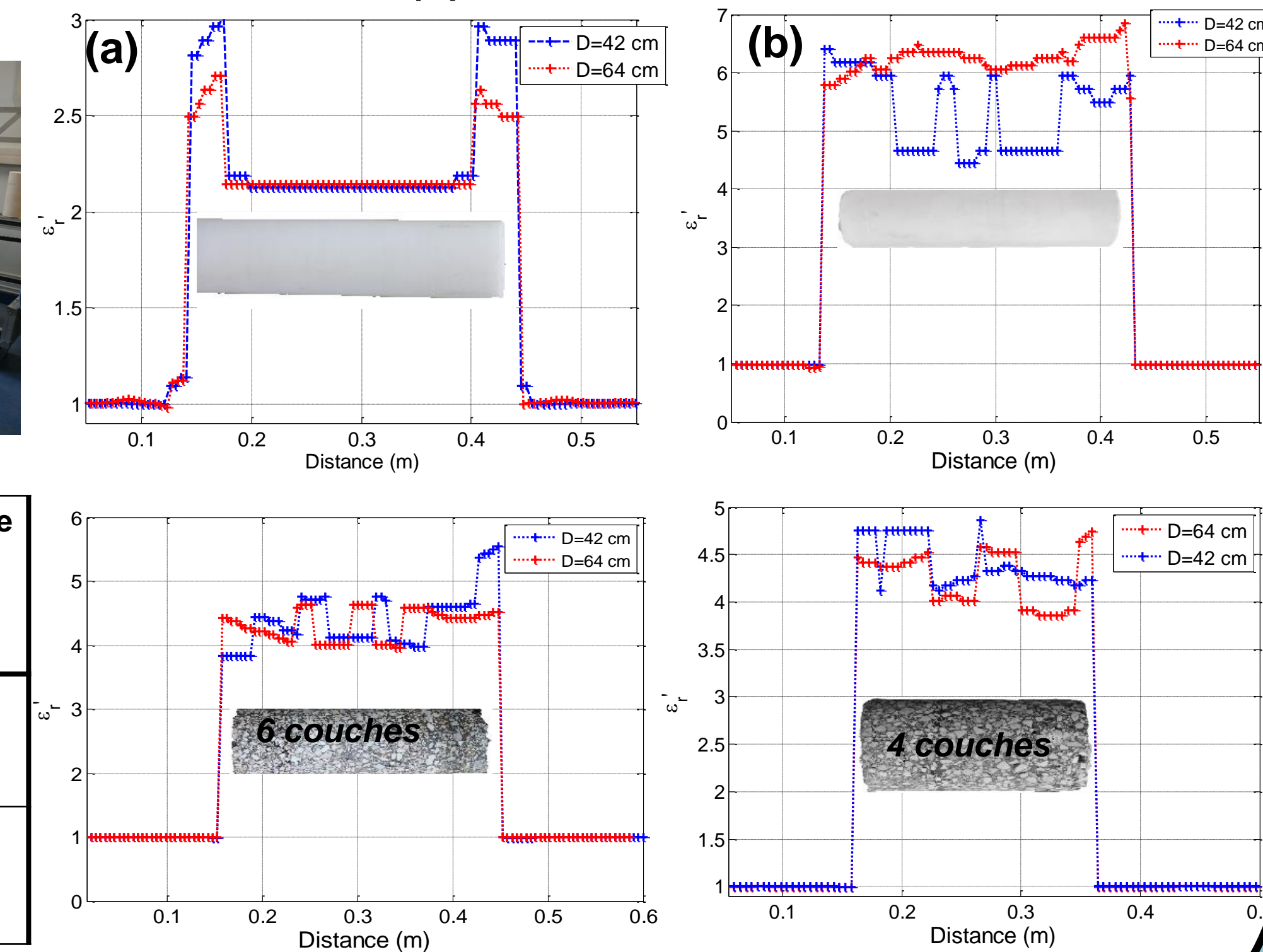


Mesure au laboratoire : 1^{ère} essai

10. Banc de mesure EM utilisé



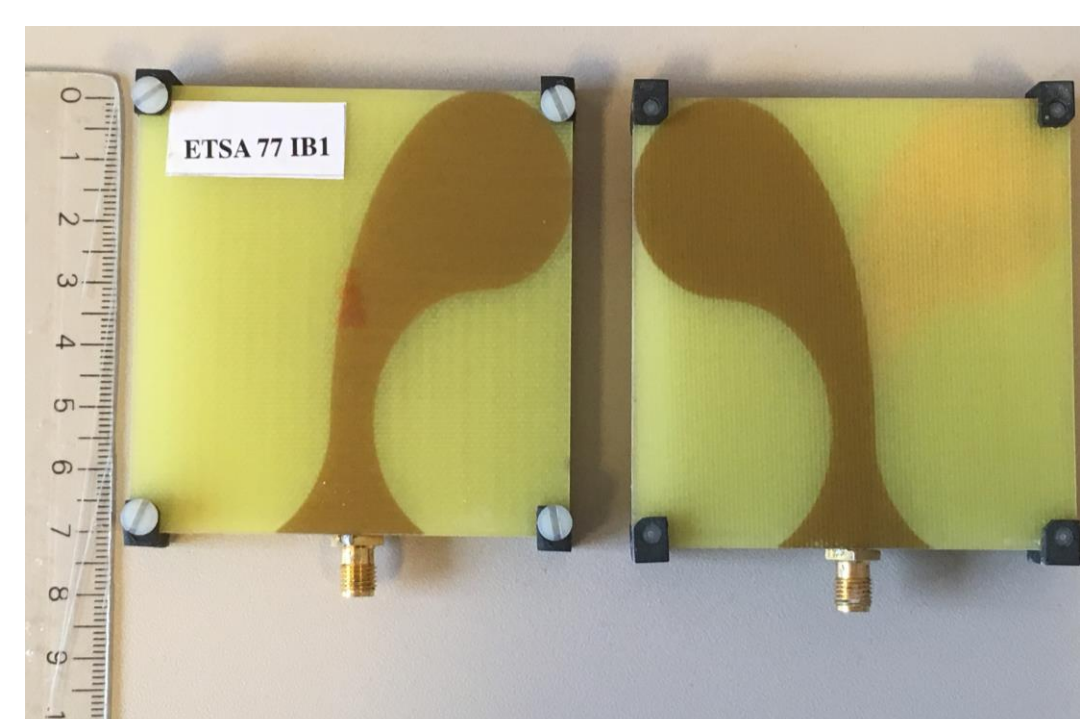
11. Profil de la permittivité mesurée : (a) téflon, (b) calcaire, (c) béton bitumineux C1, et (d) béton bitumineux C14



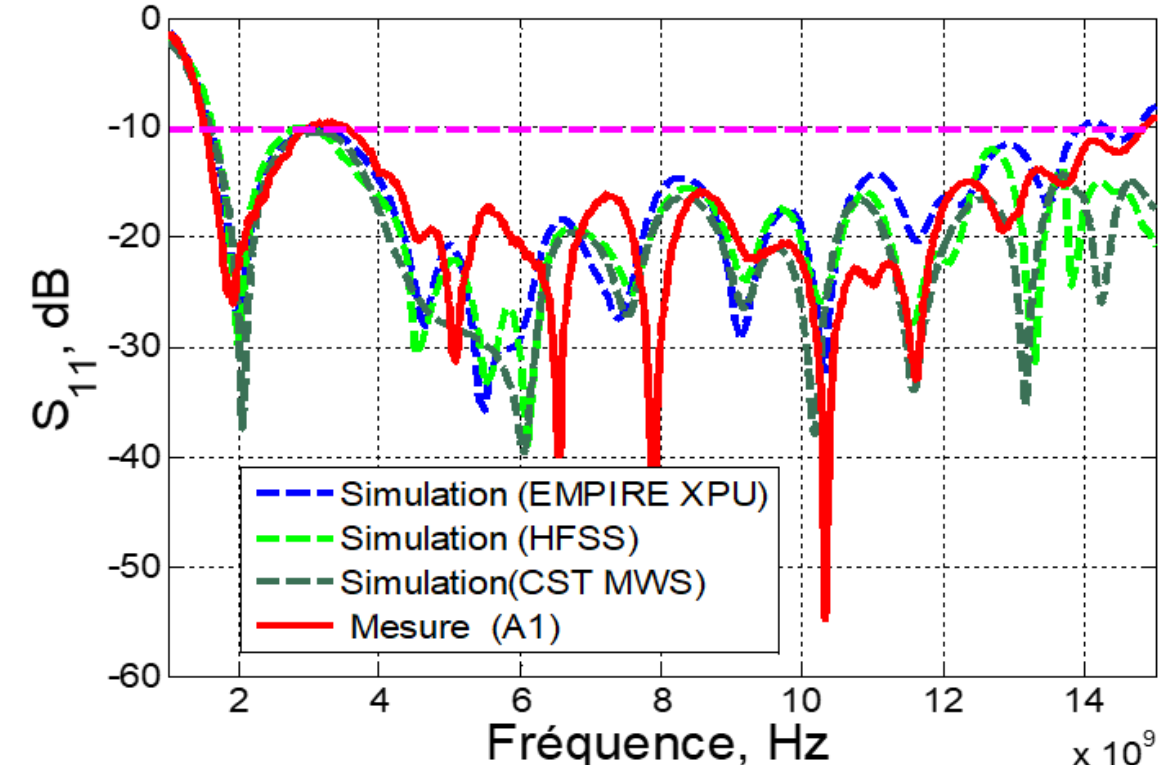
Matériau x	Moyenne de ϵ_r'		Référence de ϵ_r' [3]
	D=64 cm	D=42 cm	
Téflon (d=8,5cm)	2,15±0,07	2,14±0,02	2,15±0,1
Calcaire (d=8 cm)	5,72±0,37	5,2±0,7	5,74±0,2

Antennes ULB développées

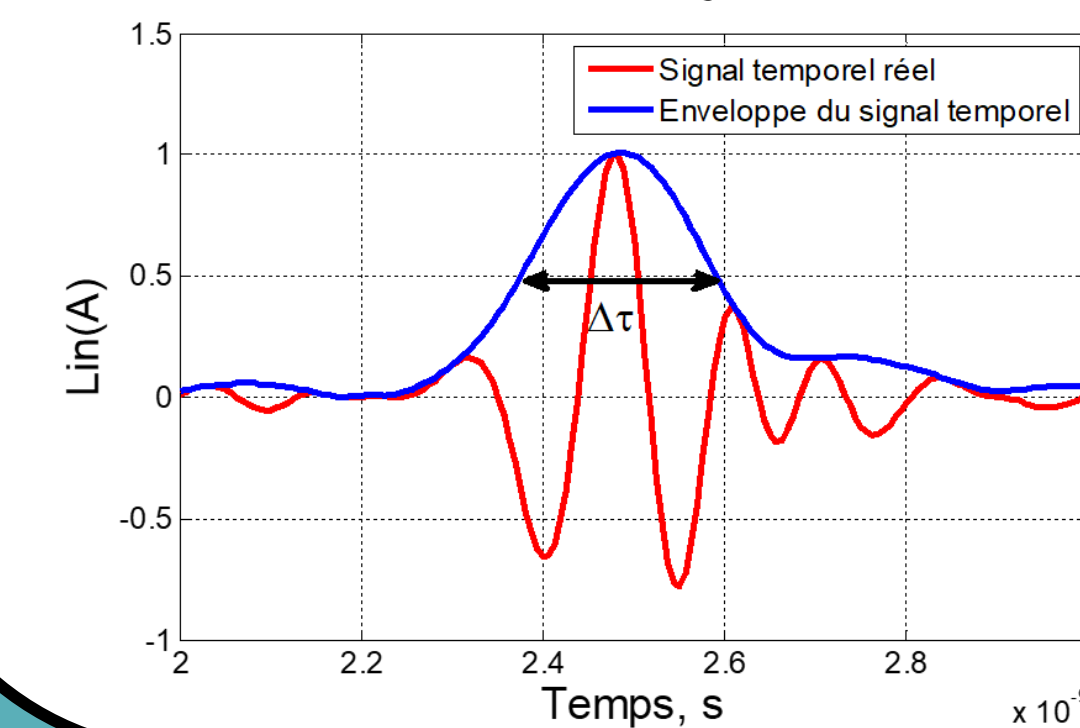
4. Antenne ETSA-A7



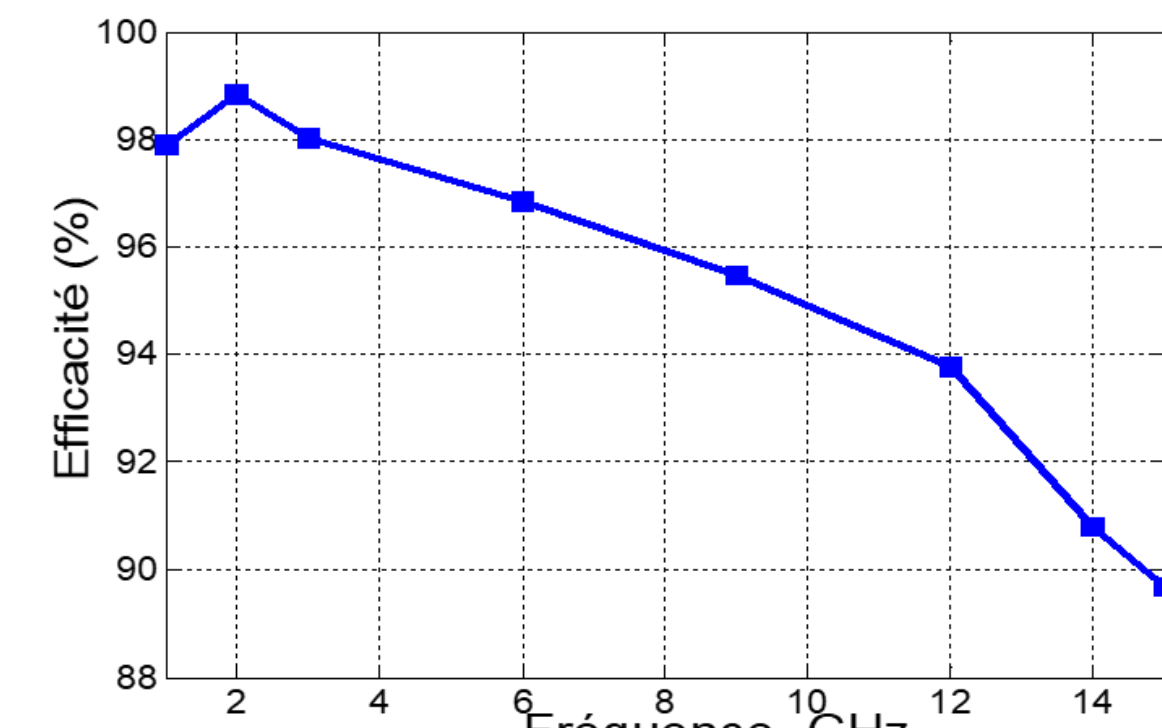
5. Adaptation S_{11}



6. Efficacité de rayonnement

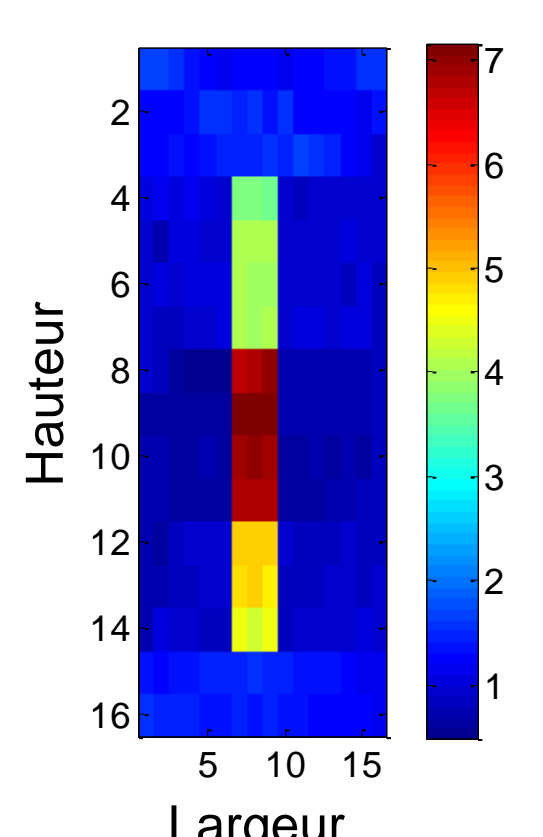


7. Réponse impulsionnelle mesurée



Conclusion

Le principe de la tomographie électromagnétique est envisagé pour remplacer les bancs gamma pour le contrôle de la compacité des matériaux. Dans cette première approche simplifiée, deux antennes ETSA A7 [1,4-15 GHz] ont été développées pour mesurer le profil de permittivité le long d'échantillons cylindriques dans le domaine temporel. La modélisation en FDTD et les premiers résultats de mesures montrent que la technique est encourageante. Une validation expérimentale est en cours sur des échantillons dont la formulation est connue. L'étape suivante consiste à étudier les inversions multi-trajets et les inversions en forme d'onde.



Références

[1] J. Baron et J. Peynard, « Mesure de la densité par diffusion gamma à l'aide d'un appareil expérimental, » Bulletin de liaison des laboratoires routiers, Tech. Rep., 1968,
 [2] S. Araujo, « Evaluation de la compacité des enrobés bitumineux et caractérisation large bande des propriétés diélectriques des roches, » Thèse. Université de Rouen, 2017.
 [3] B. Li, « Détermination de la compacité des couches minces des enrobés bitumineux à l'aide de méthodes électromagnétiques hautes fréquences, » Thèse. Université de Rouen, 2012