

# Application de l'outil de mesure *EpsiMu* à la caractérisation de l'humidité dans un milieu granulaire.

## L'outil *EpsiMu*

([www.epsimu.fr](http://www.epsimu.fr))

### Rappels des principales caractéristiques :

- ✓ Une utilisation très simple
- ✓ Une technique de mesure quasi temps réel
- ✓ Une technique large bande (jusqu'à 18GHz avec la cellule classique *EpsiMu* 7mm)
- ✓ Application à la plupart des matériaux solides, granulaires ...

### Principes de fonctionnement :

Utilisation conjointe de deux techniques classiques :

- Technique de mesures en Transmission / Réflexion
- Opération de *De-embedding*

Associées à un modèle de cellule décrit par une

### Carte d'identité constituée par :

- les longueurs électriques  $d_1$  et  $d_2$
- l'atténuation linéique de la cellule

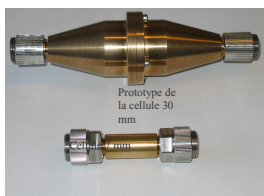
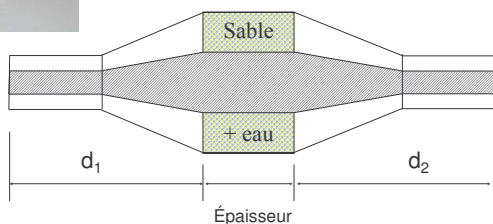


Schéma de principe :



## Exemple : matériau granulaire test (Sable de la Dune du Pilat)

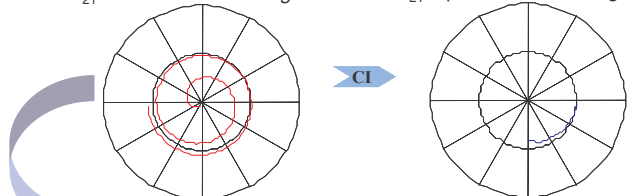
### Procédure :

#### Caractéristique de la cellule :

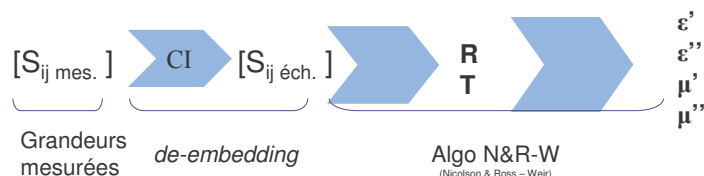
- Zone échantillon
- ✓ Diamètre extérieur : 30 mm
- ✓ Diamètre intérieur : 13 mm
- ✓ Impédance caractéristique : 50  $\Omega$
- ✓ Épaisseur de la zone échantillon : 13 mm

$S_{21}$  avant *de-embedding*

$S_{21}$  après *de-embedding*



Mesure unique sans étalonnage préalable de la cellule mais en utilisant un VNA calibré

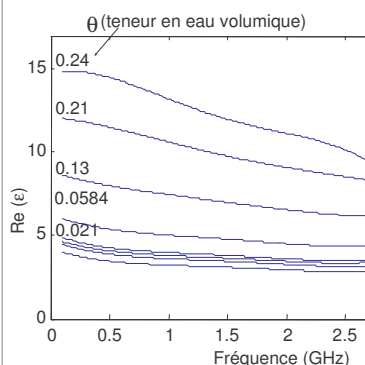


## Résultats : variation de la permittivité en fonction de la valeur de la teneur en eau ( $\theta$ )

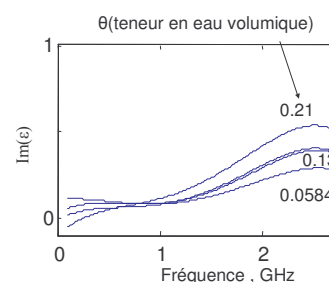


### $\theta$ dépend :

- du volume utile de la cellule
- des densités des matériaux
- de la composition de l'échantillon (sable, eau)



Granulométrie entre 300 et 500  $\mu\text{m}$



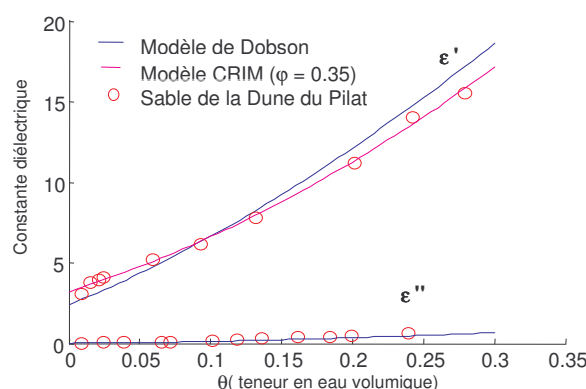
## Validation : $\epsilon(f)_\theta$ comparaison mesures / modèles (CRIM, Dobson)

### Modèle CRIM (Complex Refractive Index Model)

- Porosité du matériau :  $\phi = 0.35$
- $\epsilon'$  de chaque composant du matériau : sable, eau, air

### Modèle de Dobson

- Modèle empirique
- Prise en compte de la composition du sol (sable, argile...)



## Conclusion, pour aller plus loin ...

### Adaptions des cellules aux contraintes des matériaux et des conditions de mesures

- Contraintes environnementales comme la température
- Matériaux exotiques (poudres multi-composants, gels, ...)
- Suivi de l'évolution de matériaux dans le temps : mesures dynamiques, valeur de permittivité en fonction du temps
- Nouvelles applications : études de ciments, études de matériaux entrant dans la constitution de fantômes électromagnétiques, ...