

# Amélioration du modèle MARMIT de simulation d'un spectre de réflectance de sol en fonction de sa teneur en eau



Aurélien Bablet<sup>1,2</sup> (aurelien.bablet@onera.fr),  
Françoise Viallefont<sup>1</sup>, Xavier Briottet<sup>1</sup>, Sophie  
Fabre<sup>1</sup> et Stéphane Jacquemoud<sup>2</sup>

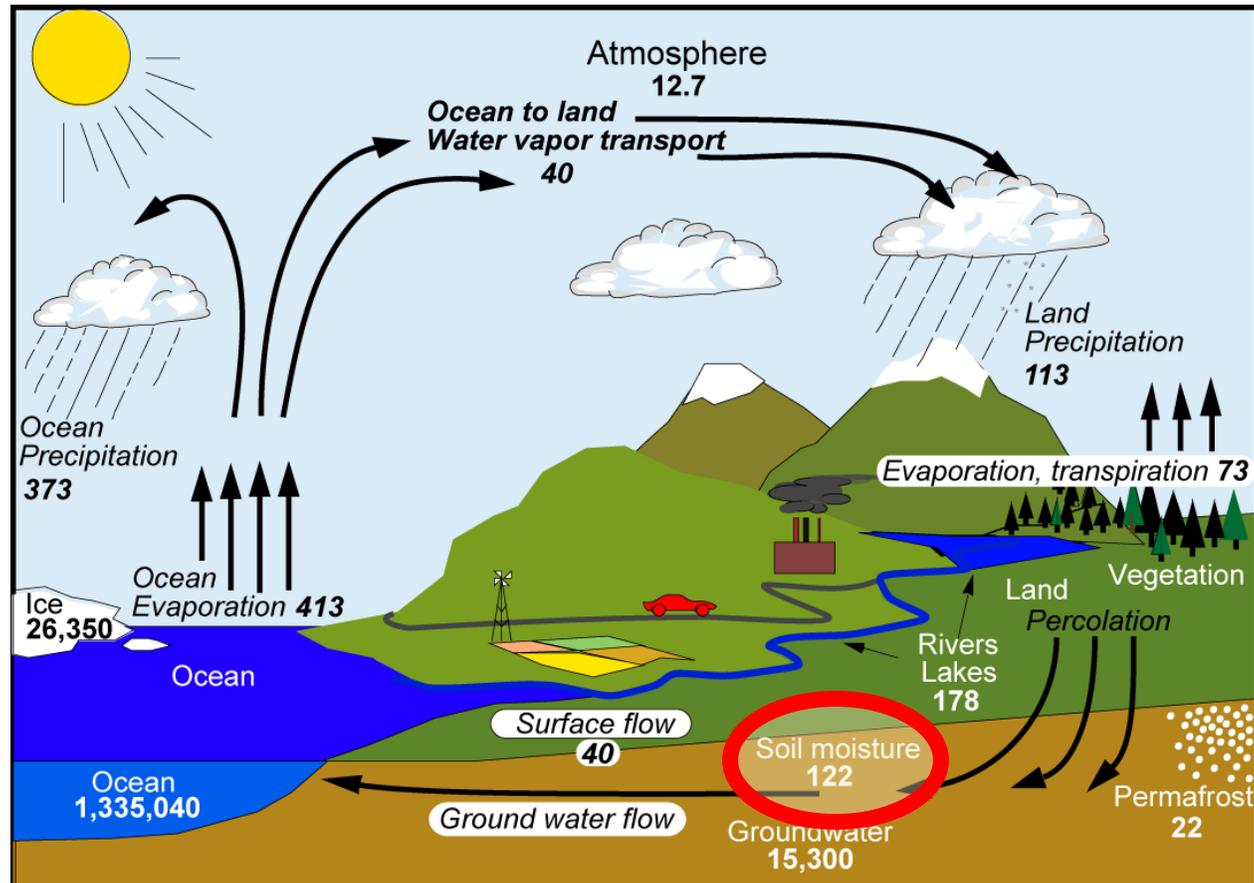


<sup>1</sup> ONERA/DOTA, Université de Toulouse, 31055 Toulouse

<sup>2</sup> IPGP/PSS, 35-39 rue Hélène Brion, 75013 Paris

# Contexte

SMC = Soil Moisture Content



Units: Thousand cubic km for storage, and *thousand cubic km/yr* for exchanges

Le SMC est une variable influençant :

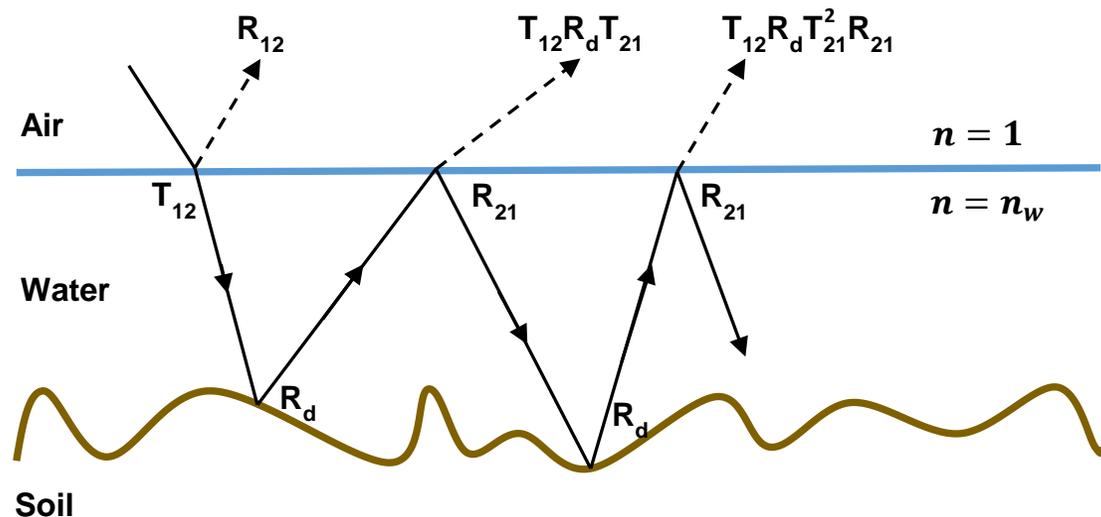
- l'érosion
- l'évaporation
- l'infiltration et l'écoulement
- les échanges de chaleur et de gaz
- etc.

Le SMC est important en :

- hydrologie
- agriculture
- météorologie
- planétologie
- défense
- etc.

# L'héritage

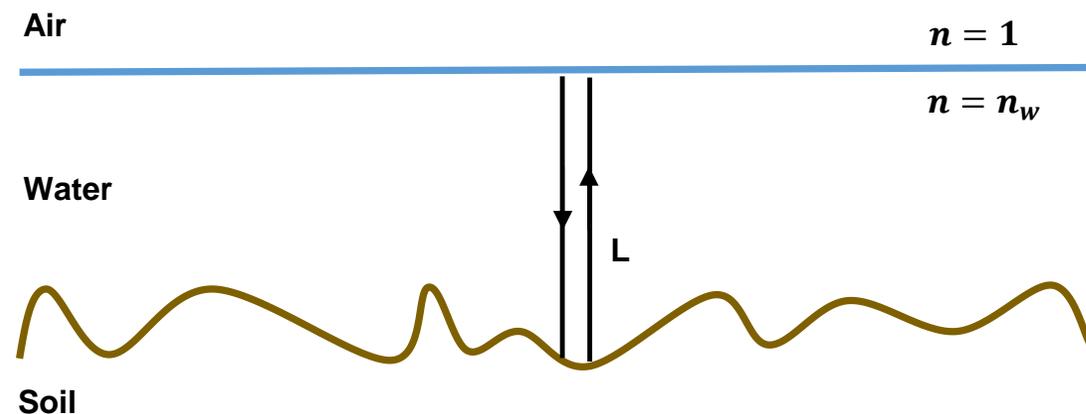
Ångström (1925) et Lekner & Dorf (1988)



$$R_w = 1 - \frac{T_{12} \times (1 - R_d)}{1 - R_{12} \times R_s}$$

- $T_{ij}$  : transmission à l'interface i-j
- $R_{ij}$  : réflexion à l'interface i-j
- $R_d$  : réflectance du sol sec

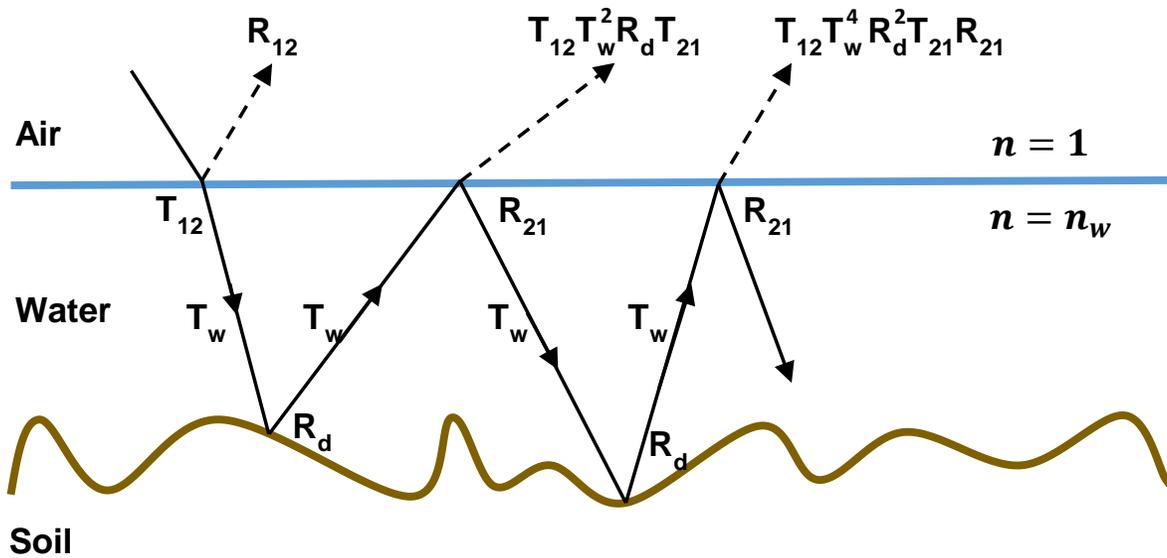
Bach & Mauser (1994)



$$R_{wB} = R_w \times e^{-2\alpha L}$$

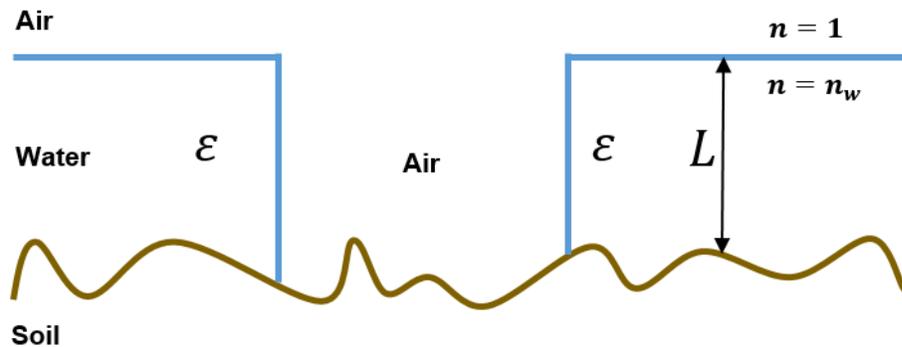
- $L$  : hauteur de la lame d'eau
- $\alpha$  : coefficient d'absorption de l'eau pure

# MARMIT (MultiLayer Radiative transfer Model of soil reflectance)



$$R_h = \frac{T_{12} T_{21} R_d T_w^2}{1 - R_{21} R_d T_w^2}$$

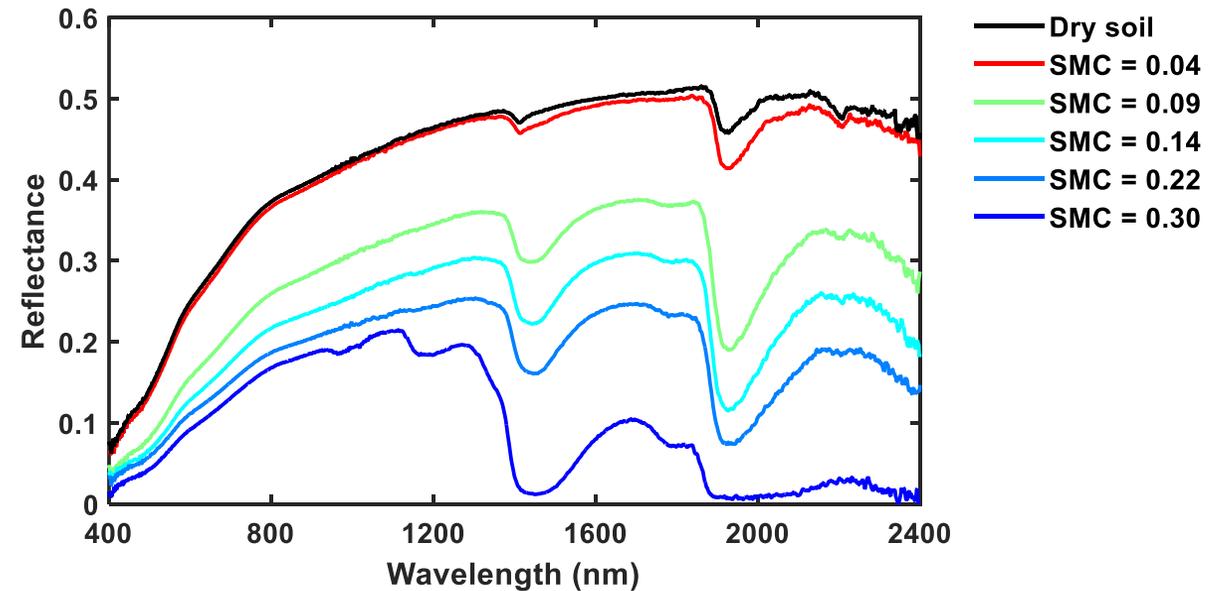
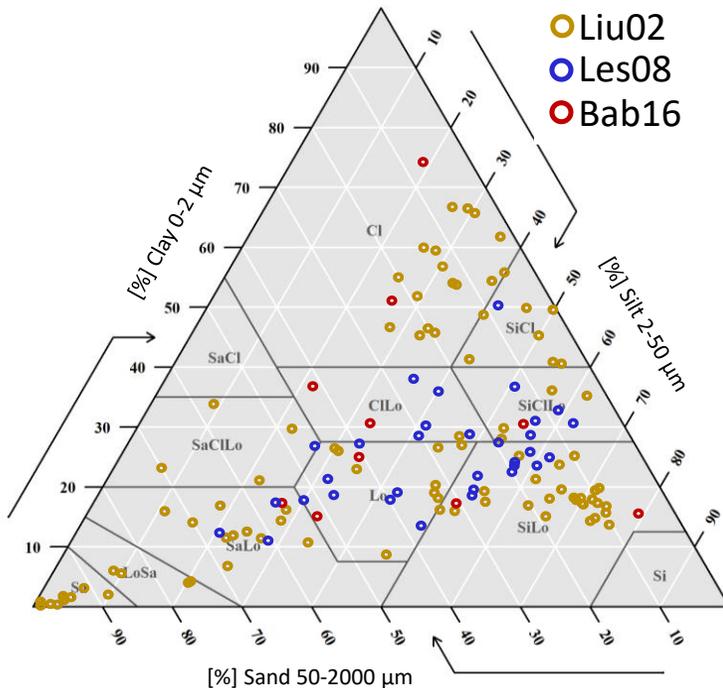
avec  $T_w = e^{-\alpha(\lambda)L}$



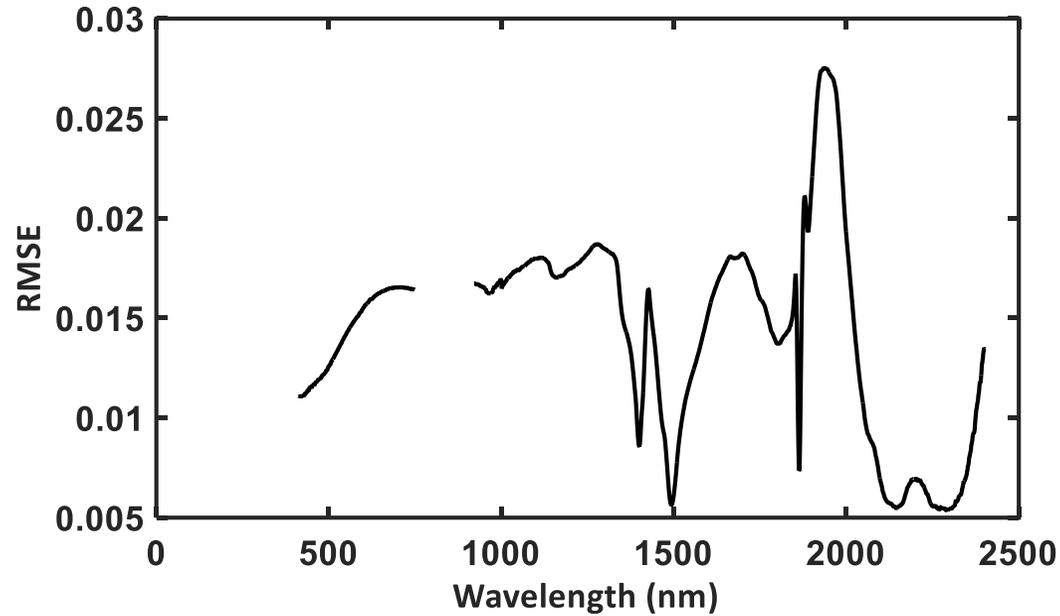
$$R_m = \epsilon R_h + (1 - \epsilon) R_d$$

# Bases de données

Dataset	$N$	$SMC$		Drying protocol	Sieving	$\theta_i$
		Number of levels	range			
Lob02	4	9 to 15	0-108 %	Oven-dried	2 mm	15°
Liu02	93	4	0-83 %	Oven-dried	2 mm	15°
Whit04	60	10 to 12	0-45 %	Drying in the open air	2 mm	
Les08	32	6	0-86 %	Oven-dried	no	15°
Mar12	9	25 to 30	0-50 %	Humidification	no	25°
Phil14	3	97 to 205	0-45 %	Drying in the open air	2 mm	
Bab16	17	6 to 8	0-80 %	Oven-dried	2 mm	15°

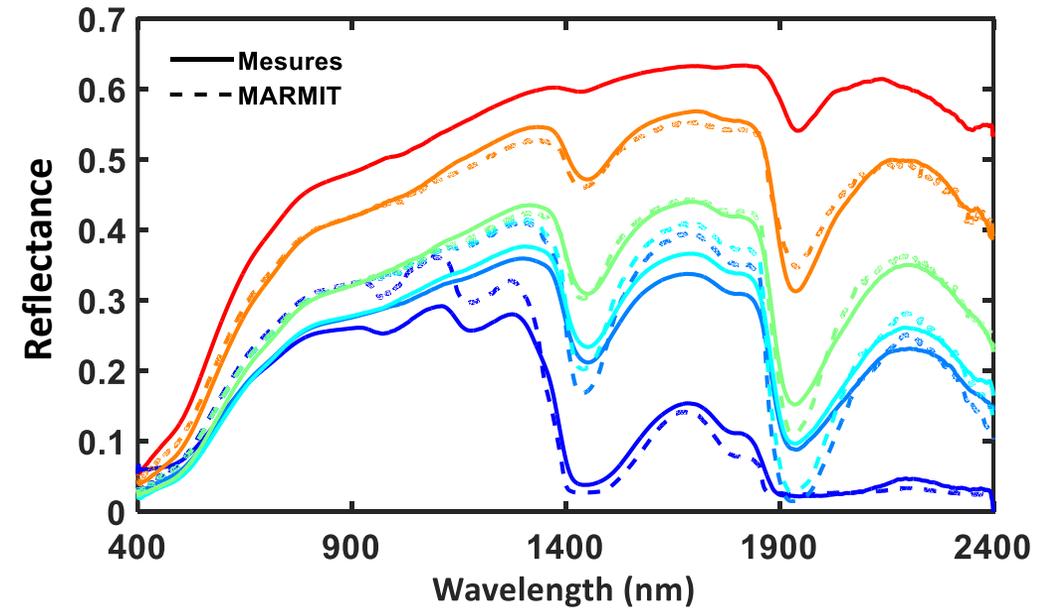
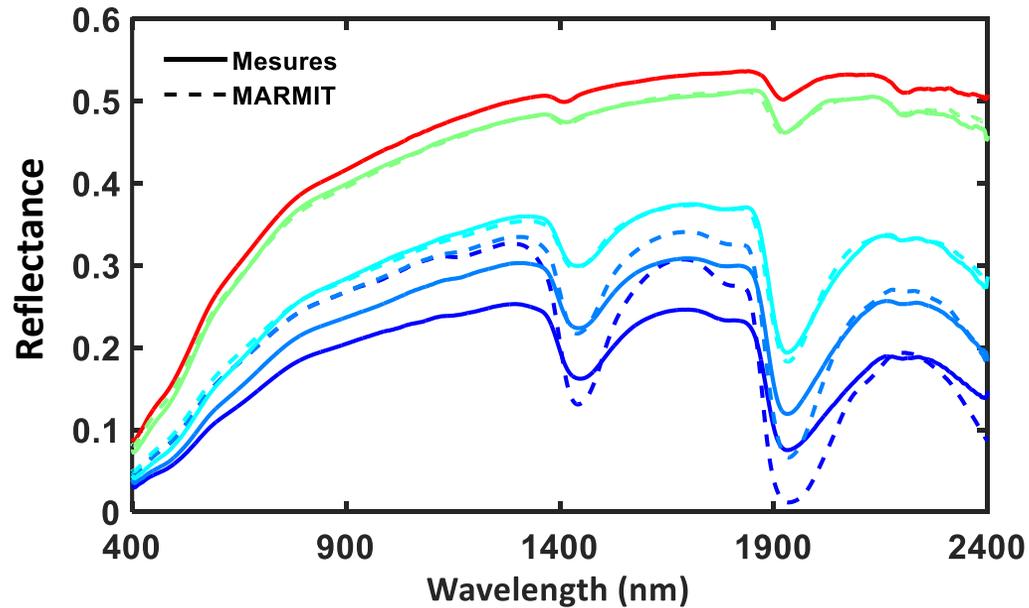


# Problèmes d'ajustement

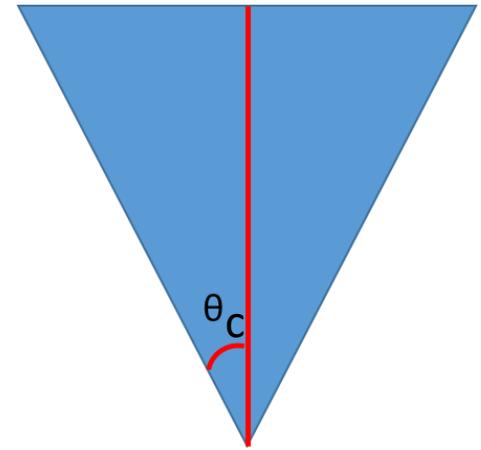
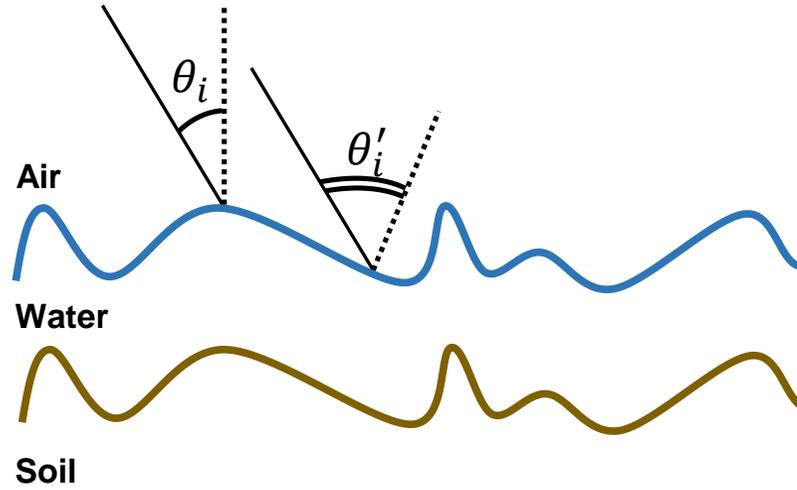
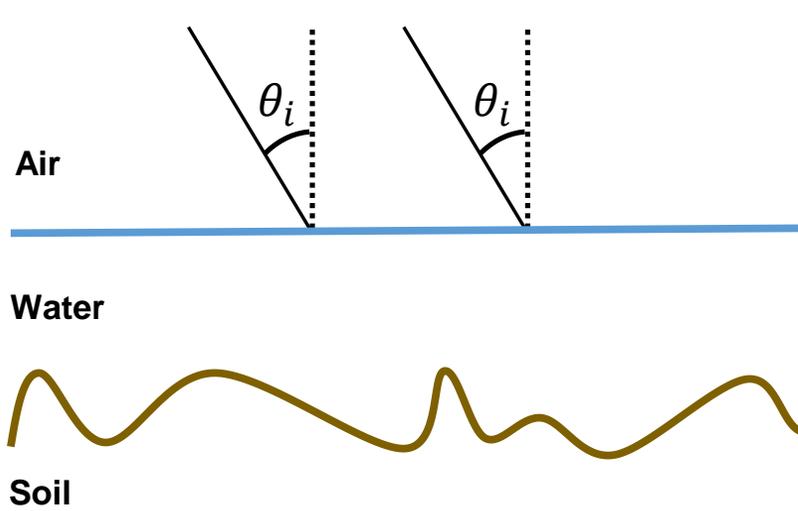


$$RMSE = \sqrt{\sum_1^N \frac{(R_i^{meas} - R_i^{est})^2}{N}}$$

$N$  le nombre de spectres

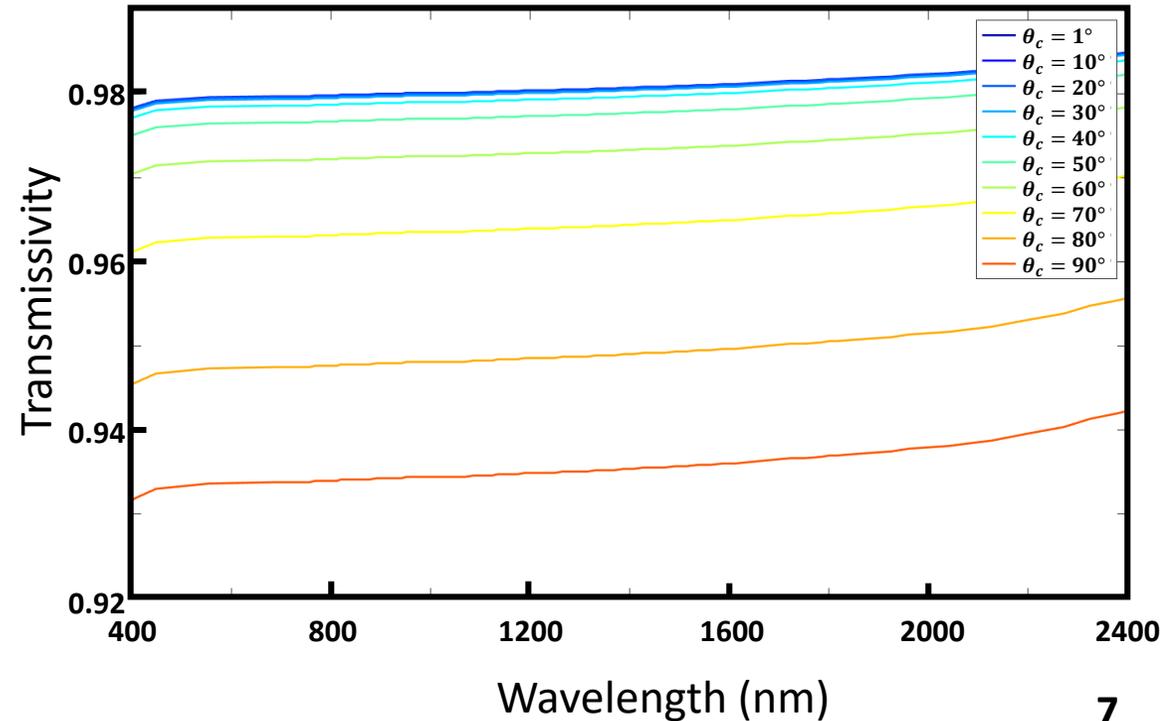


# MARMIT 2 : angle du rayon incident



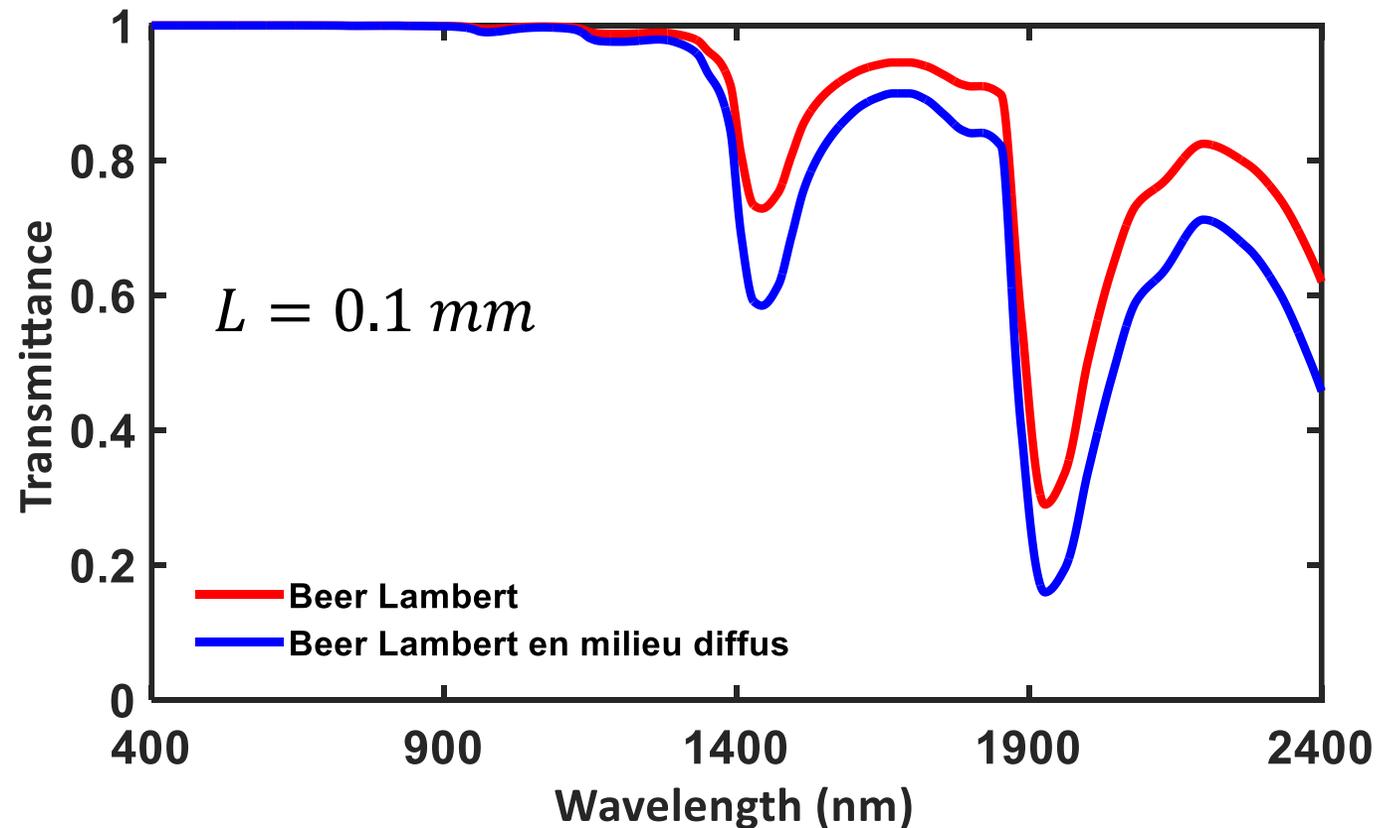
$$T_{av}(n) = \frac{\int_0^{2\pi} d\phi \int_0^{\theta_c} [1/2 T_s(x, n) + 1/2 T_p(x, n)] \cos \theta \sin \theta d\theta}{\int_0^{2\pi} d\phi \int_0^{\theta_c} \cos \theta \sin \theta d\theta}$$

Augmentation de  $\theta_c$   $\longrightarrow$  Diminution de  $T_{12}$

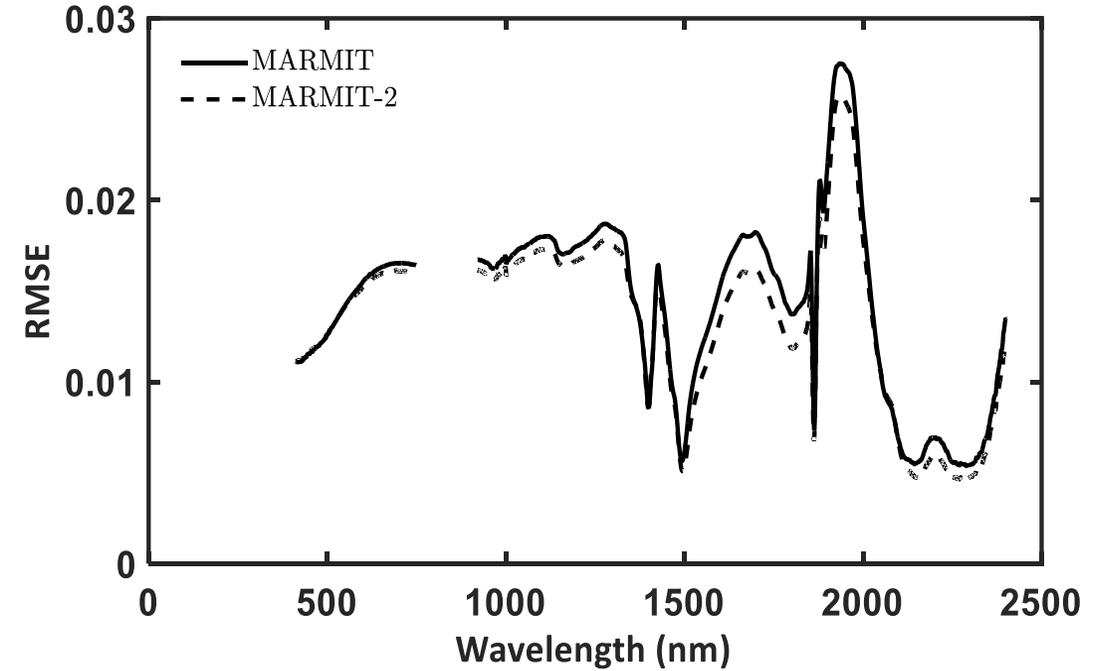
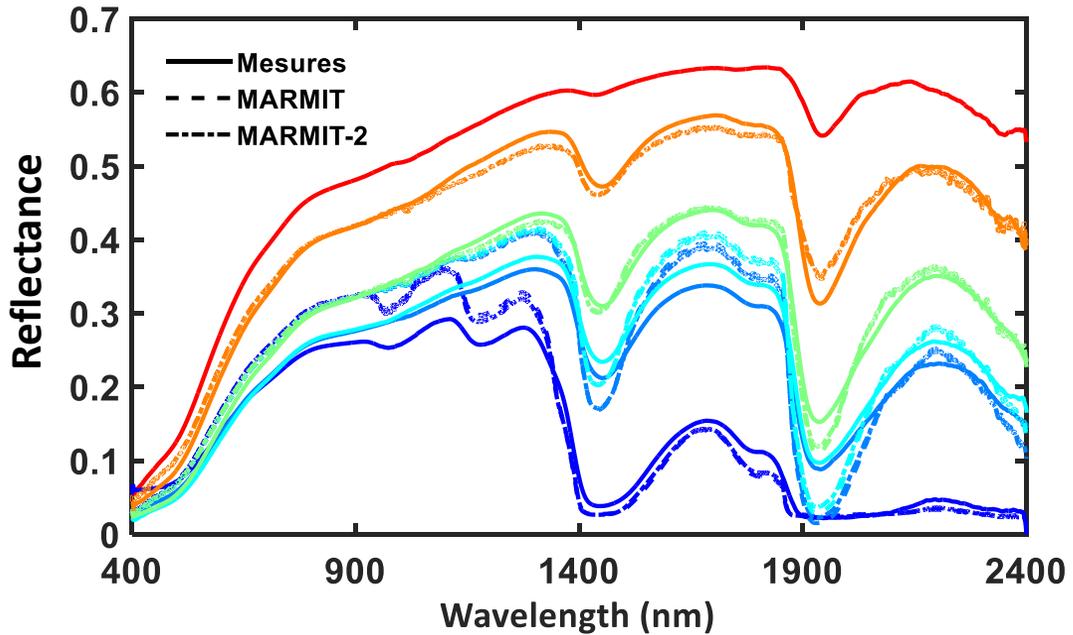
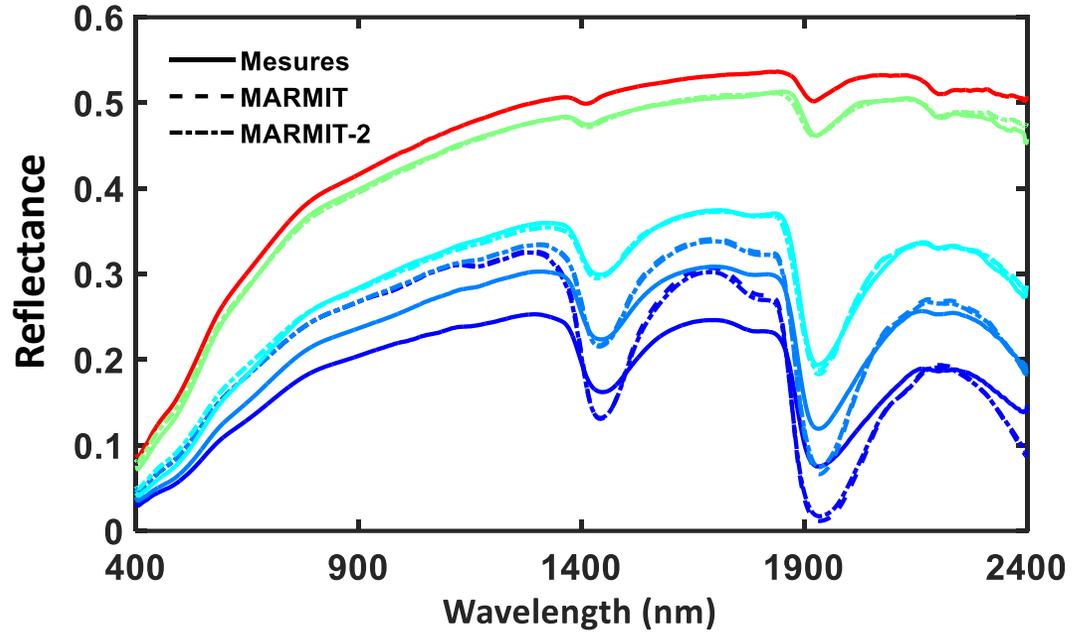


# MARMIT 2 : loi de Beer-Lambert dans un milieu diffus

$$T_w = e^{-\alpha(\lambda)L} \quad \longrightarrow \quad T_w = (1 - \alpha L)e^{-\alpha L} + (\alpha L)^2 \int_{\alpha L}^{\infty} \frac{e^{-x}}{x} dx$$

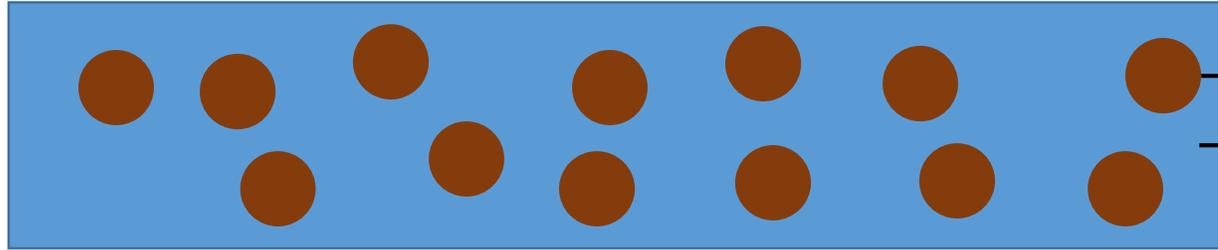


# Résultats



Amélioration de l'ajustement mais  
**écart entre mesures et modèle encore important**

# MARMIT 2 : théorie des milieux effectifs



inclusions = particules de sol  
matrice = eau

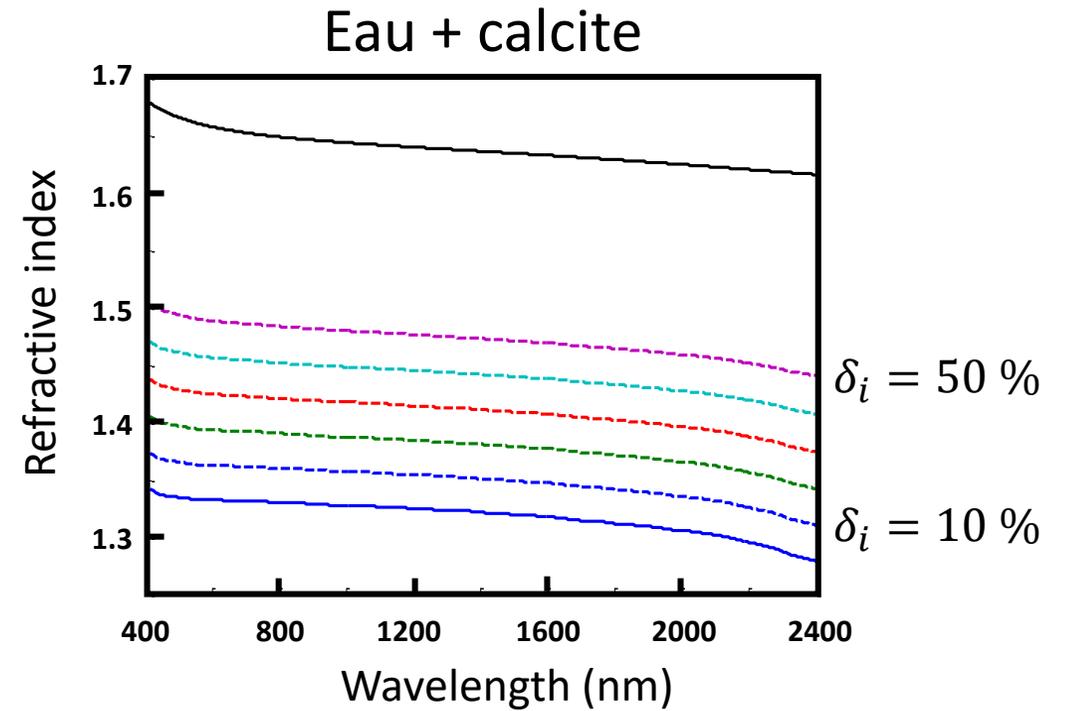
$$\varepsilon_{eff} = \varepsilon_m \frac{2\delta_i(\varepsilon_i - \varepsilon_m) + \varepsilon_i + 2\varepsilon_m}{2\varepsilon_m + \varepsilon_i + \delta_i(\varepsilon_m - \varepsilon_i)} \quad n_{eff} = \sqrt{\frac{\varepsilon_{eff}}{\varepsilon_0}}$$

$\delta_i$  Volume des inclusions

$\varepsilon_i$  Permittivité diélectrique des inclusions

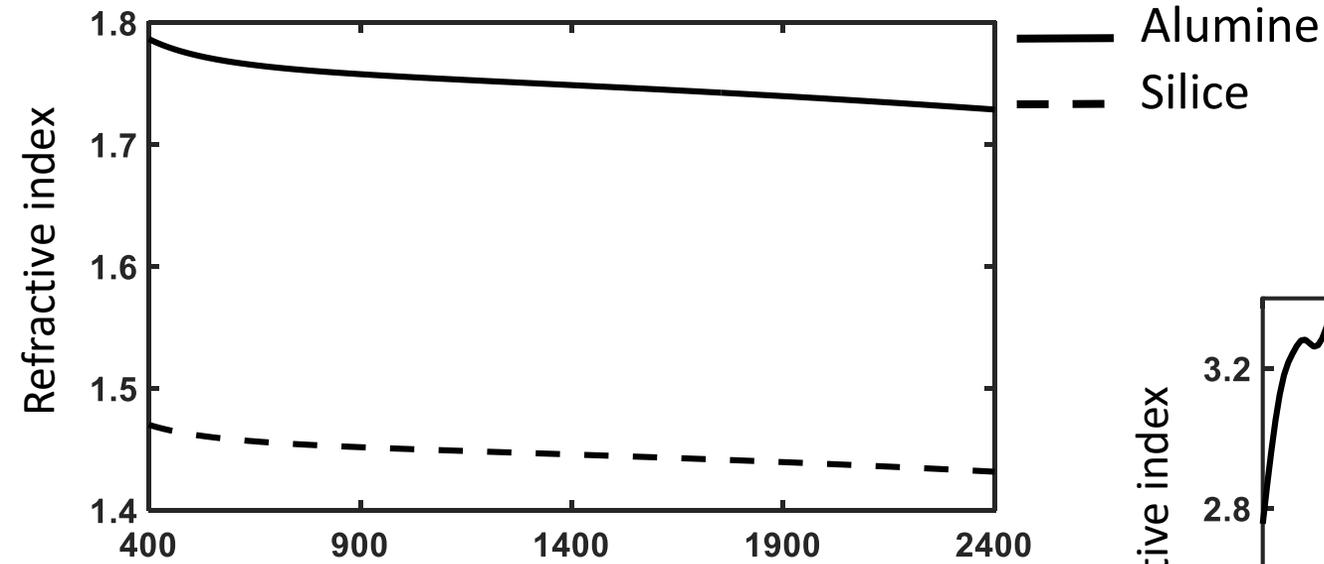
$\varepsilon_m$  Permittivité diélectrique de la matrice

$\varepsilon_0$  Permittivité diélectrique du vide

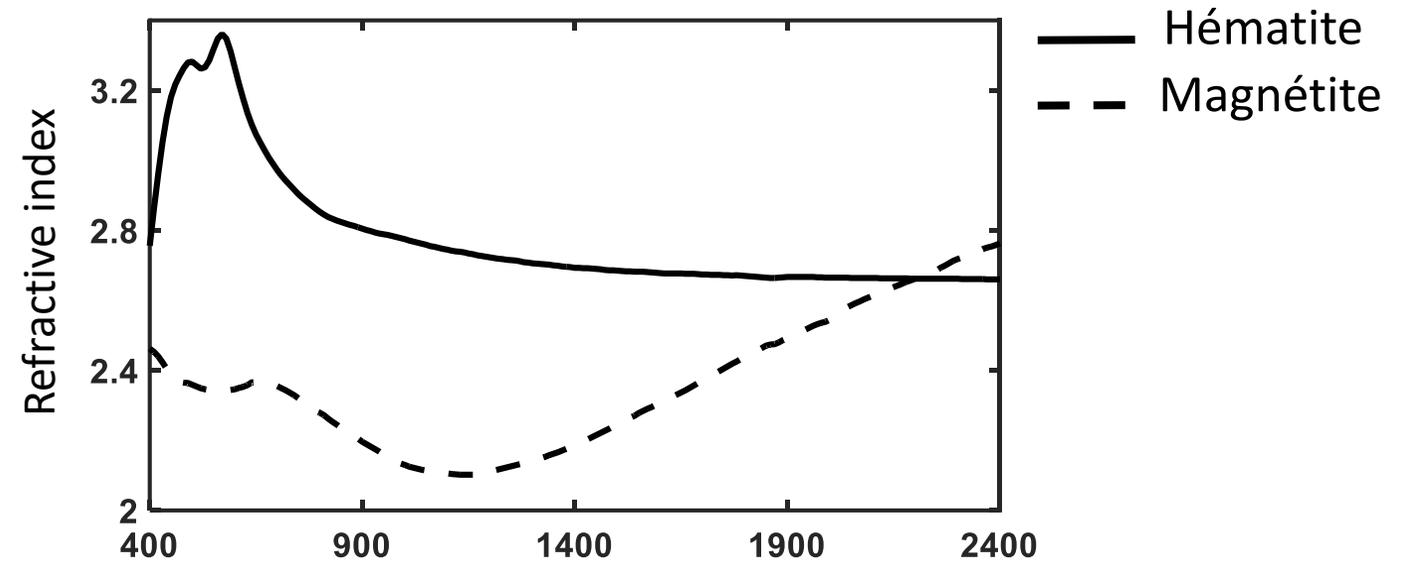


**Nécessité de connaître les constituants du sol et leur indice de réfraction**

# Exemples d'indices de réfraction



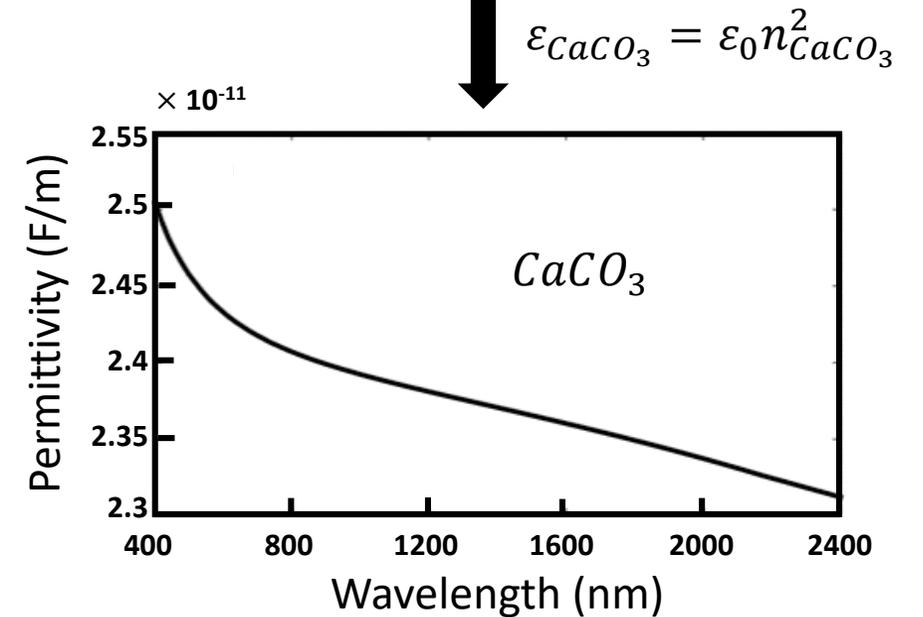
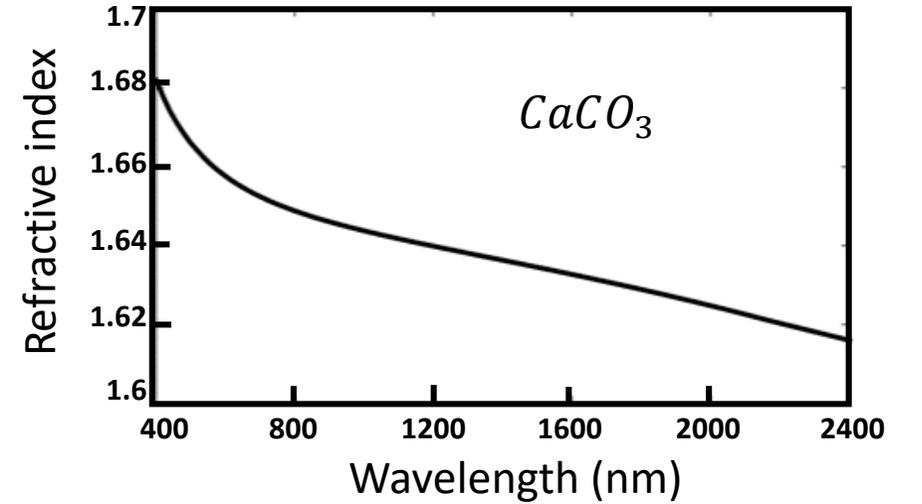
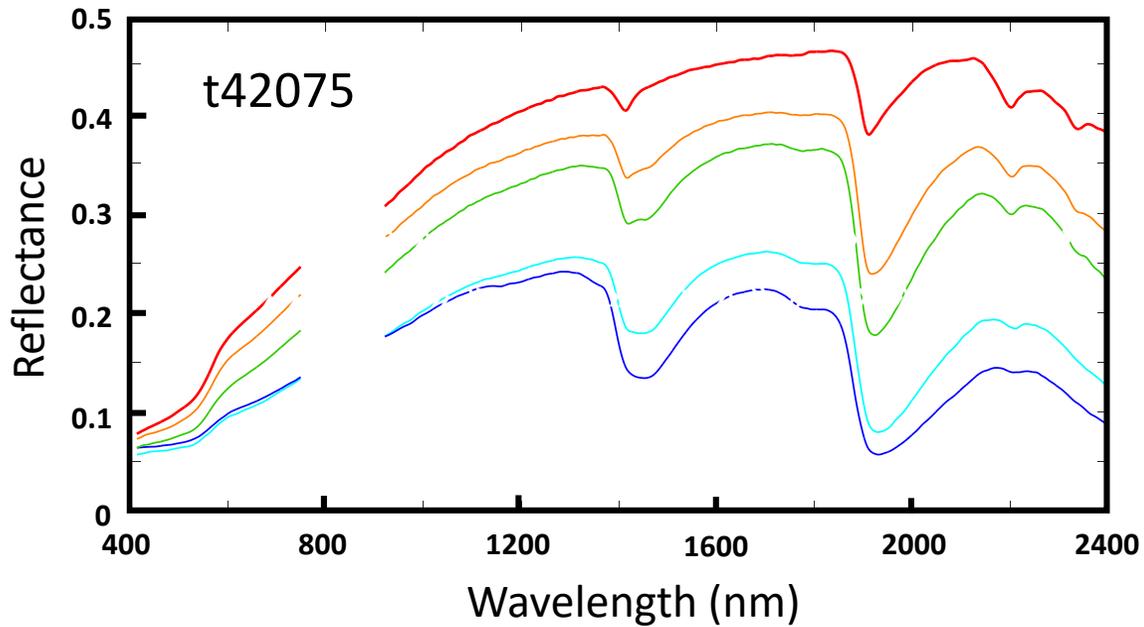
<https://refractiveindex.info/>



Données rares et dispersées

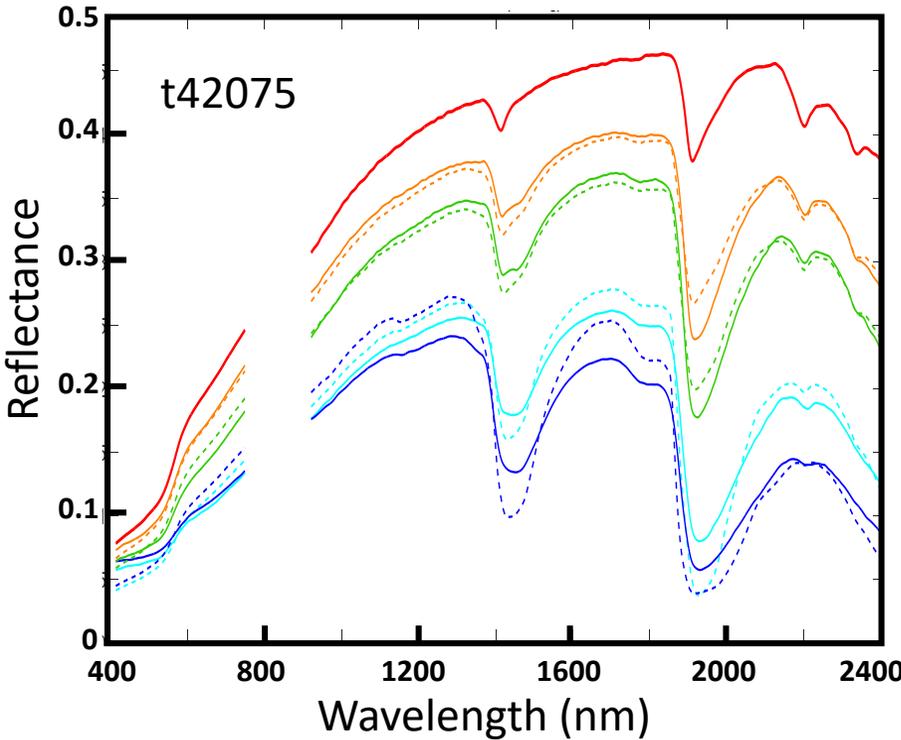
# Résultats : jeu de données Whit04

t42075 :  $CaCO_3 = 40\%$

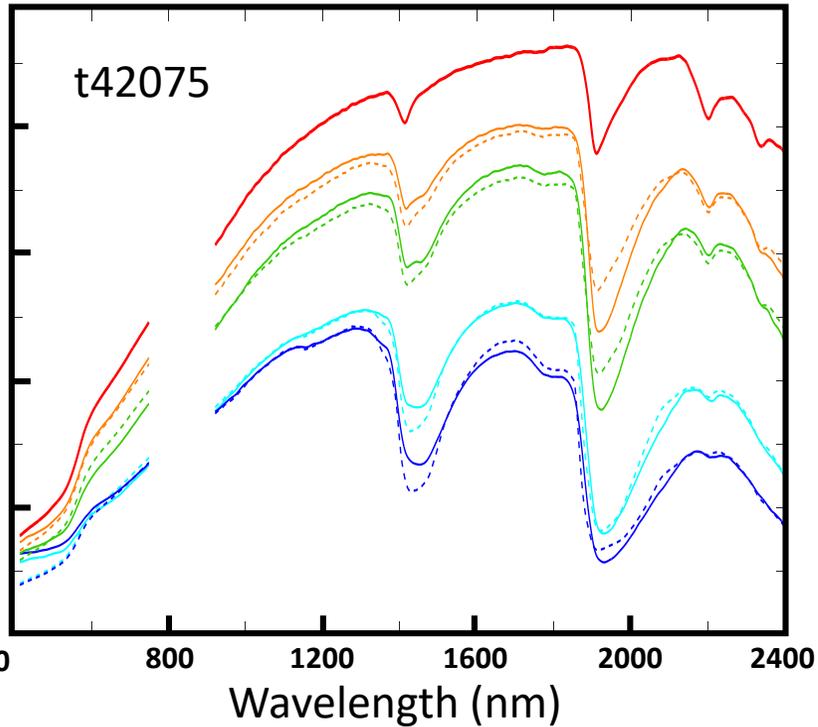


# Résultats : jeu de données Whit04

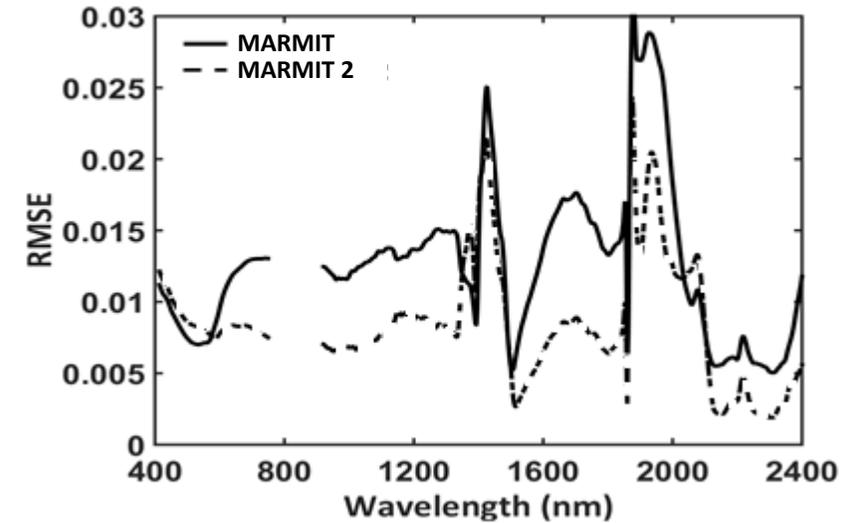
## MARMIT



## MARMIT 2



## Sur les 8 échantillons



$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(R_i^{meas} - R_i^{rest})^2}{N}}$$

$N$  = le nombre de spectres = 72

# Conclusions & perspectives

- Développement d'un nouveau modèle physique permettant de simuler un spectre de sol en fonction de sa teneur en eau → MARMIT
- Nette amélioration de l'ajustement des spectres de sol grâce à MARMIT 2 : généralisation de la loi de Beer-Lambert et théorie des milieux effectifs
- Partie réelle de l'indice de réfraction change  $\longrightarrow$  partie imaginaire change  
 $\longrightarrow$  coefficient d'absorption change
- Nécessité de disposer d'une base de données complète sur les indices de réfraction complexes des constituants du sol (minéraux, matière organique, etc.) pour une meilleure prise en compte de leur diffusion et de leur absorption

Merci pour votre attention !

