

Estimation of soil moisture content of bare soils from their spectral optical properties in the 0.4 – 12 μm spectral domain

ONERA : Audrey **LESAIGNOUX**, Sophie **FABRE**, Xavier **BRIOTTET**
INRA : Albert **OLIOSO**

Cadre Projet Fédérateur interne ONERA - ENVIRO



Plan de la présentation

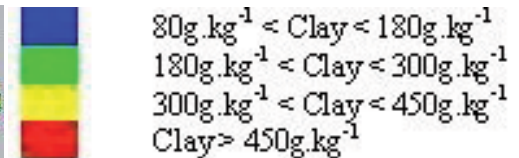
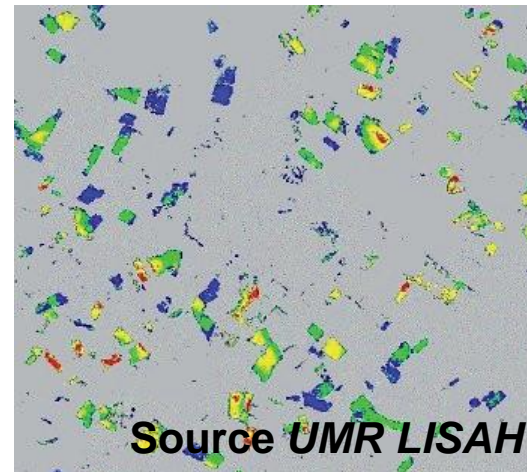
- Introduction
- Détermination d'un jeu de référence : propriétés optiques de sol nus (réflectances) sur 0,4 – 14 μ m dépendantes du SMC
- Développement, validation méthodes d'estimation du SMC
- Validation préliminaire sur données réelles
- Conclusions

Introduction

La connaissance de l'humidité superficielle de surface des sols nus permet d'améliorer

□ L'analyse de la **dégradation des sols**^[1] (érosion, désertification)

□ La caractérisation des sols^{[2] [3]}
(taux d'argile, de carbonates, etc.)



Cartographie du taux d'argile à haute résolution par télédétection hyperspectrale sur des parcelles en sol nu (Bassin Versant de la Peyne, Languedoc, France).

□ **Application traficabilité**^[4] : l'**humidité de surface des sols nus** est une des variables d'intérêt pour prise de décision de passage du véhicule

[1] Haubrock S.-N. et al., "Surface soil moisture quantification and validation based on hyperspectral data and field measurements", 2008

[2] Whiting M. L. et al., "Light absorption model for water content to improve soil mineral estimates in hyperspectral imagery", 2005

[3] Lagacherie P. et al., "Estimation of soil clay and calcium carbonate using laboratory, field and airborne hyperspectral measurements", 2008

[4] Benoit O. et al., "Etude et modélisation du comportement à l'enfoncement des sols de surface : influence sur leur traficabilité", 2006

Introduction

Relation entre propriétés optiques et humidité des sols

□ **Propriété optique du sol** = signature spectrale dépendante des propriétés physico-chimiques du sol (composition, texture, **humidité**, etc.)

□ Influence du contenu en eau des sols (appelé **SMC***) sur les propriétés optiques :

▪ **0,4 – 2,5 μm ^[1]** : spectres de **réflectances**

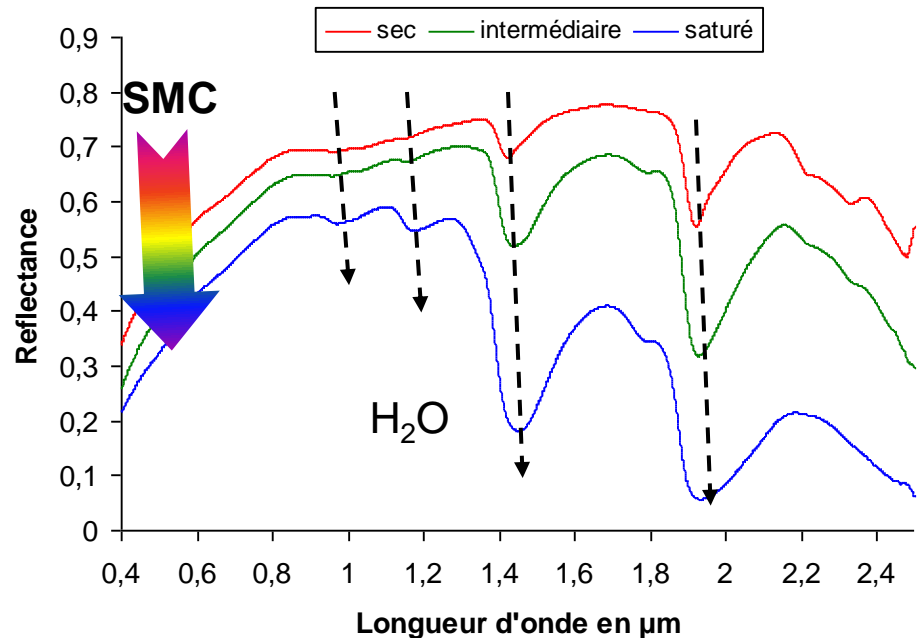
Augmentation du **SMC** \Rightarrow

➤ **Diminution** niveau global de **réflectance**

➤ **Augmentation** de la profondeur avec **élargissement** bandes **d'absorption** de l'eau

▪ **8 – 14 μm ^[2]** : spectres **d'émissivités**

Augmentation du **SMC** \Rightarrow **Augmentation** niveau global **émissivité**



Mais peu de jeux de mesures existent couvrant tout le domaine spectral optique, quel que soit le niveau d'humidité
 \Rightarrow Constitution d'un nouveau jeu de référence (mesures)

* Soil Moisture Content

[1] Liu W. et al., "Relating soil surface moisture to reflectance", 2002

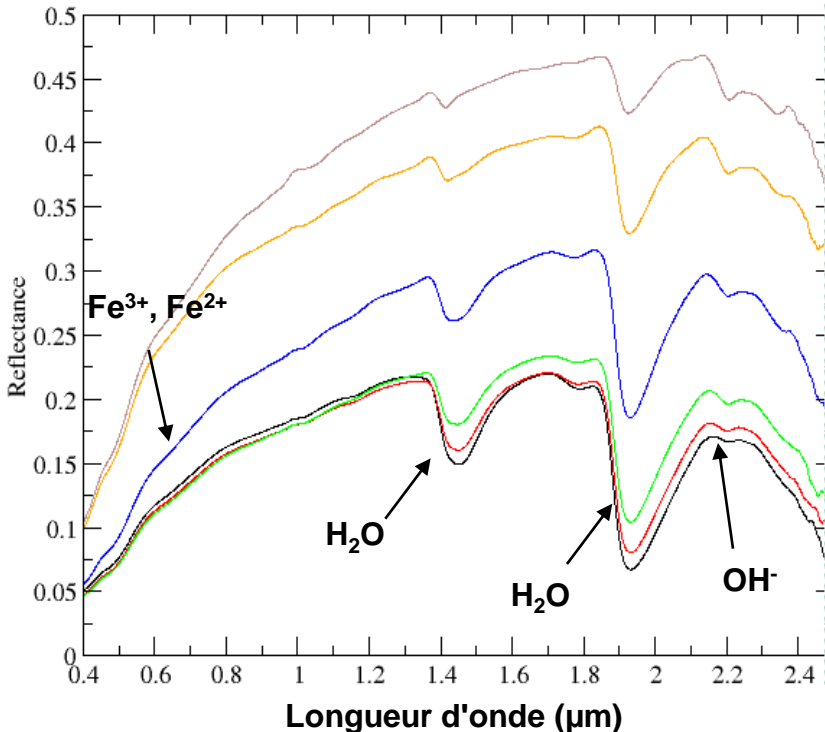
[2] Mira M. et al., "Influence of soil water content on the thermal infrared emissivity of bare soils: implication for land surface temperature determination", 2007 4

Jeu de référence : mesures en laboratoire

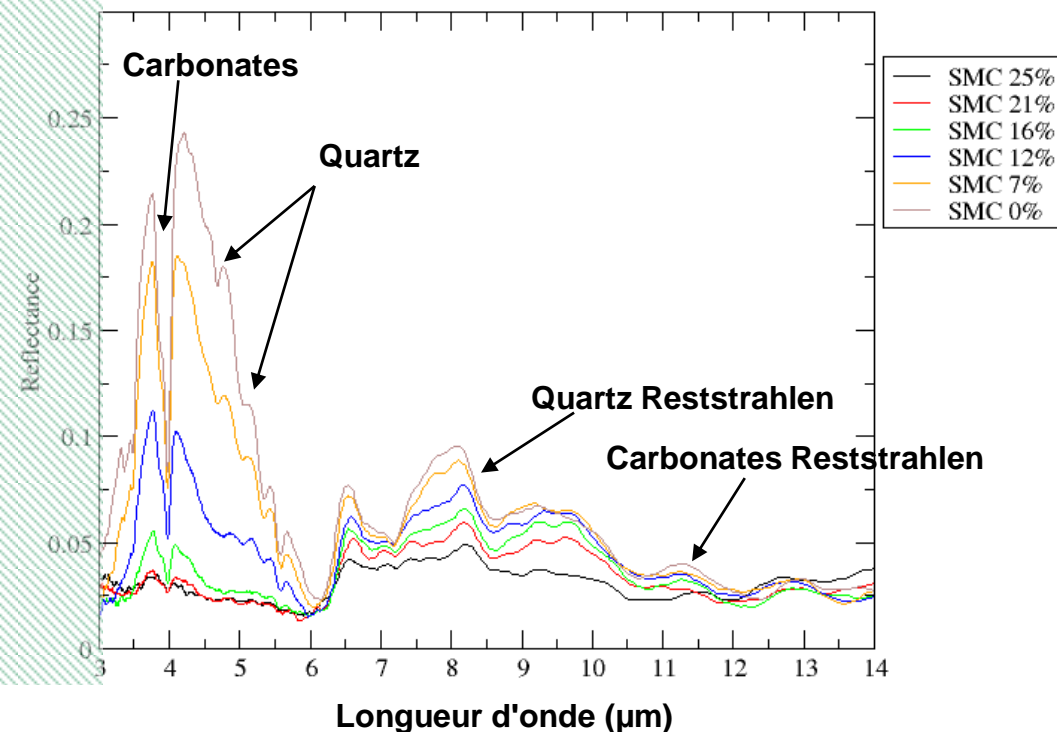
Spectres de référence mesurés

- 190 spectres/domaine spectral \Rightarrow 5 à 6 niveaux de SMC atteints / échantillon
- SMC (< 50%g) et réflectances dépendent du type de sol

0,4 – 2,5 μ m : réflectances
bidirectionnelles



3 – 14 μ m : réflectances directionnelles
hémisphériques



Nécessité de développer un modèle spectral empirique permettant de relier la réflectance à tout niveau de SMC

Jeu de référence : Modèle Empirique de Sols (MES)

Pour chaque **classe de comportement spectral de sol** et chaque **domaine spectral** 0,4 – 2,5µm et 3 – 14µm

□ 0,4 – 2,5 µm :

Loi polynomiale d'ordre 2 (réflectance)

$$\rho_{SMC_g}^l = a_l SMC_g^2 + b_l SMC_g + c_l$$

Termes correctifs (pointant vers a_l et b_l)
Réflectance moyenne sol sec (le plus de poids) (pointant vers c_l)

Validation sur notre jeu de référence, jeu de Mourin, 2006 (4 sols, 6 SMC), et le jeu de Liu, 2002 (91 sols, 4 SMC) : $R^2 > 95\%$

□ 3 – 14 µm :

Loi polynomiale d'ordre 2 (log réflectance)

$$LN \rho_{SMC_g}^l = f_l SMC_g^2 + g_l SMC_g + h_l$$

Termes correctifs (pointant vers f_l et g_l)
Logarithme réflectance moyenne sol sec (le plus de poids) (pointant vers h_l)

Validation sur notre jeu de référence, jeu de Mourin, 2006 (4 sols, 6 SMC) : $R^2 > 70\%$

Sélection des critères

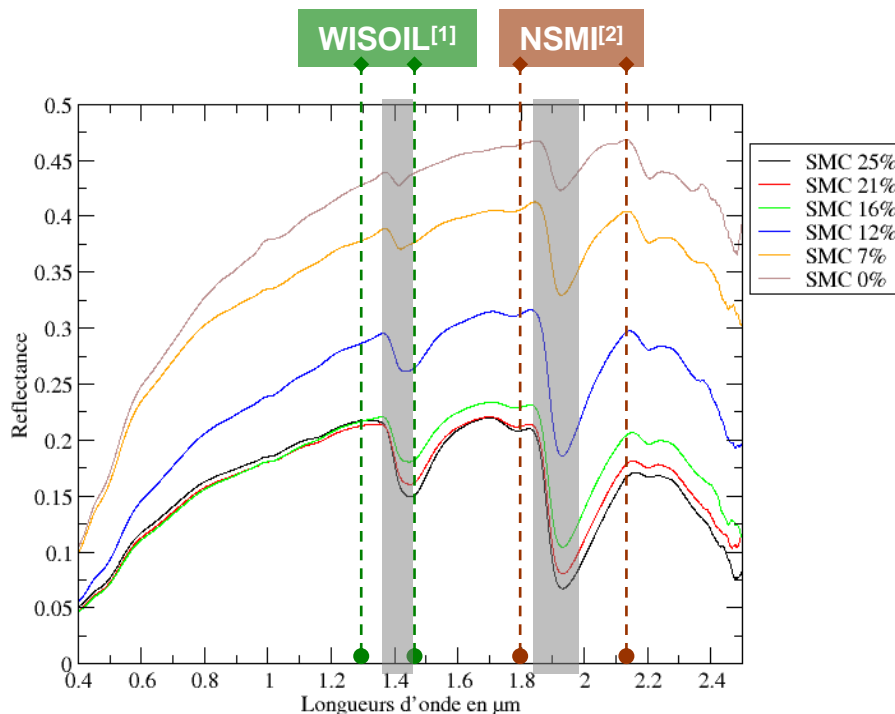
Etat de l'art

Estimation du SMC à partir des réflectances spectrales du sol

Méthodes localisées
exploitation de bandes spectrales particulières

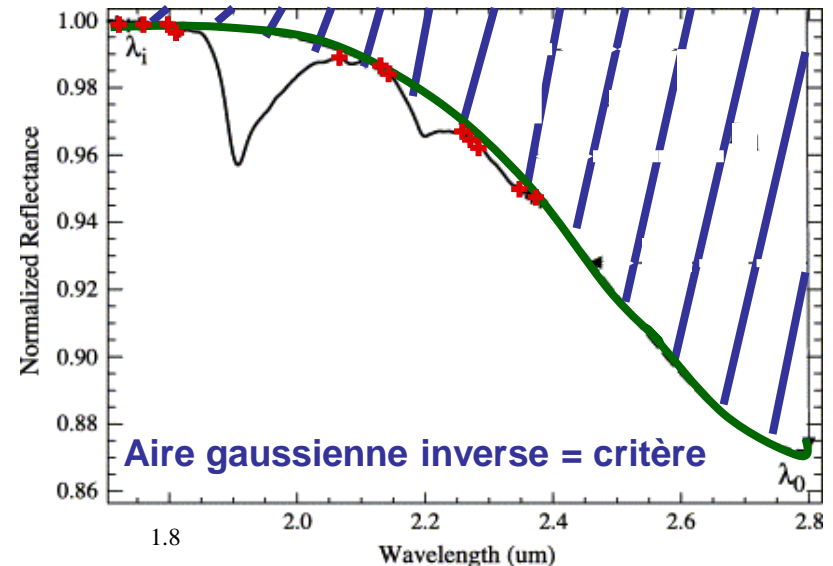
Domaine
0,4 – 2,5 μm

Méthode globale
exploitation de la forme générale du spectre



Modèle 'SMGM' [3]

++ déterminés par une enveloppe convexe
--- gaussienne inverse



[1] Bryant R. et al., "Evaluation of Hyperspectral, Infrared Temperature and Radar Measurements for Monitoring Surface Soil Moisture", 2003

[2] Haubrock S.-N. et al., "Surface soil moisture quantification and validation based on hyperspectral data and field measurements", 2008

[3] Whiting M. L. et al., "Light absorption model for water content to improve soil mineral estimates in hyperspectral imagery", 2005

Sélection des critères

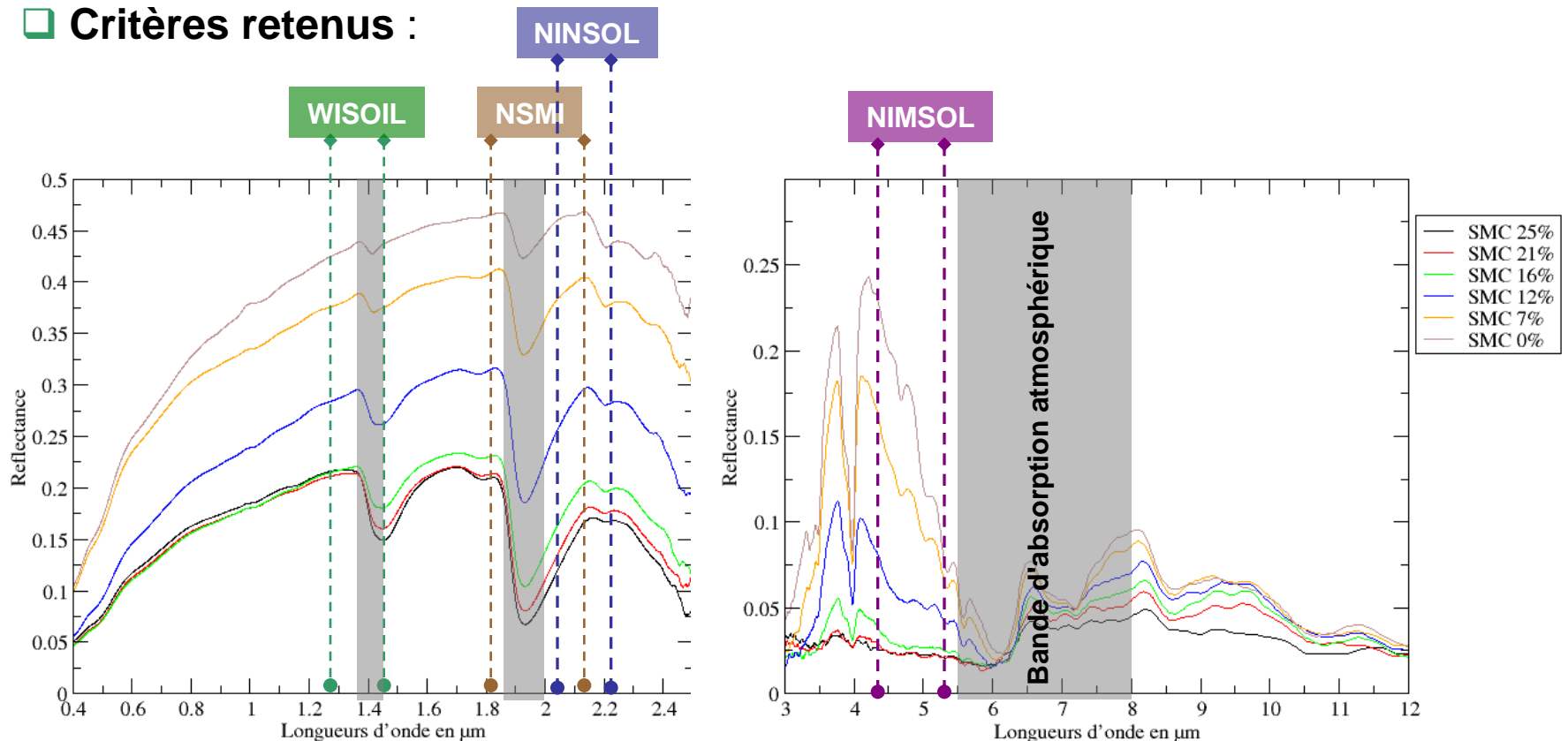
Méthodes localisées

❑ Limites de l'existant :

- Bandes spectrales retenues **proches de celles de la vapeur d'eau atmosphérique**
- NSMI : **étalonnage au préalable en laboratoire** avant validation sur données réelles
- WISOIL : **non validé sur données réelles**
- Aucune méthode dans le domaine 3 – 14 μm

⇒ **NSMI et WISOIL** (base de comparaison) et **détermination de nouveaux indices**

❑ Critères retenus :



Sélection des critères

Méthodes globales

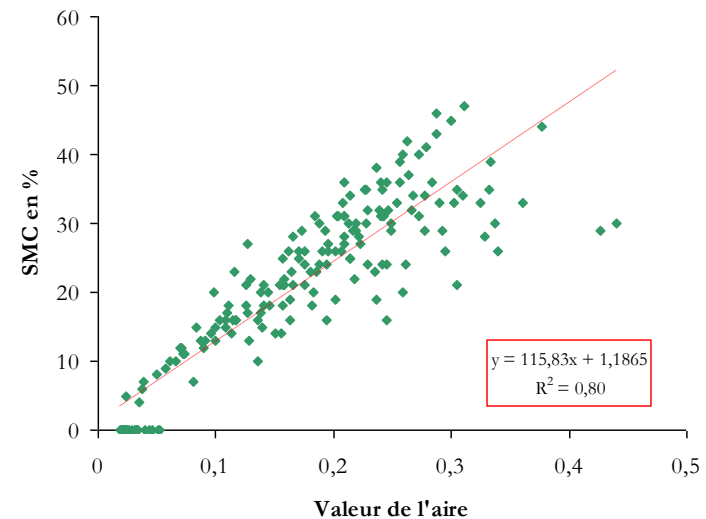
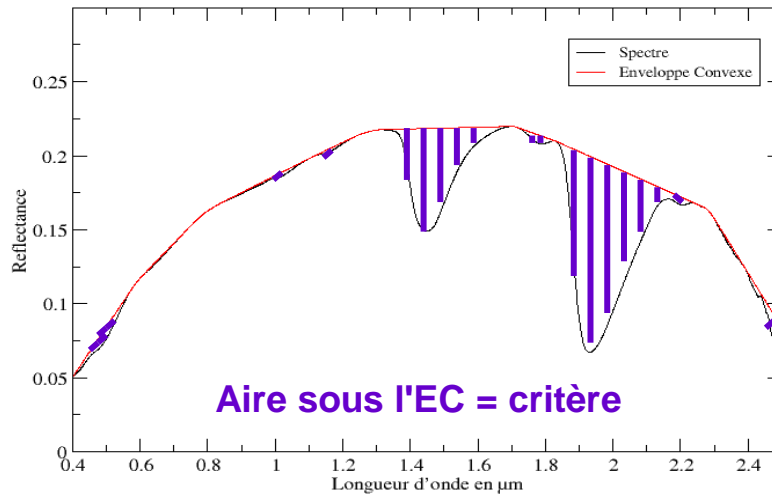
❑ Limites de l'existant :

- critère valable jusqu'à une valeur seuil de SMC (SMCg < 32%g)
- aucune méthode dans le domaine 3 – 14 μm

⇒ détermination de nouvelles méthodes

❑ Critères retenus sur 0,4 – 2,5 μm et 3 – 14 μm

- aire sous l'enveloppe convexe (**méthode** : suppression du continuum pour exploiter la variabilité liée au SMC)



- inversion du modèle empirique MES :

- ✓ **Exigence** : connaissance a priori de la classe de sols
- ✓ **Méthode** : minimisation par moindres carrés

Etude de sensibilité sur données simulées

Analyse de l'impact des sources d'erreur

Impact des sources d'erreur (Cas AVIRIS, AHS)		Défaut étalonnage absolu	Défaut étalonnage inter-bandes	Incertitude vapeur d'eau
Indices de la littérature (0,4 – 2,5 μm)	NSMI	-	++	+
	WISOIL	-	+	-
Nouvelles méthodes	NINSOL (0,4 – 2,5 μm)	-	+	-
	Aire sous l'EC (0,4 – 2,5 μm)	-	++	+
	MES inverse (0,4 – 2,5 μm)	++	-	-
	MES inverse (3 – 5,5 μm)	+++	+	+

- : impact négligeable

+ : impact important

BILAN

- Incertitude vapeur d'eau : source d'erreur la moins influente
- **indices** et **Aire sous l'EC** : impactés par un **défaut d'étalonnage inter-bande**
- **MES inverse** : impacté par un **défaut d'étalonnage absolu** et moins robuste dans le domaine IRT

Validation préliminaire sur données réelles

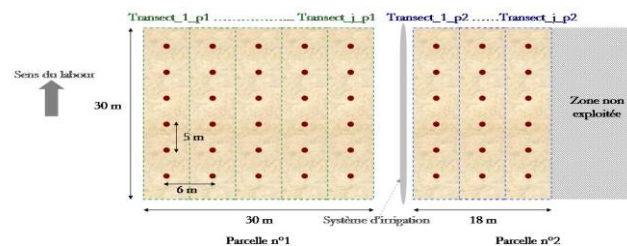
Campagne de mesures aréoportées

- ❑ **Campagne d'opportunité** site de Garons (cadre projet interne Onera ENVIRO)
- ❑ Instrument hyperspectral aréoporté : **HYMAP** 0,4 – 2,5 μ m (126 bandes)
- ❑ **Conditions d'acquisition** : altitude 2 km, ciel clair, 11h TU
- ❑ **Caractéristiques des données** : **résolution spatiale** de 4 mètres



- ▨ Parcelle n°1
- ▨ Parcelle n°2

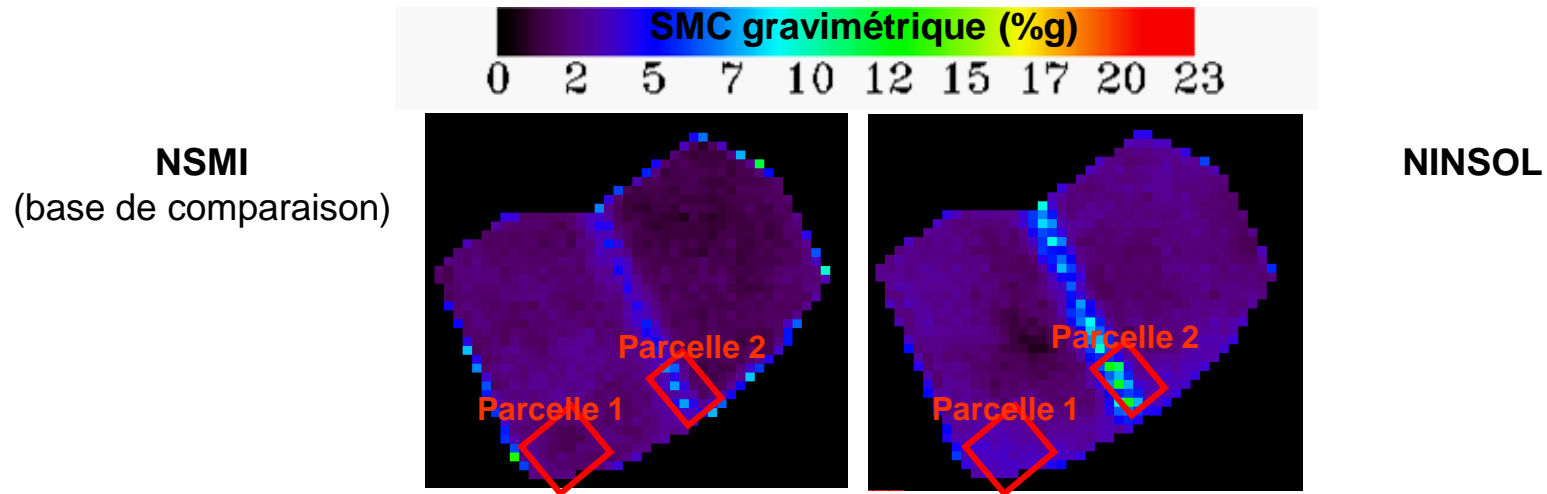
SITE DE GARONS



Validation préliminaire sur données réelles

Cartes d'humidité des sols : comparaison avec indice NSMI

- Exemple d'illustration des cartes d'humidité SMCg



- Comparaison des critères :

NINSOL, NSMI : RMSE < 5%v

Aire sous l'EC et MES inverse : RMSE ~7%v

Validation préliminaire sur données réelles

Analyse de l'impact des sources d'erreur

Sources d'erreur		Indices et Aire sous l'EC	MES inverse
Liées aux mesures terrain	Densité apparente de sol	+++	+++
	Variabilité du profil vertical d'humidité	+++	+++
Liées aux acquisitions aéroportées	Défaut d'étalonnage absolu	-	+
	Défaut d'étalonnage inter bande	+	-
Liées à l'analogie mesures terrain / données aéroportées	Facteur d'échelle	++	++

- : impact négligeable

+ : impact important

BILAN (ordre décroissant d'impact)

- Densité de sol et variabilité du SMC en profondeur
- Facteur d'échelle
- Défauts d'étalonnage instrumental

Conclusions

- ❑ **Développement** d'un **modèle semi-empirique de réflectances spectrales** par classe de comportement spectral des sols pour un contenu en eau quelconque sur les domaines $0,4 - 2,5 \mu\text{m}$ ($R^2 > 95\%$) et $3 - 14 \mu\text{m}$ ($R^2 > 70\%$)
- ❑ **Développement** de **nouveaux critères d'estimation du SMC** sur $0,4 - 2,5 \mu\text{m}$ et $3 - 14 \mu\text{m}$ quels que soient le type de sol et le niveau de SMC
- ❑ **Performances** des critères développés : **équivalentes** ($3\%g < \text{RMSE} < 6\%g$)
- ❑ **Analyse de sensibilité** limitée à deux sources d'erreur montre que :
 - défauts d'**étalonnage absolu** (5%) et **inter-bande** (3%) : **impact important** qui dépend du critère
 - **incertitude** de 60% sur la **vapeur d'eau** : **impact plus réduit**
- ❑ **Validation préliminaire** : campagne aéroportée limitée au domaine $0,4 - 2,5 \mu\text{m}$
 - Comparaison des cartes d'humidité de NSMI et **NINSOL** : **performances équivalentes**
 - **Comparaison des cartes d'humidité aux mesures terrain** :
 - Pour tous les critères : $3\%v < \text{RMSE} < 7\%v$
 - Identification de sources d'erreur prépondérantes (densité apparente du sol, profil vertical de SMC, facteur d'échelle, défauts d'étalonnage instrumental)