

Estimation of surface soil moisture using hyperspectral data: from laboratory to field experiments

R. Ultra-Carrió, F. Baup, S. Fabre, R. Fieuzal & X. Briottet

Projet HUMPER-Mission HYPXIM financé par le TOSCA



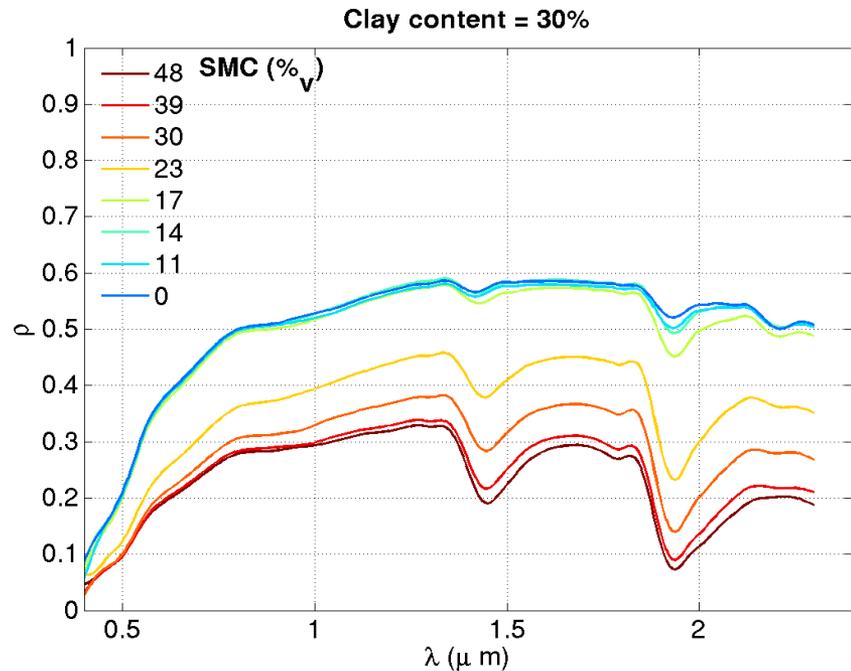
return on innovation

Cadre général:

- Estimation du contenu en eau superficiel (SMC) des sols nus à partir de sa signature spectrale entre $0.4 \mu\text{m}$ et $2.5 \mu\text{m}$ par l'instrument HYPXIM.

Objectif de l'étude:

- Evaluation et comparaison de critères d'estimation du SMC à partir de la signature spectrale.
- Evaluation des critères en passant du laboratoire au terrain.



1. Méthodologie
2. Zone d'étude
3. Description des critères d'estimation du SMC
4. Description des données
5. Résultats
 - 5.1. Etalonnage
 - 5.2. Validation
 - Laboratoire
 - Terrain
6. Conclusions et Perspectives

1. **Méthodologie**
2. Zone d'étude
3. Description des critères d'estimation du SMC
4. Description des données
5. Résultats
 - 5.1. Etalonnage
 - 5.2. Validation
 - Laboratoire
 - Terrain
6. Conclusions et Perspectives

Base de données laboratoire

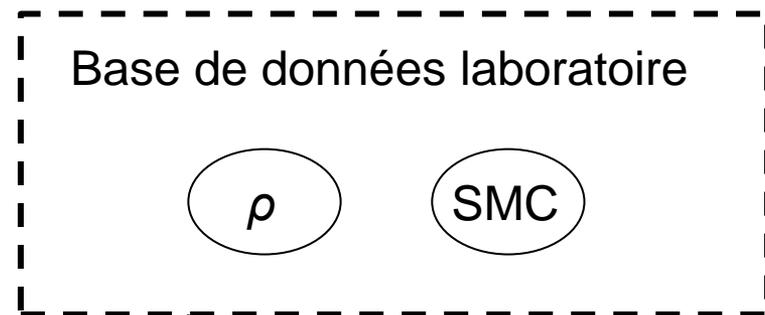
ρ

SMC

Base de données terrain

ρ

SMC

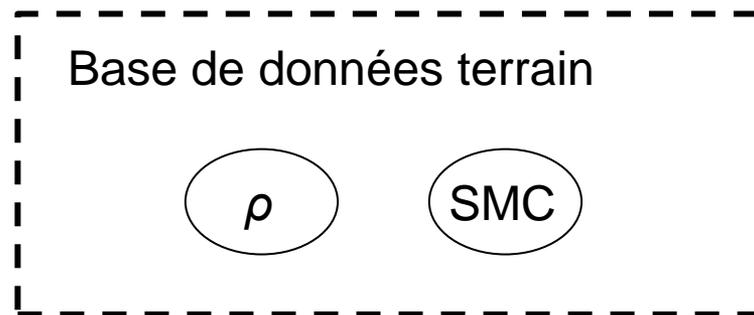


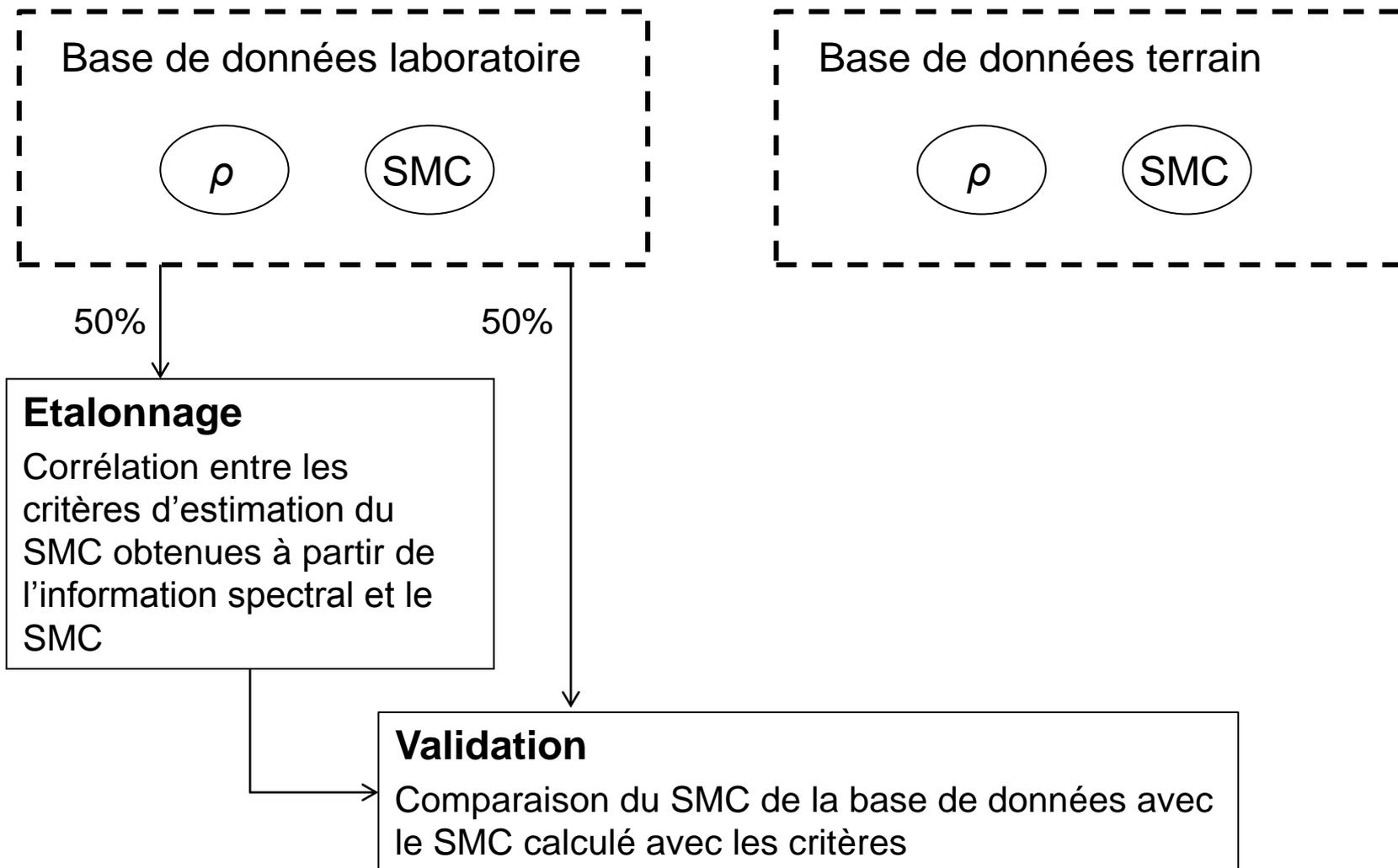
50%

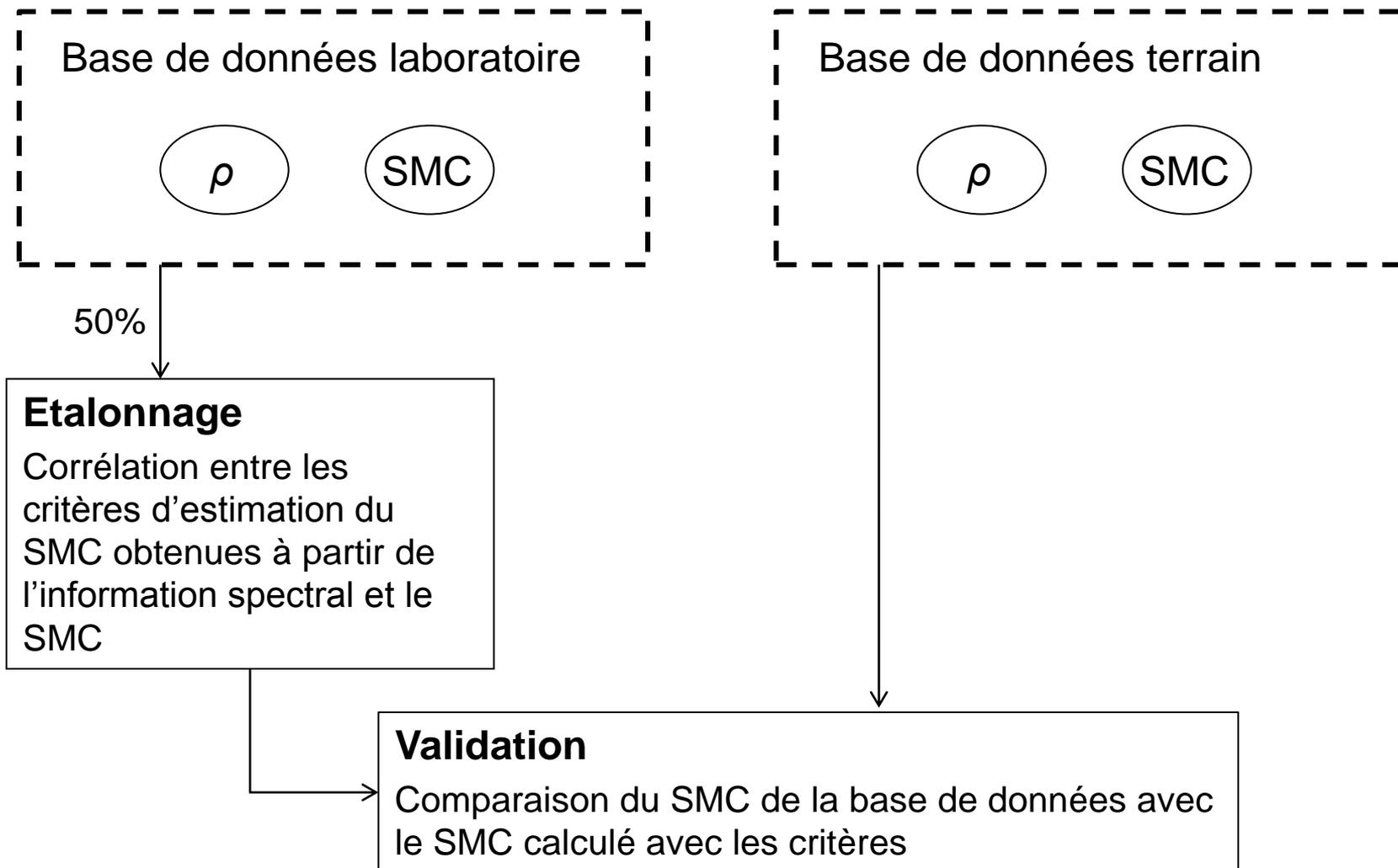


Etalonnage

Corrélation entre les critères d'estimation du SMC obtenues à partir de l'information spectral et le SMC

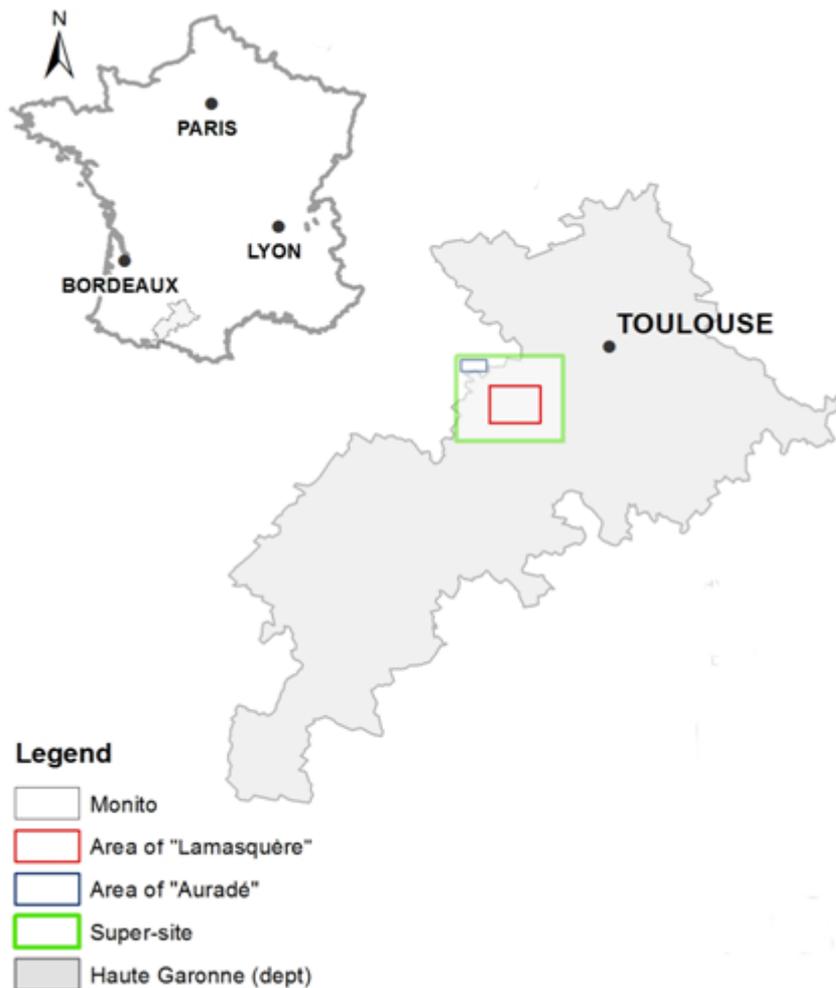






1. Méthodologie
- 2. Zone d'étude**
3. Description des critères d'estimation du SMC
4. Description des données
5. Résultats
 - 5.1. Etalonnage
 - 5.2. Validation
 - Laboratoire
 - Terrain
6. Conclusions et Perspectives

Zone d'étude



- Dans le **Sud Ouest**, proche de Toulouse
- 90% occupé par des exploitations agricoles
- Prélèvement d'**échantillons** dans deux zones: **Lamasquère** et **Auradé**
- Mesures de réflectance dans la zone de Lamasquère

1. Méthodologie
2. Zone d'étude
- 3. Description des critères d'estimation du SMC**
4. Description des données
5. Résultats
 - 5.1. Etalonnage
 - 5.2. Validation
 - Laboratoire
 - Terrain
6. Conclusions et Perspectives

Locaux: rapport de deux bandes spectrales

Locaux: rapport de deux bandes spectrales

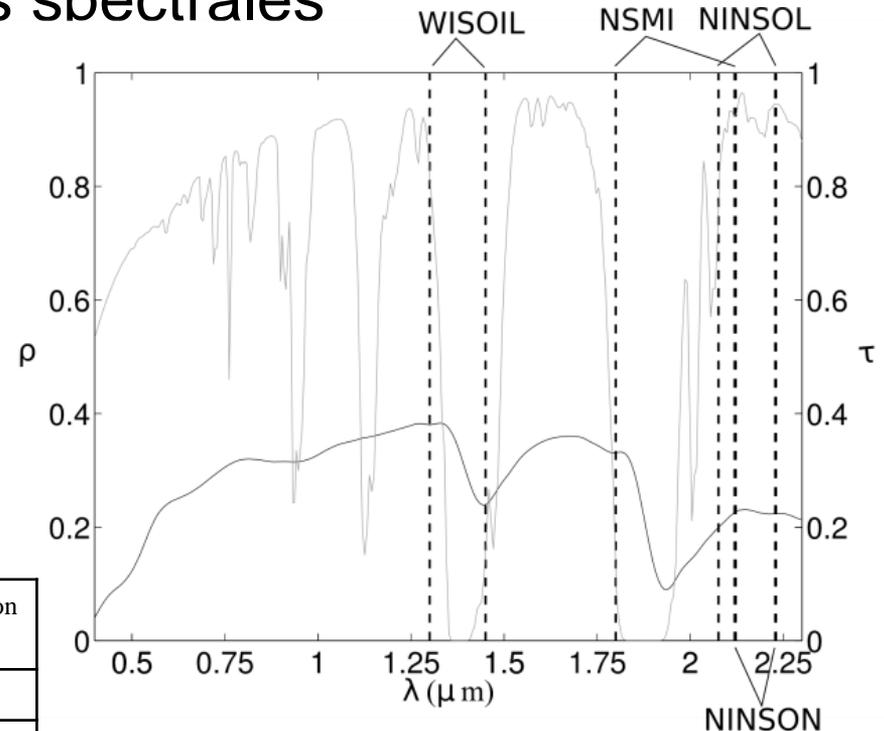
WISOIL*

$$WISOIL = \frac{\rho_{1.45}}{\rho_{1.3}}$$

NSMI**, NINSOL***, NINSON***

$$X_{norm}(\lambda_i, \lambda_j) = \frac{\rho_{\lambda_i} - \rho_{\lambda_j}}{\rho_{\lambda_i} + \rho_{\lambda_j}}$$

Nom	λ_i (μm)	λ_j (μm)	Correlation	Indice de Correlation (R^2)
NSMI	1.80	2.12	Linear	0.61
NINSOL	2.08	2.23	Linear	0.87
NINSON	2.12	2.23	Non-linear	0.87



*Whalley, W. R., Leeds-Harrison, P. B., and Bowman, G. E.: Estimation of soil moisture status using near infrared reflectance, Hydrological Processes, 5(3), 321-327, 1991

** Haubrock, S.N., Chabrillat, S., Lemnitz, C., and Kaufmann, H.: Surface soil moisture quantification models from reflectance data under field conditions, International Journal of Remote Sensing, 29(1), 3-29, 2008.

*** Fabre, S., Lesaignoux, A., and Briottet, X.: Estimation of Soil Moisture Content on Spectral Reflectance of Bare Soils in the 0.4 -2.5 μm Domain, submitted to Sensors ISSN 1424-8220, Mars 2014

Global: Exploitation de la signature spectrale

Global: Exploitation de la signature spectrale

Enveloppe convexe (CH)*

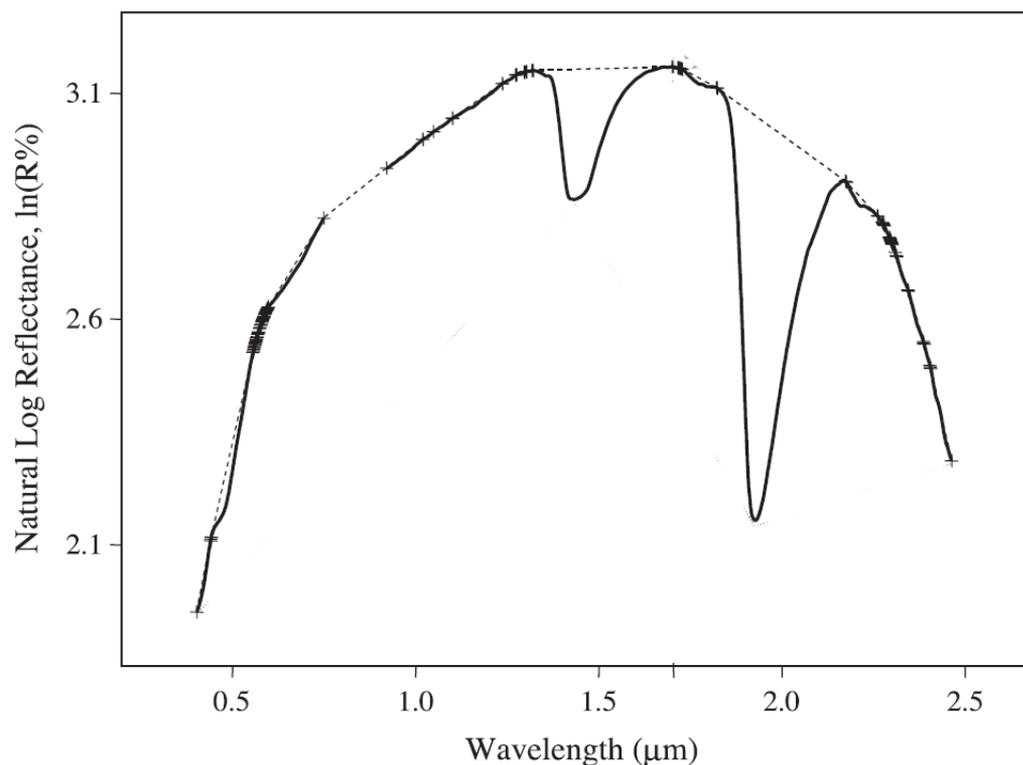
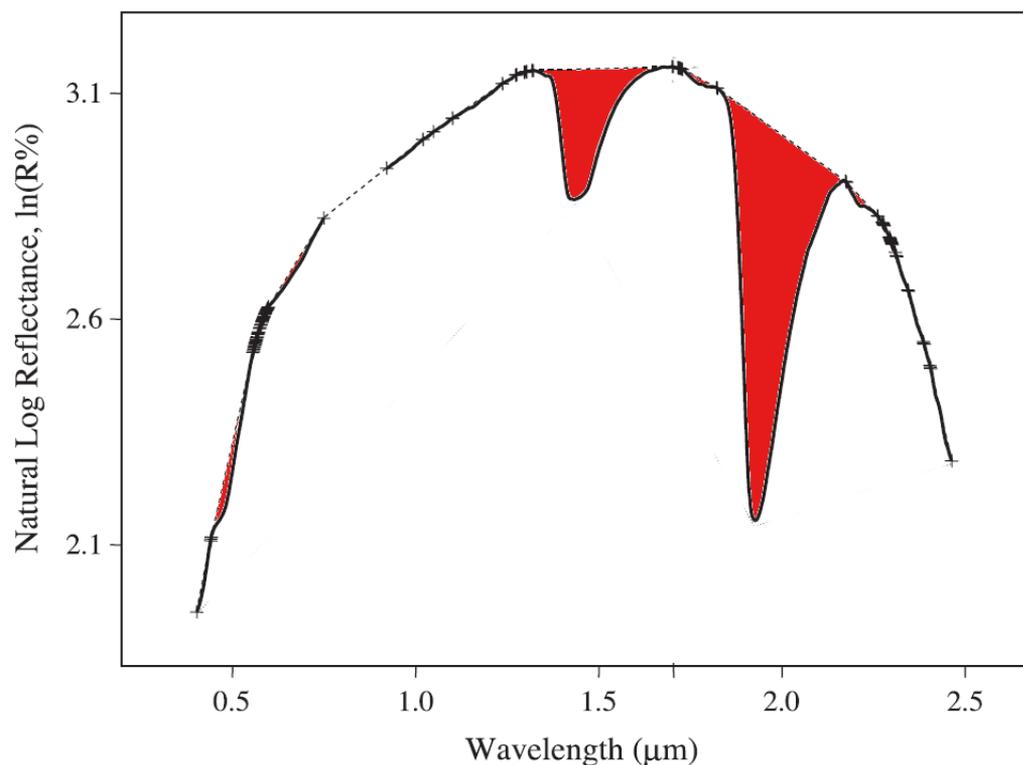


Figure extraite de :
Whiting et al. 2004

*Fabre, S., Lesaignoux, A., and Briottet, X.: Estimation of Soil Moisture Content on Spectral Reflectance of Bare Soils in the 0.4 -2.5 μm Domain, submitted to Sensors ISSN 1424-8220, Mars 2014

Global: Exploitation de la signature spectral

Enveloppe convexe (CH)*



Critère:
Aire entre le
spectre et
l'enveloppe
convexe

Figure extraite de :
Whiting et al. 2004

*Fabre, S., Lesaignoux, A., and Briottet, X.: Estimation of Soil Moisture Content on Spectral Reflectance of Bare Soils in the 0.4 -2.5 μm Domain, submitted to Sensors ISSN 1424-8220, Mars 2014

1. Méthodologie
2. Zone d'étude
3. Description des critères d'estimation du SMC
- 4. Description des données**
5. Résultats
 - 5.1. Etalonnage
 - 5.2. Validation
 - Laboratoire
 - Terrain
6. Conclusions et Perspectives

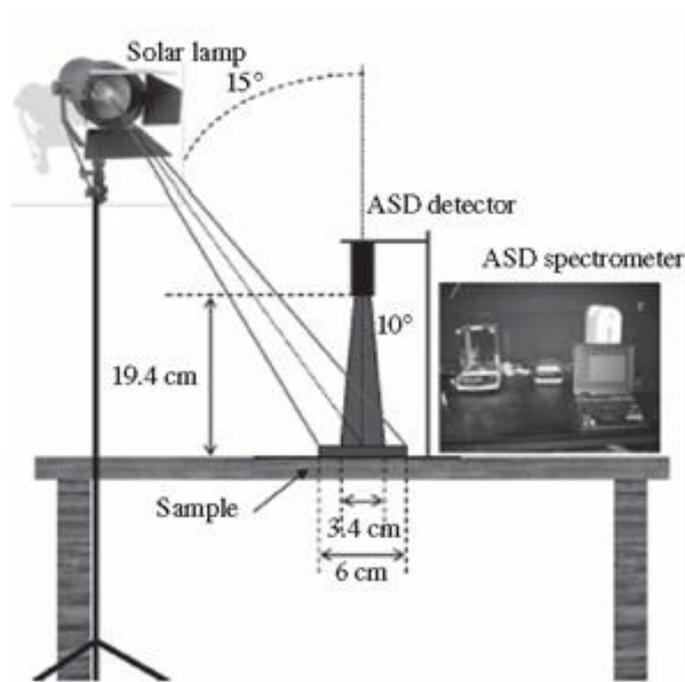
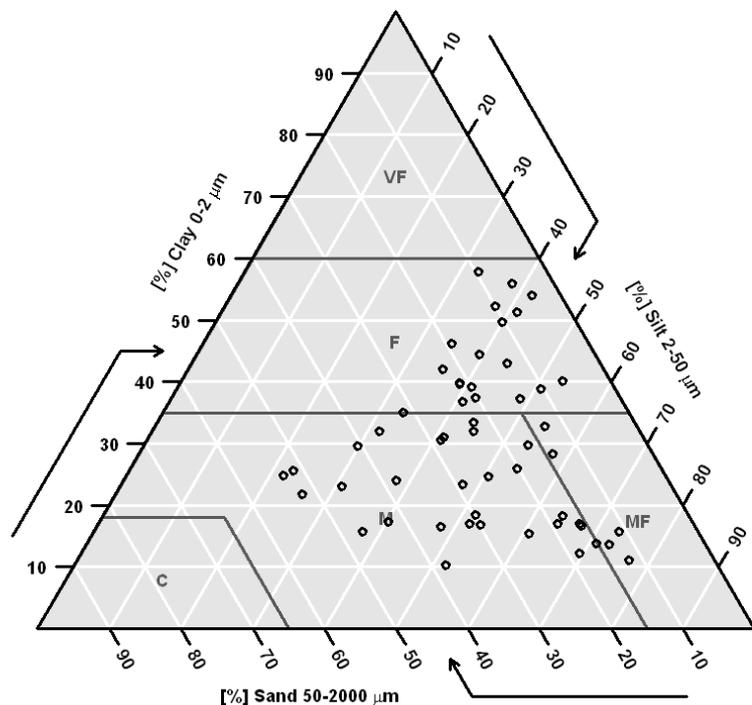
Description des Données

Laboratoire

57 échantillons à différents taux d'argile (CC) (entre 10% et 57%) et 8 ou 9 niveaux d'humidité (SMC): **464 signatures spectrales**

50 % pour étalonnage

50% pour validation



*Figure extraite de:

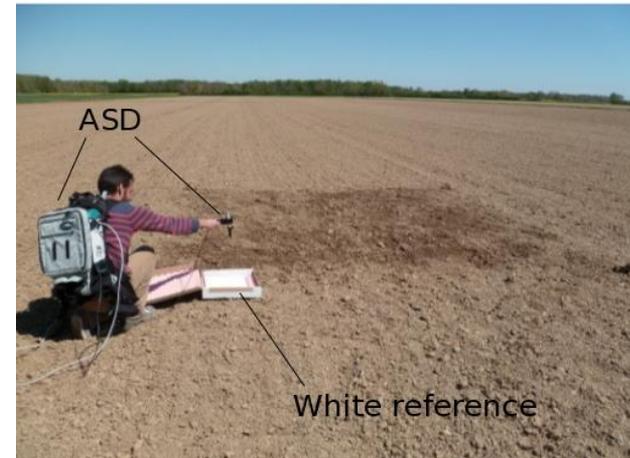
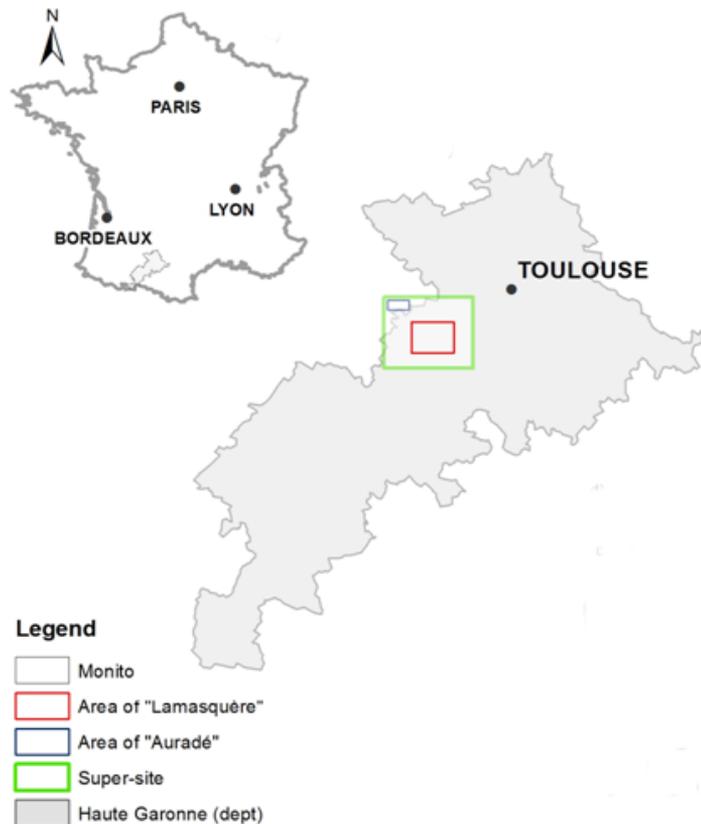
Lesaignoux, A., Fabre, S., and Briottet, X.: Influence of soil moisture content on spectral reflectance of bare soils in the 0.4-14 m domain, International Journal of Remote Sensing, 34(7), 2268-2285, 2013.

Description des Données

Terrain

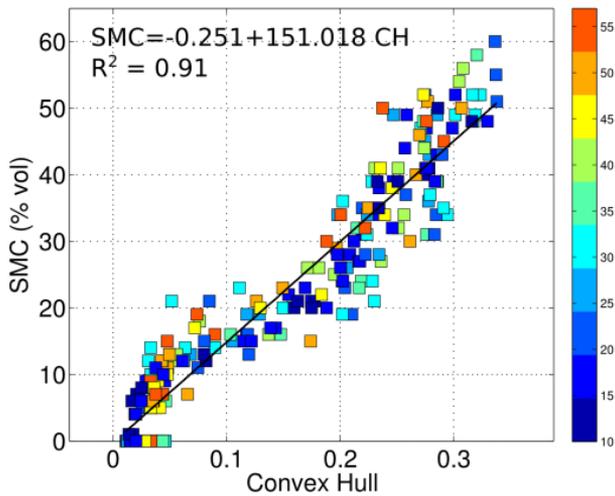
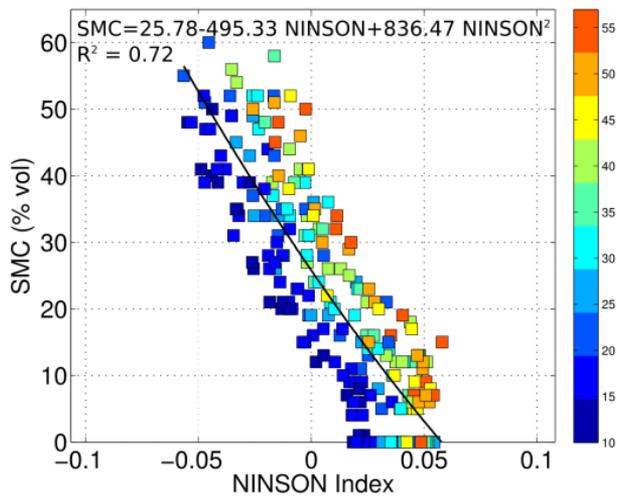
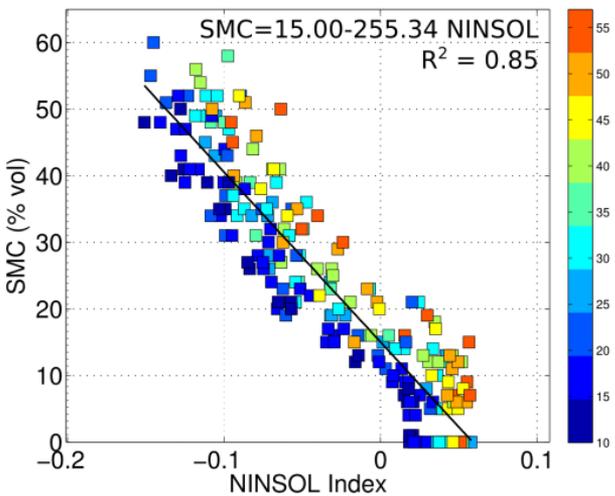
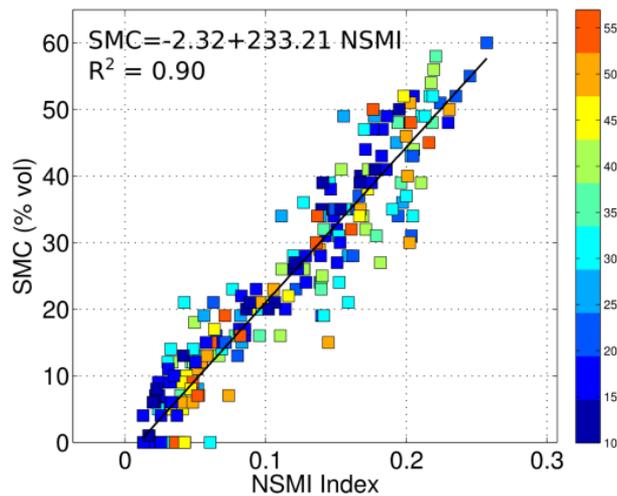
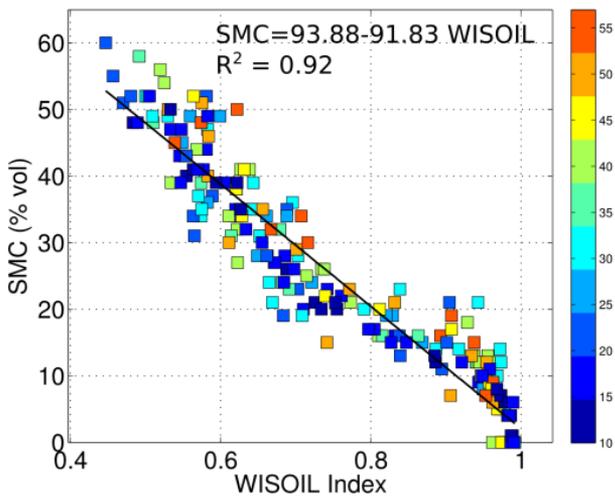
9 spectres avec différents taux d'humidité (de 10%v à 50%v).

Taux argile approximatif de 46%.

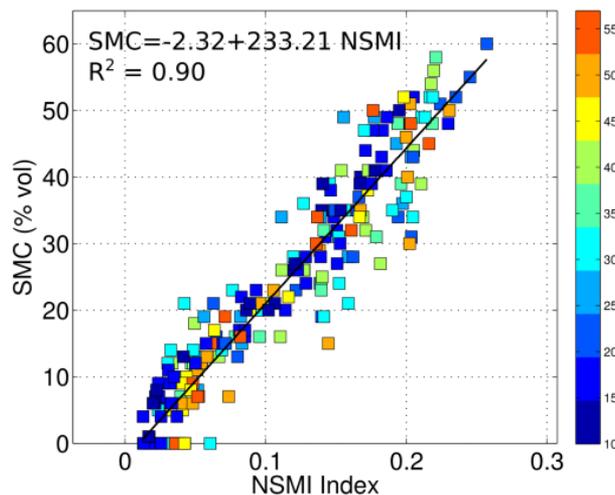
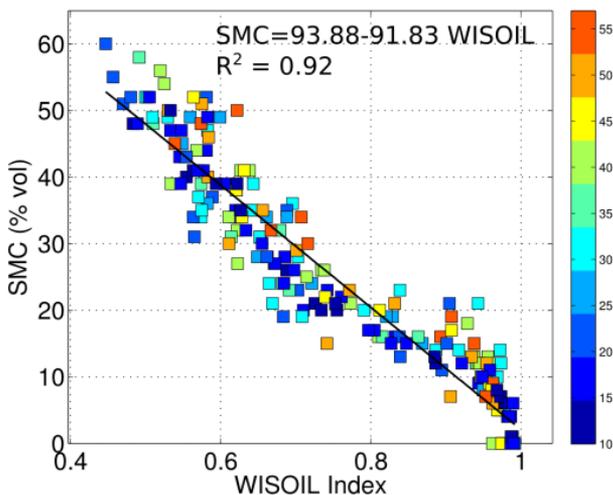


1. Méthodologie
2. Zone d'étude
3. Description des critères d'estimation du SMC
4. Description des données
- 5. Résultats**
 - 5.1. Etalonnage**
 - 5.2. Validation
 - Laboratoire
 - Terrain
6. Conclusions et Perspectives

Résultats: Etalonnage



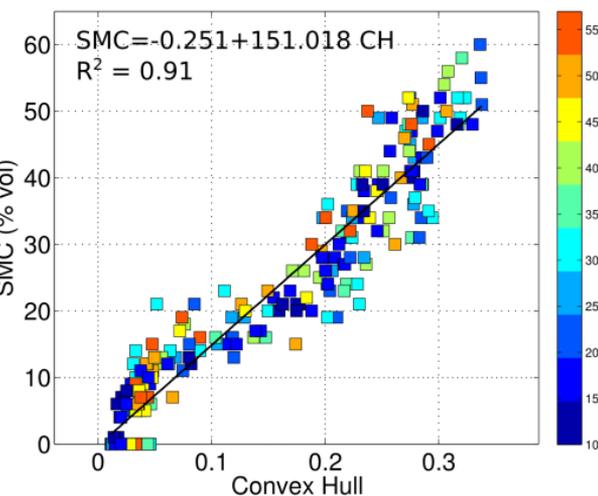
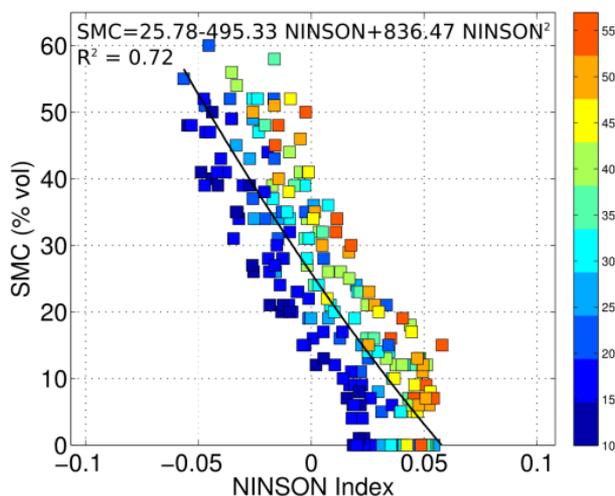
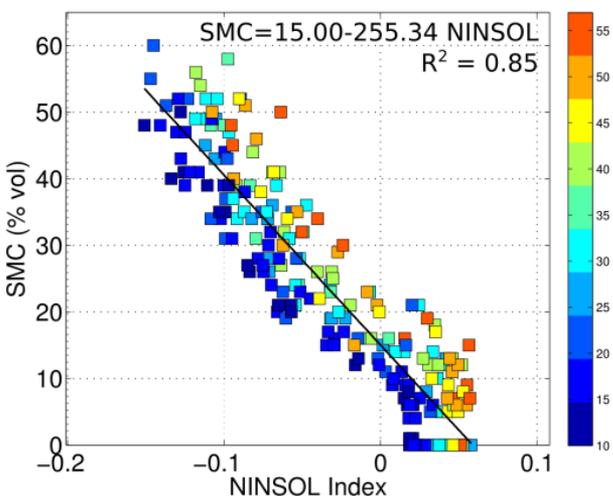
Résultats: Etalonnage



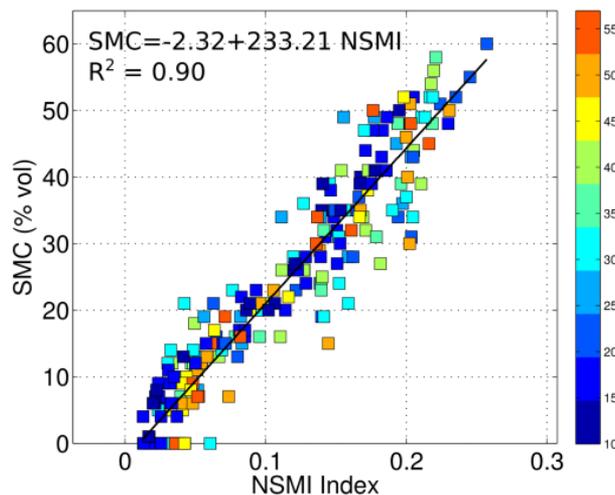
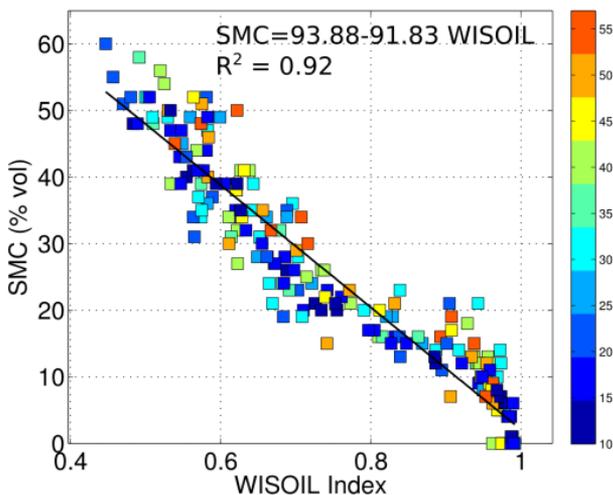
• Bonnes corrélations:
 $0.71 < R^2 < 0.93$

• **WISOIL**: $R^2 = 0.92$

• $R^2 < 0.9$ pour **NINSOL** et **NINSON**



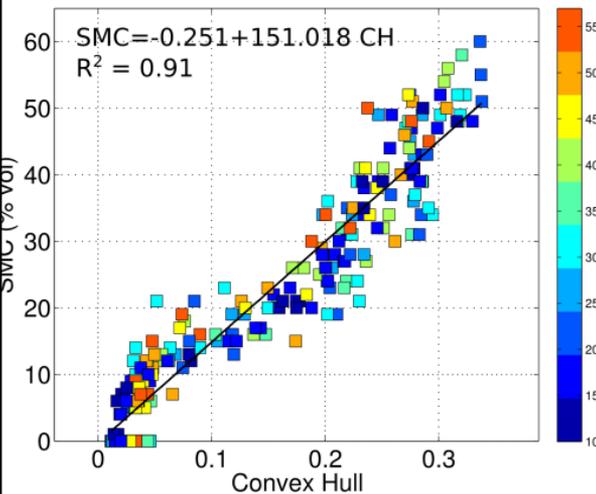
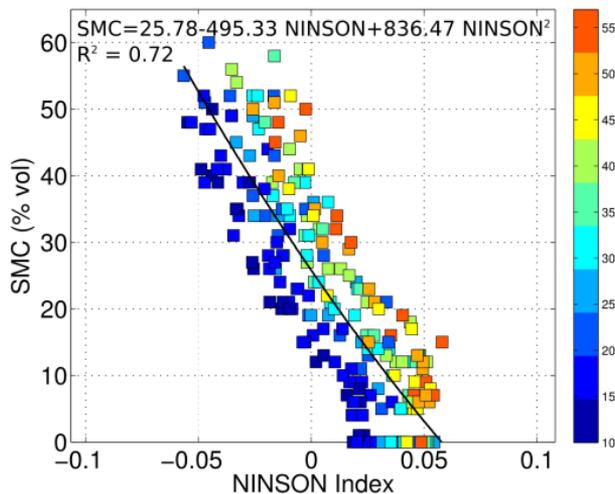
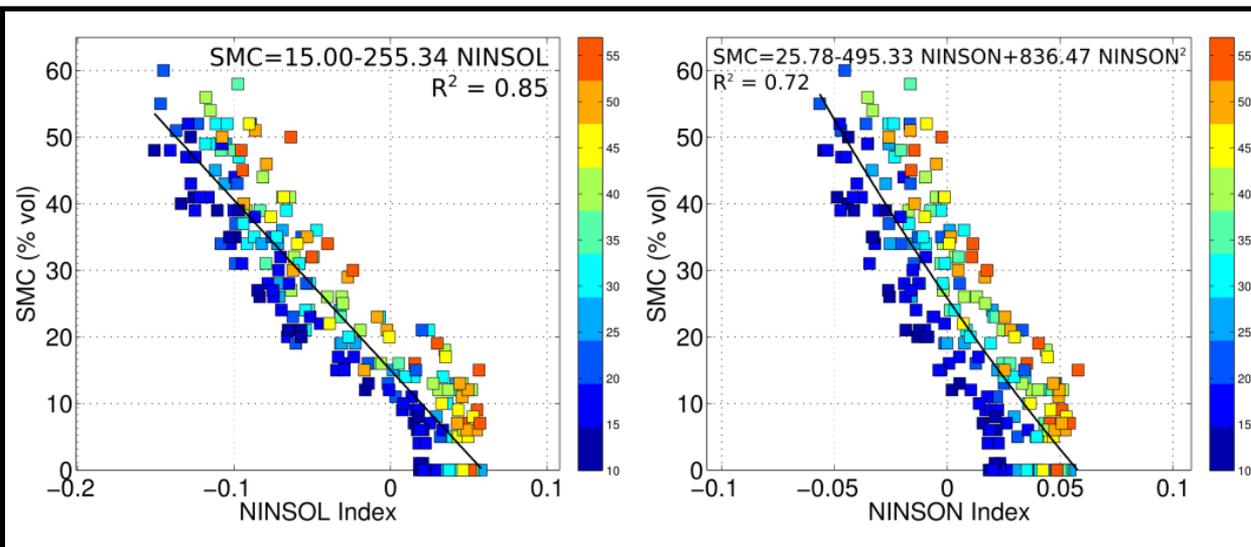
Résultats: Etalonnage



• Bonnes corrélations:
 $0.71 < R^2 < 0.93$

• **WISOIL**: $R^2 = 0.92$

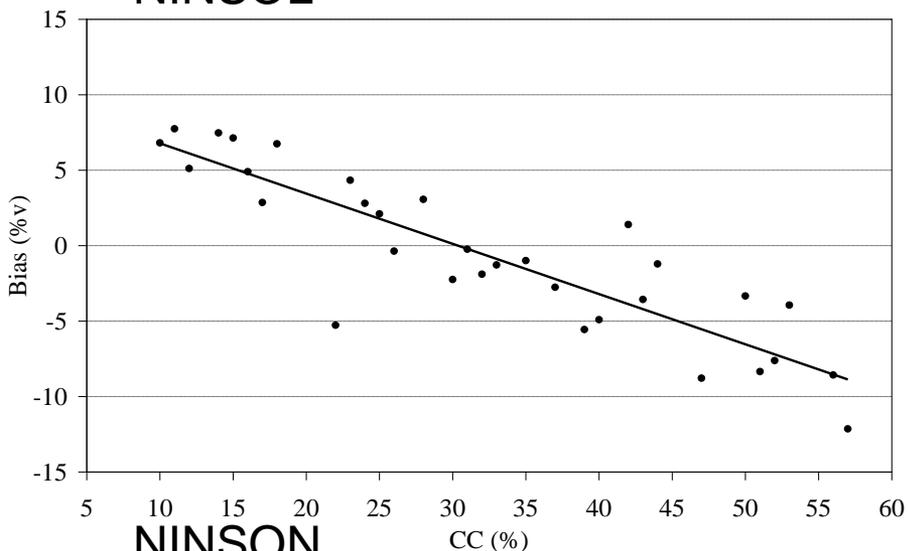
• $R^2 < 0.9$ pour **NINSOL** et **NINSON**



Dépendance avec le taux d'argile (bande autour de 2.2 μm)

Résultats: Etalonnage

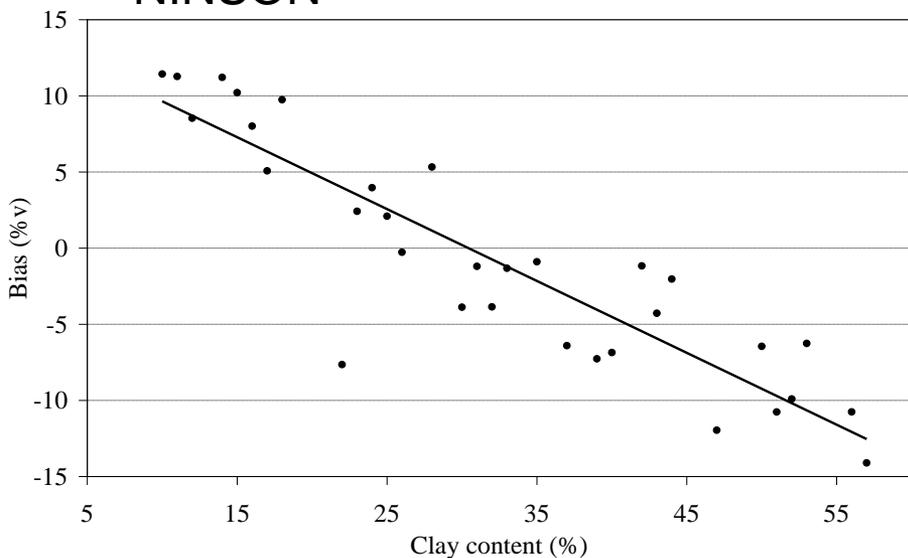
NINSOL



Dépendance avec le taux d'argile (CC):

$$(SMC_{calculé} - SMC_{mesuré}) = 10.08 - 0.33CC \quad (R^2 = 0.78)$$

NINSON

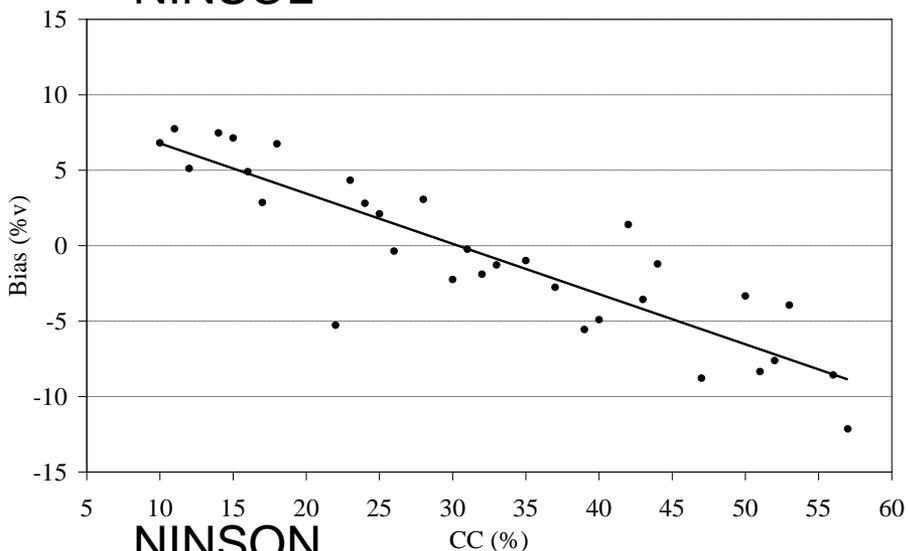


Dépendance avec le taux d'argile (CC):

$$(SMC_{calculé} - SMC_{mesuré}) = 14.3 - 0.47CC \quad (R^2 = 0.80)$$

Résultats: Etalonnage

NINSOL



Dépendance avec le taux d'argile (CC):

$$(SMC_{calculé} - SMC_{mesuré}) = 10.08 - 0.33CC \quad (R^2 = 0.78)$$

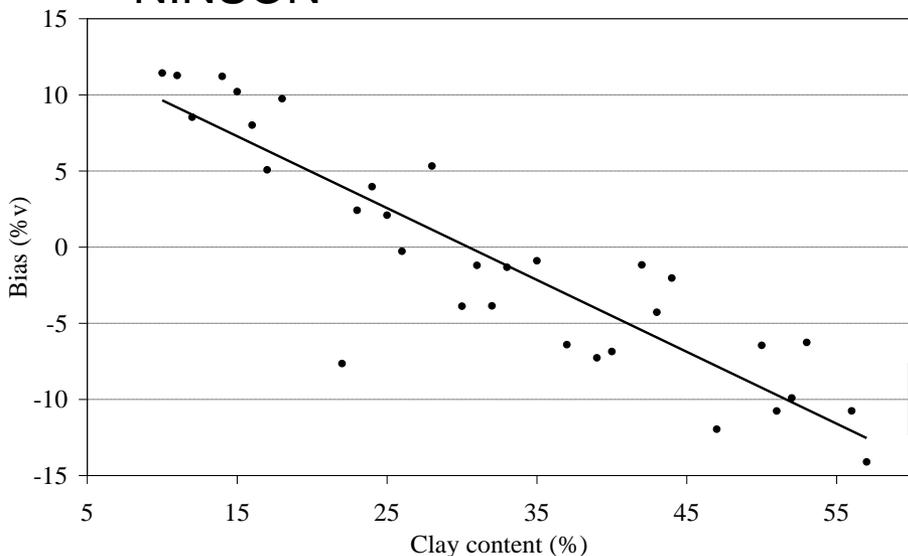
Nouveau modèle:

NINSOL_{CC}

$$SMC_{CC} = 4.92 - 255.34NINSOL + 0.33CC$$

($R^2 = 0.92$, Amélioration de 7%, même R^2 que le WISOIL)

NINSON



Dépendance avec le taux d'argile (CC):

$$(SMC_{calculé} - SMC_{mesuré}) = 14.3 - 0.47CC \quad (R^2 = 0.80)$$

Nouveau modèle:

NINSON_{CC}

$$SMC_{CC} = 11.48 - 495.33NINSON + 83647NINSON^2 + 0.47CC$$

($R^2 = 0.89$, Amélioration de 17%)

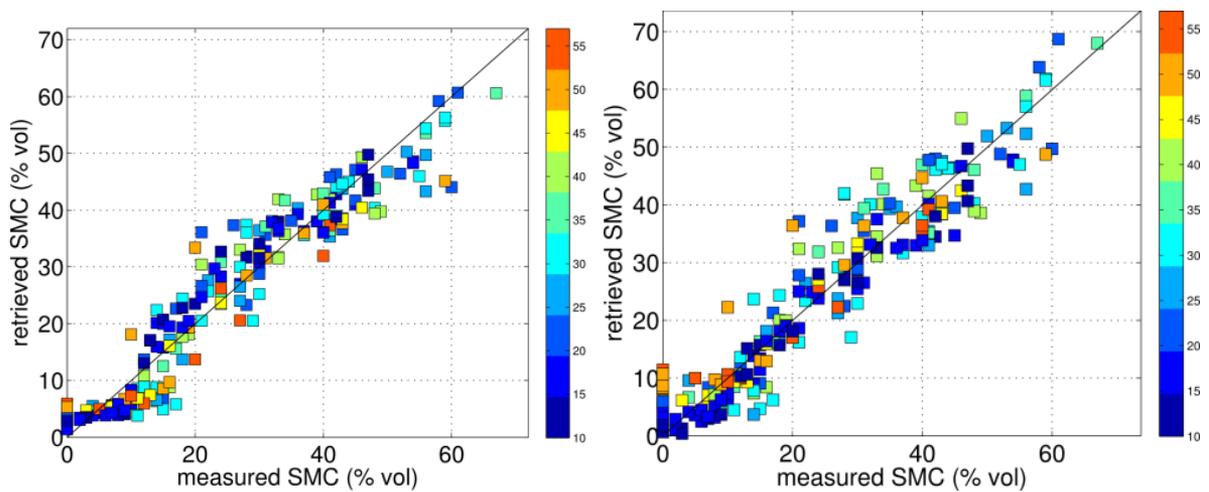
Résultats: Etalonnage

Critère	R ²
WISOIL	0.92
NSMI	0.90
NINSOL	0.85
NINSOL_{CC}	0.92
NINSON	0.72
NINSON _{CC}	0.89
CH	0.91

- Meilleurs résultats pour le WISOIL et NINSOL_{CC} (R² = 0.92), suivi du CH (R² = 0.91) et du NSMI (R² = 0.90)

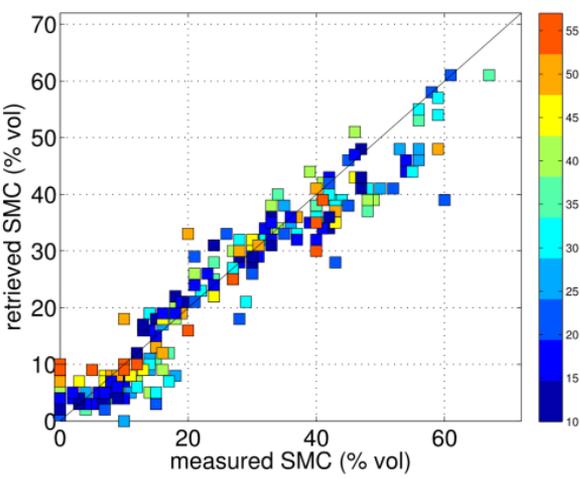
1. Méthodologie
2. Zone d'étude
3. Description des critères d'estimation du SMC
4. Description des données
- 5. Résultats**
 - 5.1. Etalonnage
 - 5.2. Validation**
 - Laboratoire**
 - Terrain
6. Conclusions et Perspectives

Résultats: Validation (Laboratoire)

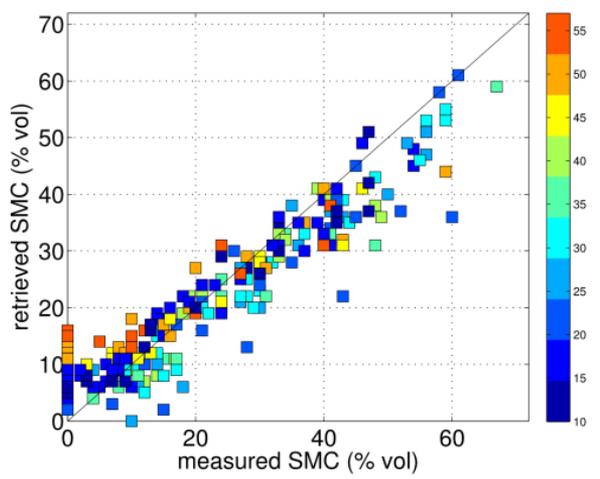


WISOIL

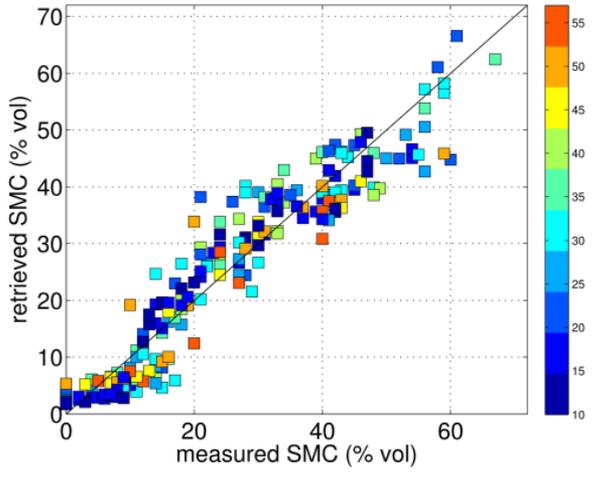
NSMI



NINSOL_{cc}

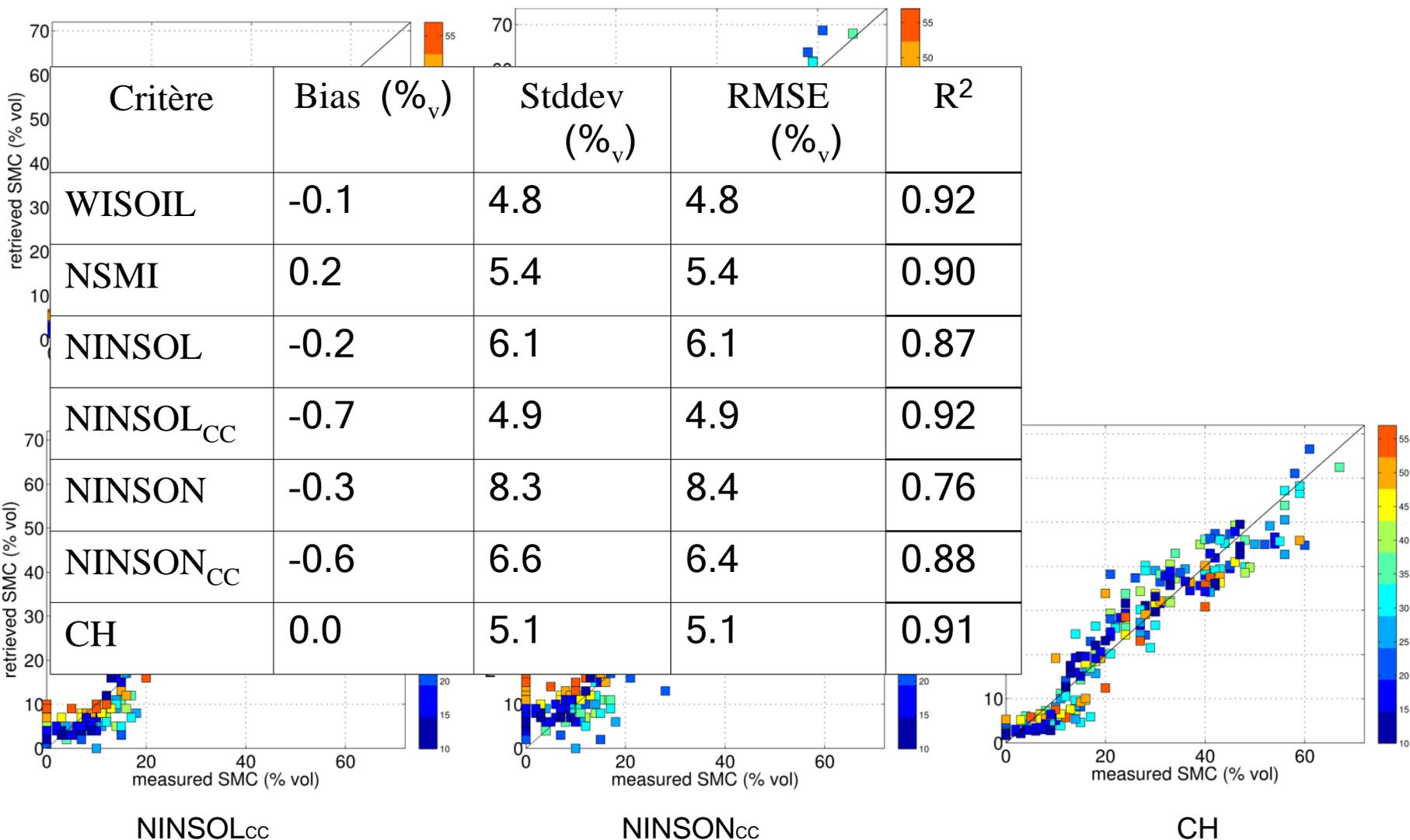


NINSON_{cc}



CH

Résultats: Validation (Laboratoire)



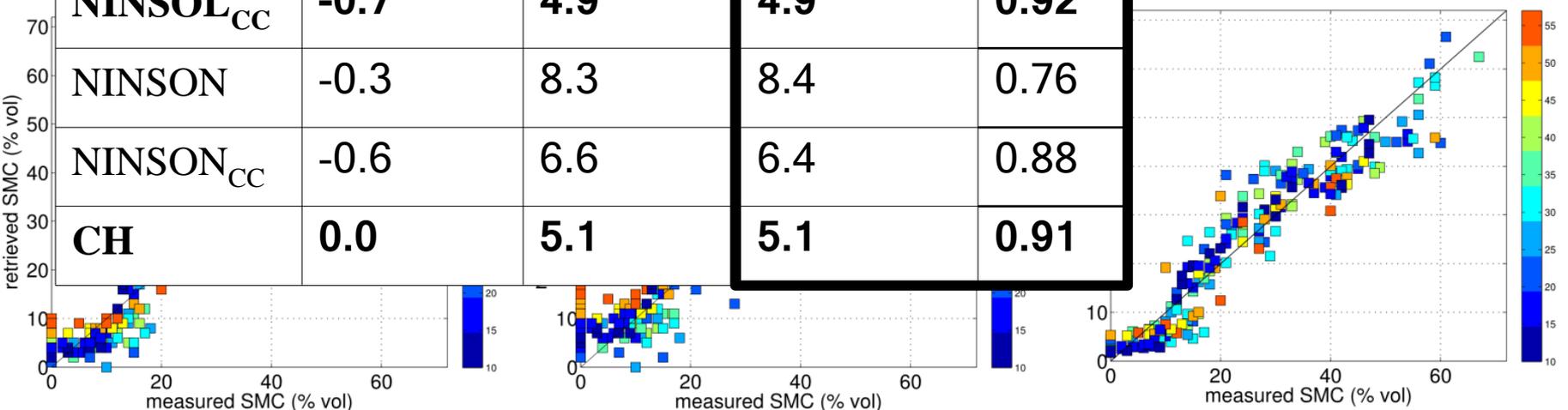
Résultats: Validation (Laboratoire)

Critère	Bias (% _v)	Stddev (% _v)	RMSE (% _v)	R ²
WISOIL	-0.1	4.8	4.8	0.92
NSMI	0.2	5.4	5.4	0.90
NINSOL	-0.2	6.1	6.1	0.87
NINSOL_{CC}	-0.7	4.9	4.9	0.92
NINSON	-0.3	8.3	8.4	0.76
NINSON _{CC}	-0.6	6.6	6.4	0.88
CH	0.0	5.1	5.1	0.91

- Biases peu significatif

- Dispersion faible

- WISOIL, NINSOL_{CC} (et CH) : RMSE < 5%_v et R² > 0.9



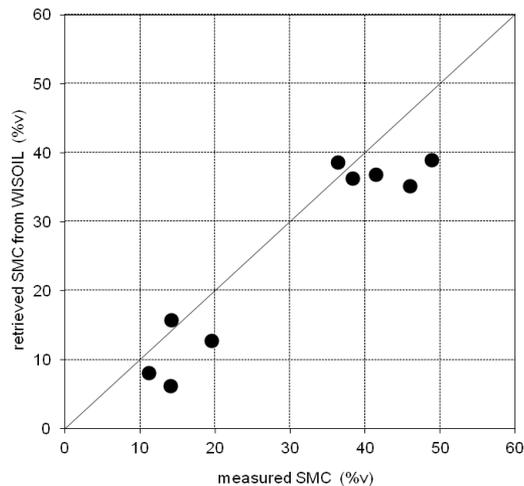
NINSOL_{CC}

NINSON_{CC}

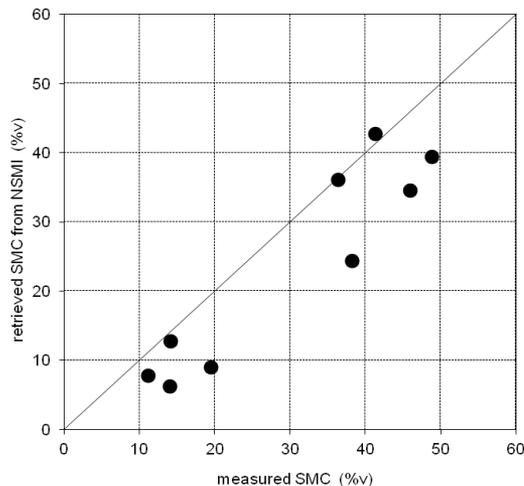
CH

1. Méthodologie
2. Zone d'étude
3. Description des critères d'estimation du SMC
4. Description des données
- 5. Résultats**
 - 5.1. Etalonnage
 - 5.2. Validation**
 - Laboratoire
 - Terrain**
6. Conclusions et Perspectives

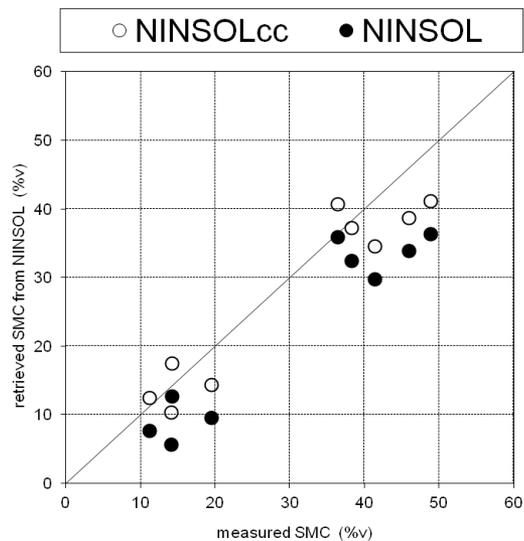
Résultats: Validation (Terrain)



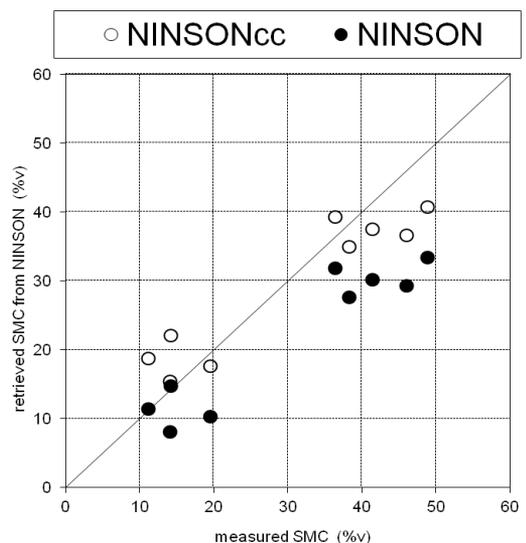
WISOIL



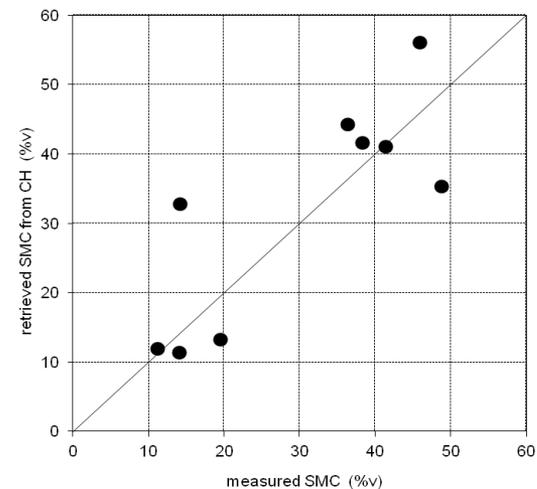
NSMI



NINSOL



NINSON



CH

Résultats: Validation (Terrain)

Critère	Bias (% _v)	Stddev (% _v)	RMSE (% _v)	R ²
WISOIL	-4.7	4.7	6.6	0.90
NSMI	-6.4	5.5	8.5	0.87
NINSOL	-7.4	4.7	8.8	0.91
NINSOL _{CC}	-2.6	4.7	5.4	0.91
NINSON	-8.1	6.2	10.2	0.89
NINSON _{CC}	-0.8	6.2	6.2	0.89
CH	2.0	9.5	9.7	0.67

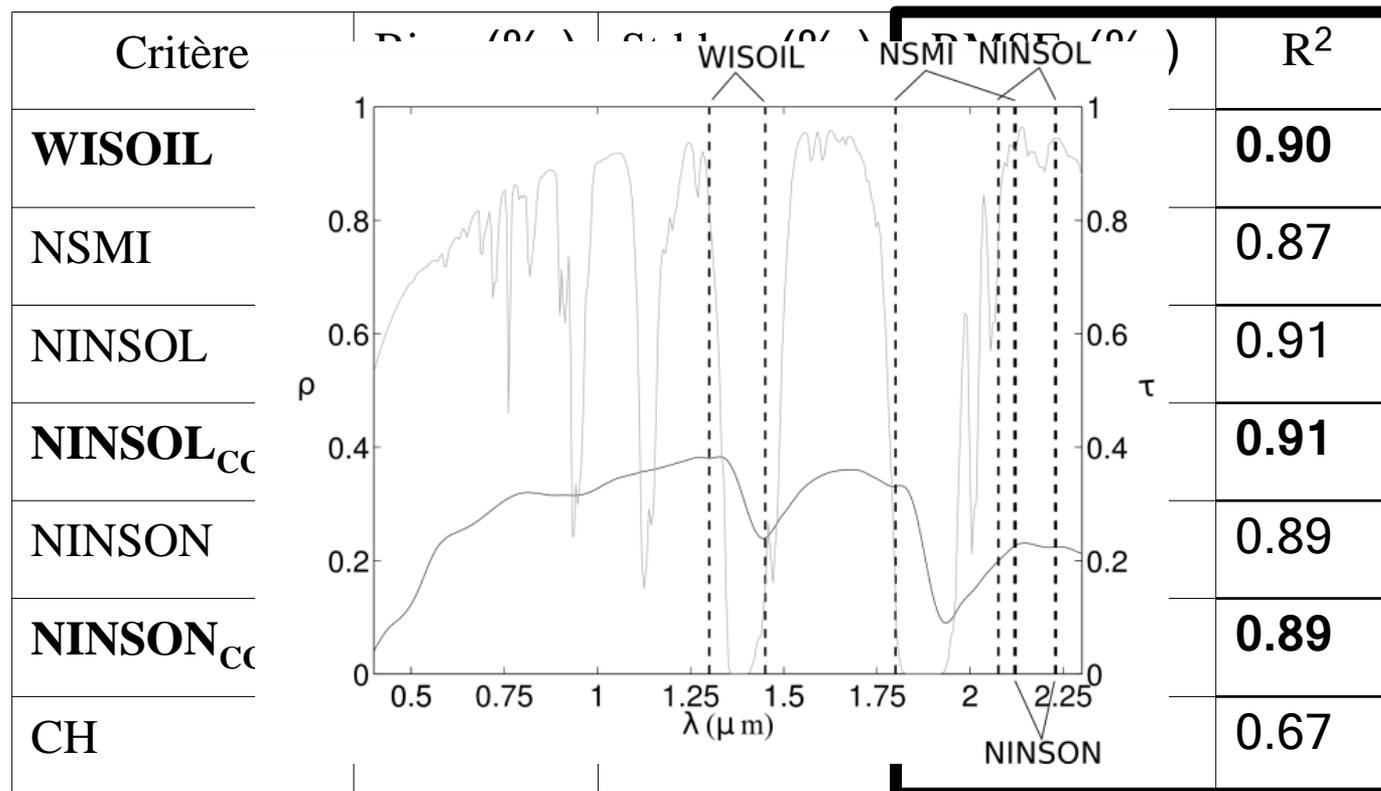
- La correction du CC diminue le RMSE autour de 4%_v à cause de la diminution du biais.

Résultats: Validation (Terrain)

Critère	Bias (% _v)	Stddev (% _v)	RMSE (% _v)	R ²
WISOIL	-4.7	4.7	6.6	0.90
NSMI	-6.4	5.5	8.5	0.87
NINSOL	-7.4	4.7	8.8	0.91
NINSOL_{CC}	-2.6	4.7	5.4	0.91
NINSON	-8.1	6.2	10.2	0.89
NINSON_{CC}	-0.8	6.2	6.2	0.89
CH	2.0	9.5	9.7	0.67

- La correction du CC diminue le RMSE autour de 4%_v à cause de la diminution du biais.
- Faibles résultats pour NSMI et CH car plus affectés par l'atmosphère.
- 3 indices qui ressortent: NINSOL_{CC}, NINSON_{CC} et WISOIL

Résultats: Validation (Terrain)



- La correction du CC diminue le RMSE autour de 4%_v à cause de la diminution du biais.
- Faibles résultats pour NSMI et CH car plus affectés par l'atmosphère.
- 3 indices qui ressortent: NINSOL_{CC}, NINSON_{CC} et WISOIL.
- WISOIL plus sensible à la correction de la vapeur d'eau;

1. Méthodologie
2. Zone d'étude
3. Description des critères d'estimation du SMC
4. Description des données
5. Résultats
 - 5.1. Etalonnage
 - 5.2. Validation
 - Laboratoire
 - Terrain
- 6. Conclusions et Perspectives**

CONCLUSIONS:

- Nous avons testé **cinq critères** pour calculer l'humidité des sols nus à partir de données hyperspectrales **en laboratoire et sur le terrain: WISOIL, NSMI, NINSOL, NINSON et CH.**
- En **laboratoire** et après la correction du CC nous avons obtenu des bons résultats: **étalonnage avec $R^2 \sim 0.9$, validation avec $R^2 \sim 0.9$ et RMSE $\sim 5\%v$.**
- Sur le **terrain**, les **meilleurs résultats** sont obtenus par **$NINSOL_{cc}$, $NINSON_{cc}$ et WISOIL.** Néanmoins WISOIL est plus sensible à la présence de la vapeur d'eau atmosphérique.

CONCLUSIONS:

- Nous avons testé **cinq critères** pour calculer l'humidité des sols nus à partir de données hyperspectrales **en laboratoire et sur le terrain: WISOIL, NSMI, NINSOL, NINSON et CH.**
- En **laboratoire** et après la correction du CC nous avons obtenu des bons résultats: **étalonnage avec $R^2 \sim 0.9$, validation avec $R^2 \sim 0.9$ et $RMSE \sim 5\%v$.**
- Sur le **terrain**, les **meilleurs résultats** sont obtenus par **$NINSOL_{cc}$, $NINSON_{cc}$ et WISOIL.** Néanmoins WISOIL est plus sensible à la présence de la vapeur d'eau atmosphérique.
- **La connaissance *a priori* du taux d'argile de nos échantillons peut améliorer les résultats de prédiction du contenu en eau du sol à partir des données hyperspectrales.**

Conclusions et Perspectives

PERSPECTIVES:

- Les critères vont être appliqués sur les images hyperspectrales aéroportées de la campagne TOSCA 2013.
- Passage au satellite (mission HYPXIM): évaluation de la résolution spatiale et spectrale.



Estimation of surface soil moisture using hyperspectral data: from laboratory to field experiments

Merci pour votre attention