

# *Les images Sentinel pour la caractérisation des sols*

**Emmanuelle VAUDOUR**

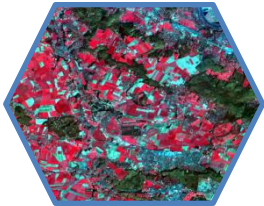
AgroParisTech

UMR ECOSYS INRA/AgroParisTech, Université Paris-Saclay

[emmanuelle.vaudour@agroparistech.fr](mailto:emmanuelle.vaudour@agroparistech.fr)

# Plan

1. Introduction- acquis antérieurs de la télédétection des sols
2. Atouts et utilisations possibles des images Sentinel pour les sols
3. Quelques exemples de travaux récents de caractérisation des sols via Sentinel 2 et/ou 1



# Introduction –acquis antérieurs

USA : Condit (1970), Baumgardner (1981), Huete (1991)

Pays-Bas : Epema et Mulders (1987)

Pologne : Cierniewski (1989)

*France : Girard (1978), Courault (1989), Jacquemoud (1992), Escadafal (1993), Courault et Girard (1993), Mougenot (1993), Baret et Jacquemoud (1993)*

Israël : Ben Dor (1999, 2002, 2009)

Allemagne : Chabrilat (2002)

Brésil: Demattê (2006)

Australie : Viscarra-Rossel (2006)

Belgique : Stevens (2006)

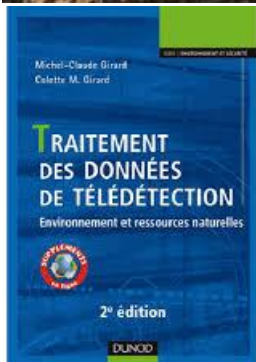
.....

# Notion d'état de surface du sol

« *composition et organisation de la surface du sol à un instant donné* » - R. ESCADAFAL, 1989



©E. Vaudour – mars 2012



VAUDOUR E., GIRARD MC., 2010, *Pédologie*, chapitre 23. In Girard MC et Girard CM, *Traitement des images de télédétection*, Dunod, Paris.

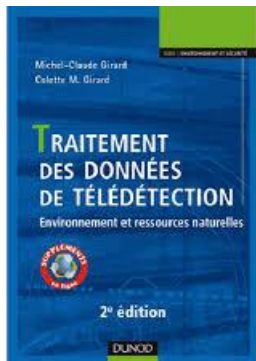
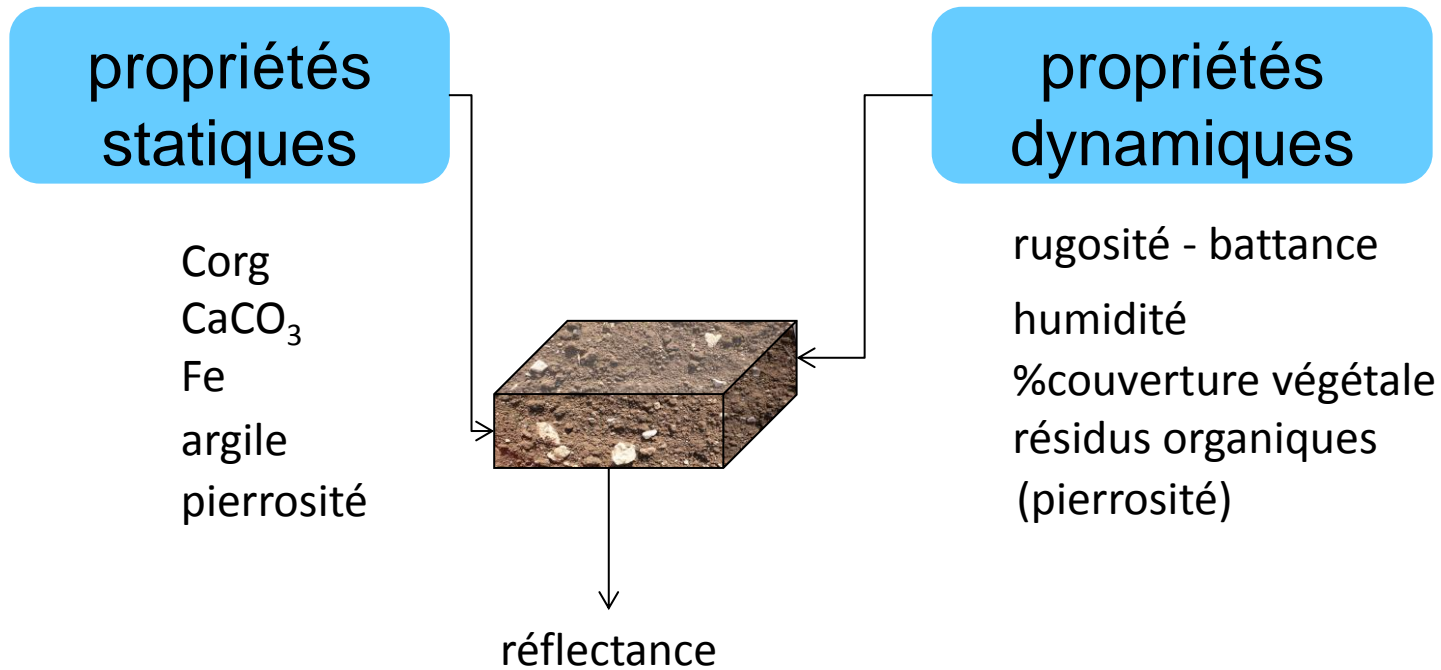
# Mesures de réflectance



$$R_{\lambda} = \frac{\Phi_{r\lambda}}{\Phi_{i\lambda}}$$

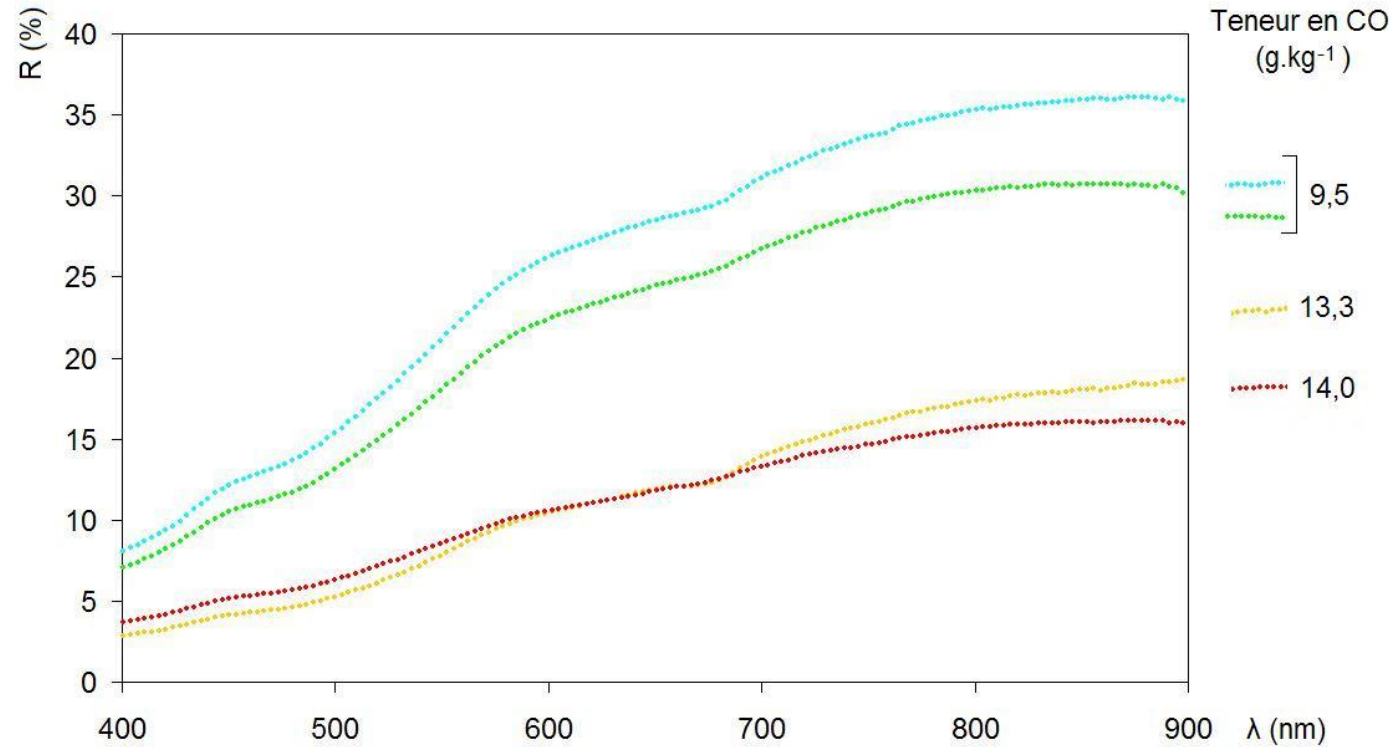
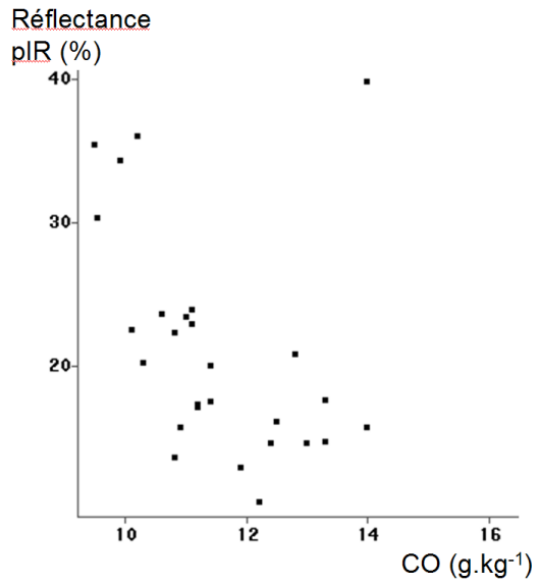
©UMR EGC-Equipe Sol, cliché E. Vaudour, mars 2012

# Principales propriétés influant sur la réflectance du sol nu



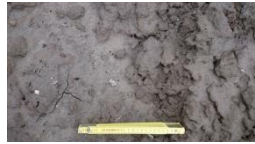
VAUDOUR E., GIRARD MC., 2010, *Pédologie*, chapitre 23. In Girard MC et Girard CM, *Traitement des images de télédétection*, Dunod, Paris.

# Exemple : influence du carbone organique sur la réflectance du sol



Berthier et al., Etude et Gestion des Sols 2008

# Caractérisation des sols



directe  
(sol nu)

quantitative

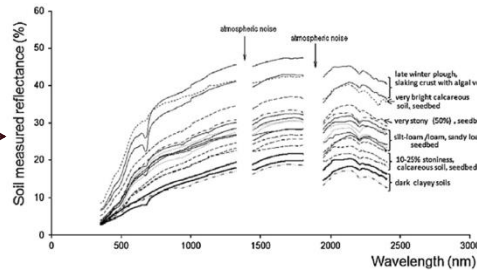
mes.  
terrain

**modèle  
spectral**

propriétés  
de sol en  
surface



# Construction de modèles spectraux



spectres réflectance terrain



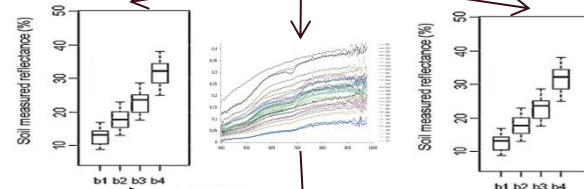
satellite avion drone



spectres bruts images

correction atmosphérique

(Vaudour et al., JAG 2014a)



spectres de réflectance images

Régression multiple PLSR ou MLR

propriété de sol prédite

Régression multiple PLSR

propriété prédite

Mesure réflectance terrain + prélèvements sols



Analyses chimiques

(Vaudour et al., EGU2012, EGU2017; Gilliot et al., 2017; Vaudour et al., 2013, 2016)

# Bases de données régionales

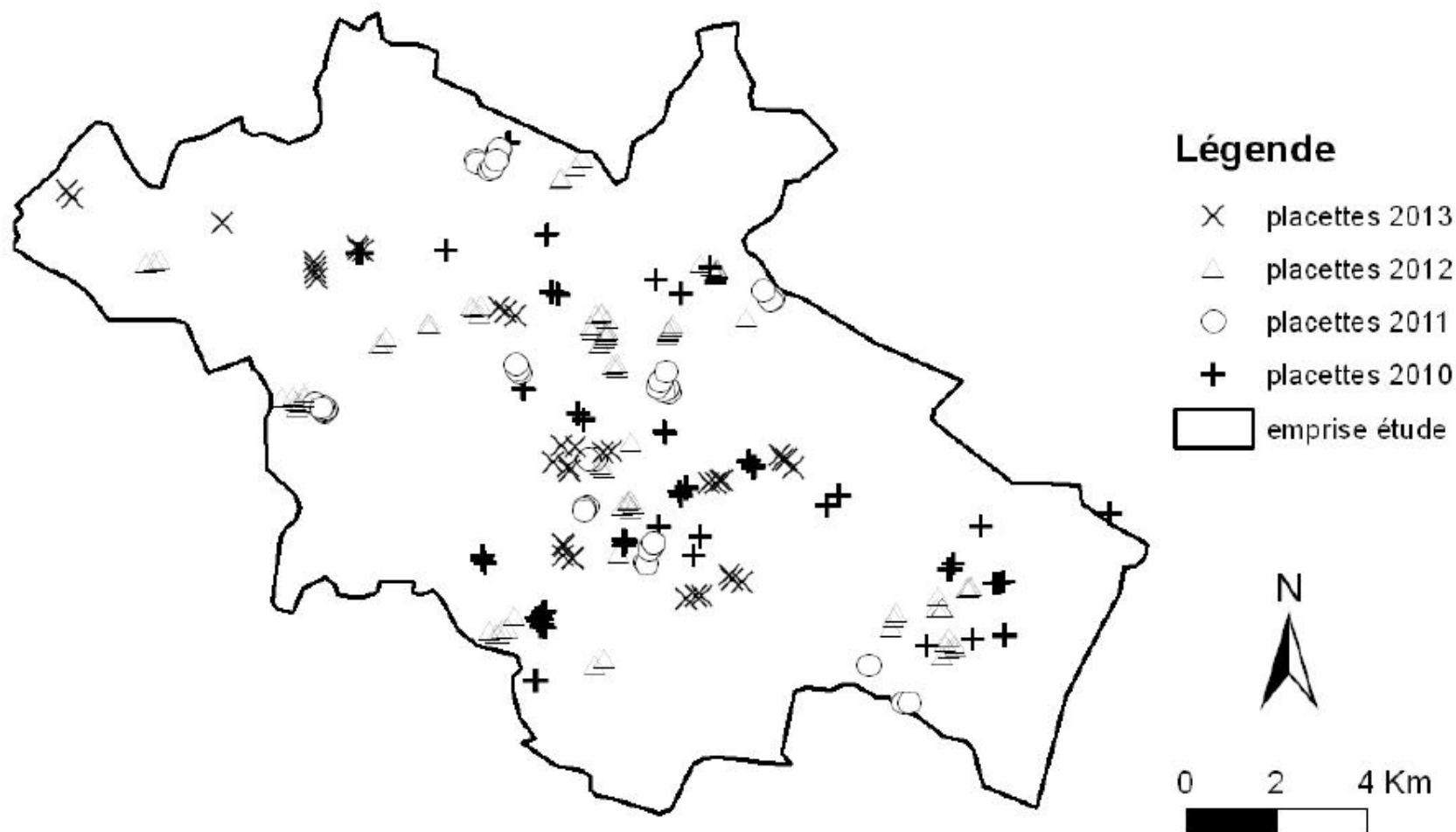


Figure 4. Emplacements des placettes de mesure collectées de 2010 à 2013

In Vaudour (coord) 2014. Rapport final Prostock

10

# Exemple : teneurs en Corg des sols de la Plaine de Versailles



LUVISOLS de loess

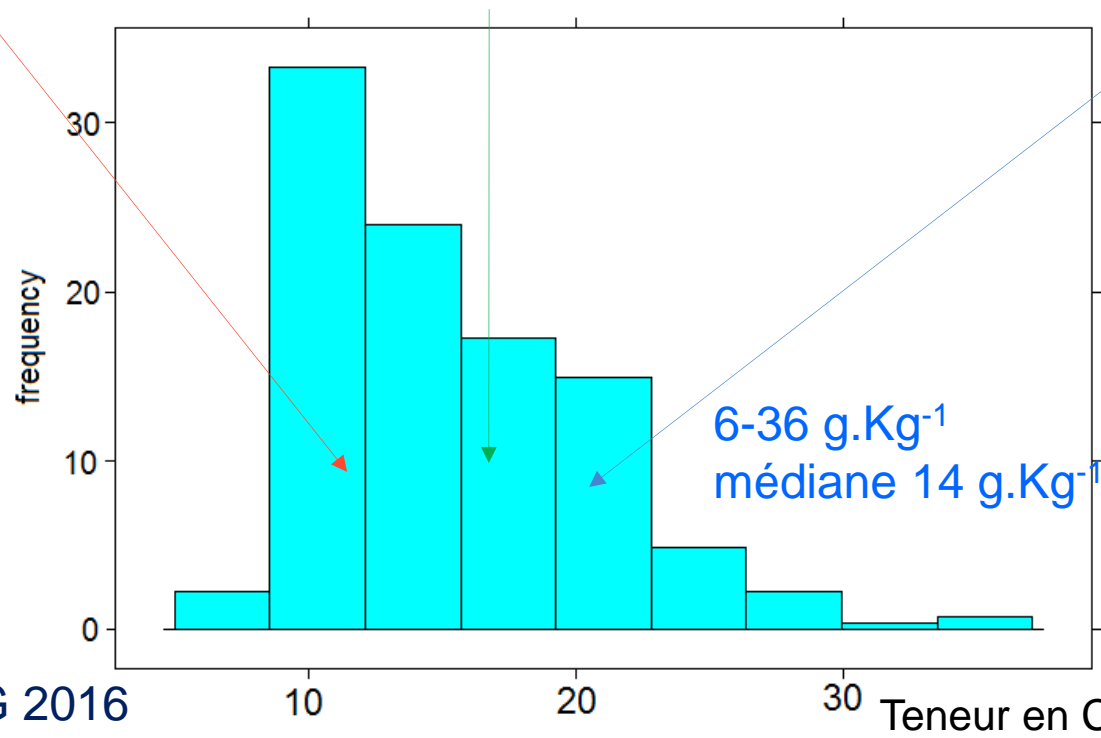


CALCOSOLS,  
COLLUVIOSOLS calcaires



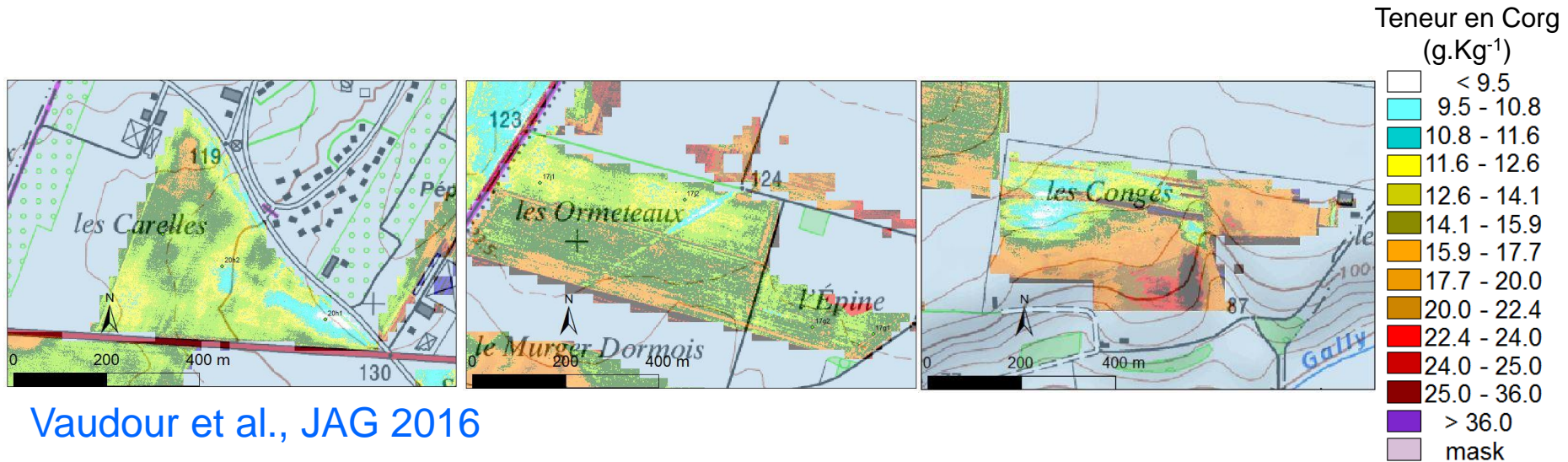
FLUVIOSOLS, COLLUVIOSOLS  
calcaires

©E. Vaudour



Vaudour et al., JAG 2016

# Cartes de Corg des sols issue d'image hyperspectrale AISA-Eagle (400-1000 nm)



Vaudour et al., JAG 2016

niveau local (parcelle)

niveau régional

Erreur type sur la prédiction (g.Kg <sup>-1</sup> )	niveau local (parcelle)		niveau régional			
	labo	NIR labo	NIR-SWIR labo	NIR-SWIR champ	NIR avion HypS	NIR/SWIR satellite
	0,4-0,6	0,80-0,95	3	3-4	3,5 - 4,5	4,6 - 5

Vaudour et al., SSSAJ 2013  
Vaudour et al., JAG 2016

# Caractérisation des sols



directe  
(sol nu)

qualitative

quantitative

obs  
terrain

mes.  
terrain

*classification(s)*

*modèle  
spectral*

*modèle  
stats  
spatiales*

opérations  
culturales

types  
de sol

propriétés  
de sol en  
surface

propriétés de sol  
surface/  
profondeur

# Caractérisation des sols



directe  
(sol nu)



indirecte  
(couvert végétal)

qualitative

quantitative

quantitative

qualitative

obs  
terrain

*classification(s)*

mes.  
terrain

*modèle  
spectral*

*modèle  
stats  
spatiales*

mes.  
terrain

*modèle  
culture*

obs  
terrain

*classification(s)*

opérations  
culturales

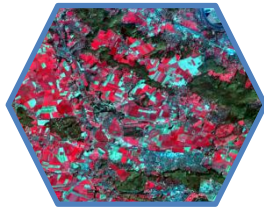
types  
de sol

propriétés  
de sol en  
surface

propriétés de sol  
surface/  
profondeur

assolement

autres  
pratiques :  
irrigation,  
etc...

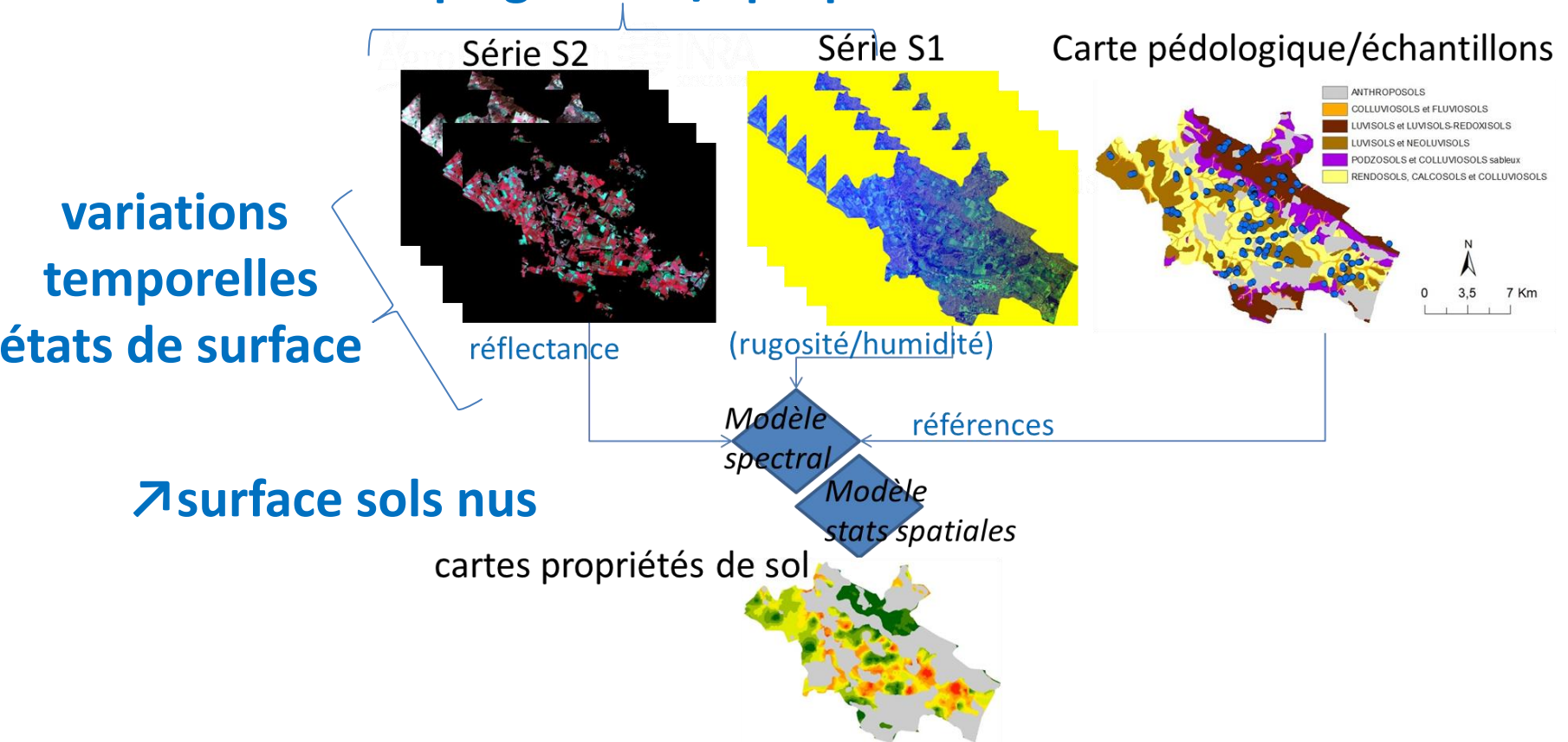


# Atouts images sentinel

# Atouts images Sentinel

- Richesse spectrale ; bandes absorptions spécifiques sols
- Résolution spatiale

## couplage radar/optique

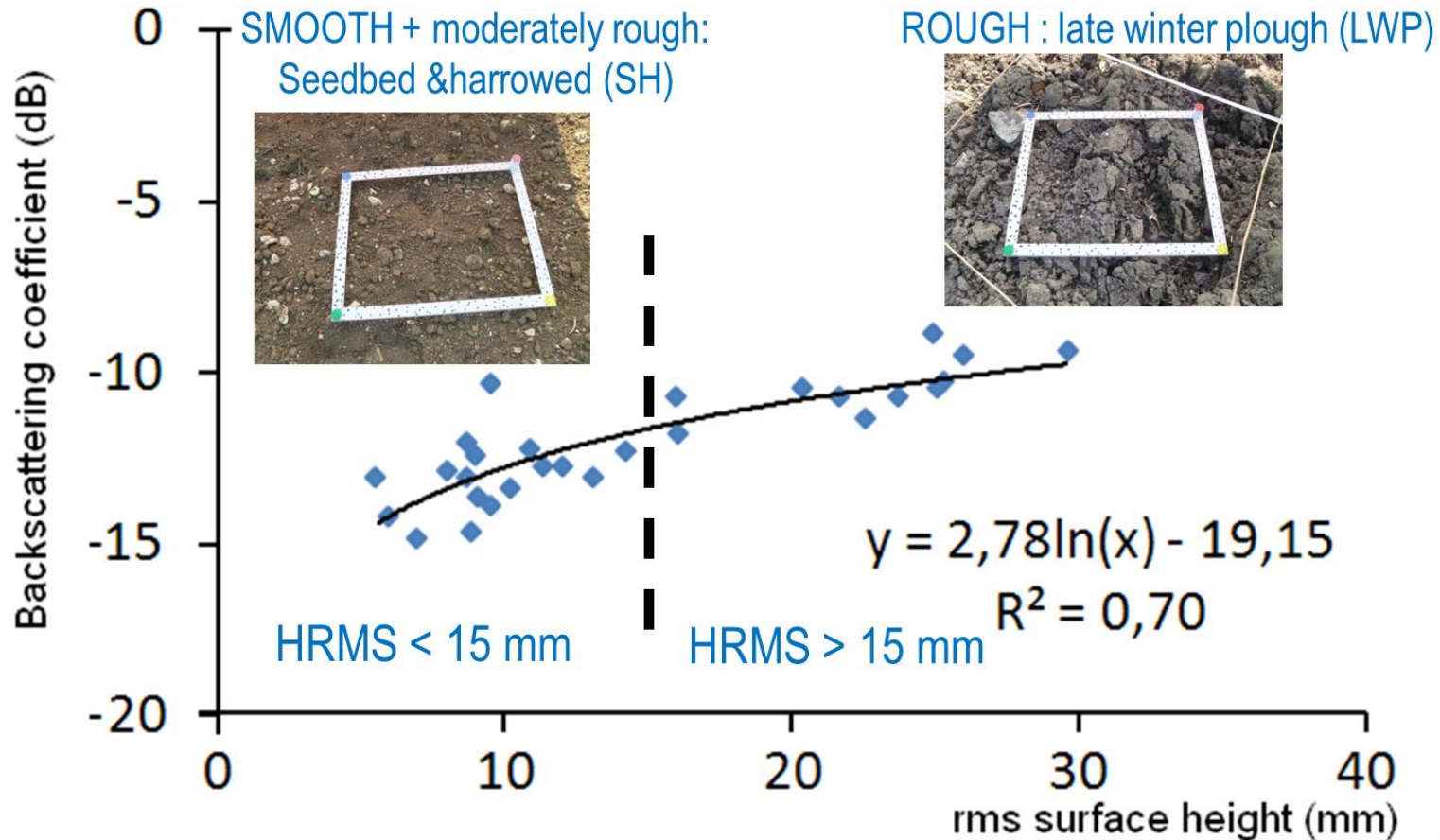


....projets en cours et futurs

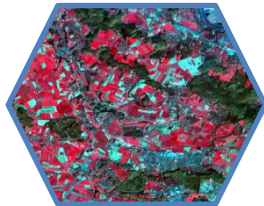


# Couplage radar/optique pour détection opérations culturales

Vaudour E., Baghdadi N. Gilliot J.M., JAG 2014



▲ *Dependance of radar signal in C-band (~5.6 GHz)  
with the surface roughness in HH polarization*



# Estimation de propriétés de sol via Sentinel



# Propriétés de sol de surface via S2

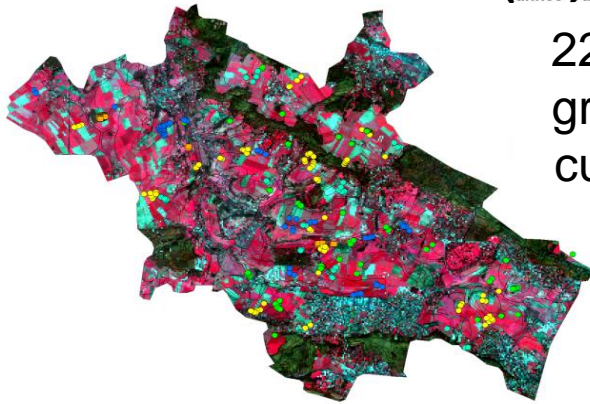
Vaudour et al. EGU 2017

Vaudour E., Gomez, C., Fouad, Y., Lagacherie, P., soumis

## Plaine de Versailles (78)

année d'analyse

221 km<sup>2</sup>  
grandes  
cultures

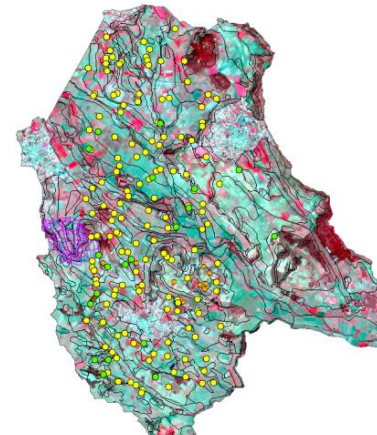


*luvisols de loess*

**72 sites sur sols nus**

## Vallée de la Peyne (34)

48 km<sup>2</sup>  
vignes



*calcosols de molasse  
fersialsoils éluviques*

**143 sites sur sol nus**

Modélisation: PLSR cross-validation leave-one-out – 10 bandes spectrales

# Synthèse des performances de prédiction avec S2 (1 date – mars 2016)

---

Vaudour et al. EGU 2017

Vaudour E., Gomez, C., Fouad, Y., Lagacherie, P., soumis

Groupe de performance	$R_{cv}^2$	$RPD_{cv}$	Propriété de sol Versailles	Propriété de sol La Peyne
<b>i) intermédiaire à élevée</b>	$\geq 0,5$	$\geq 1,4$	Corg, pH, CEC, $CaCO_3$	
ii) quasi-intermédiaire	0,4	1,3	Argile	Argile, Fe, CEC
iii) médiocre	$< 0,4$	$\sim 1$	Limon, Sable	Limon, Sable, Corg, pH, $CaCO_3$

## Versailles Plain

## La Peyne valley

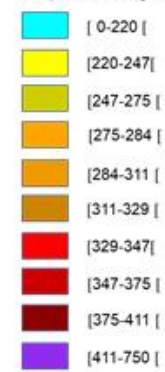
# Cartes des propriétés de sols

Vaudour et al. EGU 2017  
 Vaudour E., Gomez, C., Fouad, Y., Lagacherie, P., soumis

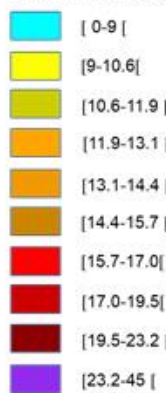
Clay content (g.Kg<sup>-1</sup>)



Clay content (g.Kg<sup>-1</sup>)



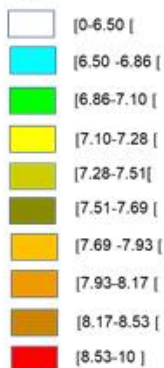
SOC content (g.Kg<sup>-1</sup>)



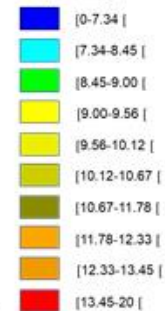
Fe content (g/100 g)



pH



CEC (cmol.Kg<sup>-1</sup>)



non agricultural areas or NDVI>0.35

# Performances de prédiction pour Corg avec S2 (4 dates – printemps 2017)

Ebengo et al. EGU 2018

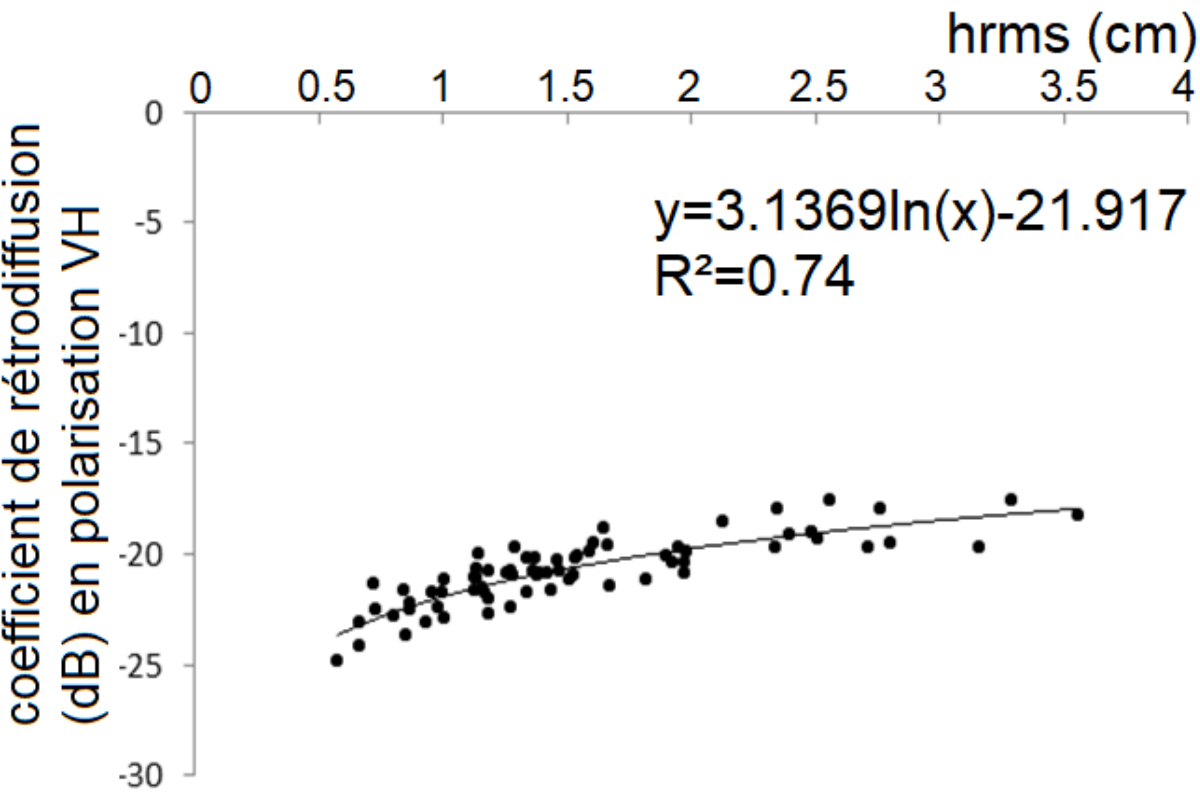
Ebengo, D.M., Vaudour, E., Gilliot J.M., Hadjar, D., Baghdadi, N., en préparation

modèle PLSR	nb échantillons	erreur RMSE <sub>cv</sub> (g.Kg <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup> <sub>cv</sub>	RPD <sub>cv</sub>	Groupe de performance
27 mars	123	3,88	0,31	1,2	médiocre
30 mars	123	3,97	0,28	1,18	médiocre
09 avril	122	<b>3,16</b>	<b>0,55</b>	<b>1,5</b>	<b>intermédiaire à élevée</b>
19 avril	122	3,35	0,48	1,4	quasi-intermédiaire

# Contribution de S1 pour estimer la rugosité (4 dates – printemps 2017)

Ebengo et al. EGU 2018

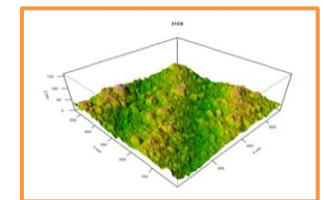
Ebengo, D.M., Vaudour, E., Gilliot J.M., Hadjar, D., Baghdadi, N., en préparation



Rugosité terrain



Méthode photogrammétrique  
Gilliot et al 2017



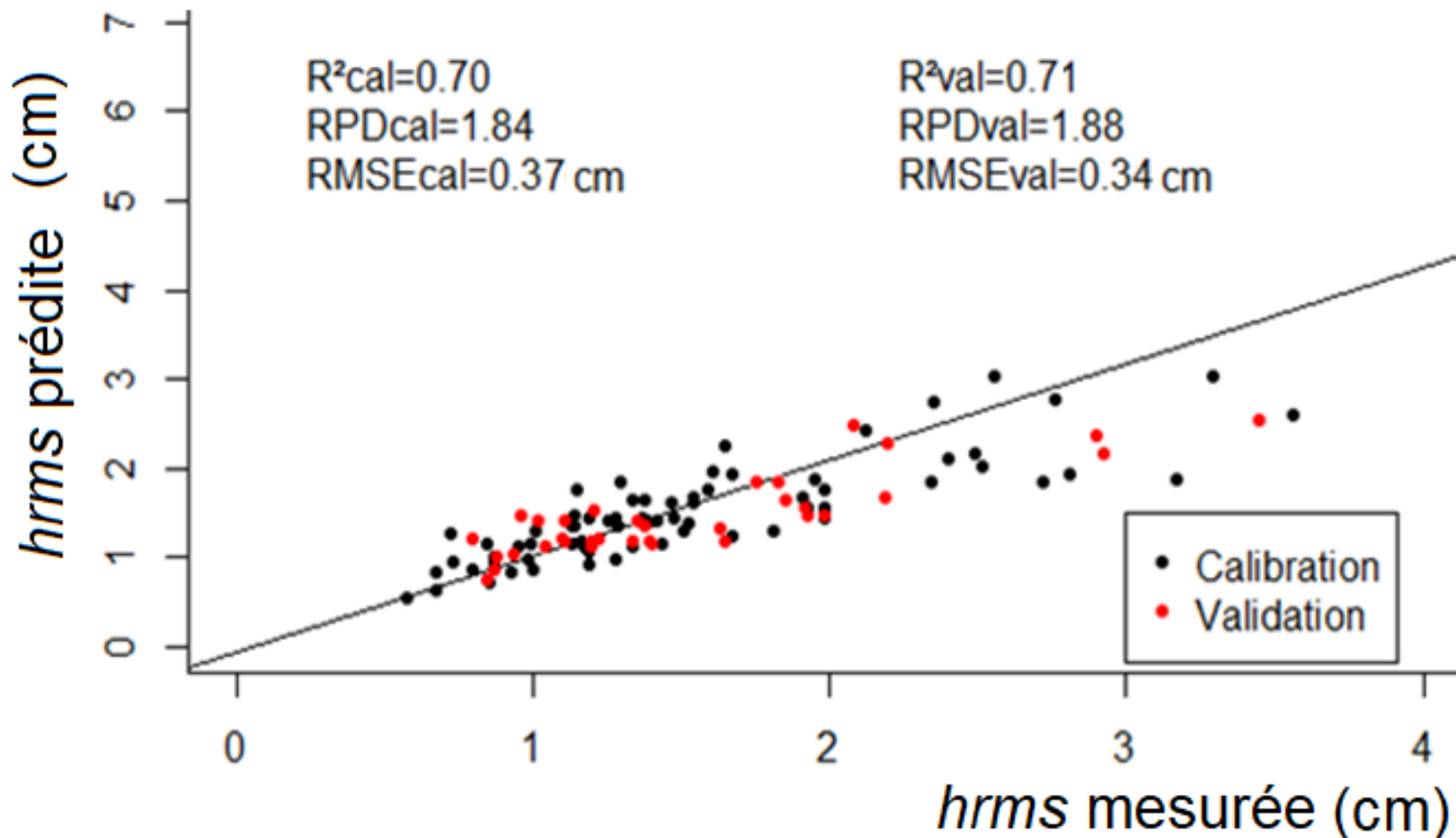
Modèle 3D de surface

hrms

# Contribution de S1 pour estimer la rugosité (4 dates – printemps 2017)

Ebengo et al. EGU 2018

Ebengo, D.M., Vaudour, E., Gilliot J.M., Hadjar, D., Baghdadi, N., en préparation

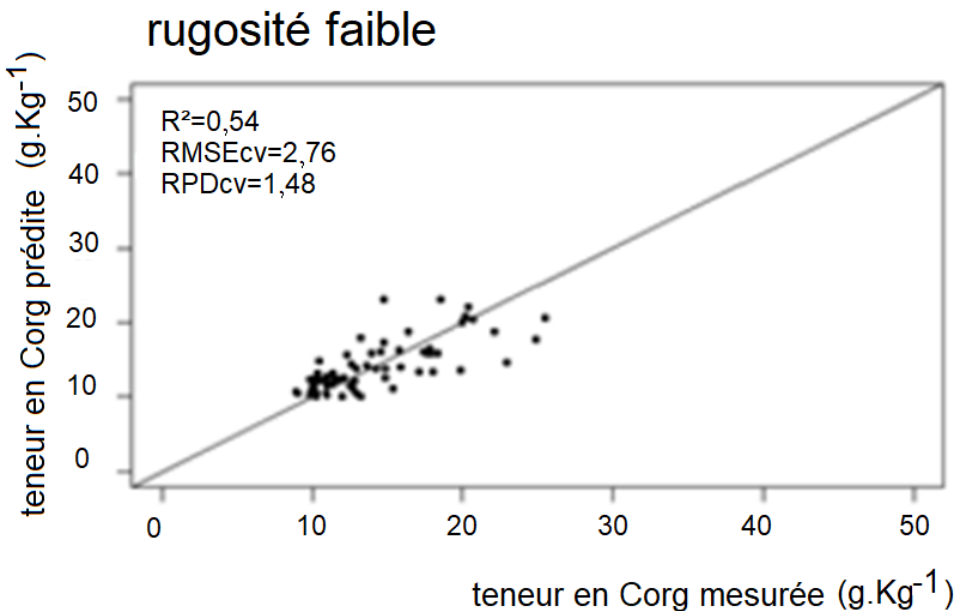




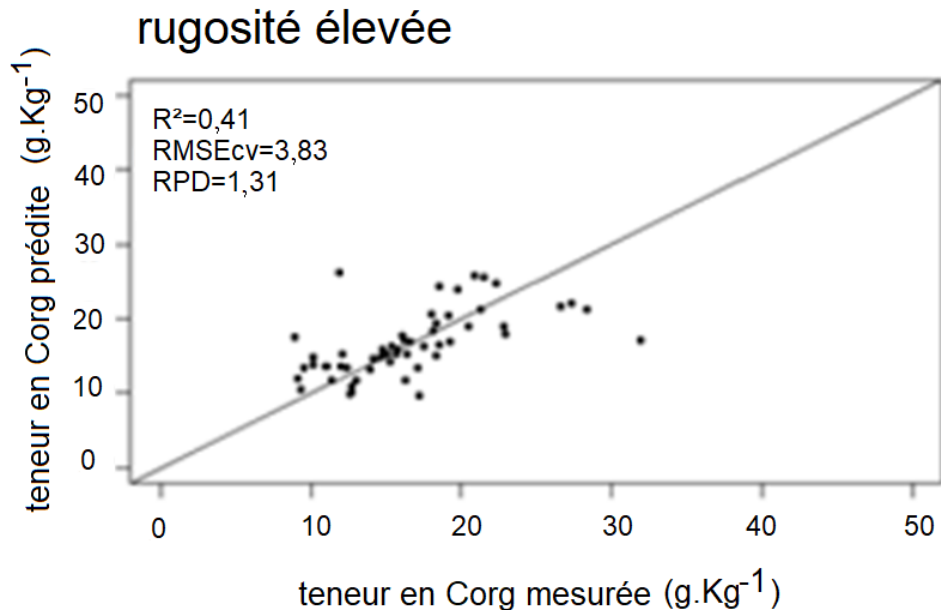
# Prédiction via S2 de Corg en fonction de classes de rugosité (printemps 2017)

Ebengo et al. EGU 2018

Ebengo, D.M., Vaudour, E., Gilliot J.M., Hadjar, D., Baghdadi, N., en préparation



**performance  
intermédiaire à élevée**



**performance  
quasi-intermédiaire**

# Conclusion- perspectives

---

- Performances encourageantes
- Travaux en cours – nouveaux projets
- Multidates – mosaïquage - complémentarité S1/S2 pour facteurs perturbants
- Intégration données Sentinel dans démarche de cartographie numérique des sols



Vaudour E., 2017 - <https://imaggeo.egu.eu/view/12252>

[emmanuelle.vaudour@agroparistech.fr](mailto:emmanuelle.vaudour@agroparistech.fr)

# Sélection d'articles

---

Baghdadi, N., El Hajj, M., Choker, M., Zribi, M., Bazzi, H., Vaudour, E., Gilliot, J.M., Ebengo D.M., 2018. Potential of Sentinel-1 images for estimating the soil roughness over bare agricultural soils. *Water*, 10, 131; doi:10.3390/w10020131.

Ebengo, D.M., Vaudour, E., Gilliot, J.-M., Hadjar, D., Baghdadi, N., 2018. Potential of combined Sentinel 1/ Sentinel 2 images for mapping topsoil organic carbon content over cropland taking into account soil roughness. *Geophysical Research Abstracts*, *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 20, EGU2018-14368, EGU General Assembly 2018, Vienna (Austria). (poster)

Gilliot, J.M., Vaudour, E., Michelin, J., 2017. Soil surface roughness measurement: A new fully automatic photogrammetric approach applied to agricultural bare fields. *Computers and Electronics in Agriculture* 134, 63–78. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.01.010>

Vaudour, E., Baghdadi, N., Gilliot, J.M., 2014a. Mapping tillage operations over a peri-urban region using combined SPOT4 and ASAR/ENVISAT images. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 28, 43–59. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2013.11.005>

Vaudour, E., Bel, L., Gilliot, J.M., Coquet, Y., Hadjar, D., Cambier, P., Michelin, J., Houot, S., 2013. Potential of SPOT Multispectral Satellite Images for Mapping Topsoil Organic Carbon Content over Peri-Urban Croplands. *Soil Science Society of America Journal* 77, 2122. <https://doi.org/10.2136/sssaj2013.02.0062>

Vaudour, E., Gilliot, J.M., Bel, L., Bréchet, L., Hamiache, J., Hadjar, D., Lemonnier, Y., 2014b. Uncertainty of soil reflectance retrieval from SPOT and RapidEye multispectral satellite images using a per-pixel bootstrapped empirical line atmospheric correction over an agricultural region. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 26, 217–234. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2013.07.003>

Vaudour, E., Gilliot, J.M., Bel, L., Lefevre, J., Chehdi, K., 2016. Regional prediction of soil organic carbon content over temperate croplands using visible near-infrared airborne hyperspectral imagery and synchronous field spectra. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 49, 24–38. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2016.01.005>

Vaudour, E., Gomez, C., Fouad, Y., Gilliot, J.M., Lagacherie, P., 2017. Potential of SENTINEL-2 images for predicting common topsoil properties over Temperate and Mediterranean agroecosystems. *Geophysical Research Abstracts*, vol. 19, EGU2017-6242, EGU General Assembly 2017, Vienna (Austria). (poster)