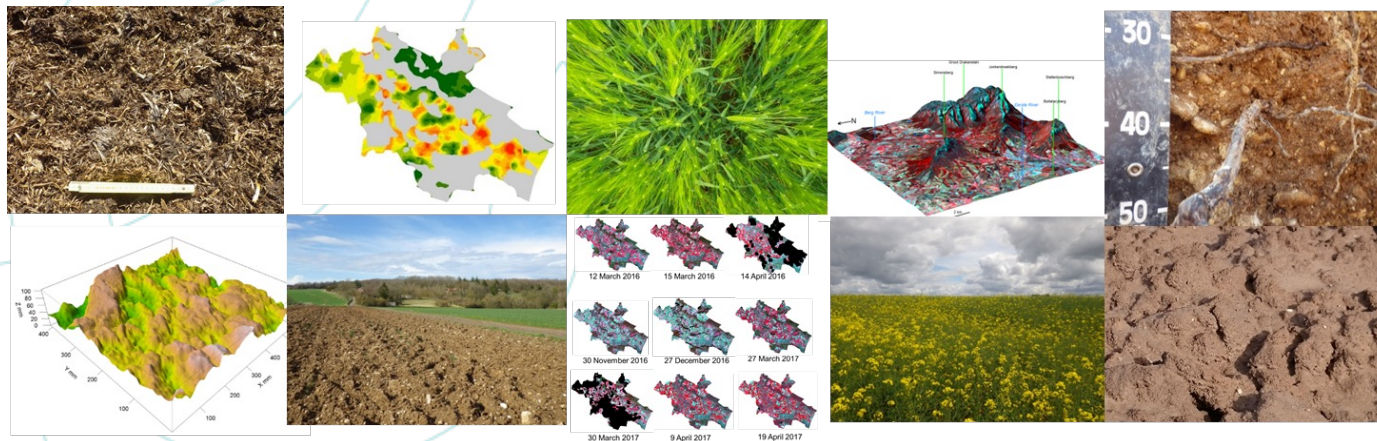


Colloque « Spatial et Environnement » - Campus Agro Paris Saclay

➤ Cartographie du carbone organique des sols agricoles via les satellites

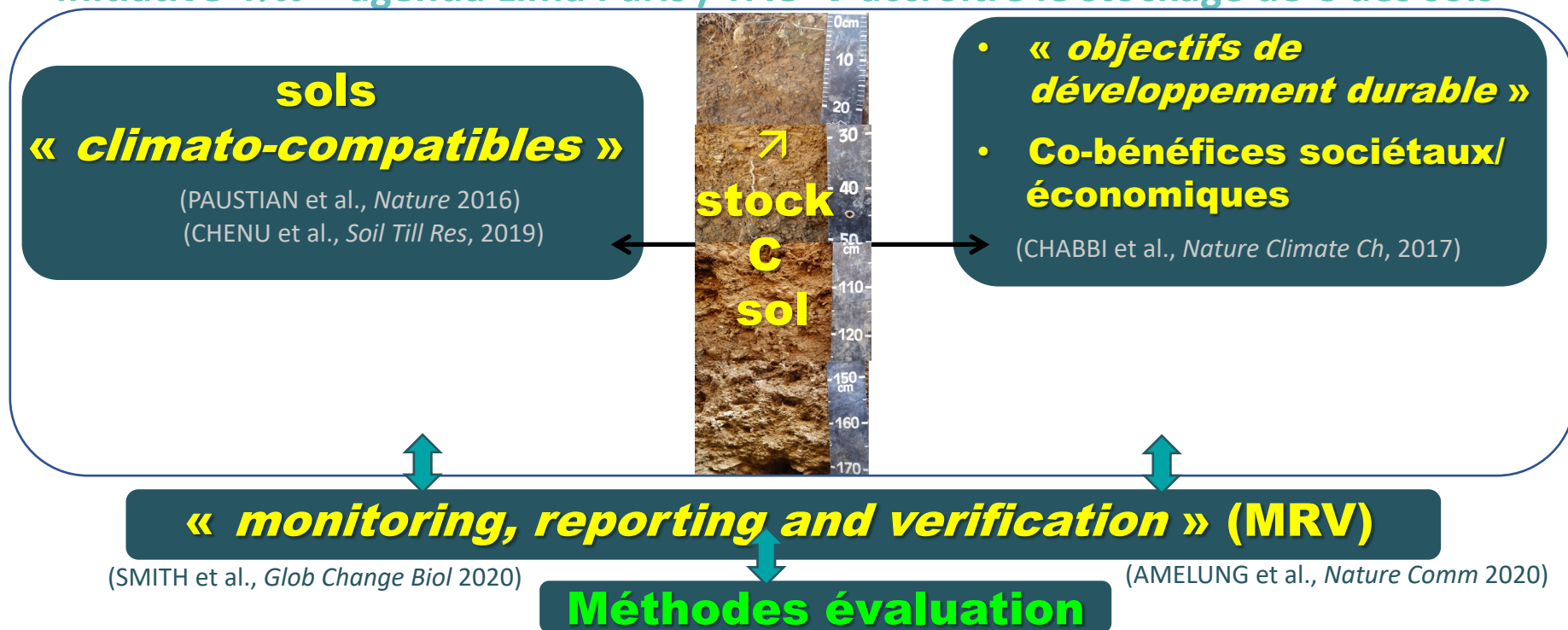


Emmanuelle VAUDOUR

UMR 1402 INRAE/AgroParisTech « ECOSYS », Université Paris-Saclay
Pôle sol, Bât. F, centre INRAE Versailles-Saclay
22, Place de l'Agronomie – 91120 Palaiseau

➤ Contexte général

Initiative 4‰ – agenda Lima Paris / FAO → accroître le stockage de C des sols



➤ Besoin de quantification des stocks de C du sol

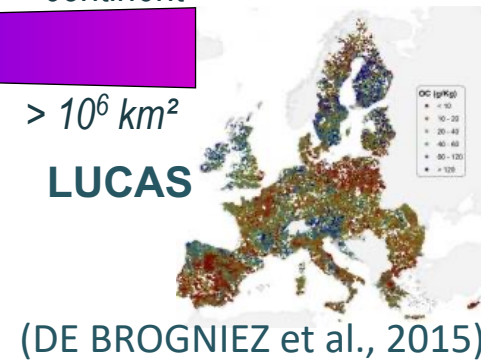
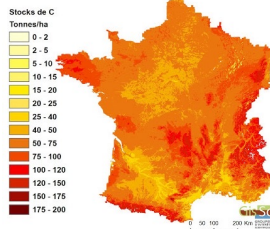
Mesures directes fastidieuses

$$[Stock\ C_{org}] = c(C_{org}) \cdot \text{épaisseur} \cdot \text{Dens app} (100 - \text{pierrosité}) \cdot 10^{-2}$$

(POEPLAU et al., 2017)



↳ **Manque niveaux détaillés**



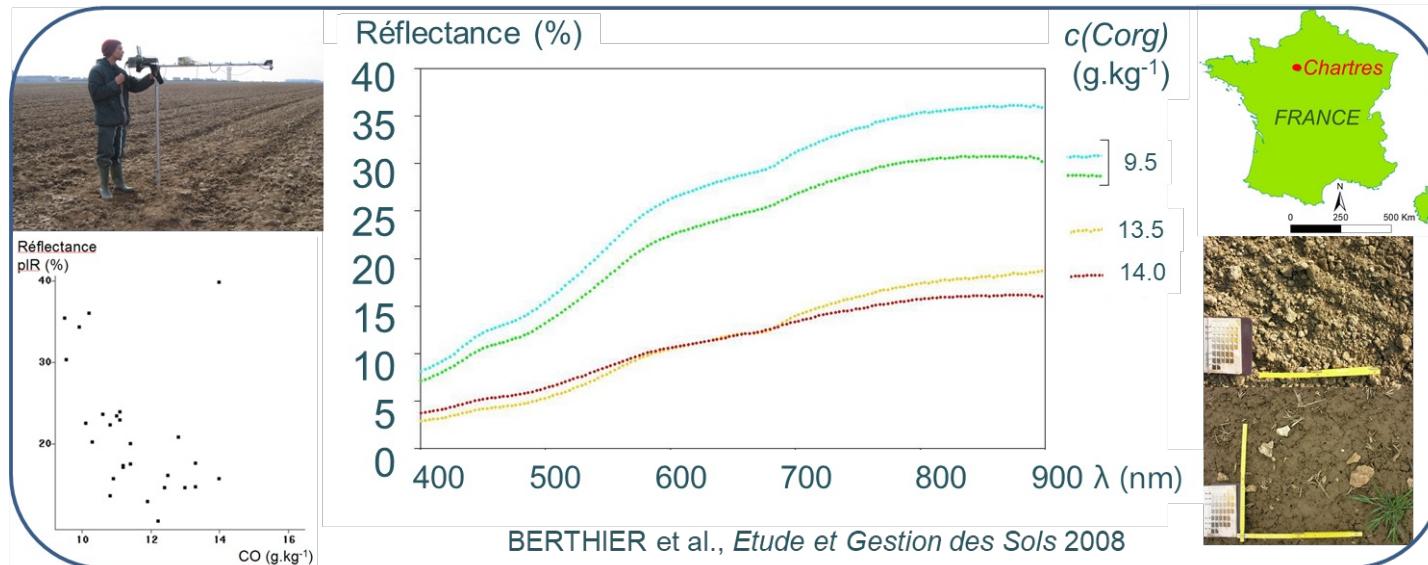
➤ Besoin de quantification des stocks de C du sol

$$[\text{Stock Corg}] = c(\text{Corg}) \cdot \text{épaisseur} \cdot \text{Dens app} (100 - \text{pierrosité}) \cdot 10^{-2}$$

c(Corg) influence la réflectance du sol

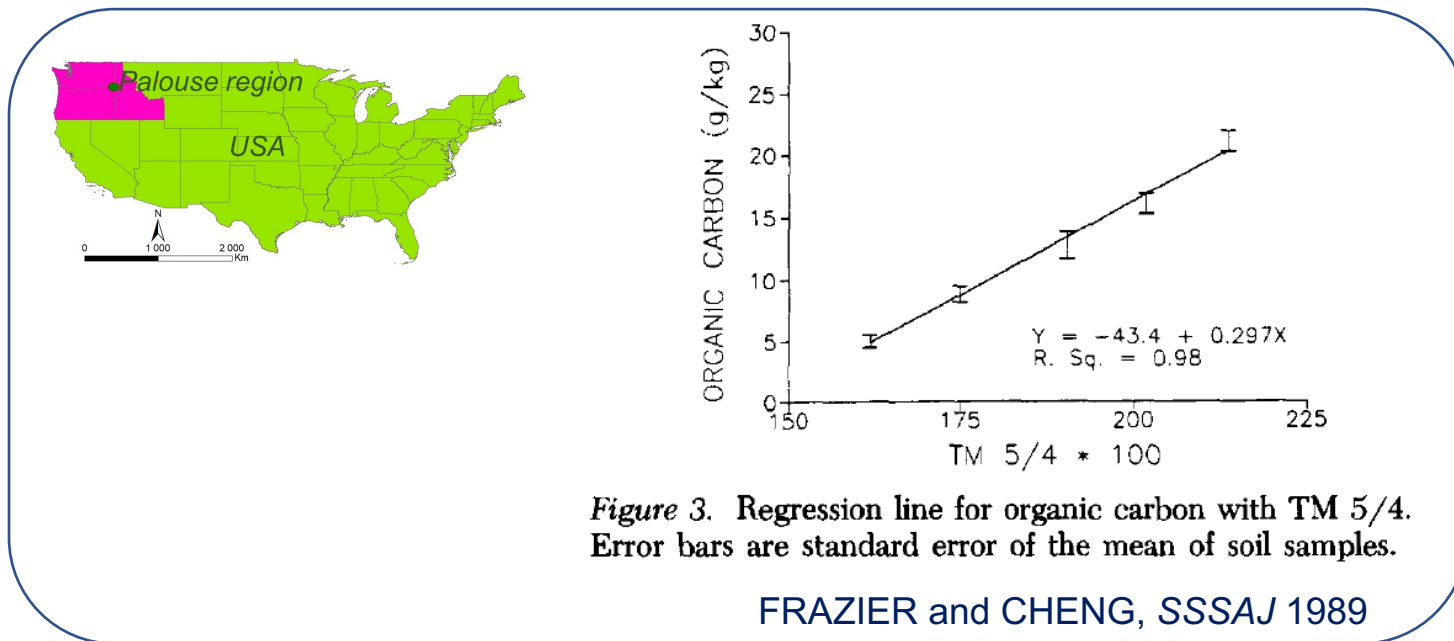
➤ Propriétés spectralement influentes

c(Corg) influence la réflectance du sol



➤ Propriétés spectralement influentes

...y compris depuis l'espace



➤ Propriétés spectralement influentes

...Corg : pas la seule propriété spectralement influente

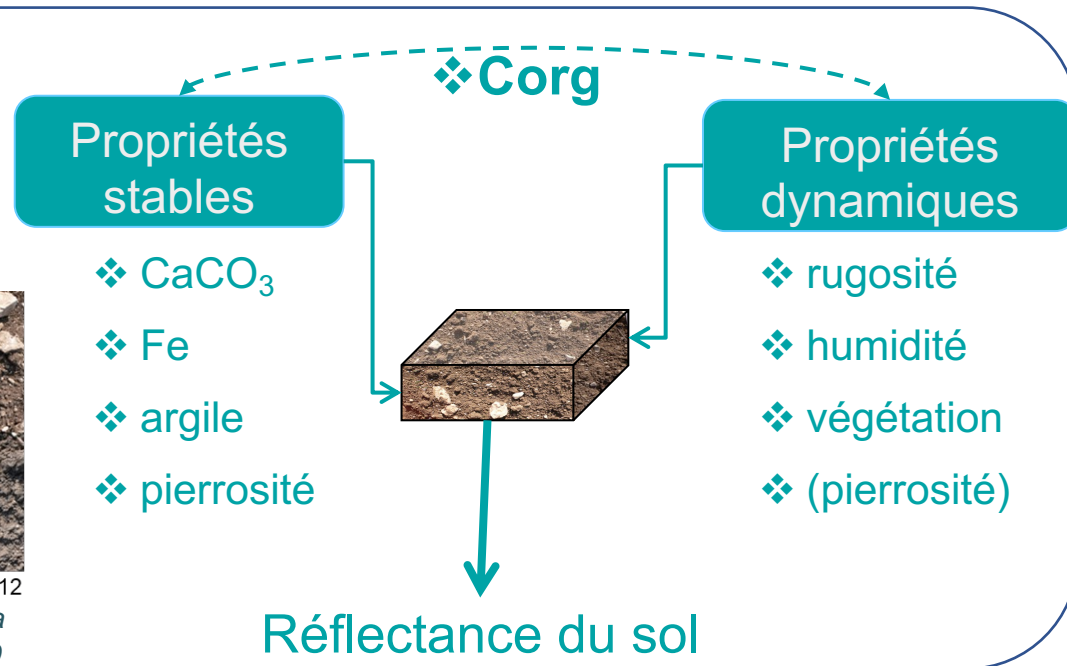


VAUDOUR E.,
GIRARD MC., 2010.
Pédologie, chapter
23. In Girard MC &
Girard CM,
Traitement des
images de
télétection,
Dunod, Paris.



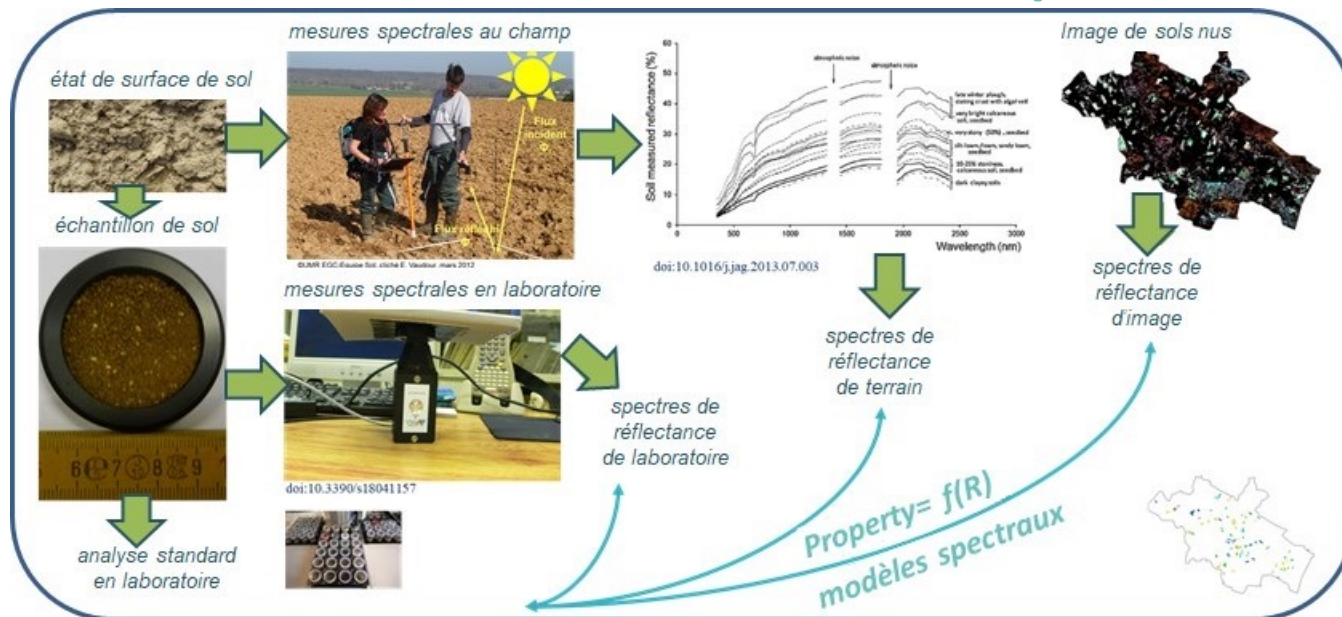
©E. Vaudour – March 2012

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



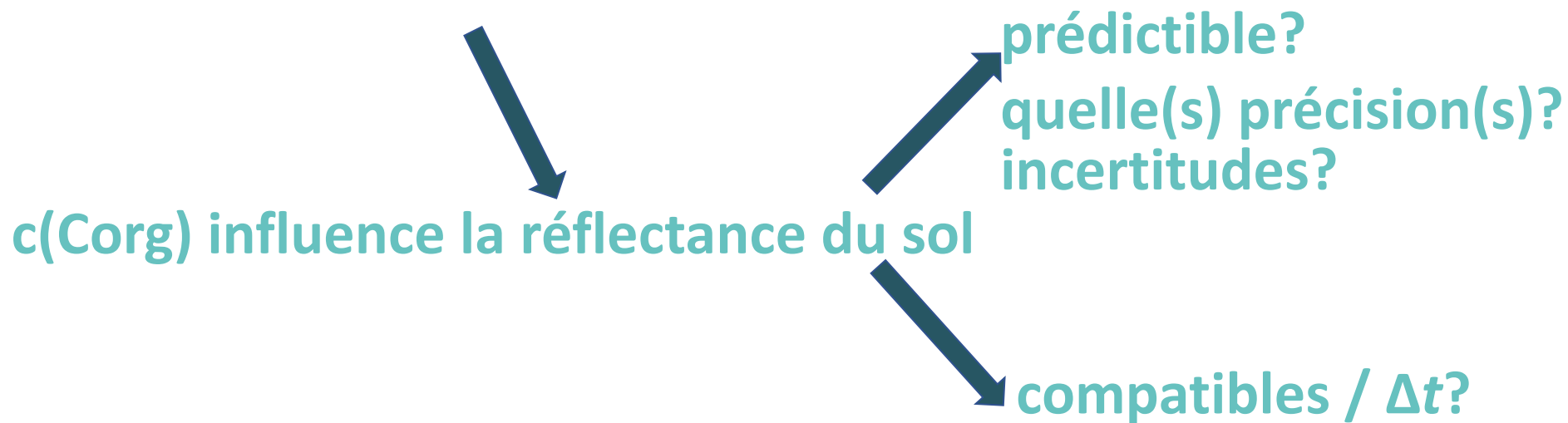
➤ Modèles spectraux de propriétés de sols

Différents niveaux d'observations spectrales



➤ Besoin de quantification des stocks de C du sol

$$[\text{Stock Corg}] = c(\text{Corg}) \cdot \text{épaisseur} \cdot \text{Dens app} (100 - \text{pierrosité}) \cdot 10^{-2}$$



➤ Approches satellitaires

Essor récent lié à la constellation Sentinel-2

AGBU et al., 1990 Statistical Comparison of SPOT Spectral Maps with Field Soil Maps

Patrick A. Agbu,* Donald J. Fehrenbacher, and Ivan J. Jansen



NANNI & DEMATTE 2006 Spectral Reflectance Methodology in Comparison to Traditional Soil Analysis

SULLIVAN et al. 2005



Marcos Rafael Nanni and José Alexandre M. Dematté*



CASTALDI et al. 2016, 2019
GHOLIZADEH et al. 2018
VAUDOUR et al. 2019



HUANG et al. 2007

Total carbon mapping in glacial till soils using near-infrared spectroscopy, Landsat imagery and topographical information

Xuewen Huang^a, Subramanian Senthilkumar^a, Alexandra Kravchenko^{a,*}, Kurt Thelen^a, Jianguo Qi^b

BERTHIER et al. 2008

GOMEZ et al. 2008

Soil organic carbon prediction by hyperspectral remote sensing and field vis-NIR spectroscopy: An Australian case study

Cécile Gomez^{a,b,*}, Raphael A. Viscarra Rossel^b, Alex B. McBratney^b



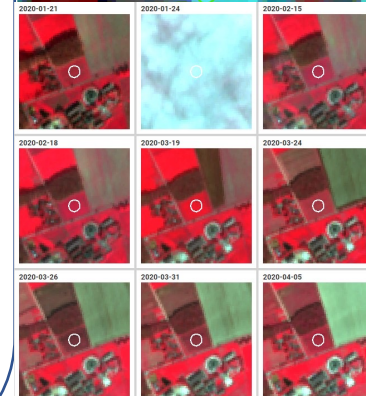
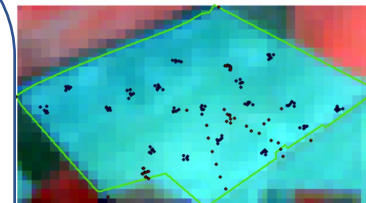
VAUDOUR et al., 2022 -

<https://doi.org/10.3390/rs14122917>



CASA et al. 2013

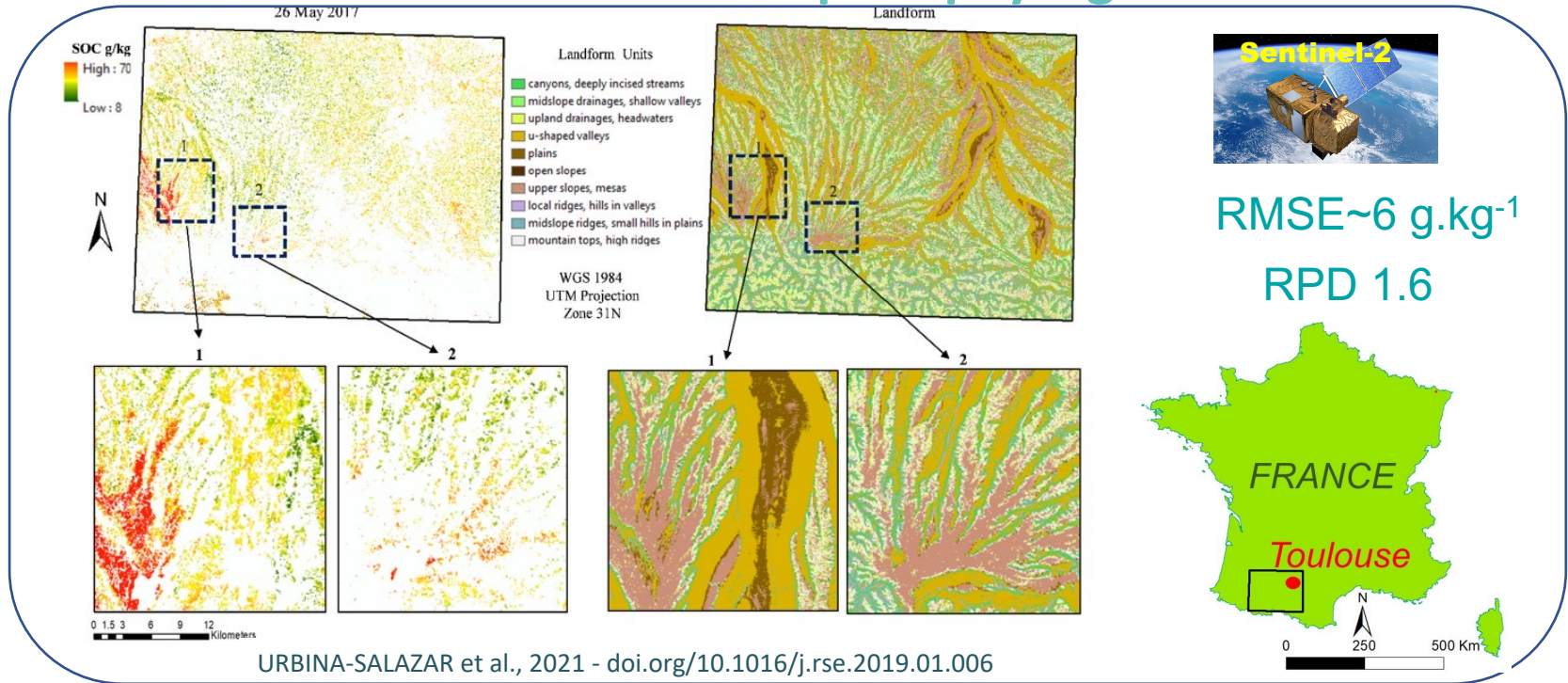
VAUDOUR et al. 2013



<https://sentinels.copernicus.eu/>

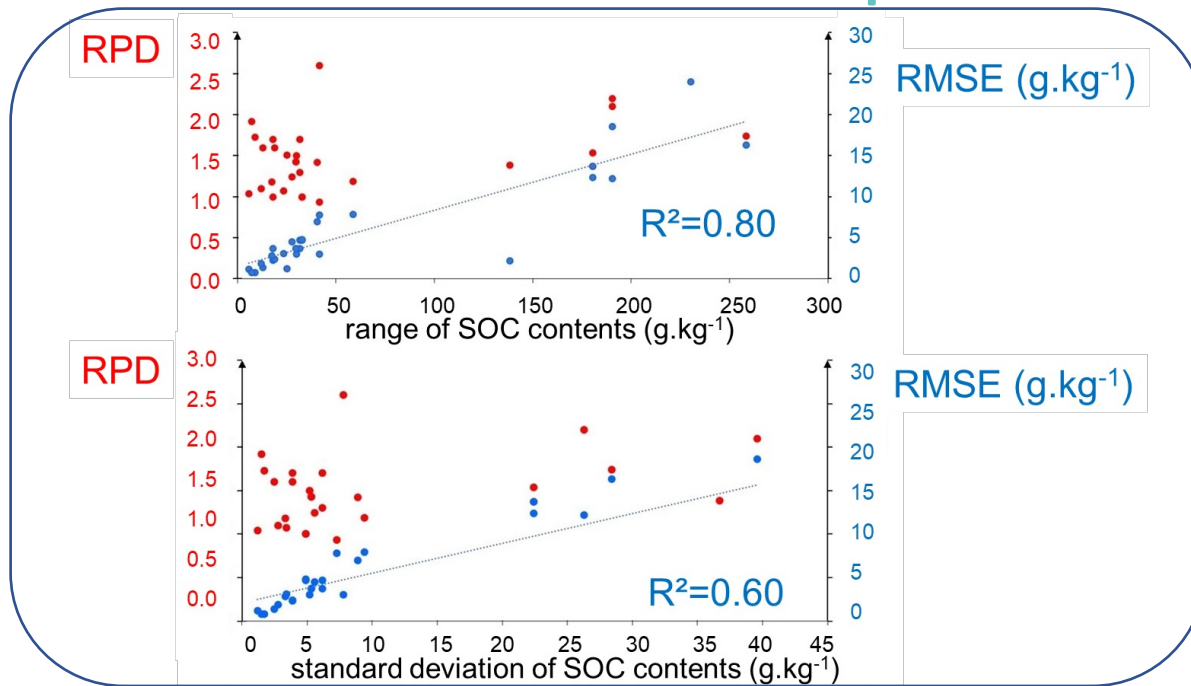
➤ Approches satellitaires

Bonne restitution des unités pédopaysagères



➤ Approches satellitaires

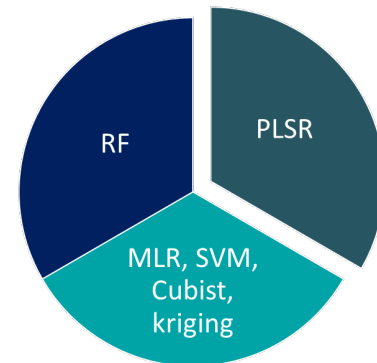
Performance des modèles spectraux



VAUDOUR et al., 2022 - <https://doi.org/10.3390/rs14122917>

Residual prediction deviation

$$RPD = \frac{\sigma_y}{RMSE}$$

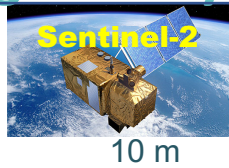


➤ Approches satellitaires

Performance ≠ selon agroécosystèmes VAUDOUR et al., 2019 - doi.org/10.1016/j.rse.2019.01.006

sols tempérés

Plaine de Versailles
221 km²



Basse vallée de la Peyne
48 km²

sols méditerranéens

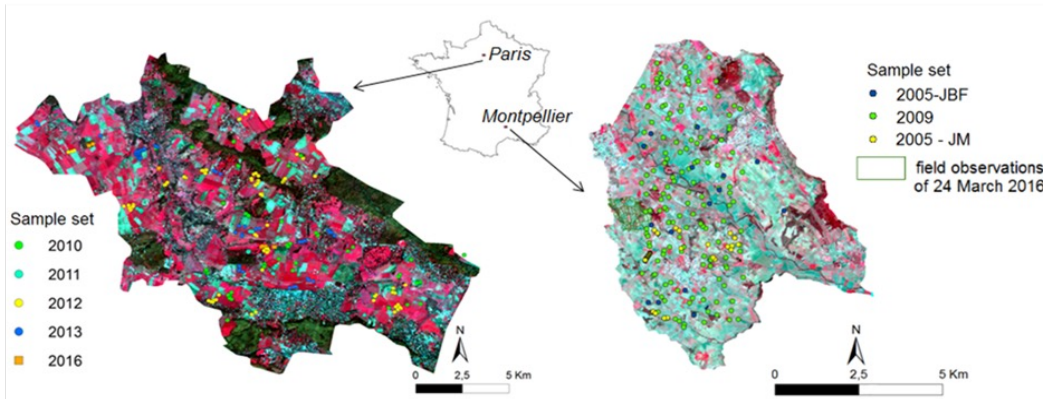


haplic luvisols

rendzic, calcaric cambisols

colluvic cambisols

colluvic cambisols (stagnic)



colluvic cambisols (arenic)

chromic luvisols

calcaric leptosols

calcisols

c(Corg) médiane 14.4 g.kg⁻¹

8.9 g.kg⁻¹

Coulouma, 2008

➤ Approches satellitaires

Performance et superficie en sol nu ≠ selon dates

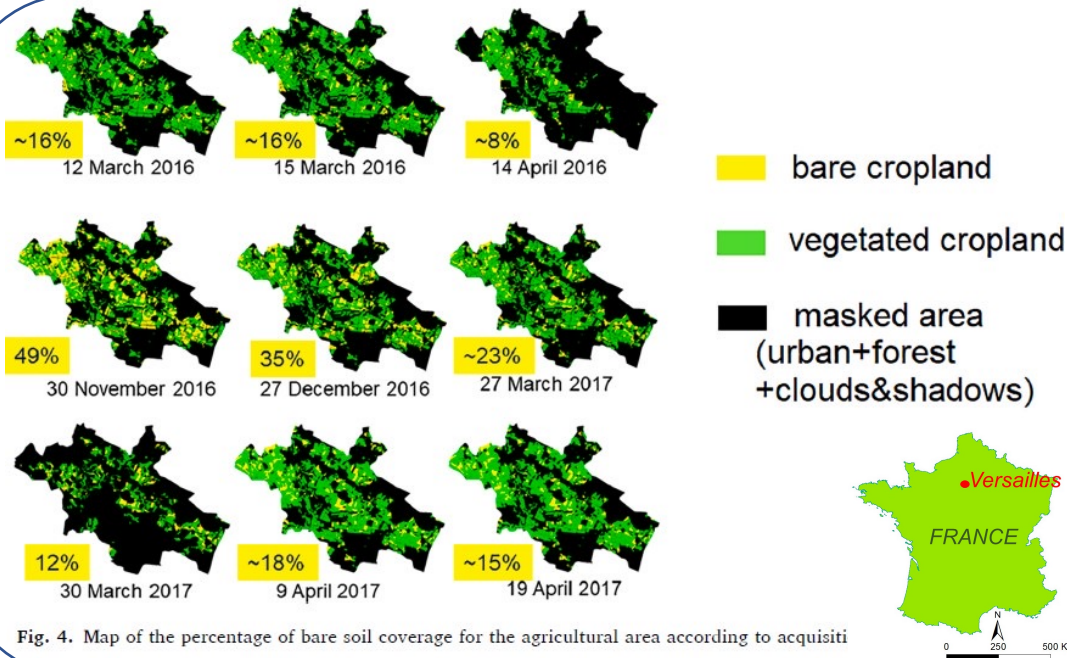


Fig. 4. Map of the percentage of bare soil coverage for the agricultural area according to acquisition date.

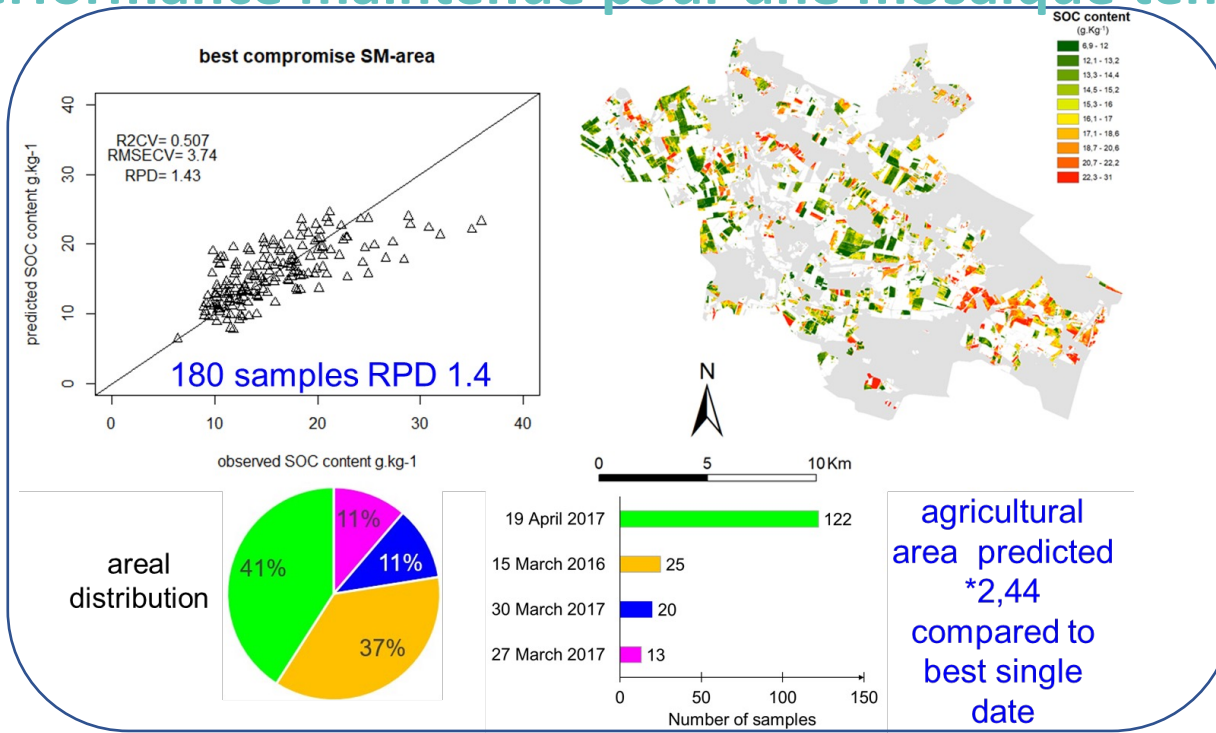
VAUDOUR et al., 2021 - doi.org/10.1016/j.jag.2020.102277

❖ Nombre limité de points en sol nu

➔ besoin de mosaïquage temporel

➤ Approches satellitaires

Performance maintenue pour une mosaïque temporelle



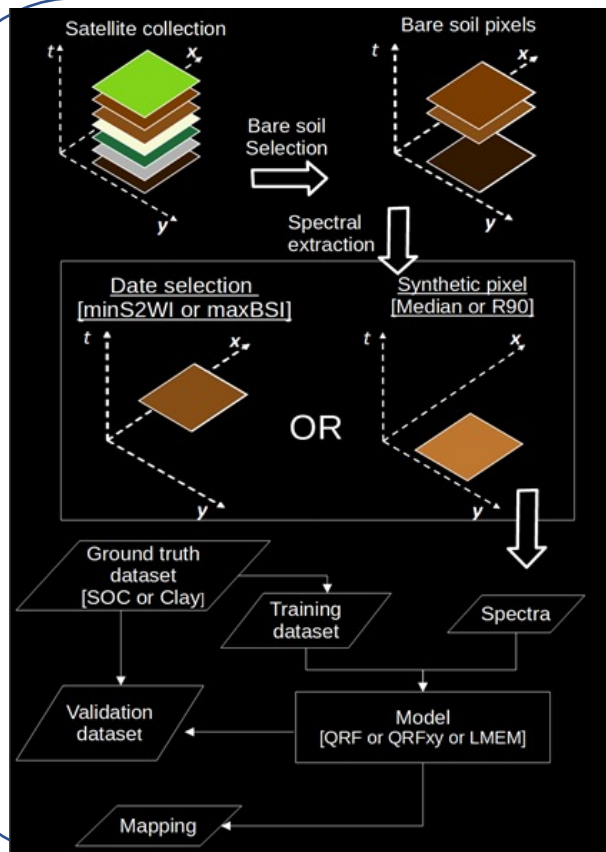
❖ critères:

- humidité moyenne/date (issue de S1)
- superficie en sol nu

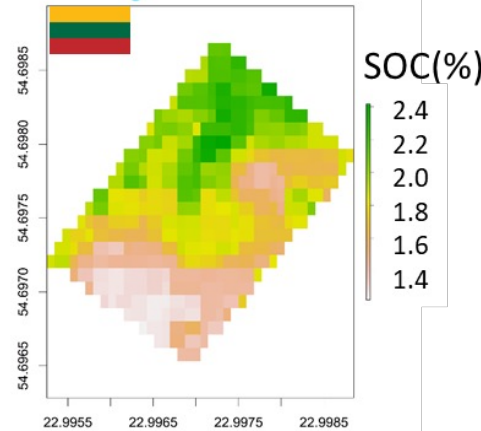
VAUDOUR et al., 2021 – doi.org/10.1016/j.jag.2020.102277

➤ Approches satellitaires – niveau local

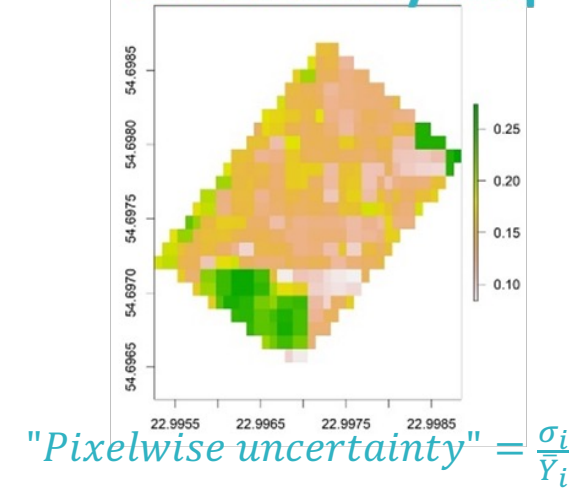
Mosaïquage temporel



Map of SOC content



Uncertainty map



❖ Stratégie R90

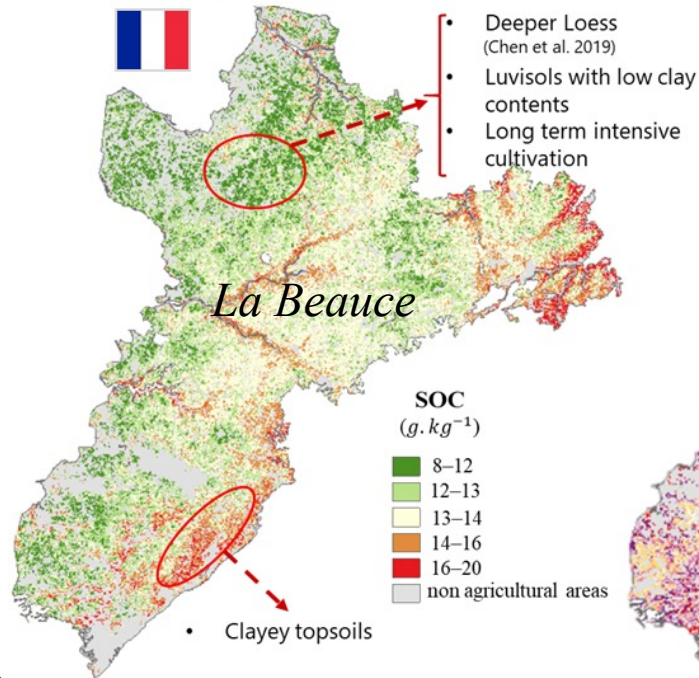
❖ QRF avec coordonnées xy

CASTALDI et al., 2023 - doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2023.03.016

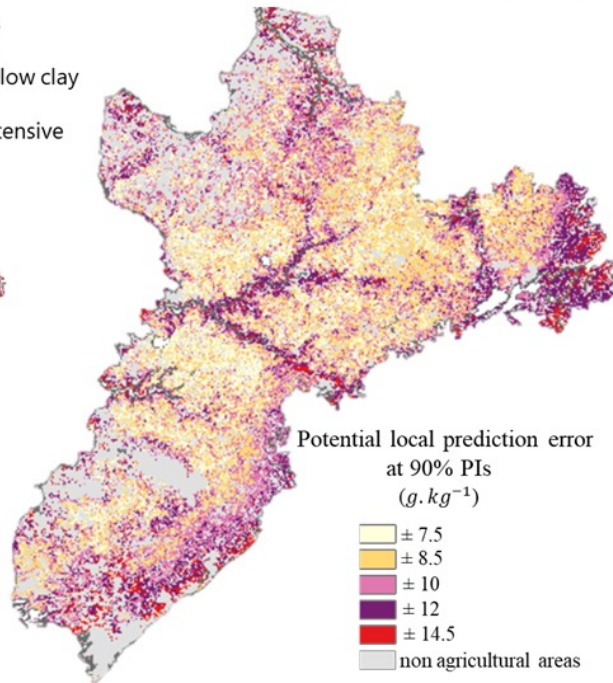
➤ Approches satellitaires mixtes – niveau régional

Mosaïquage temporel 6 ans – 4838 km²

Map of SOC content



Uncertainty map



- ❖ Stratégie R90
- ❖ QRF
- ❖ Covariables relief+lithologie
- ❖ Importance gamma-ray

URBINA-SALAZAR et al., 2023 - doi.org/10.3390/rs15092410

Enjeux « brûlants »

/données spectrales

- ❖ Effets atmosphériques
- ❖ Capteurs hyperspectraux satellitaires
- ❖ banques de données spectrales



/données sols

- ❖ harmonisation méthodes analytiques
- ❖ stratégie échantillonnage /coût/densité spatiale



/caractérisation surface

- ❖ rugosité, humidité, résidus, etc...
- ❖ types de sols&composition
- ❖ pratiques agri

/méthodes calcul

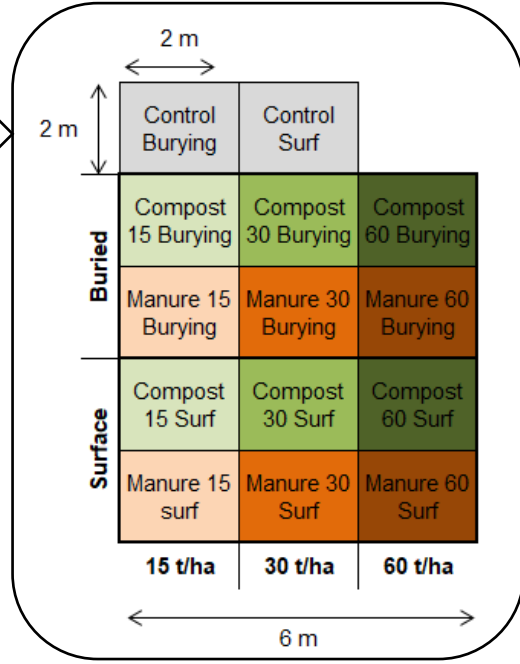
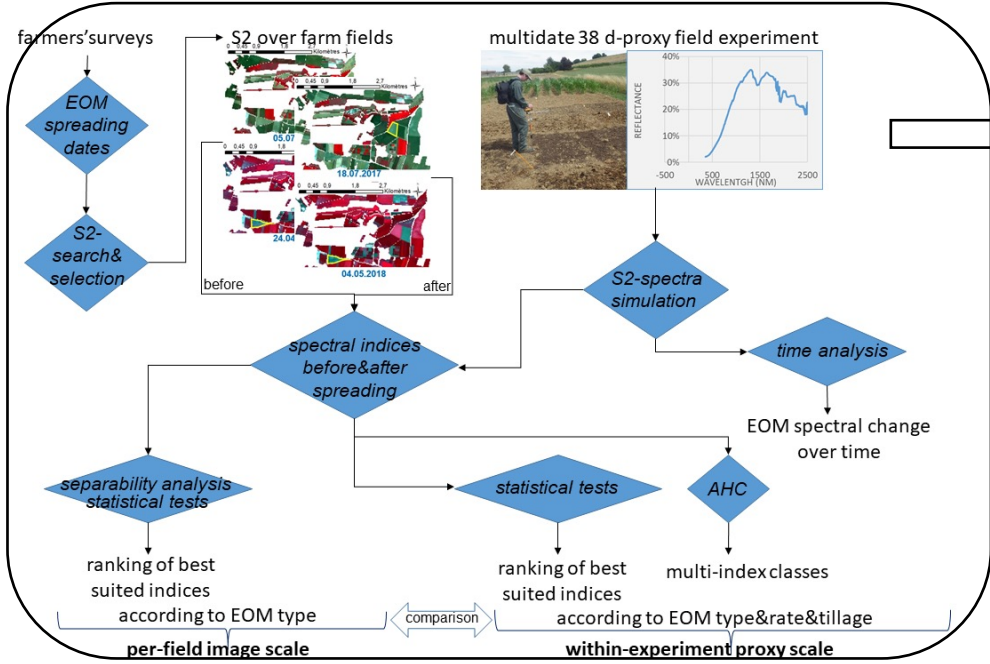
- ❖ algorithmes
- ❖ validation vs Δt
- ❖ domaine de validité dans l'espace spectral&spatial

Potential of Sentinel-2 Satellite Images for Monitoring Green Waste Compost and Manure Amendments in Temperate Cropland

Maxence Dodin¹, Hunter D. Smith^{1,2}, Florent Levavasseur¹, Dalila Hadjar¹, Sabine Houot¹ and Emmanuelle Vaudour^{1,*} [doi:10.3390/rs13091616](https://doi.org/10.3390/rs13091616)

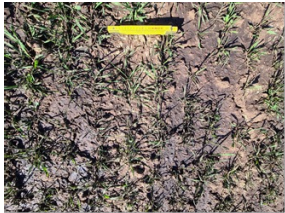
S2 spectra detect compost and manure

Protocol

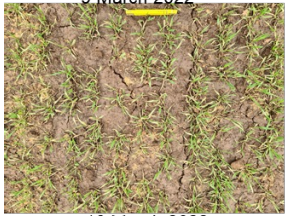


Dodin et al., 2021

Suivi des pratiques agricoles



9 March 2022



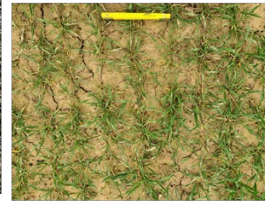
16 March 2022



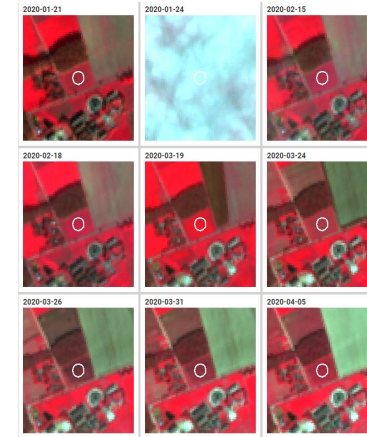
Digestate derived from methanization – 1 day after spreading



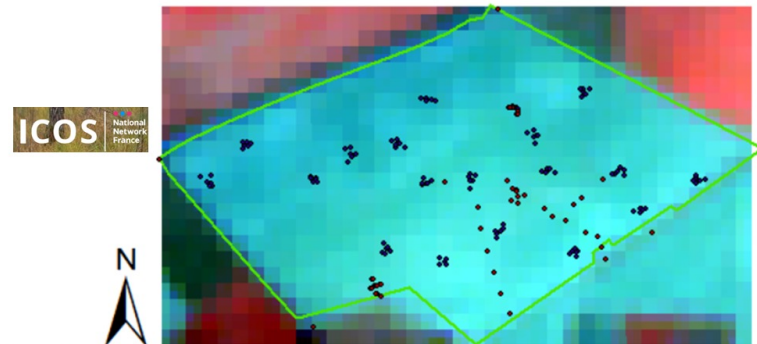
9 March 2022



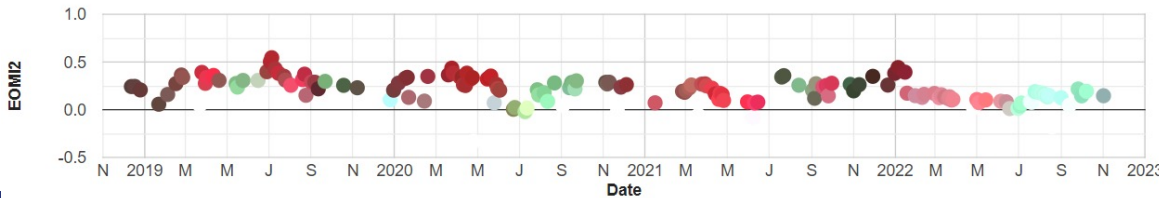
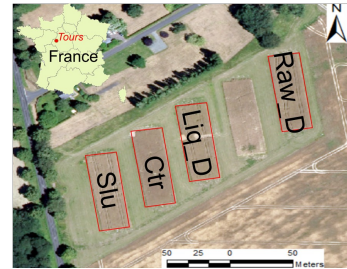
16 March 2022



thèse M. Dodin (dir E. Vaudour/F. Levavasseur)



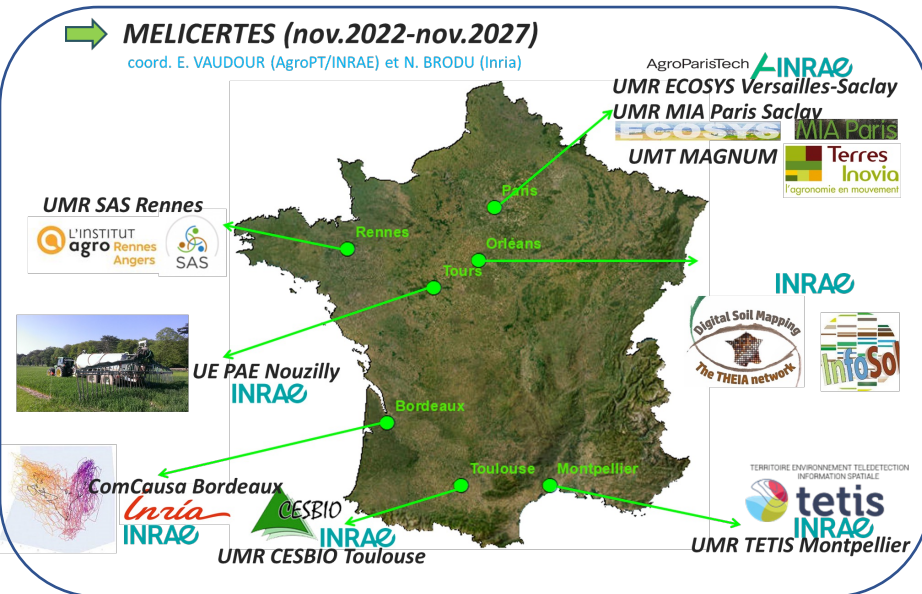
WP4 STEROPES



Travaux scientifiques en cours

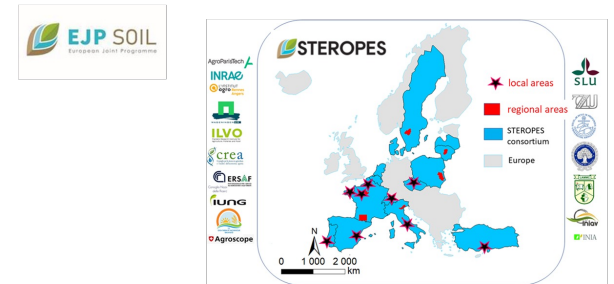
Projet national

➔ **MELICERTES (nov.2022-nov.2027)**
 coord. E. VAUDOUR (AgroPT/INRAE) et N. BRODU (Inria)



Projets internationaux

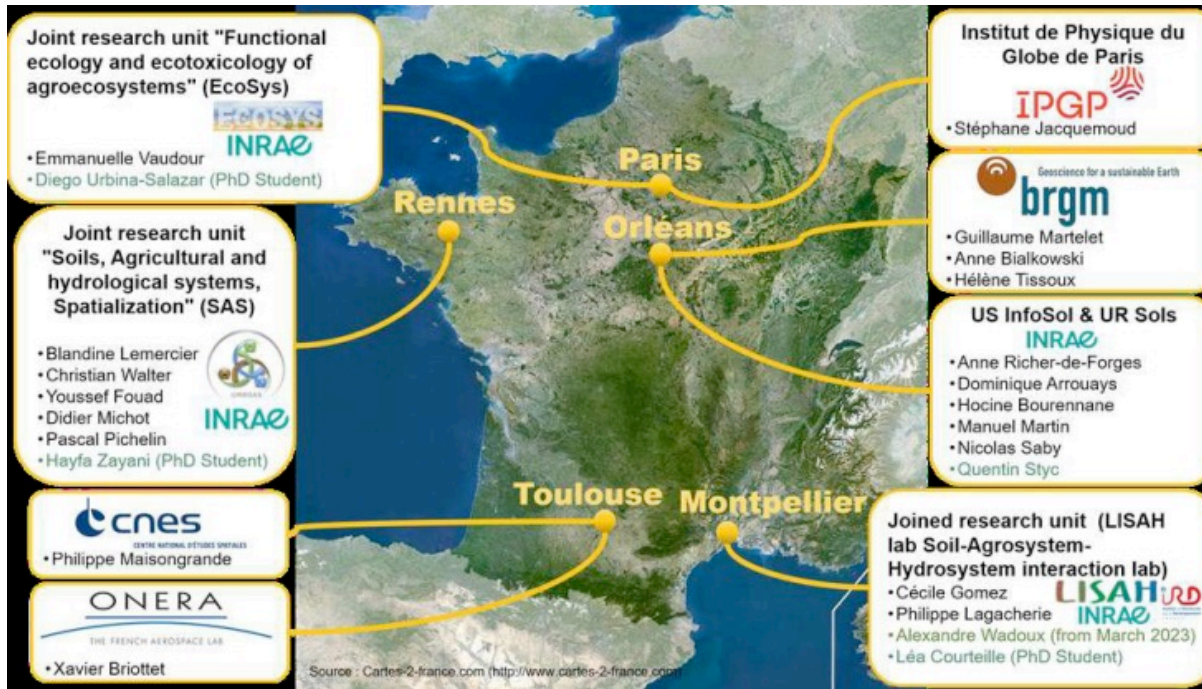
➔ **EJP-SOIL STEROPES (2021-2024)**
 coord. E. VAUDOUR (AgroPT/INRAE) et J. WETTERLIND (SLU)



➔ **EJP-SOIL SANCHOSTHIRST (2023-2026)**
 coord. M.J. MARQUES (Univ. Madrid)

➔ **EA Comcausa (2021-2024)**
 coord. N. BRODU et J. Crutchfield (University of California, Davis)

➤ Le CES Theia “Cartographie Numérique des sols”



Travaux réalisés dans le cadre de financements

- TOSCA CES-theia CNS
- TOSCA PLEIADES-CO
- TOSCA POLYPHEME
- PNTS EUSOP
- ANR ATCHA
- ANR RUEdesSOLS

Richer-de-Forges et al., 2022. ΠΕΔΟΜΕΤΡΟΝ n°46

Objectifs

- ◆ Fédérer les efforts de recherche sur les verrous méthodologiques à lever (incubateur)
- ◆ Elaborer les produits *GlobalSoilMap* sur le territoire national et les territoires régionaux
- ◆ Organiser le transfert de compétence vers de nouveaux acteurs

Richer-de-Forges A.C., Lagacherie P., Puissant A., Arrouays D., Bialkowski A., Bourennane H., Briottet X., Fouad Y., Gomez C., Jacquemoud S., Lemerrier B., Maisongrande P., Martelet G., Martin M.P., Michot D., Pichelin P., Saby N.P.A., Tissoux H., Vaudour E., Wadoux A.M.J.-C., Walter C., 2022. The Theia "Digital Soil Mapping" Scientific Expertise Centre of France. *Pedometron - Newsletter of the Pedometrics Commission of the IUSS*, 2022, 46, pp.4-8.

Conclusion

- ❖ données clés pour mettre à jour les cartes de Corg
- ❖ approches en cours de développement
- ❖ “intensification” dans le temps et l’espace
- ❖ prise en compte et suivi des pratiques agricoles





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