



SURVEILLANCE DU RETRAIT GONFLEMENT DE L'ARGILE PAR L'INSAR MULTI-TEMPOREL SUR LE SITE EXPÉRIMENTAL DE CHAINGY (LOIRET)

MONITORING OF CLAY SHRINKING AND SWELLING USING MULTI-TEMPORAL INSAR AT EXPERIMENTAL SITE OF CHAINGY (LOIRET)

André Burnol, Michael Foumelis, Sébastien Gourdier, Jacques Deparis and Daniel Raucoules

Google Earth

Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO

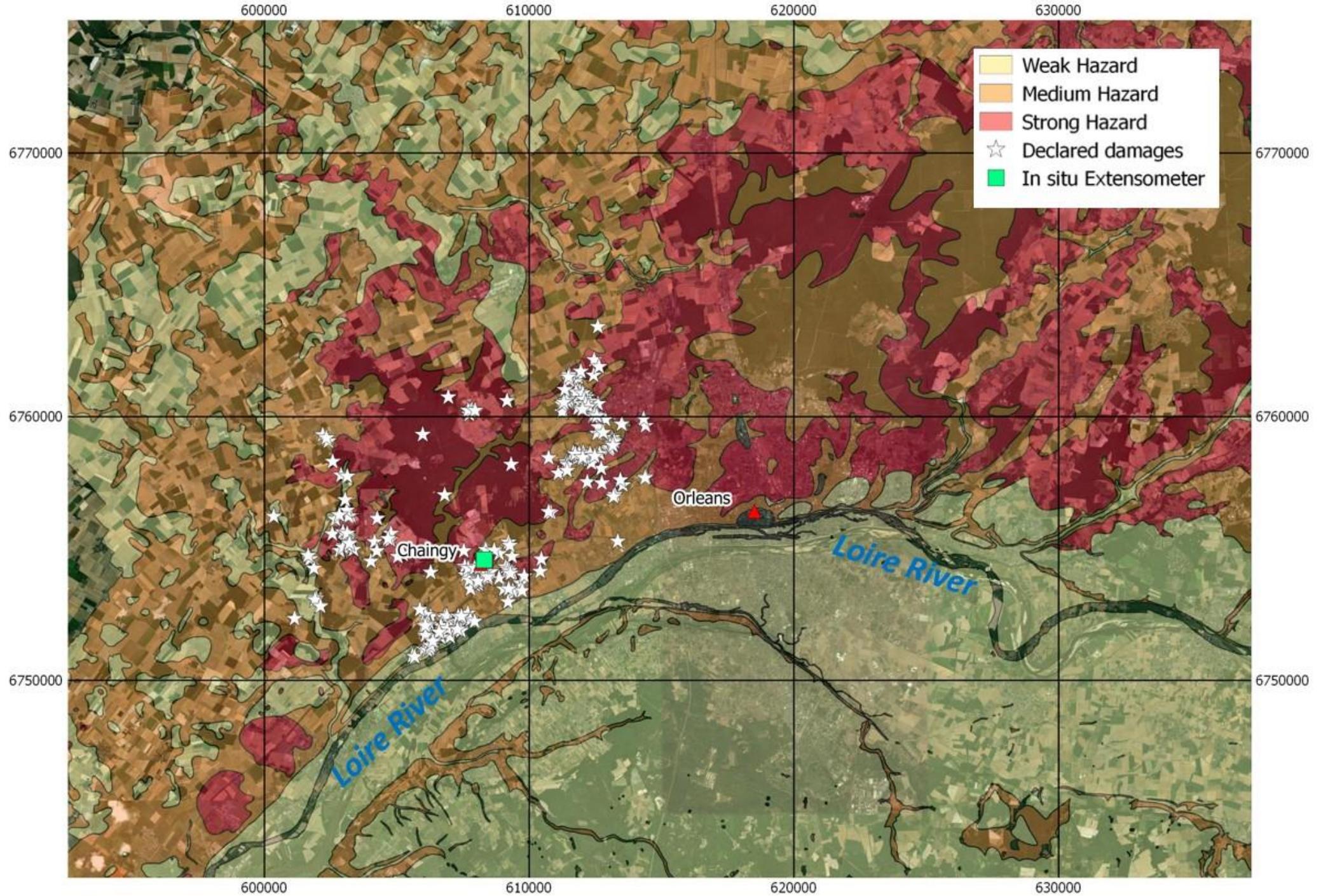
© 2020 Google

Image Landsat / Copernicus

© 2020 GeoBasis-DE/BKG



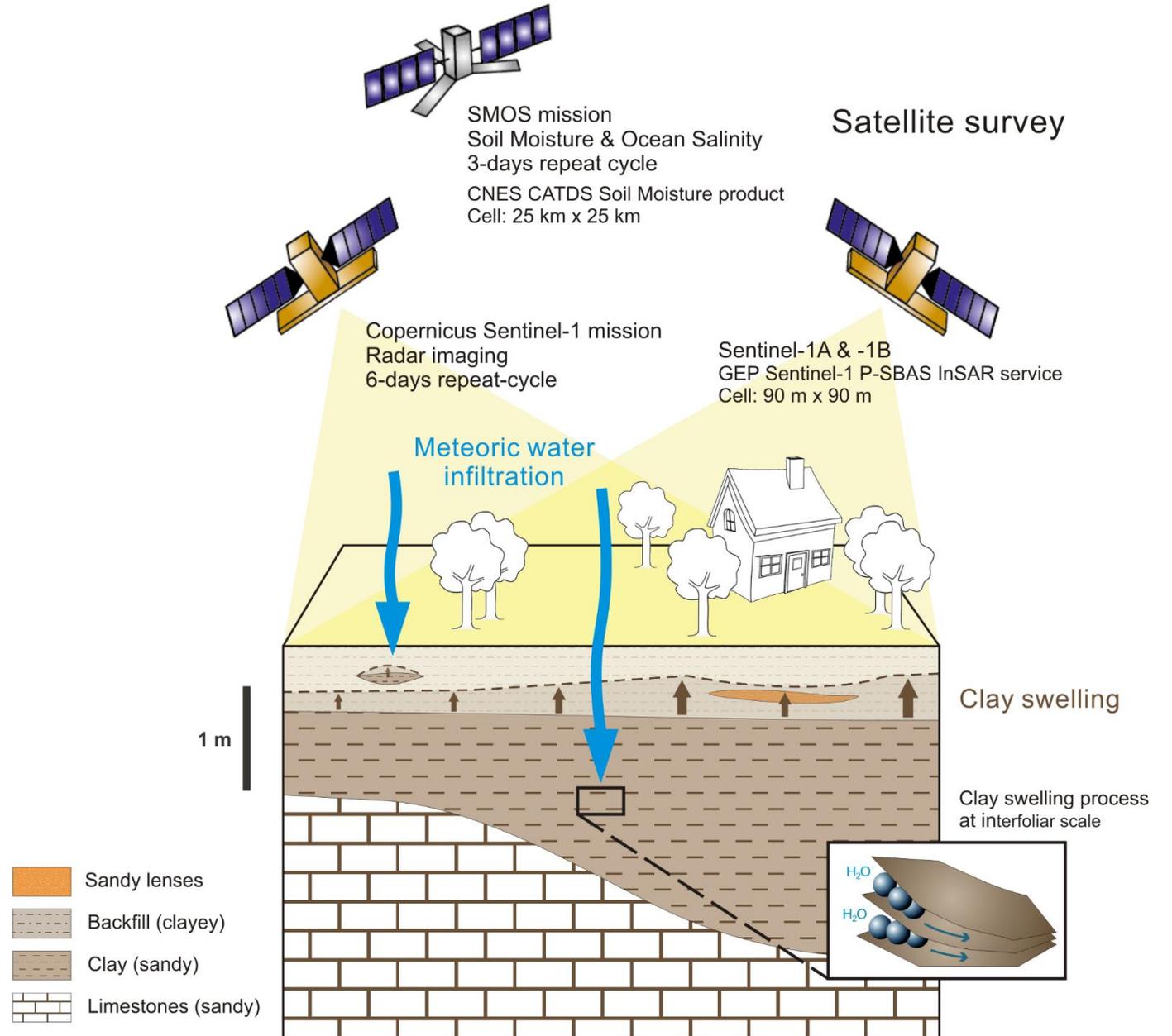
400 km



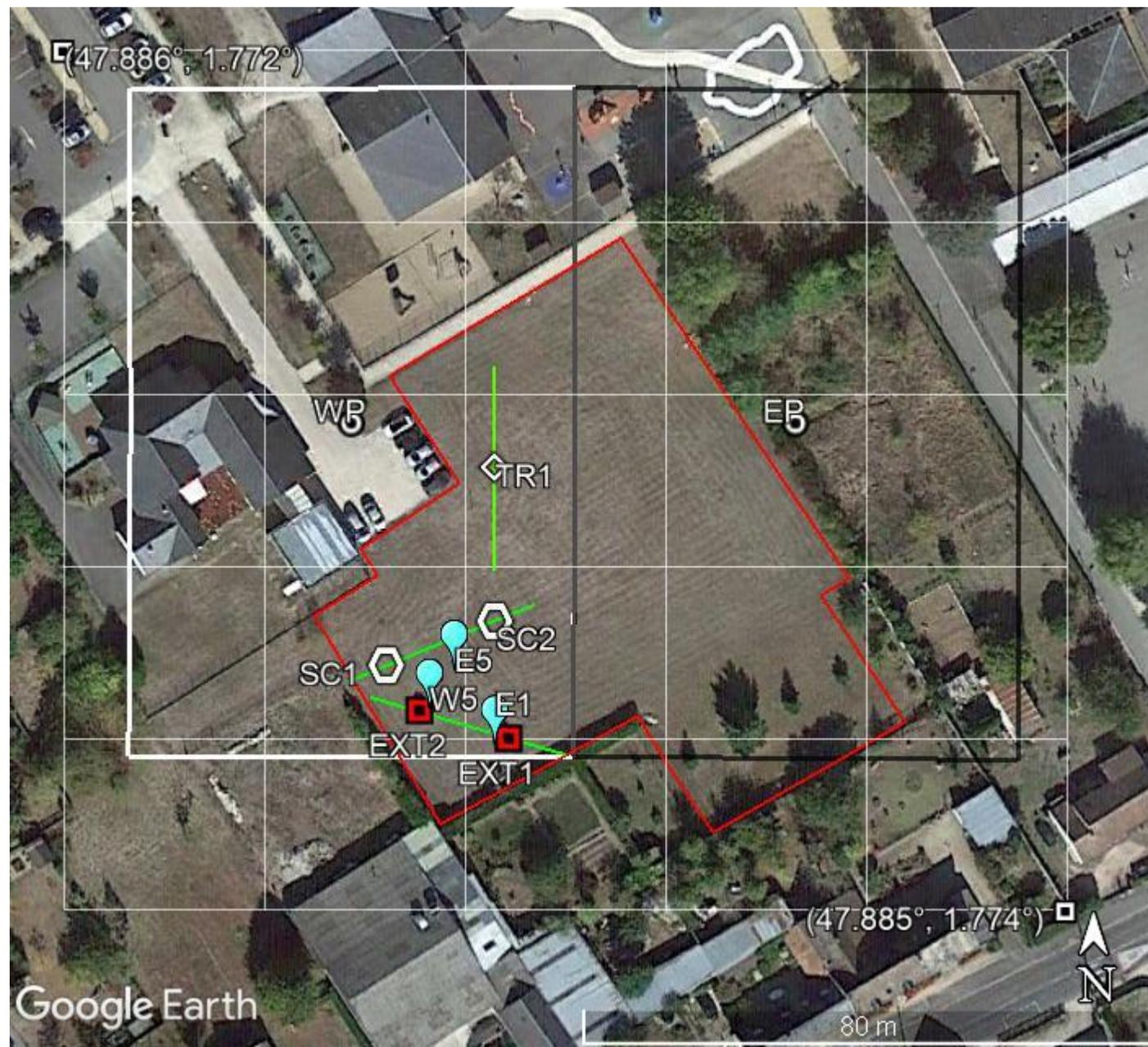
Evaluation du risque retrait-gonflement des argiles

- ✓ En France, le risque retrait-gonflement des argiles représente **le deuxième risque** après celui des inondations au niveau du montant des remboursements versés ces dernières années par les assurances. *La sécheresse observée durant l'été 2022 aura certainement pour conséquence une hausse des dégâts sur les maisons ou les bâtiments en surface dans de nombreuses régions en France métropolitaine.*
- ✓ En 2010, le BRGM a publié une première carte du risque retrait/gonflement en France, basée notamment sur **les cartes géologiques 1:50 000**, sur les **déclarations de sinistres**, ainsi que sur **d'autres caractérisations des sols** (compositions minéralogiques, sondages...).
- ✓ En 2016, un nouveau site expérimental a été instrumenté avec deux extensomètres ainsi que des capteurs d'humidité du sol à environ 1m de profondeur. Après trois années d'acquisitions de données entre 2016 et 2019, le BRGM a pu tester et valider **une méthode innovante de suivi du retrait/gonflement** à l'aide de la **téledétection satellitaire** (Sentinel-1, SMOS)

Surveillance par un réseau de satellites : Sentinel 1A/1B, SMOS

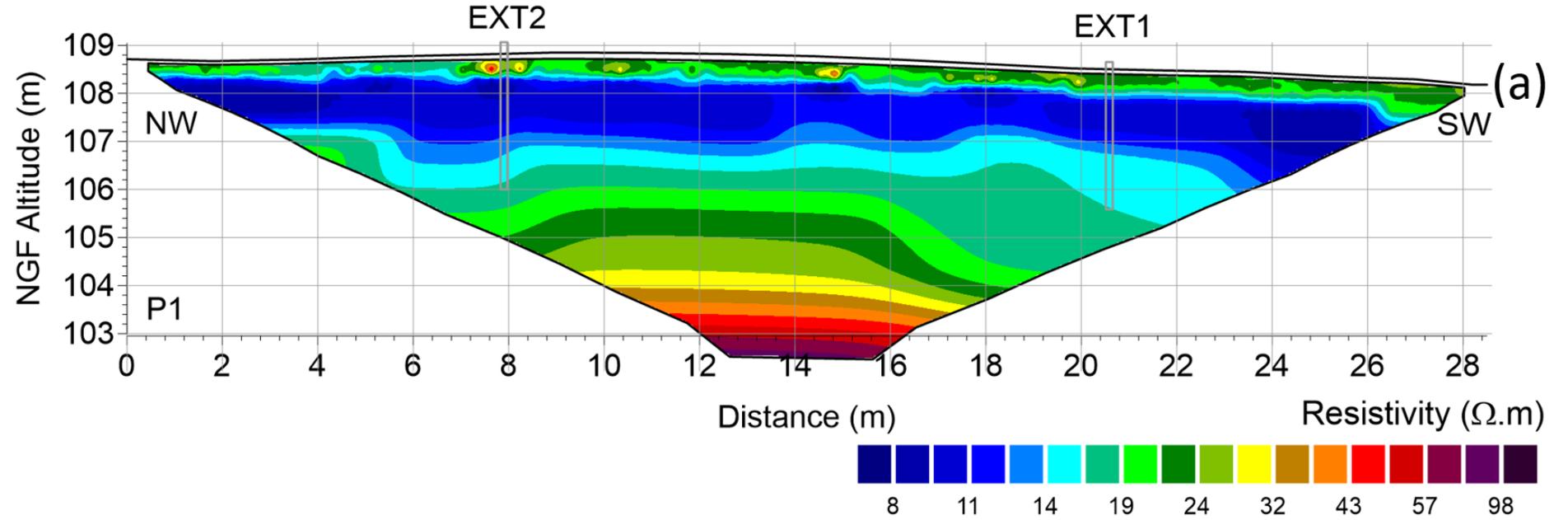


- 2 extensomètres **EXT1** et **EXT2**
- Plusieurs capteurs d'humidités du sol à ~1m de profondeur (ex. **E1**, **E5**, **W5**)
- 2 carottes **SC1** et **SC2**
- 3 profils 2D de mesures de **résistivités** du sous-sol à l'aide d'électrodes en surface

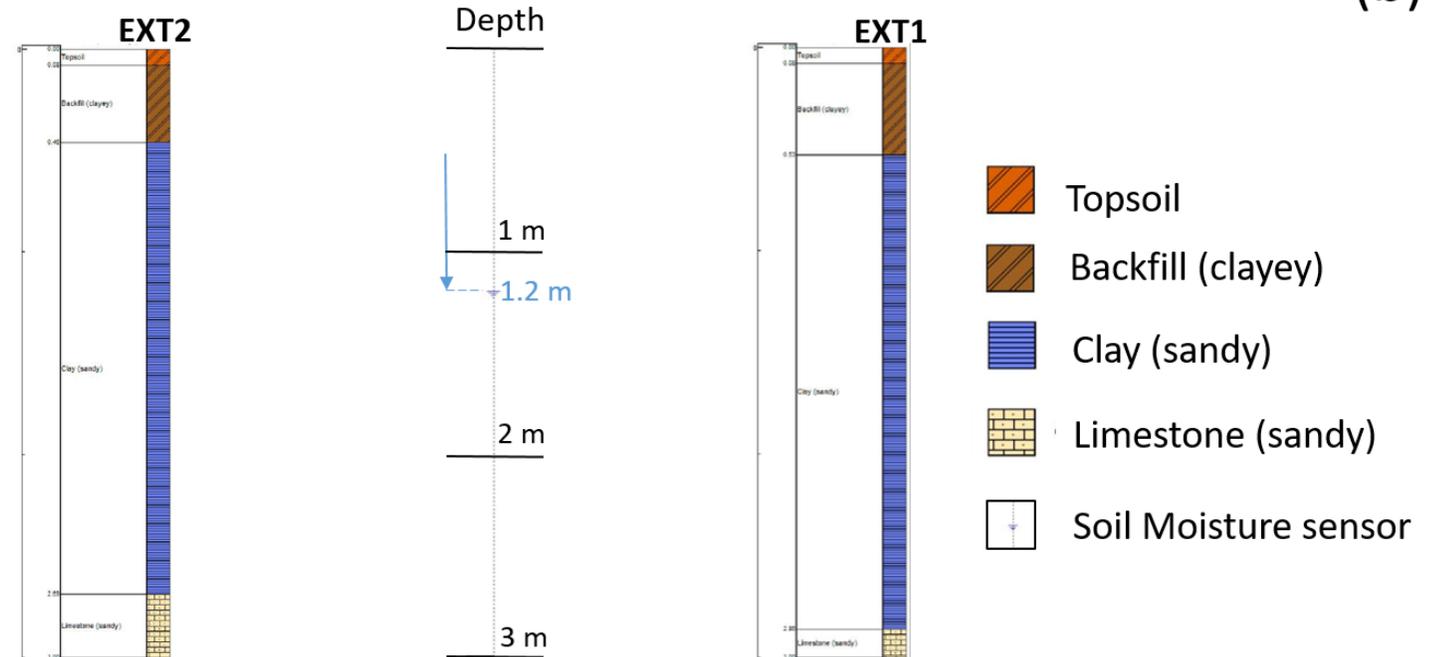


- 2 cellules de 90m sur 90m analysées par interférométrie satellitaire (**Sentinel 1A/1B**)
- 1 cellule de 25km sur 25km analysée pour une humidité du sol par le satellite **SMOS**





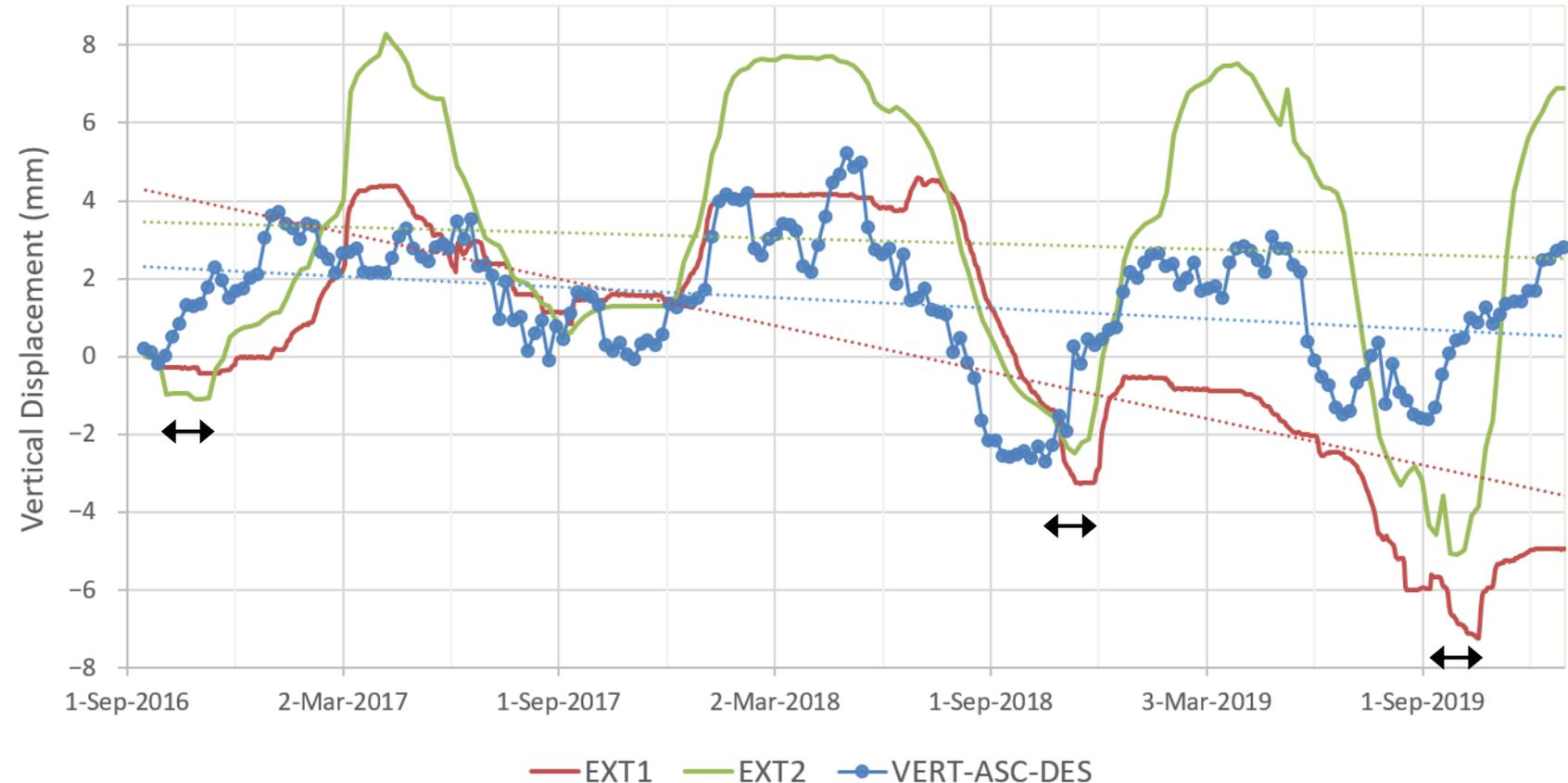
(b)



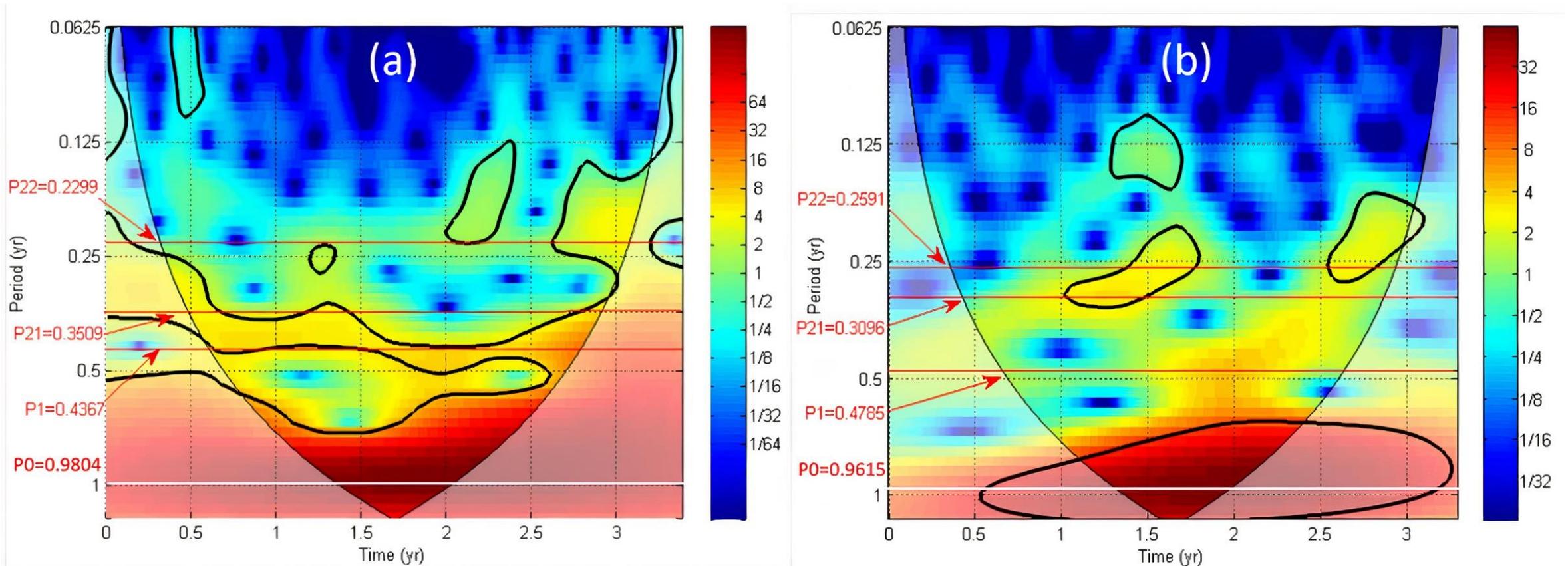
➤ Comparaison de l'épaisseur et de la profondeur de la couche d'argile au niveau des deux extensomètres EXT1 et EXT2

Déplacement vertical mesuré par les deux extensomètres

- Forte **hétérogénéité** spatiale du retrait gonflement (EXT1, EXT2)
- Bonne **corrélation** globale avec la mesure interférométrique
- **Décalage temporel** observé sur la parcelle 90m sur 90m



Analyse par transformation par ondelette des temps caractéristiques de retrait/gonflement

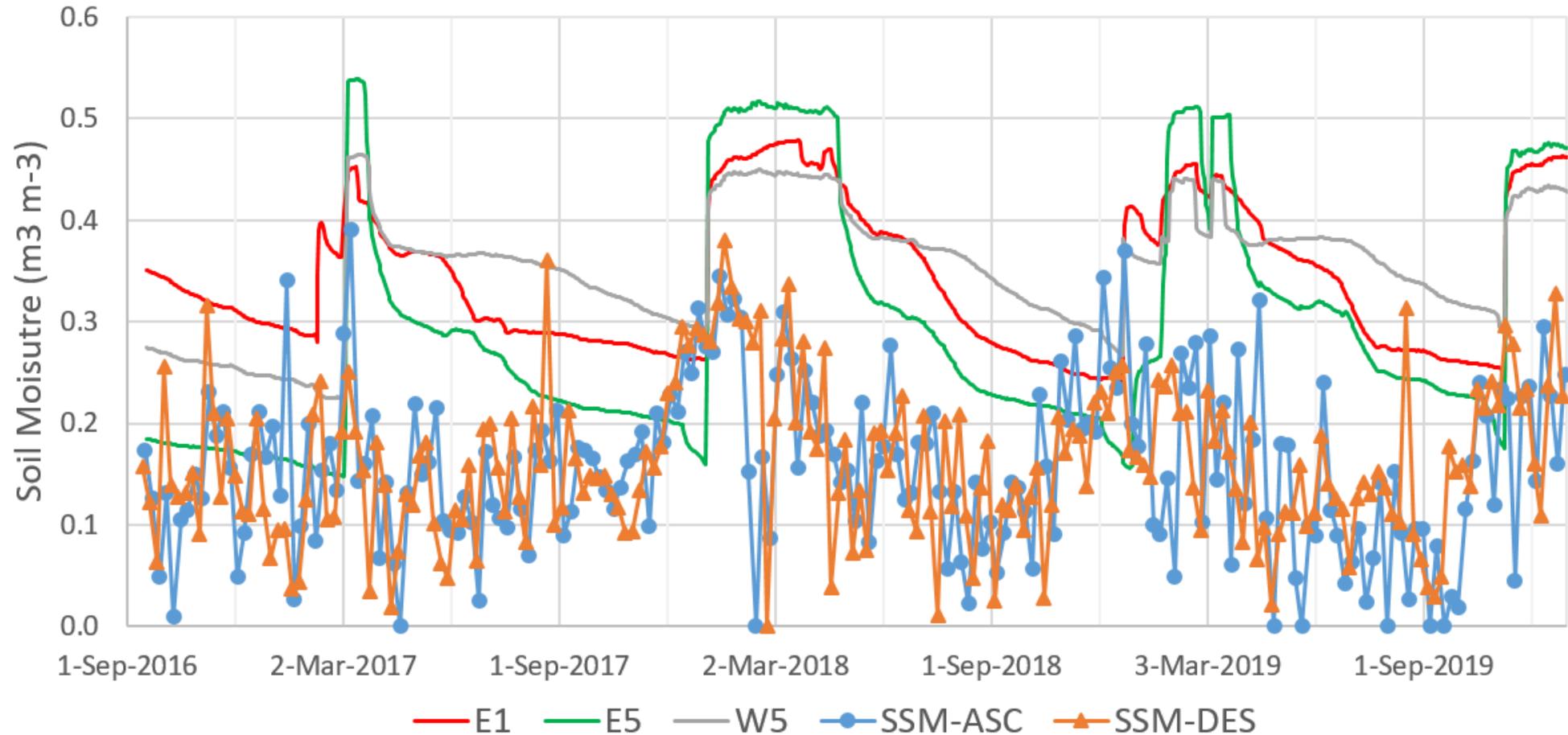


The **continuous wavelet transform (CWT)** during 3.3 years (September 2016–December 2020) are shown for two vertical displacements: (a) **EXT2** and (b) **VERT-ASC-DES at WP**.

The thick contour designates the 5% significant level against red noise (see Materials and Methods section). The Cone of Influence (COI) where edge effects might distort the picture is shown as a lighter shadow

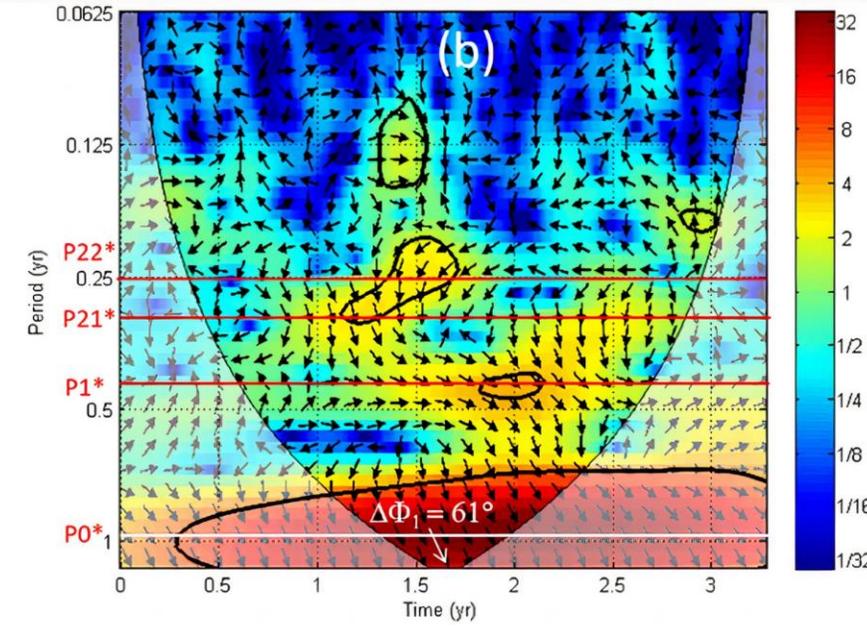
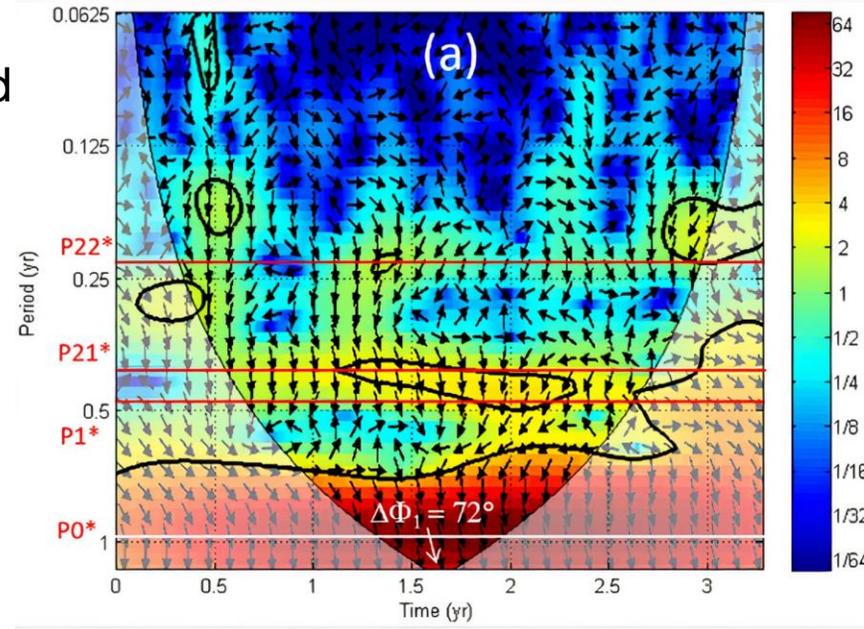
Humidité du sol mesurée :

- *in situ* à 1,2 m de profondeur (E1, E5, W5)
- par SMOS (Surface Soil Moisture)



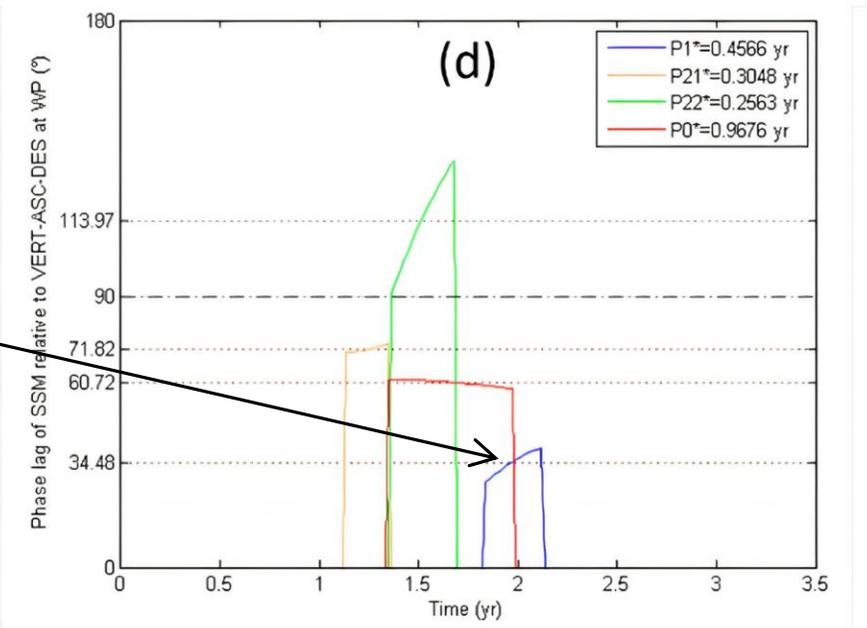
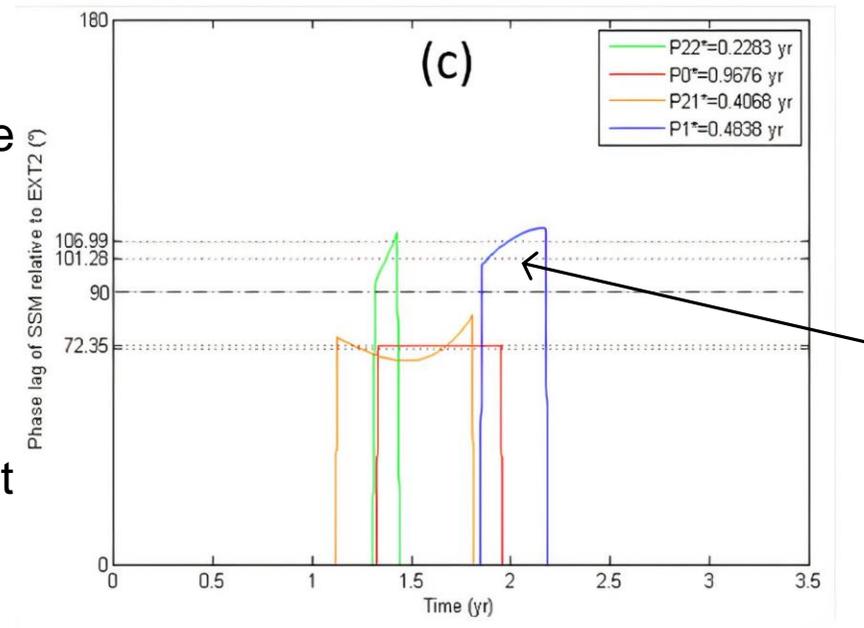
The **cross wavelet transform** (XWT) between **SSM-ASC** and two times series is shown: (a) **EXT2** and (b) **VERT-ASC-DES** at WP.

The relative phase relationship is shown as arrows, with **in-phase pointing right** and anti-phase pointing left and the **Surface Soil Moisture leading by 90° pointing straight down**.



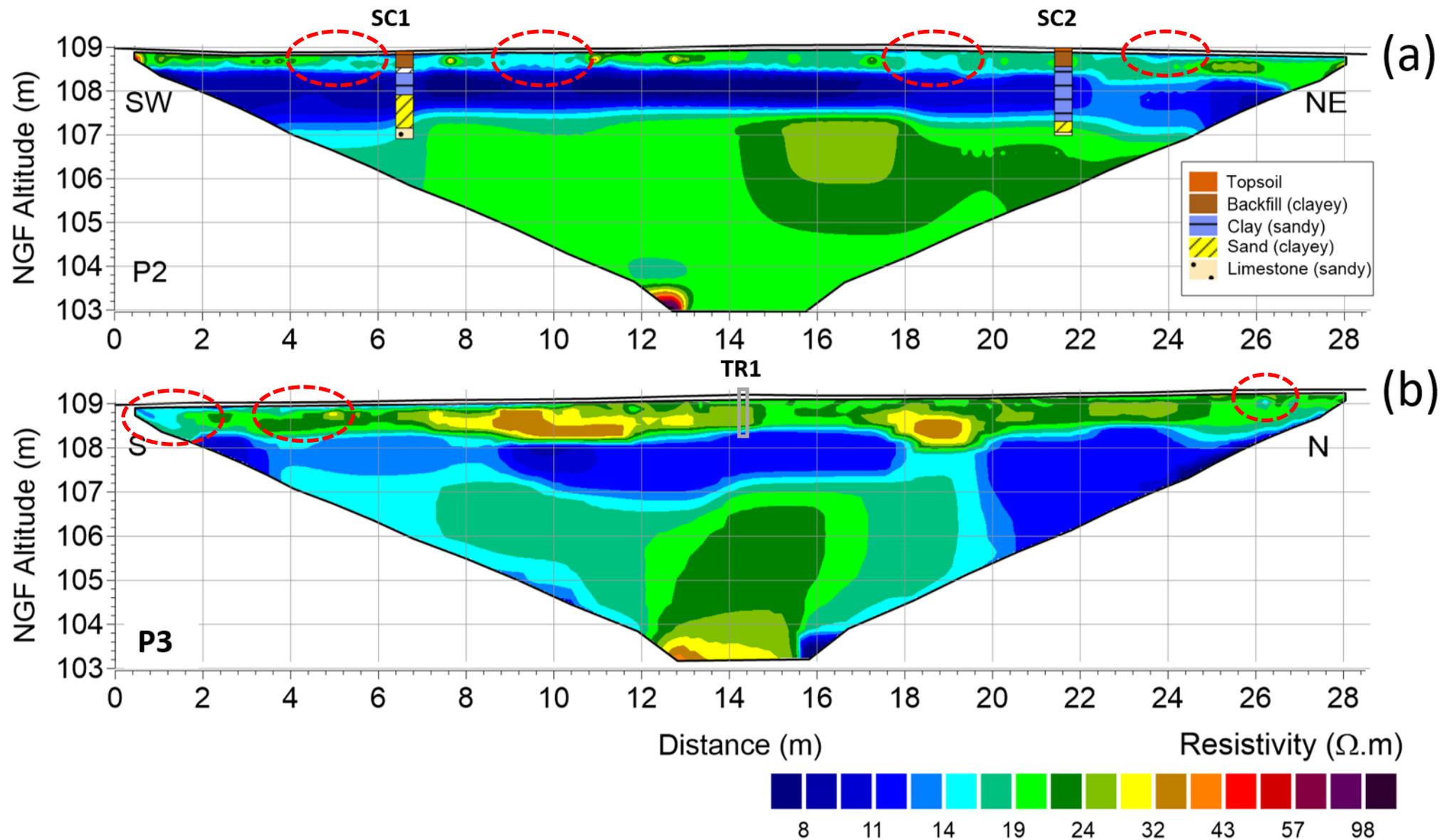
The phase lags $\Delta\Phi$ of **SSM-ASC** relative to the same times series are shown: (c) **EXT2** and (d) **VERT-ASC-DES** at WP.

The shrinking ($P1^*$) and swelling ($P21^*$ and $P22^*$) periods are found using the thick contours of XWT that designate the 5% significant level against red noise



Résultat de la transformation par ondelette croisée et du décalage de phase

- Que permet de déduire le décalage de phase pour les deux périodes gonflement / retrait :
 - ✓ *For the shrinking period $P1^*$, the phase difference in degrees is three times higher at EXT2 ($\Delta\Phi = 107^\circ$) than at WP ($\Delta\Phi = 34^\circ$)*
 - ✓ La décalage de phase pour la période de retrait est significativement supérieure pour la mesure de l'extensomètre par rapport au déplacement vu par le satellite sur la cellule de 90mx90m
 - ✓ On explique cette différence par la présence de lentilles d'argile proche de la surface confirmée par les profils de résistivité





CONCLUSIONS



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Conclusions

Suivi du retrait gonflement par l'interférométrie satellitaire

- 2010 : le BRGM a publié une première carte de risque de retrait gonflement d'argile en France métropolitaine
- 2020 : le nouveau site expérimental de Chaingy a permis de valider pour la première fois l'utilisation de l'interférométrie satellitaire pour mieux évaluer ce risque
- L'objectif sera de monter en échelle spatiale pour publier une meilleure carte du risque, des difficultés cependant demeurent (par exemple le choix du point de référence)

Utilisation d'un réseau de satellite pour mieux caractériser la couche d'argile de subsurface

- Les caractéristiques d'une couche d'argile de subsurface (ex. profondeur, épaisseur, fraction argileuse gonflante...) peuvent être évaluées en couplant un réseau de satellites (Sentinel-1A/1B, SMOS...)
- Les nouveaux satellites combinant un radar et un capteur passif (ex. SMAP) permettront de simplifier et d'améliorer l'étude de ces couches d'argiles de surface

Décalage de phase

Method	1-Year Period (P0)		Shrinking Period (P1)		Swelling First Period (P21)		Swelling Second Period (P22)	
	Angle $\Delta\Phi$ (°)	Time (month)	Angle $\Delta\Phi$ (°)	Time (month)	Angle $\Delta\Phi$ (°)	Time (month)	Angle $\Delta\Phi$ (°)	Time (month)
FFT at EXT1	102.0	3.51	99.63	1.50	125.86	1.24	77.25	0.63
XWT at EXT1	89.09 ± 0.4	3.04 ± 0.01	101.20 ± 7.94	1.63 ± 0.13	70.41 ± 7.95	1.07 ± 0.12	94.82 ± 9.78	0.76 ± 0.08
FFT at EXT2	76.76	2.51	105.09	1.53	-38.69	0.45	70.76	0.54
XWT at EXT2	72.35 ± 0.02	2.33 ± 0.00	106.99 ± 3.68	1.73 ± 0.06	71.13 ± 3.76	0.96 ± 0.05	101.28 ± 5.02	0.77 ± 0.04
FFT at WP cell	64.75	2.08	14.68	0.23	83.81	0.86	119.70	1.03
XWT at WP cell	60.72 ± 0.96	1.96 ± 0.03	34.48 ± 3.40	0.52 ± 0.05	71.82 ± 0.98	0.73 ± 0.01	113.97 ± 13.30	0.97 ± 0.11
FFT at EP cell	92.16	3.20	42.85	0.52	112.48	1.14	168.36	1.34
XWT at EP cell	90.10 ± 0.32	3.08 ± 0.01	34.90 ± 3.75	0.56 ± 0.06	109.66 ± 0.56	1.11 ± 0.01	144.28 ± 5.42	1.15 ± 0.04

Table 2. Comparison of Fourier FFT and cross-wavelet XWT analysis of phase angles and time lags of the surface soil moisture (SSM-ASC) relative to the vertical displacement at EXT1, EXT2, West Point (WP), and East Point (EP) for P0, P1, P21, and P22 periods.