APPEL A PROJET
Stage 2027
Formulaire

- **Nom de l'unité de recherche – laboratoire d'accueil** (nom entier et acronyme) **:** Centre d'études Spatiales de la BIOsphère (CESBIO – UMR5126)
- **Nom de l'équipe de recherche d'accueil :** équipes EAU et Physique de la Mesure
- **Nom et Prénom de(s) encadrant(s) :** Brut Aurore (EC UT) et Sébastien VERRIER (EC UT)
- **Adresse(s) électronique(s) :** aurore.brut@iut-tlse3.fr ; sebastien.verrier@iut-tlse3.fr

DESCRIPTION DU PROJET

- **Résumé du sujet** (400 caractères maximum espaces compris) :

L'objectif est de caractériser les échelles spatiales et temporelles de l'humidité du sol sur 2 sites agricoles européens ICOS, à partir de mesures long terme, de capteurs spatialisés à bas coût et des mesures manuelles sur des transects. Des analyses spectrales, par ondelettes et semi-variogrammes permettront d'identifier les échelles caractéristiques et leurs déterminants environnementaux.

- **Description du sujet** (1 page maximum incluant la bibliographie) :

L'humidité du sol constitue une variable clé du cycle hydrologique : elle conditionne les échanges entre sol, végétation et atmosphère, influence les prévisions météorologiques et climatiques, et détermine la disponibilité en eau pour les cultures — un enjeu majeur d'adaptation au changement climatique. Plusieurs techniques in situ (sondes capacitives, méthodes TDR/FDR, capteurs à neutrons cosmiques CRN), permettent aujourd'hui de mesurer cette teneur en eau, chacune offrant une représentativité spatiale et des incertitudes différentes selon les sols et les états de surface. Ces mesures sont des données de référence pour la calibration / validation des produits d'humidité du sol, issus de la télédétection ou des mesures GNSS, bien que leur représentativité spatiale puisse être très différentes (quelques mètres à hectométrique pour les capteurs *in situ* à quelques dizaines de km pour certains produits satellites).
Dans le cadre du projet SVAPORIS, une campagne de mesure de la teneur en eau du sol est prévue sur le site agricole d'Auradé sur la saison culturale 2026-2027. Ce site, FR-Aur, est un site instrumenté de long terme de l'ERIC (European Research Infrastructure Consortium) ICOS : https://www.icos-cp.eu/about/organisation-governance/icos-eric). La campagne expérimentale prévoit de suivre la variabilité spatiale de la teneur en eau du sol à l'aide d'une vingtaine de capteurs à bas coût (TOMST TMS4) dispersés sur l'ensemble de la parcelle, par des mesures manuelles répétées sur des transects spécifiques de la parcelle, et ce, à différents stades de développement de la végétation, pour venir compléter les données long-terme de l'humidité du sol sur le site ICOS. En plus de cette campagne, les données météorologiques, les échanges gazeux (dont l'évapotranspiration) et les données de végétation seront mesurées de façon continue comme cela est requis par les standards du réseau ICOS.
L'objectif du projet est de développer un ou des indicateurs génériques des échelles spatiales des mesures d'humidité du sol *in situ* pour répondre aux besoins de la communauté internationale en télédétection (SMAP, SMOS, etc …). Ce travail sera mené à partir de méthodes statistiques

telles que l'analyse spectrale, les ondelettes, ondelettes croisées et la méthode du semi-variogramme, pour déterminer les échelles caractéristiques de l'hétérogénéité spatiale de l'humidité du sol en lien avec les déterminants spécifiques au site (pente, texture, réserve utile) ou les déterminants environnementaux (stade de développement de la végétation, conditions climatiques, etc …) en s'appuyant sur les données du site, de la campagne expérimentale et les images satellites. Associées à des indicateurs objectifs de l'hétérogénéité des sites instrumentés, ces mesures *in situ* auront une plus-value considérable pour l'étalonnage et la validation de l'humidité du sol par satellite, en particulier pour l'estimation des incertitudes.

Dans le cadre du stage, l'étudiant.e évaluera le potentiel de méthodes statistiques (analyse spectrale et analyse en ondelettes) pour comparer les propriétés statistiques des transects de mesures de SWC sur la parcelle et nous renseigner sur le caractère « lisse » ou non du signal le long du transect (Verrier, 2020). De plus, ces méthodes nous permettront d'évaluer la représentativité des mesures à bas coûts (type TOMST) dispersés sur la parcelle, et leur relation aux mesures de références des fosses ICOS. Une analyse spectrale ainsi que des analyses de variogrammes aidera à évaluer si la dynamique observée des capteurs à bas coût est la même ou non que celle des transects et d'identifier à quel déterminant sont associés les biais résiduels (lien avec les images satellites). Le jeu de données ainsi collecté devrait permettre de mieux estimer les incertitudes de mesure de la teneur en eau du sol associées à la variabilité spatiale, et d'évaluer le potentiel des sondes à bas coût pour la mesure spatialisée.

Les attendues de l'étude sont le développement d'un outil générique multi-échelles pour estimer l'hétérogénéité spatiale d'une variable en lien avec ses déterminants, adapté plus particulièrement à l'humidité du sol, variable clé pour l'agriculture et le suivi des besoins en eau.

Verrier S., Multifractal and multiscale entropy scaling of in-situ soil moi Sture time series: Study of SMOSMANIA network data, southwestern France, Journal of Hydrology, Volume 585, 2020, 124821, ISSN 0022-1694, https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124821.