

ECOLE DOCTORALE DES SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT

D'ILE DE France N° 129

Proposition de sujet de thèse pour la rentrée 2020

Nom du Laboratoire d'accueil : LERMA N° UMR : UMR8112
Nom du Directeur du laboratoire : Benoit Semelin
Adresse complète du laboratoire : LERMA - Observatoire de Paris
77, avenue Denfert-Rochereau
75014 Paris

Nom de l'Equipe d'accueil et adresse si différente de celle du laboratoire : Equipe Télédétection

Nom du Directeur de thèse HDR : Filipe Aires

Téléphone : 01 40 51 20 30

Mail : filipe.aires@obsppm.fr

- **Titre de la thèse en Français :** Télédétection satellite de l'humidité des sols
- **Titre de la thèse en Anglais :** Satellite remote sensing of soil moisture
- **Résumé Sujet en Français (1 page maximum) :**

La quantification de l'eau continentale est très importante pour une large gamme d'applications, à différentes échelles spatiales et temporelles, du climat à la météorologie, et de l'agriculture à la gestion de l'eau. Avec le changement climatique, des évolutions dans les régimes hydrologiques continentaux sont attendues, mais l'ampleur de ces changements est très incertaine, avec des conséquences potentielles importantes sur la disponibilité de l'eau pour les besoins de la population. Néanmoins, et malgré leur importance, les estimations des principales variables hydrologiques telles que l'humidité du sol ne sont pas facilement disponibles avec une précision satisfaisante. Les mesures *in situ* de l'humidité du sol ne sont pas effectuées sur une base régulière, et de grandes zones reculées sont dépourvues d'observations. Des modèles de surface peuvent estimer ces variables à l'échelle mondiale, mais ces modèles sont confrontés à de nombreux défis : Ils sont très sensibles à la paramétrisation des processus complexes impliqués et ils souffrent du manque d'information sur des paramètres importants tels que la texture du sol. De plus, ces modèles dépendent de forçages atmosphériques, comme les précipitations, qui restent incertains (Dirmeyer *et al.*, 2005 ; 2006). Enfin, ces modèles de surface souffrent cruellement de l'absence d'observations à l'échelle globale pour évaluer leurs résultats. Les techniques de télédétection par satellite peuvent fournir les observations nécessaires, avec la couverture spatiale et temporelle requise, mais leur précision est toujours débattue et des efforts doivent être poursuivis pour développer des produits optimaux et de les évaluer en utilisant, notamment, des mesures *in situ* de l'humidité du sol. Le but de cette thèse est d'estimer l'humidité des sols par satellite pour la validation, l'analyse et l'amélioration des modèles, avec, comme objectif final, de fournir des prévisions hydrologiques plus fiables.

* *Une série globale et sur le long terme d'humidité des sols à partir d'observations multi-satellites* - Une méthodologie à base de machine learning/réseaux de neurones a été développée, à l'échelle du globe, pour produire des estimations d'humidité du sol à partir d'observations multi-satellite (visible, infrarouge, micro-ondes passives et actives) avec une résolution spatiale de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ (Aires *et al.*, 2005). Le signal reçu par le satellite est généralement la combinaison des contributions de différentes caractéristiques de surface (entre autres, la végétation, sol, neige, rugosité) et retrouver l'information d'humidité du sol dans le mélange de ces différents effets à partir du signal satellite est des plus difficile lorsqu'une seule gamme de fréquence est utilisée (Prigent *et al.* 2005). Notre approche combine des observations multi-longueur d'onde issues de divers instruments pour tirer parti de leur synergie. De nouveaux instruments sont également disponibles, avec une sensibilité accrue à l'humidité du sol et il faudra donc intégrer ces observations en une base cohérente. On utilisera donc les instruments comme : (1) Le diffusiomètre ASCAT à bord des satellites MetOp ; (2) L'instrument SMOS qui avec un canal basse fréquence (1.4 GHz) est optimisé pour l'estimation de l'humidité du sol, avec moins de sensibilité à la couverture végétale et une plus grande sensibilité à l'humidité du sol sous la surface. La première tâche consistera ainsi à créer une base d'humidité du sol sur une trentaine d'années à partir d'observations satellite.

* *Inter-comparaison des diverses estimations satellite de l'humidité du sol existants depuis les années 90 avec les sorties de modèles de surface et des mesures in situ. Analyse de la variabilité interannuelle et des facteurs qui*

l'affectent - Plusieurs séries de données d'humidité du sol obtenues par satellite existent à l'échelle du globe : elles sont issues de notre base de données multi-satellite, des mesures faites par les diffusiomètres (Wagner *et al.*, 2003), ou par un ensemble de données micro-ondes passives (Owe *et al.*, 2007). Une estimation détaillée des incertitudes de ces bases de données sera effectuée en utilisant des modèles de surface théoriques et en validant avec des observations *in situ*. Ceci nous permettra de consolider notre nouvelle base de données qui comprendra alors près de 30 ans. Le projet mettra ensuite l'accent sur l'analyse de la variabilité de l'humidité du sol à des échelles saisonnières et interannuelles. Des informations auxiliaires telles que les précipitations ou les températures de surface seront étudiés en parallèle afin d'analyser l'impact de leur variabilité sur la variabilité de l'humidité du sol. Les effets potentiels des effets anthropiques (par exemple, les changements de pratiques agricoles ou la pression anthropique) seront également examinés. Des endroits particuliers où des changements dans l'hydrologie ont été diagnostiqués seront examinés plus en détail. Des experts du climat seront impliqués dans l'analyse de cette variabilité et ses relations avec d'autres paramètres, pour aider à interpréter les résultats. Les conclusions attendues de cette analyse seront une quantification de la variabilité interannuelle de l'humidité du sol et une interprétation de cette variabilité en termes de variabilité climatique et des pressions anthropiques.

* *Vers une assimilation des observations d'humidité du sol dans les modèles de surface* - Les centres de prévision numérique du temps viennent de commencer à assimiler les observations satellite sur l'humidité des sols dans les modèles de surface, afin d'améliorer les prévisions numériques du temps. L'objectif de cette thèse sera d'optimiser cette utilisation des observations satellite d'humidité des sols dans de nouveaux schémas d'assimilation. Notre approche par réseaux de neurones est actuellement en service à la NASA comme à l'ECMWF. Une collaboration avec ces deux centres sera poursuivie, notre rôle consistera à développer des méthodologies innovantes qui assurent une assimilation cohérente et efficace des produits de surface dans le modèle.

• **Résumé Sujet en Anglais (1 page maximum) :**

The quantification of continental water is very important for a wide range of applications, at different spatial and temporal scales, from climate to weather, and from agriculture to water management. With global warming, changes in continental hydrological regimes are expected, but the magnitude of these changes is very uncertain, with significant potential consequences on the availability of water for the needs of the population. However, and despite their importance, estimates of key hydrological variables such as soil moisture are not readily available with satisfactory accuracy. In situ soil moisture measurements are not performed on a regular basis, and large remote areas have no observations. Surface models can estimate these variables on a global scale, but these models face many challenges: They are very sensitive to the parameterization of the complex processes involved and they suffer from the lack of information on important parameters such as the soil texture. In addition, these models depend on atmospheric forcings, such as precipitation, which remain uncertain (Dirmeyer *et al.*, 2005; 2006). Finally, these surface models suffer from the absence of observations at a global scale to assess their results. Satellite remote sensing techniques can provide the necessary observations, with the required spatial and temporal coverage, but their accuracy is still debated and efforts must be continued to develop optimal products and to evaluate them using, in particular, in situ measurements. The aim of this thesis is to estimate soil humidity by satellite for the validation, analysis and improvement of models, with the final objective of providing more reliable hydrological forecasts.

* *A global and long-term soil moisture series from multi-satellite observations* - A machine learning / neural network methodology has been developed, on a global scale, to estimate soil moisture from multi-satellite observations (visible, infrared, passive and active microwaves) with a spatial resolution of $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ (Aires *et al.*, 2005). The signal received by the satellite is generally the combination of contributions from different surface characteristics (among others, vegetation, soil, snow, roughness) and finding the soil moisture information in the mixture of these different effects from the satellite signal is most difficult when only one frequency range is used (Prigent *et al.* 2005). Our approach combines multi-wavelength observations from various instruments to take advantage of their synergy. New instruments are also available, with increased sensitivity to soil moisture, and these observations will therefore have to be integrated into a coherent base. We will therefore use instruments such as: (1) The ASCAT scatterometer on board MetOp satellites; (2) The SMOS instrument which with a low frequency channel (1.4 GHz) is optimised for the estimation of soil moisture, with less sensitivity to plant cover and greater sensitivity to soil moisture under the surface. The first task will therefore be to create a soil moisture base over thirty years from satellite observations.

* *Inter-comparison of the various satellite estimates of soil moisture existing since the 1990s with the outputs of surface models and in situ measurements. Analysis of the inter-annual variability and the factors that affect it* - Several series of soil moisture data obtained by satellite exist on a global scale: they come from our multi-satellite database, measurements made by the diffusiometers (Wagner *et al.*, 2003), or by a set of passive microwave data (Owe *et al.*, 2007). A detailed estimation of the uncertainties of these databases will be made using theoretical surface models and validated with in situ observations. This will allow us to consolidate our new database

including nearly 30 years. The project will then focus on analysing the variability of soil moisture at the seasonal and inter-annual scales. Auxiliary information such as precipitation or surface temperatures will be studied in parallel to analyse the impact of their variability on the variability of soil moisture. The potential effects of anthropogenic effects (for example, changes in agricultural practices or anthropogenic pressure) will also be examined. Particular locations where changes in hydrology have been diagnosed will be examined in more detail. Climate experts will be involved in the analysis of this variability and its relationships with other parameters, to help interpret the results. The expected conclusions of this analysis will be a quantification of the inter-annual variability of soil moisture and an interpretation of this variability in terms of climatic variability and anthropogenic pressures.

* *Towards an assimilation of soil moisture observations in surface models* - Numerical weather forecasting centres have just started to assimilate satellite observations on soil moisture in surface models, in order to improve weather forecasts. The objective of this thesis will be to optimise this use of satellite observations of soil moisture in new assimilation schemes. Our neural network approach is currently in use at NASA and the ECMWF. A collaboration with these two centres will be continued, our role will consist in developing innovative methodologies which ensure a coherent and effective assimilation of surface products in the model.

References:

- Aires, Prigent, & Rossow, Soil moisture at a global scale. II - Global statistical relationships. Journal of Geophysical Research, 110, D11, D11103, 10.1029/2004JD005094, 01 June 2005.
- Dirmeyer, Gao, Zhao, Guo, Oki & Hanasaki, 2006: The Second Global Soil Wetness Project (GSWP-2): Multi-model analysis and implications for our perception of the land surface. Bull. Amer. Meteor. Soc., 87, 1381-1397.
- Dirmeyer, 2005: The land surface contribution to boreal summer season predictability. J. Hydrometeor., 6, 618-632.
- Owe, De Jeu & Holmes, 2007, Multi-Sensor Climatology of Satellite-Derived Global Land Surface Moisture, JGR, 10.1029/2007JF000769.
- Prigent, Aires, & Rossow, Soil moisture at a global scale. I - Presentation of the satellite observations and analysis of their relations with in situ soil moisture measurements. JGR, 110, D7, 10.1029/2004JD005087, 2005.
- Wagner, Scipal, Pathe, Gerten, Lucht, Rudolf, Evaluation of the agreement between the first global remotely sensed soil moisture data with model and precipitation data, JGR, 108, 19, 2003.
- Rodriguez-Fernandez, de Rosnay, Albergel, Richaume, Aires, Prigent, Kerr, SMOS neural network soil moisture data assimilation in a land surface model and atmospheric impact, Rem. Sens., 11, 1334, 10.3390/rs11111334.
- Alemohammad, Kolassa, Prigent, Aires & Gentine, Global Downscaling of Remotely-Sensed Soil Moisture using Neural Networks, HESS, 10.5194/hess-2017-680, 2018.
- Kolassa, Gentine, Prigent & Aires, Remote sensing of soil moisture using AMSR-E and ASCAT obs., RSE, 1-73, 1-14, 2016.
- Kolassa, Aires, Polcher, Prigent, Jimenez, & Pereira, Soil moisture retrieval from multi-instrument observations: Part I – Information content analysis and retrieval methodology, JGR, 118, 10, 4847-4859, 10.1029/2012JD018150, 2013.

• Type de financement autre que ED 129, précisez si envisageable ou acquis (CNES, CEA, ADEME etc...) :

Pas de co-financement prévu pour ce sujet.

• Encadrement :

. Liste des autres doctorants que vous encadrez ou co-encadrez au 1^{er} janvier 2020
(Nom, Université d'inscription, type de financement, date de soutenance envisagée)

1. Thu Ang NGUYEN Sorbonne Université, Ambassade de France au Vietnam, Novembre 2022
2. Thi Lan Anh DINH, Sorbonne Université, 2 co-financement (Paris Saclay - CIAT), Novembre 2022