

**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 : ECOSYS N° UMR : 1402  
Nom du Directeur du laboratoire : Sabine Houot  
Adresse complète du laboratoire : UMR ECOSYS, route de la Ferme, 7885 Thiverval-Grignon

Nom de l'Equipe d'accueil et adresse si différente de celle du laboratoire : Eco&Phy

Nom du Directeur de thèse **HDR** : Benjamin Loubet (INRAE)  
Téléphone : 01 3 81 55 33  
Mail : Benjamin.Loubet@inrae.fr

Nom du co-encadrant **non HDR** : Olivier Laurent (LSCE)  
Téléphone : 0 1 69 08 50 54  
Mail : olivier.laurent@lsce.ipsl.fr

• **Titre de la thèse en Français :**

**Mesure des flux de CO<sub>2</sub> par covariances turbulentes à l'échelle de plusieurs km<sup>2</sup>**

• **Titre de la thèse en Anglais :**

**Eddy Covariance CO<sub>2</sub> fluxes measurements over several squared km**

• **Résumé Sujet en Français**

La nécessité de réduire la pression anthropique sur le climat, la qualité de l'air et les écosystèmes est aujourd'hui partagée en Europe et dans la plupart des démocraties, les débats se focalisant essentiellement sur les moyens et la trajectoire pour réduire cette pression. **La communauté scientifique internationale est mobilisée, et attendue, sur sa capacité à produire des prédictions d'évolution du climat, de la qualité de l'air et de la santé des écosystèmes incluant la biodiversité**, mais aussi à proposer des moyens de mitigation et d'adaptation. Pour ce faire elle se base sur des modèles du système terrestre dans lesquels les surfaces continentales sont représentées depuis les échelles locales (qualité de l'air, diversité) jusqu'aux échelles globales (IPCC, 2018). Un enjeu clé réside dans la **capacité à prédire l'évolution des émissions de gaz à effet de serre<sup>1</sup>, de polluants<sup>2</sup> et le stockage de carbone<sup>3</sup>** par les surfaces continentales dans un contexte de changement climatique, de changement d'usage des terres (bioénergie), et de changement de pratiques (baisse des intrants). Un autre enjeu réside dans la capacité à représenter la **réponse des écosystèmes<sup>4</sup>** (eutrophisation, acidification, biodiversité) aux évolutions du climat et aux usages ainsi qu'aux apports de polluants et de nutriments<sup>5</sup> d'origine atmosphérique.

Les modèles qui représentent ces flux intègrent la mosaïque des surfaces dans des mailles allant de 1 à plusieurs centaines de km<sup>2</sup>. Les cadastres d'émissions sont quant à eux évalués à des échelles départementales ou cantonales<sup>6</sup>. **Une faiblesse actuelle réside dans l'incapacité de valider les modèles et les cadastres aux échelles auxquelles ils sont pertinents**. Pour ce qui est des modèles de surface, les validations n'ont lieu que sur des écosystèmes homogènes sur des surfaces de quelques hectares <sup>7,8</sup> ou alors sur des inversions atmosphériques à des échelles de 1°x1°<sup>9</sup>. La mesure expérimentale des flux de surface spatialisés aux échelles de 1 à 20-50 km<sup>2</sup> est un enjeu très fort pour la communauté scientifique, mais reste un défi scientifique et

technologique, du fait de l'advection, des flux bi-directionnels et de la non-linéarité des échanges surface-atmosphère<sup>10</sup>.

---

**Les questions scientifiques de la thèse sont les suivantes :** (1) Avec quelle précision est-il possible de mesurer des flux de surface d'énergie, CO<sub>2</sub> à des échelles de plusieurs kilomètres carrés par des méthodes de covariances turbulentes sur grands mats? (2) Le cas échéant, est-il possible de spatialiser ces flux : à l'aide de méthodes spectrales ? En combinant avec des informations d'occupation des sols ? Avec une combinaison de ces méthodes ?

---

**Cette thèse propose de tester des méthodes de covariances turbulentes sur des grandes tours (~50-200 m)<sup>11</sup> en les combinant à des informations spatiales sur l'occupation du sol avec un niveau de raffinement variable (allant de la carte d'occupation au modèle de surface) afin d'évaluer les flux spatialisés d'énergie, CO<sub>2</sub>, et N<sub>2</sub>O sur des échelles de plusieurs km<sup>2</sup>.**

- 1) **Le premier volet propose donc de déployer une mesure de flux par covariance turbulente sur une ou deux grandes tours (50-200 m). Ces tours seront sélectionnées parmi le réseau ICOS atmosphère Europe en fonction des écosystèmes environnants, et des mesures déjà présentes sur site ou dans l'empreinte de la tour. Une mesure du profil sera réalisée afin d'estimer le flux de stockage qui peut s'avérer très important à ces échelles<sup>12</sup>. La mesure des flux sera effectuée selon les standard des écosystèmes de surface<sup>13,14</sup>;**
- 2) **Dans un second temps, une méthode spectrale par transformée en ondelette, normalement utilisée pour attribuer le flux spatialement lors de mesures de flux par avion<sup>15</sup> sera adaptée au cas d'une tour et évaluée dans sa capacité à apporter de l'information spatiale sur le flux environnant celle-ci.**
- 3) **Dans un troisième temps, l'utilisation de cartographie de surface sera utilisée pour attribuer les flux mesurés en combinant avec des modèles d'empreinte de flux<sup>16,17</sup>. Différents niveaux de raffinements sur les informations de surface seront testés : occupation du sol, température de surface, NDVI, modèle de bilan d'énergie, modèle de surface. La combinaison de ces méthodes sera testée (transformée en ondelettes, cartographie, modèles d'empreintes)<sup>18</sup> ;**

## • Résumé Sujet en Anglais

The need to reduce anthropogenic pressure on climate, air quality and ecosystems is now shared in Europe and most democracies, with debates focusing mainly on the means and trajectory for reducing this pressure. The international scientific community is mobilized, and expected, on its capacity to produce predictions of climate change, air quality and ecosystem health including biodiversity, but also to propose means of mitigation and adaptation. To this end, earth system models are used in which continental surfaces are represented from local scales (air quality, diversity) to global scales (IPCC, 2018). A key challenge lies in the ability to predict the evolution of greenhouse gas<sup>1</sup> and pollutant<sup>2</sup> emissions and carbon<sup>3</sup> storage by continental surfaces in a context of climate change, land use change (bioenergy), and changes in practices (lower inputs). Another challenge lies in the capacity to represent the response of ecosystems<sup>4</sup> (eutrophication, acidification, biodiversity) to climate change and uses as well as to inputs of pollutants and nutrients<sup>5</sup> from atmospheric sources.

The models that represent these flows integrate the mosaic of surfaces in grids ranging from 1 to several hundred km<sup>2</sup>. Emission cadastres are evaluated on departmental or cantonal scales<sup>6</sup>. A current weakness lies in the inability to validate models and cadastres at the scales to which they are relevant. As far as surface models are concerned, validations only take place on homogeneous ecosystems over areas of a few hectares<sup>7,8</sup> or on atmospheric inversions at scales of 1°x1°<sup>9</sup>. Experimental measurement of spatialized surface fluxes on scales of 1 to 20-50 km<sup>2</sup> is a very important issue for the scientific community, but remains a scientific and technological challenge, due to advection, bi-directional fluxes and the non-linearity of surface-atmosphere exchanges<sup>10</sup>.

**The scientific questions of the thesis are the following:** (1) With what precision is it possible to measure surface fluxes of energy, CO<sub>2</sub> at scales of several square kilometres by turbulent covariance methods on large mats? (2) If so, is it possible to spatialize these fluxes; using spectral methods? In combination with land use information? With a combination of these methods?

This thesis proposes to test turbulent covariance methods on large towers (~50-200 m) 11 by combining them with spatial land use information with a variable level of refinement (from the land use map to the surface model) in order to evaluate spatialized fluxes of energy, CO<sub>2</sub>, and N<sub>2</sub>O on scales of several km<sup>2</sup>.

- 1) The first component therefore proposes to deploy a flow measurement by turbulent covariance on one or two large towers (50-200 m). These towers will be selected from the ICOS Atmosphere Europe network according to the surrounding ecosystems and the measurements already present on site or in the footprint of the tower. A profile measurement will be carried out in order to estimate the storage flux which can be very important at these scales <sup>12</sup>. Flux measurements will be carried out according to surface ecosystem standards <sup>13,14</sup>;
- 2) In a second step, a spectral wavelet transform method, normally used to attribute the flux spatially during measurements from aircraft <sup>15</sup> will be adapted to the case of a tower and evaluated in its capacity to provide spatial information on the flux surrounding it.
- 3) In a third step, the use of surface mapping will be used to assign the measured fluxes in combination with flux footprint models <sup>16,17</sup>. Different levels of refinement on surface information will be tested: land cover, surface temperature, NDVI, energy balance model, surface model. The combination of these methods will be tested (wavelet transform, mapping, footprint models) <sup>18</sup> ;

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

Fonctionnement sur fonds propre des laboratoires. Cette thèse s'appuiera également sur les projets existants, ICOS notamment pour les moyens techniques et humains.

**• Encadrement :**

**. Liste des autres doctorants que vous encadrez ou co-encadrez au 1er janvier 2020**

(Nom, Université d'inscription, type de financement, date de soutenance envisagée)

- Varunesh Sandra, Sorbonne Université, Financement sur projet (FACE-ERANET ResidueGas), soutenance prévue en février 2021 (Benjamin Loubet)**
- Julia Hebrecht, Sorbonne Université, Financement sur projet (CLAND), soutenance prévue en automne 2022 (Benjamin Loubet)**
- Rodrigo RIVERA, UVSQ, financement sur projet (ICOS/TRACE), soutenance prévue au printemps 2022 (Olivier Laurent)**

**Références citées dans le texte**

- 1 Vuichard, N. *et al.* Accounting for carbon and nitrogen interactions in the global terrestrial ecosystem model ORCHIDEE (trunk version, rev 4999): multi-scale evaluation of gross primary production. *Geoscientific Model Development* **12**, 4751-4779, doi:10.5194/gmd-12-4751-2019 (2019).
- 2 Messina, P. *et al.* Global biogenic volatile organic compound emissions in the ORCHIDEE and MEGAN models and sensitivity to key parameters. *Atmospheric Chemistry and Physics* **16**, 14169-14202, doi:10.5194/acp-16-14169-2016 (2016).
- 3 Camino-Serrano, M. *et al.* ORCHIDEE-SOM: modeling soil organic carbon (SOC) and dissolved organic carbon (DOC) dynamics along vertical soil profiles in Europe. *Geoscientific Model Development* **11**, 937-957, doi:10.5194/gmd-11-937-2018 (2018).

- 4 Yue, C. *et al.* Representing anthropogenic gross land use change, wood harvest, and forest age dynamics in a global vegetation model ORCHIDEE-MICT v8.4.2. *Geoscientific Model Development* **11**, 409-428, doi:10.5194/gmd-11-409-2018 (2018).
- 5 Goll, D. S. *et al.* A representation of the phosphorus cycle for ORCHIDEE (revision 4520). *Geoscientific Model Development* **10**, 3745-3770, doi:10.5194/gmd-10-3745-2017 (2017).
- 6 Ramanantsoa, M. M. J. *et al.* A new framework to estimate spatio-temporal ammonia emissions due to nitrogen fertilization in France. *Science of The Total Environment* **645**, 205-219, doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.202> (2018).
- 7 Wu, X. *et al.* ORCHIDEE-CROP (v0), a new process-based agro-land surface model: model description and evaluation over Europe. *Geoscientific Model Development* **9**, 857-873, doi:10.5194/gmd-9-857-2016 (2016).
- 8 Vuichard, N. *et al.* Simulating the net ecosystem CO<sub>2</sub> exchange and its components over winter wheat cultivation sites across a large climate gradient in Europe using the ORCHIDEE-STICS generic model. *Agriculture Ecosystems & Environment* **226**, 1-17, doi:10.1016/j.agee.2016.04.017 (2016).
- 9 Kountouris, P. *et al.* Atmospheric CO<sub>2</sub> inversions on the mesoscale using data-driven prior uncertainties: quantification of the European terrestrial CO<sub>2</sub> fluxes. *Atmospheric Chemistry and Physics* **18**, 3047-3064, doi:10.5194/acp-18-3047-2018 (2018).
- 10 Azouz, N. *et al.* Comparison of spatial patterns of ammonia concentration and dry deposition flux between a regional Eulerian chemistry-transport model and a local Gaussian plume model. *Air Quality Atmosphere and Health* **12**, 719-729, doi:10.1007/s11869-019-00691-y (2019).
- 11 Haszpra, L., Hidy, D., Taligas, T. & Barcza, Z. First results of tall tower based nitrous oxide flux monitoring over an agricultural region in Central Europe. *Atmos. Environ.* **176**, 240-251, doi:10.1016/j.atmosenv.2017.12.035 (2018).
- 12 Haszpra, L., Barcza, Z., Davis, K. J. & Tarczay, K. Long-term tall tower carbon dioxide flux monitoring over an area of mixed vegetation. *Agric. For. Meteorol.* **132**, 58-77, doi:10.1016/j.agrformet.2005.07.002 (2005).
- 13 Aubinet, M. *et al.* Estimates of the annual net carbon and water exchange of forests: The EUROFLUX methodology. *Advances in Ecological Research, Vol 30* **30**, 113-175 (2000).
- 14 Loubet, B. *et al.* Carbon, nitrogen and Greenhouse gases budgets over a four years crop rotation in northern France. *Plant and Soil* **343**, 109-137, doi:10.1007/s11104-011-0751-9 (2011).
- 15 Desjardins, R. L. *et al.* The challenge of reconciling bottom-up agricultural methane emissions inventories with top-down measurements. *Agric. For. Meteorol.* **248**, 48-59, doi:10.1016/j.agrformet.2017.09.003 (2018).
- 16 Sogachev, A. & Dellwik, E. Flux footprints for a tall tower in a land-water mosaic area: A case study of the area around the Riso tower. *Agric. For. Meteorol.* **237**, 326-339, doi:10.1016/j.agrformet.2017.02.037 (2017).
- 17 Bureau, J. *et al.* Evaluation of new flux attribution methods for mapping N<sub>2</sub>O emissions at the landscape scale. *Agriculture Ecosystems & Environment* **247**, 9-22, doi:10.1016/j.agee.2017.06.012 (2017).
- 18 Metzger, S. *et al.* Spatially explicit regionalization of airborne flux measurements using environmental response functions. *Biogeosciences* **10**, 2193-2217, doi:10.5194/bg-10-2193-2013 (2013).