



Sujet de stage :

Calcul et analyse des flux de chaleur sensible et latente mesurée par scintillométrie

(L'encadrement peut se faire en français ou en anglais)

-English version below-

Objectifs et descriptions (quelques lignes)

Parmi les échanges d'énergie, l'évapotranspiration (ET) reste particulièrement difficile à quantifier, en particulier dans des paysages complexes et hétérogènes. Les techniques de mesure directe généralement utilisées pour l'estimation des flux de chaleur sont celles connues sous le nom de "méthode de l'Eddy-Correlation" (EC). Cette technique est utilisée aussi bien pour la détermination des flux turbulents de surface (chaleur sensible et chaleur latente) que pour la détermination des flux de CO₂. Elle est cependant mise en défaut pour des surfaces hétérogènes (Finnigan et al., 2003). En effet la nature hétérogène du sol (topographie, type de sol, présence de végétation, variation de rugosité) conduit à une variabilité spatiale de l'état hydrique et thermique du sol qui se traduit par une variabilité des flux turbulents de surface (Lemone et al., 2007 ; Timouk et al., 2009). Ces flux turbulents génèrent alors des circulations atmosphériques secondaires dans la couche limite de surface, comme l'ont montré Raash et al. (2001) par simulations à fine échelle. Ces circulations secondaires, expliqueraient la sous-estimation systématique des flux turbulents de surface avec la méthode d'EC (Kanda et al., 2004 ; Inagaki et al., 2006 ; Steinfeld et al., 2006 ; Huang J. et al., 2008) et seraient donc en partie liées au problème de fermeture du bilan d'énergie.

Depuis les années 1990, la scintillométrie a été reconnue comme une méthode robuste pour estimer les flux turbulents aux échelles du km² compatibles avec la taille d'un pixel satellite ou une maille de modèle hydrologique. La scintillométrie optique est aujourd'hui considérée comme une technique opérationnelle pour mesurer les flux de chaleur sensible intégrés et pour dériver indirectement l'ET comme le résidu du bilan d'énergie.

Dans le cadre de la campagne expérimentale MOSAI au CRA à Lannemezan en 2023, un scintillomètre optique (LAS = Large Aperture Scintillometer) a été installé par le CESBIO sur un paysage constitué de plusieurs parcelles agricoles en bordure de forêt. De plus, plusieurs dispositifs EC ont aussi été installés pendant la campagne pour mesurer les échanges d'énergie sur les différents types de surface. Ce projet MOSAI, qui vise à mieux estimer les erreurs systématiques des flux de surface (convection, évaporation, conduction dans le sol) des paysages hétérogènes a bénéficié d'un large ensemble de mesures long-terme acquises sur le site instrumenté du CRA pour évaluer la non-fermeture du bilan d'énergie en surface et la représentativité des mesures locales dans le paysage hétérogène.

Le stage a pour but de s'intéresser au bilan d'énergie des surfaces agricoles aux échelles de mesure des flux associés. L'étudiant travaillera à partir de données représentatives de la turbulence atmosphérique (C_n^2) mesurées par le scintillomètre (LAS) sur un transect traversant plusieurs parcelles agricoles de nature différente (blé, maïs, forêt).

Après une étude bibliographique des flux de surface, l'étudiant.e participera au suivi de la qualité et au traitement des données turbulentes. A l'aide d'un script matlab et/ou python, il/elle calculera les flux d'énergie de surface de la zone hétérogène et analysera la zone de provenance de flux en utilisant un modèle simplifié estimant « l'empreinte » de mesure du scintillomètre en fonction des

conditions météorologiques et de la dynamique du sol et de la végétation. Les flux estimés par scintillométrie seront aussi confrontés aux mesures issues des stations Eddy Covariance (EC) installées dans la même zone pour mieux la répartition des échanges selon l'hétérogénéité de la surface. Le stage est financé pour une durée de 5 à 6 mois à partir de septembre 2024

Accueil

Laboratoire ou entreprise :

Nom du laboratoire ou de l'entreprise :

CESBIO : Centre d'Etudes Spatiales de la BIOSphère.

Adresse :

18 avenue Edouard Belin , 31401 Toulouse Cedex 9

Site web :

<https://www.cesbio.cnrs.fr/>

Encadrement (nom, prénom, statut, tel., email) :

Aurore BRUT, maitre de conférences, aurore.brut@iut-tlse3.fr

Compétences / connaissances souhaitées :

- Physique, mécanique des fluides niveau master ou école d'ingénieur
- Programmation informatique : matlab /python
- Bonne capacité rédactionnelle

English version :

Calculation and analysis of sensible and latent heat fluxes measured by scintillometry

Among energy exchanges, evapotranspiration (ET) remains particularly difficult to quantify, especially in complex and heterogeneous landscapes. The direct measurement techniques generally used to estimate heat fluxes are those known as the Eddy-Correlation (EC) method. This technique is used to determine turbulent surface fluxes (sensible and latent heat) as well as CO₂ fluxes. However, it is not well suited for heterogeneous surfaces (Finnigan et al., 2003). The surface heterogeneity (topography, soil type, presence of vegetation, variation in roughness) leads to spatial variability in the hydric and thermal state of the soil, which results in variability in turbulent surface flows (Lemone et al., 2007; Timouk et al., 2009). These turbulent fluxes then generate secondary atmospheric circulations in the surface boundary layer, as shown by Raash et al. (2001) using fine-scale simulations. These secondary circulations would explain the systematic underestimation of surface turbulent fluxes using the EC method (Kanda et al., 2004; Inagaki et al., 2006; Steinfeld et al., 2006; Huang J. et al., 2008) and would therefore be partly linked to the energy balance closure problem. Since the 1990s, scintillometry has been recognised as a robust method for estimating turbulent fluxes at scales of km² compatible with the size of a satellite pixel or a hydrological model mesh. Optical scintillometry is now considered an operational technique for measuring integrated sensible heat fluxes and for indirectly deriving ET as the residual of the energy balance.

As part of the MOSAI experimental campaign at the CRA in Lannemezan in 2023, an optical scintillometer (LAS = Large Aperture Scintillometer) was installed by CESBIO on a

landscape consisting of several agricultural plots bordering a forest. In addition, several EC devices were also installed during the campaign to measure energy exchanges on different types of surface. This MOSAI project, which aims to better estimate the systematic errors of surface fluxes (convection, evaporation, conduction in the soil) in heterogeneous landscapes, has benefited from a large set of long-term measurements acquired on the CRA's instrumented site to assess the non-closure of the surface energy balance and the representativeness of local measurements in the heterogeneous landscape.

The aim of the internship is to study the energy balance of agricultural surfaces at the scales used to measure the associated fluxes. The student will work with data representative of atmospheric turbulence (Cn^2) measured by the scintillometer (LAS) on a transect crossing several agricultural plots of different types (wheat, maize, forest).

After a bibliographical study of surface fluxes, the student will take part in monitoring the quality and processing the turbulent data. Using a matlab and/or python script, he/she will calculate the surface energy fluxes of the heterogeneous zone and analyse the zone of flux origin using a simplified model estimating the scintillometer measurement 'footprint' as a function of meteorological conditions and soil and vegetation dynamics.

The fluxes estimated by scintillometry will also be compared with measurements from Eddy Covariance (EC) stations installed in the same area to better determine the distribution of exchanges according to surface heterogeneity.

The internship is funded for a period of 5 to 6 months, starting in September 2024.

Skills/knowledge required:

- Physics, fluid mechanics at Master's level or engineering school
- Computer programming: matlab/python
- Good writing skills

