

## French version :

Proposition de Sujet de thèse 2025 SDU2E  
proposé au concours d'attribution des contrats doctoraux

Contacts :

Guylaine Canut (CNRM, [guylaine.canut@meteo.fr](mailto:guylaine.canut@meteo.fr)), Marie Lothon (LAERO, [marie.lothon@cnrs.fr](mailto:marie.lothon@cnrs.fr))  
[https://adum.fr/as/ed/voirproposition.pl?langue=&site=sdu2e&matricule\\_prop=61030](https://adum.fr/as/ed/voirproposition.pl?langue=&site=sdu2e&matricule_prop=61030)

## Titre :

Impact de l'irrigation et des hétérogénéités de surface en milieu semi-aride sur les processus de la couche limite atmosphérique

## Contexte et objectif principal de la thèse

Un des grands challenges actuels en science de l'environnement est de comprendre l'impact que peut avoir le changement du climat sur le cycle de l'eau et les conséquences sur la ressource en eau. Il est reconnu par les organisations internationales comme le « World Climate Research Programme » (WRC) que les activités humaines jouent un rôle primordial dans la modification du cycle de l'eau, et doivent être prises en compte dans les projections climatiques. Ce problème est particulièrement critique dans des régions comme le bassin méditerranéen où les ressources en eau sont déjà limitées.

L'objectif du projet LIAISE est d'améliorer notre compréhension de l'impact de l'anthropisation sur le cycle de l'eau en termes d'interactions surface-atmosphère-hydrologie dans une région semi-aride fortement irriguée, et d'aborder les limitations des modèles de surface et hydrologiques, dans un environnement semi-aride.

Le sujet de thèse proposé se place dans ce contexte, et s'appuie sur la campagne de mesures internationale associée, qui s'est déroulée en 2021.

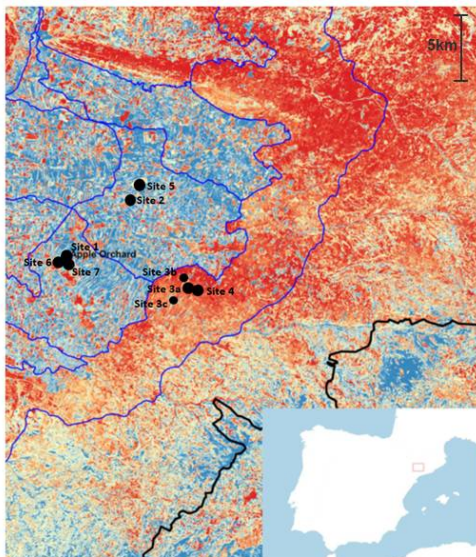


Figure 1 : Carte de la température de surface dans la région LIAISE par imagerie satellitaire, et localisation de la région d'étude (Lleida, Espagne).

SENTINEL2 Land Surface temperature -  
Courtesy : H. Nieto, IRTA

La campagne LIAISE (Boone et al. 2025) est la dernière campagne de terrain du projet Hymex (Hydrological cycle in the Mediterranean Experiment). La région semi-aride ciblée par LIAISE est le bassin de l'Ebre dans le nord-est de l'Espagne, qui est limité au nord par les Pyrénées. L'activité d'agriculture intensive y est majeure, totalement dépendante de l'irrigation. L'hétérogénéité de surface créée artificiellement par l'irrigation pour répondre aux activités agricoles intenses provoque une très forte discontinuité de l'état de surface avec des différences de température du sol mesurées par satellite de plusieurs degrés, et des différences d'humidité du sol parfois extrêmes, entre sec et inondé (voir l'image en Figure 1).

L'objectif principal de la thèse est de comprendre comment l'hétérogénéité marquée en surface, générée par la zone irriguée au sein d'un milieu aride, et s'étendant sur plusieurs centaines de kilomètres carrés, impacte les échanges de chaleur et d'humidité au sein de la couche limite atmosphérique.

Cette couche d'atmosphère, en contact direct avec la surface, constitue l'interface où se produisent les échanges surface/atmosphère. Les processus de mélange et de transfert d'énergie se réalisent à l'échelle de la turbulence, et à des échelles de sub-meso-échelle à travers des circulations. Tous ces processus peuvent influencer la circulation méso-échelle.

Dans la littérature la plupart des études utilisent la simulation numérique pour aborder l'impact des hétérogénéités sans confrontation avec des observations. L'atout majeur du projet LIAISE est d'avoir documenté finement ces hétérogénéités qui se créent, varient d'une saison à l'autre, s'accroissant du printemps à l'été.

LIAISE est le premier projet international axé sur l'impact de l'activité humaine sur le cycle de l'eau et de l'énergie dans un environnement semi-aride pour lequel les modèles sont suffisamment avancés pour prendre en compte de manière explicite les barrages, les méthodes d'irrigation, le débit des rivières, les interactions avec les eaux souterraines, la phénologie de la végétation et les rétroactions atmosphériques. L'amélioration des paramétrisations des modèles contribueront à améliorer le réalisme des projections climatiques futures.

## **Les observations réalisées pendant la campagne LIAISE**

La stratégie d'observation de la campagne LIAISE (2021) a consisté à combiner deux périodes de mesures :

- une longue période d'avril à octobre qui vise à mesurer le cycle saisonnier de l'apport en eau nécessaire aux cultures
- une période intensive de 15 jours en juillet, lorsque la demande en eau est très forte et que le contraste entre les surfaces irriguée et naturelle est maximal.

Les deux zones irriguée / aride ont été instrumentées, en particulier avec deux super-sites instrumentés de façon similaire, sur chacune de ces surfaces.

Un déploiement instrumental considérable a été réalisé, pour assurer l'exploration fine des processus en jeu, depuis la surface jusqu'à la troposphère libre :

- La surface de la région a été explorée par télédétection aéroportée ou satellitaire, pour mesurer l'état de la végétation et de la surface, le contenu hydrique du sol, la température de la surface,...
- L'interface surface/atmosphère : Les stations de mesure du bilan d'énergie de surface déployées sur plusieurs mois sur différents couverts ont été complétées par des mesures biogéographiques supplémentaires. Toutes les composantes des échanges d'énergie sont ainsi mesurées : les composantes radiatives, les flux d'évaporation, de chaleur dans l'air et dans le sol, les flux d'évapotranspiration de la végétation
- Enfin, pour connaître la réponse et le forçage de l'atmosphère, des mesures densifiées des premiers kilomètres de l'atmosphère ont été réalisées, avec :

- des ballons captifs instrumentés pour la mesure de la turbulence et les flux de chaleur,
- des radiosondes lâchées à haute fréquence pour la structure moyenne de l'atmosphère,
- des profileurs de vent UHF et lidars en mesure continue pour le suivi du profil vertical du vent et de l'humidité,
- de huit vols de l'avion ATR-42 de SAFIRE, avec des mesures de fine échelle de référence pour l'exploration de la turbulence dans la couche limite.

Les plate-formes et les mesures se complètent dans l'espace pour décrire la structure moyenne et la structure turbulente de l'atmosphère. Les deux périodes d'observations imbriquées permettent une analyse au cours de la saison avec le renforcement des contrastes entre terres irriguées et sèches. Les hétérogénéités dans cette région varient temporellement et spatialement en fonction de l'irrigation. De forts contrastes à l'échelle de la parcelle peuvent en effet apparaître en une dizaine de jours.

### **Méthode et étapes de la thèse**

La thèse s'appuiera sur l'exploitation combinée de ce large jeu d'observations avec la simulation numérique de l'atmosphère à haute résolution :

#### **1/ Analyse des observations**

Une analyse approfondie de la grande densité de mesures réalisées pendant la campagne LIAISE pour en déduire la structure verticale de l'atmosphère au-dessus de chacune des surfaces contrastées irriguée / semi-aride, et mettre en valeur les processus directeurs et les circulations générées par le contraste de ces surfaces, à des échelles de la turbulence à la sub-méso échelle.

On analysera en particulier les mesures in situ des différents dispositifs qui permettent d'obtenir une continuité de mesure des processus turbulents de la couche limite convective, en particulier les transports turbulents verticaux et horizontaux.

Des mesures aéroportées transverses aux 2 zones ainsi que l'exploitation des radiosondages horaires et des profileurs de vent de radar UHF permettront potentiellement de mettre davantage en évidence les circulations des basses couches s'établissant dans la journée.

#### **2/ Simulation numérique**

La mise en œuvre d'une simulation numérique des grands tourbillons (Large Eddy Simulation) produites avec Méso-NH (Lac et al.,2018), permettant de résoudre la turbulence atmosphérique dans une couche limite convective, pour approfondir notre compréhension de la réaction de la couche limite atmosphérique à un contraste de cette nature, et de cette échelle.

Cette simulation sera réalisée à partir d'une simulation méso-échelle de plus basse résolution mais de plus grand domaine, si bien que les forçages méso-échelle pourront être bien pris en compte, et l'impact de l'hétérogénéité sur ces échelles plus grandes également.

#### **3/ Synergie observation/modélisation**

La synergie des deux approches, avec une évaluation de la simulation sur un cas le plus réaliste possible, et des tests de sensibilité aux conditions hydriques du sol et à la géométrie des hétérogénéités spatiales.

Les travaux menés permettront en particulier:

- (1) d'évaluer l'impact d'une forte discontinuité de surface sur la structure turbulente de la couche limite atmosphérique, le transport et les circulations locales générées,
- (2) de quantifier le rôle de la turbulence atmosphérique sur la redistribution de la chaleur et de l'humidité au sein de la CLA dans les basses couches plus ou moins humides
- (3) d'étudier l'impact de la géométrie et de la taille des patchs irrigués sur la circulation des basses couches, et la conséquence sur la façon de prendre en compte cet impact dans les modèles de prévision du temps.

## **Etat d'avancement des travaux sur le sujet**

Dans la littérature plusieurs études ont abordé la question de l'impact des hétérogénéités sur la dynamique de la couche limite atmosphérique. La plupart l'ont abordé avec l'outil de la simulation numérique, et avec des flux de surfaces imposés (Taylor et al., 2012; Liu et al., 2011 ; Patton et al. 2005), c'est à dire que l'interaction avec la surface n'était pas complètement prise en compte (la rétroaction de l'atmosphère vers la surface ne l'est pas par exemple). Couraut et al (2007) est une des rares études à considérer le couplage de la simulation LES avec un schéma de surface. La simulation était réalisée sur un petit domaine (5km), à partir du modèle mésoN<sub>h</sub> en mode LES couplé à SURFEX (modèle de surface), pour étudier l'impact d'une différence d'humidité du sol à plusieurs échelles < 2km. Cette étude menée il y a quelques années avec des ressources numériques limitées s'est concentrée sur l'impact de la taille des hétérogénéités. Elle ne permettait pas la représentation de structures convectives et de circulations de plus grande échelles sub-méso. Un domaine beaucoup plus grand devra être pris en compte pour LIAISE, compte-tenu de l'échelle de l'hétérogénéité principale (dizaine de km).

Récemment Bou-Zeid et al (2020) ont réalisé une revue exhaustive des travaux sur la question de l'hétérogénéité de surface, en se focalisant cependant sur la couche de surface, et avec un angle de vue principalement modéliste. L'état actuel des connaissances et les questions ouvertes sur le sujet est présenté de façon très complète et didactique. Une classification en 4 catégories des hétérogénéités de surfaces y est proposée. La problématique de la thèse se situe dans la 4ème catégorie la moins abordée dans la littérature, et qui requiert davantage de travaux de recherche : des hétérogénéités d'échelles variables et de distribution complexe dans l'espace.

Les mêmes auteurs identifient aussi différents mécanismes de développement de couche limite générés par l'hétérogénéité (couche limite interne, couche limite en équilibre, hauteur à partir de laquelle la couche limite n'est plus influencée par la surface directement en-dessous d'elle, etc.).

Ces mécanismes ne sont pas les mêmes selon la direction et le sens de l'écoulement moyen, par rapport à l'interface de transition des hétérogénéités. Le mécanisme le moins étudié est celui pour lequel les transitions sont obliques par rapport au vent moyen. LIAISE, très souvent dans le cas de cette configuration, pourra apporter de nouveaux éléments sur ces mécanismes.

Dans la bibliographie actuelle très peu d'études combinant observations et modèles abordent ces questions d'hétérogénéité liées à l'irrigation d'une zone semi-aride provoquant de fortes hétérogénéités.

## **Encadrement et collaborations**

Directrice de thèse (HDR) : Marie Lothon, LAERO, marie.lothon@aero.obs-mip.fr

Co-directrice de thèse : Guylaine Canut, CNRM, guylaine.canut@meteo.fr

Cette thèse est proposée dans le cadre d'une collaboration entre l'équipe GMEI du CNRM et l'équipe LEETCHIE du Laboratoire d'aérodynamique (LAERO, Observatoire Midi-Pyrénées). Ces deux équipes conduisent des études expérimentales sur les interactions surface-atmosphère, et collaborent depuis longtemps autour de leurs expertises complémentaires.

Elle bénéficiera aussi d'une collaboration étroite avec les équipes du CNRM/GMME (PhyN<sub>h</sub>, Surface) qui mènent des études de processus de surface pour la modélisation non-hydrostatique à méso-échelle et développent des paramétrisations.

La thèse pourra se dérouler aussi bien au CNRM à Toulouse qu'au LAERO, sur le site du Centre de Recherches Atmosphériques de Campistrous, dans les Hautes-Pyrénées, les deux sites où travaillent les encadrantes.

Le projet de thèse s'inscrit dans le cadre du projet de l'ANR HILAISE (Human Imprint on LIAISE) piloté par CNRM/GMME/SURFACE en collaboration avec CNRM/GMEI (coordination : Aaron Boone et Guylaine Canut), et les laboratoires du CESBIO, du LMD et du LAERO, qui sont partenaires. La campagne internationale a été réalisée dans le cadre du projet GEWEX LIAISE (Land surface Interactions with the Atmosphere over the Iberian Semi-arid Environment, Boone et al. 2019) en collaboration avec plusieurs partenaires internationaux et notamment une forte implication du Met Office, de l'université des Baléares, de l'université de Wageningen, IRTA et de la NASA.

Le travail de thèse sera réalisé en étroite relation avec un autre projet également soutenu par l'ANR, le projet MOSAI (Modélisation Observation Surface-Atmosphère Interaction), porté par l'équipe LEETCHIE du LAERO (PI : Fabienne Lohou) dans lequel le CNRM est aussi fortement impliqué. L'un des objectifs de ce projet concerne l'amélioration des échanges surface-atmosphère dans les modèles de prévision numérique du temps en évaluant la représentation des hétérogénéités de surface dans les modèles numériques de prévisions du temps et du climat.

L'étudiant·e bénéficiera donc de collaborations nationales et internationales dans le cadre de ces deux projets LIAISE et MOSAI pour dynamiser et valoriser son travail.

## **Références**

Boone, A. , M. Best, J. Cuxart, J. Polcher, P. Quintana, J. Bellvert, J. Brooke, G. Canut-Rocafort, J. Price, 2019: Land surface Interactions with the Atmosphere over the Iberian Semi-arid Environment (LIAISE). *Gewex News* , 29 (1), Quarter 1

Boone, Aaron, Joaquim Bellvert, Martin Best, Jennifer K. Brooke, Guylaine Canut-Rocafort, Joan Cuxart, Oscar Hartogensis, Patrick Le Moigne, Josep Ramon Miró, Jan Polcher, Jeremy Price, Pere Quintana Seguí, Joan Bech, Yannick Bezombes, Oliver Branch, Jordi Cristóbal, Karin Dassas, Pascal Fanise, Fabien Gibert, Yves Goulas, Jannis Groh, Jan Hanus, Gabriel Hmimina, Lionel Jarlan, Ed Kim, Valérie Le Dantec, Michel Le Page, Fabienne Lohou, Marie Lothon, Mary Rose Mangan, Belén Martí, Daniel Martínez-Villagrasa, James McGregor, Amanda Kerr-Munslow, Nadia Ouadi, Alban Philibert, Juan Quiros-Vargas, Uwe Rascher, Bastian Siegmann, Mireia Udina, Antoine Vial, Burkhard Wrenger, Volker Wulfmeyer, Mehrez Zribi, 2025 : The Land Surface Interactions with the Atmosphere over the Iberian Semi-Arid Environment (LIAISE) field campaign, *Journal of the European Meteorological Society*, 2, 100007, 2025. DOI : 10.1016/j.jemets.2025.100007.

(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2950630125000018>)

Bou-Zeid, E. The Persistent Challenge of Surface Heterogeneity in Boundary-Layer Meteorology: A Review, <https://doi.org/10.1007/s10546-020-00551-8>

Courault, D , Drobinski, P , Brunet, Y , Lacarrere, P and Talbot, C. (2007). Impact of surface heterogeneity on a buoyancy-driven convective boundary layer in light winds. *Boundary-Layer Meteorology*. 124. 383-403. 10.1007/s10546-007-9172-y.

Lac, C. et al. 2018. Overview of the Meso-NH model version 5.4 and its applications. *Geoscientific Model Development*. Volume: 11. Issue: 5. Pages: 1929-1969.

Liu, S. F., Y. P. Shao, A. Kunoth, and C. Simmer (2017), Impact of surface-heterogeneity on atmosphere and land-surface interactions, *Environmental Modelling & Software*, 88, 35-



English version :

PhD project, 2025 SDU2E

Proposed for the ministerial doctoral contract contest SDU2E

Contacts :

Guylaine Canut (CNRM, [guylaine.canut@meteo.fr](mailto:guylaine.canut@meteo.fr)), Marie Lothon (LAERO, [marie.lothon@cnrs.fr](mailto:marie.lothon@cnrs.fr))  
[https://adum.fr/as/ed/voirproposition.pl?langue=&site=sdu2e&matricule\\_prop=61030](https://adum.fr/as/ed/voirproposition.pl?langue=&site=sdu2e&matricule_prop=61030)

## Title :

Impact of irrigation and surface heterogeneities on the planetary boundary layer processes in a semi-arid region

### **Context and main objective of the PhD thesis**

One of the main current challenges in environment science is to understand the impact of climate change on water cycle and consequences on water resources. It is recognized by international organisations like the World Climate Research Programme (WRCP) that human activities play a major role in modifying the water cycle on earth, and need to be taken into account in climate projections. This issue is particularly critical in semi-arid regions like the mediterranean basin, where water resources are already limited.

The goal of LIAISE project is to improve our understanding of the impact of anthropisation on the water cycle in terms of surface-atmosphere-hydrology interactions in a highly irrigated semi-arid region, and to address the limitations of surface and hydrology models in semi-arid environment.

The PhD thesis topic is proposed in this context, and leans on the associated international field campaign, which took place in 2021.

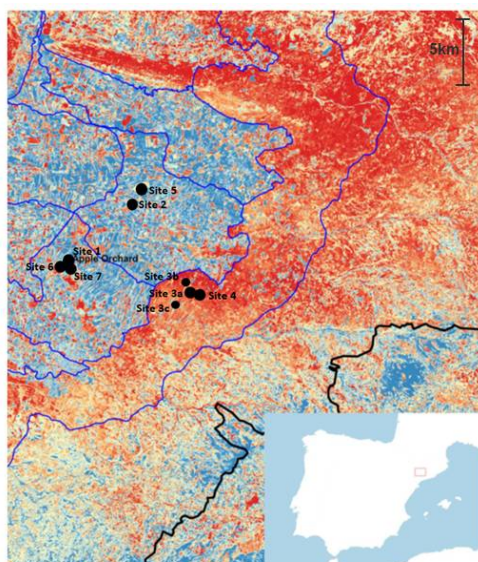


Figure 1 : Map of surface temperature in LIAISE region deduced from satellite imagery, and localisation of the study region (Lleida, Spain).

SENTINEL2 Land Surface temperature -  
Courtesy : H. Nieto, IRTA

The LIAISE campaign (Boone et al. 2025) is the last field experiment of HyMex programme (Hydrological cycle in the Mediterranean Experiment). The targeted semi-arid region is the Ebre basin, in North-East Spain, which is bounded to the North by the Pyrenees. Intensive agriculture is major in this area, and entirely depends on irrigation. The surface heterogeneity artificially generated by irrigation to respond to the intensive agricultural activities induces a very marked discontinuity of surface conditions, with differences in soil temperature of several degrees as measured by satellite, and often extreme differences in soil moisture, from very dry to flooded (see Figure 1).

The main objective of the thesis is to understand how the marked heterogeneity of surface conditions, generated by the irrigated area within a semi-arid region, and extending over several hundreds of square kilometers, impacts on heat and moisture transfers within the planetary boundary layer.

This atmosphere boundary layer, in direct contact with earth surface, is the key interface of exchanges between surface and atmosphere. In this layer, the mixing processes and energy transfers occur at turbulence scales, and at sub-meso scales through circulations. All those processes can influence the meso-scale circulation.

In the literature, most of the studies use numerical simulation to address the impact of surface heterogeneities, without support of observational references. The main asset of LIAISE project is to have finely documented those heterogeneities, which vary from one season to the other, and accentuate from spring to summer.

LIAISE is the first international project focused on the impact of human activities on water cycle and energy in semi-arid environment. Models are now sufficiently advanced to explicitly take into account dams, irrigation methods, river flows, interactions with groundwater, phenology of vegetation and atmospheric feedbacks. The improvement of model parametrisations will contribute to improve the realism of future climate projections.

### **Observations made during the LIAISE field experiment**

The measurements of LIAISE field campaign (2021) combined two observational timescales :

- a long period from April to October, aimed at measuring the seasonal cycle of water supply needed for the crops,
- a 15-day intensive period in July, when the water requirement is very high and the contrast from irrigated to natural surfaces is the highest.

The two areas, irrigated / non-irrigated, were similarly instrumented on two supersites. A substantial instrumental deployment was carried out, to ensure a fine exploration of the processes involved, from surface up to free troposphere:

- Earth surface has been explored by airborne or satellite remote sensing, in order to measure the condition of vegetation and surface, the soil water content, ...
- Surface/atmosphere interface : Surface energy budget ground stations were deployed for several months over various vegetation covers, and completed with additional biogeographical measurements. All components of energy transfers were thus measured : radiative components, sensible heat, ground flux, evaporation, evapotranspiration.
- For the study of atmosphere response and feedbacks, densified measurements within the first kilometers of the atmosphere were made :
  - instrumented tethered balloons for turbulence and heat flux measurements,
  - high-frequency radiosoundings for the observation of the mean vertical structure of the atmosphere,
  - UHF and lidar wind profilers for the continuous monitoring of vertical profile of wind and air moisture,

- 8 flights of the SAFIRE ATR-42 research airplane, with fine scale measurements of turbulence within the planetary boundary layer and above.

Those platforms are spatially complementary for the whole description of the mean and turbulent structure of the atmosphere. The two nested observational periods allow the seasonal analysis, and more targeted analysis during the time of accentuation of the contrasts between irrigated areas and dry natural areas. The heterogeneities in this area vary with time and space, depending on the irrigation. High contrasts at the scale of a single parcel can occur within a few or tenth of days.

### **Thesis method and main steps**

The PhD thesis will be based on the combined analysis of this large observational dataset with high resolution numerical simulation :

#### **1/ Analysis of observations**

A thorough analysis of the rich dataset made during LIAISE will be done, in order to study the vertical structure of the atmosphere above each of the contrasted surfaces, irrigated / non-irrigated, and to highlight the determining processes and circulations generated by this contrast, at turbulence and sub-mesos scales.

In situ measurements made from towers, balloons, aircraft or remote sensing will allow to explore the boundary layer fine scale processes from surface to the top, in particular the vertical and horizontal turbulent transports. They will also potentially allow us to reveal low troposphere secondary circulations.

#### **2/ Numerical simulation**

The use of Large Eddy Simulation (LES) with Meso-NH model (Lac et al.,2018), allows to resolve the largest turbulent eddies of the convective boundary layer, in order to better understand the response of the boundary layer to such strong surface contrast, and at this scale, complementarily to the observational analysis.

This numerical simulation will be based on a mesoscale realistic simulation of larger domain and coarser resolution, so that mesoscale forcings will be taken into account, and the impact of the heterogeneity at larger scale can also be considered.

#### **3/ Observation/modelisation Synergy**

Synergy of those two approaches will be used, with evaluation of the model on a realistic case, and sensitivity test on soil moisture and on surface heterogeneity geometry and scale.

Those works should allow :

- (1) to assess the impact of a marked surface heterogeneity on the turbulent structure of the planetary boundary layer and local circulations,
- (2) to quantify the role of atmospheric turbulence on the distribution of heat and moisture within the lower atmosphere,
- (3) to study the impact of the geometry and scale of the irrigated patches on the low atmosphere circulations, and the way to take those circulations into account in numerical weather forecast models.

### **Previous works from literature**

Previous works have addressed the impact of surface heterogeneity on the boundary layer dynamics. Most of them were based on numerical simulation with prescribed surface fluxes (Taylor

et al., 2012; Liu et al., 2011 ; Patton et al. 2005), that is surface/atmosphere interaction was not fully taken into account (atmosphere feedbacks toward the surface are not). Couraut et al (2007) was one of the rare studied to have considered surface/atmosphere coupling with a LES. The simulation was done on a small domain (5km), based on Meso-Nh atmospheric model in LES mode, coupled with SURFEX surface model, in order to study the impact of soil moisture differences at different scales < 2km. This study focused on the impact of the heterogeneity scale. It did not allow to represent entirely the convective structures and circulations of larger scales. A much larger domain will have to be considered for LIAISE, given the real heterogeneity scale (tenth of km).

Recently, Bou-Zeid et al (2020) realised an exhaustive review on the issue of surface heterogeneity, but focusing on surface layer and also mainly with the point of view of atmospheric modeling. The state of the art and open questions are presented in a didactical and complete way. Four categories of studied surface heterogeneities were identified, according to the geometry, scale and complexity of the heterogeneity. The thesis issue considers the fourth category, that is, according to Bouzeid et al, the category that was the least studied and requires now the most attention : it is also the most realistic, case with surface heterogeneities of various scales and a complex distribution in space.

The same authors also proposed different mechanisms and definitions of boundary layer development associated with the impact of the heterogeneities on the surface layer and lower atmosphere (internal boundary layer, equilibrium boundary layer, blending height, etc.).

For a given transition from one cover to the other, those mechanisms are not the same according to the direction of the mean flow relatively to the transition interface. One of the least studied case is when the mean wind direction is oblique relatively to the transition border. LIAISE should give support on addressing this issue, since this situation was often observed during the field experiment.

Up to now, only a few studies have combined observations and models to address the issue of the heterogeneities generated by irrigation.

## **Supervision and collaborations**

Thesis director (HDR) : Marie Lothon, LAERO, marie.lothon@aero.obs-mip.fr

Thesis Co-director : Guylaine Canut, CNRM, guylaine.canut@meteo.fr

This thesis is proposed in the context of a collaboration between CNRM/GMEI (Météo-France) and LAERO/LEETCHIE (Laboratoire d'Aérodynamique, at Observatoire Midi-Pyrénées). Those two groups have collaborated for a long time on experimental studies of surface-atmosphere interactions, with complementary expertises.

The thesis will also benefit from close collaboration with CNRM/GMME (PhyNh, Surface) which studies surface processes for the non-hydrostatic mesoscale modelisation and develops parametrisations.

The PhD student will be able to work either at CNRM at Toulouse, or at LAERO at the Centre de Recherches Atmosphériques de Campistrous LAERO, Hautes-Pyrénées, where both supervisors work respectively.

The thesis project is part of the HILIAISE ANR (Human Imprint on LIAISE), a programme piloted by CNRM/GMME/SURFACE in collaboration with CNRM/GMEI (coordination : Aaron Boone and Guylaine Canut), and CESBIO, LMD and LAERO partner laboratories. The field experiment has been carried out in the context of GEWEX LIAISE project (Land surface Interactions with the Atmosphere over the Iberian Semi-arid Environment, Boone et al. 2019) in collaboration with several international partners, notably with a high involvement of the Met Office, the University of Balears, the University of Wageningen, IRTA and US NASA.

The thesis work will be done in close collaboration with the participants of another ANR project, called MOSAI (Modélisation Observation Surface-Atmosphère Interaction), coordinated by LAERO/LEETCHIE (PI : Fabienne Lohou), and in which CNRM is also highly involved. One of the objective of this project is to improve the representation of surface/atmosphere interaction in NWP models, taking into account of the surface heterogeneity.

The PhD student will thus benefit from national and international collaborations in the context of two projects, LIAISE and MOSAI, which will give dynamics and valorisation of his/her work.

## **References**

Boone, A. , M. Best, J. Cuxart, J. Polcher, P. Quintana, J. Bellvert, J. Brooke, G. Canut-Rocafort, J. Price, 2019: Land surface Interactions with the Atmosphere over the Iberian Semi-arid Environment (LIAISE). *Gewex News* , 29 (1), Quarter 1

Boone, Aaron, Joaquim Bellvert, Martin Best, Jennifer K. Brooke, Guylaine Canut-Rocafort, Joan Cuxart, Oscar Hartogensis, Patrick Le Moigne, Josep Ramon Miró, Jan Polcher, Jeremy Price, Pere Quintana Seguí, Joan Bech, Yannick Bezombes, Oliver Branch, Jordi Cristóbal, Karin Dassas, Pascal Fanise, Fabien Gibert, Yves Goulas, Jannis Groh, Jan Hanus, Gabriel Hmimina, Lionel Jarlan, Ed Kim, Valérie Le Dantec, Michel Le Page, Fabienne Lohou, Marie Lothon, Mary Rose Mangan, Belén Martí, Daniel Martínez-Villagrassa, James McGregor, Amanda Kerr-Munslow, Nadia Ouadi, Alban Philibert, Juan Quiros-Vargas, Uwe Rascher, Bastian Siegmann, Mireia Udina, Antoine Vial, Burkhard Wrenger, Volker Wulfmeyer, Mehrez Zribi, 2025 : The Land Surface Interactions with the Atmosphere over the Iberian Semi-Arid Environment (LIAISE) field campaign, *Journal of the European Meteorological Society*, 2, 100007, 2025. DOI : 10.1016/j.jemets.2025.100007.

(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2950630125000018>)

Bou-Zeid, E. The Persistent Challenge of Surface Heterogeneity in Boundary-Layer Meteorology: A Review, <https://doi.org/10.1007/s10546-020-00551-8>

Courault, D , Drobinski, P , Brunet, Y. , Lacarrere, P and Talbot, C. (2007). Impact of surface heterogeneity on a buoyancy-driven convective boundary layer in light winds. *Boundary-Layer Meteorology*. 124. 383-403. 10.1007/s10546-007-9172-y.

Lac, C. et al. 2018. Overview of the Meso-NH model version 5.4 and its applications. *Geoscientific Model Development*. Volume: 11. Issue: 5. Pages: 1929-1969.

Liu, S. F., Y. P. Shao, A. Kunoth, and C. Simmer (2017), Impact of surface-heterogeneity on atmosphere and land-surface interactions, *Environmental Modelling & Software*, 88, 35-47.