

Titre du projet : Mesure in situ de turbulence dans le vent catabatique sur pente alpine forte en situation anticyclonique stable (Kacosonic)

Volet : Recherche

Porteur du projet : Christophe Brun

Laboratoires impliqués : LEGI, IGE

Bilan du projet pour l'année/la période

Bilan d'activité (1 page max)

La compréhension et la modélisation des écoulements atmosphériques sur relief complexe constituent des problématiques majeures pour l'amélioration des prévisions météorologiques et de la qualité de l'air dans les vallées urbanisées. Nous nous intéressons ici aux processus de formation des vents catabatiques sur relief alpin avec forte pente (30 à 40°) et à leurs propriétés de mélange turbulent. Des moyens de mesures fines de turbulence (anémométrie sonore) ont été mis en œuvre sur un mât instrumenté de 10m de hauteur pour observer la basse couche des vents de pente dans sa zone de formation, où elle prend la forme d'un jet froid gravitaire à une hauteur de 2m environ, induisant de forts échanges turbulents de quantité de mouvement et de chaleur en proche surface. Ces mesures ont permis d'affiner les paramétrisations turbulentes de la couche de surface pour la couche limite atmosphérique stratifiée stable.

Le projet de recherche est construit sur la nécessité de mieux comprendre et mieux modéliser les processus de couche limite atmosphérique sur relief complexe, en l'occurrence sur pente alpine. L'interaction de la stratification thermique stable (inversion thermique en épisode anticyclonique hivernal) avec la dynamique turbulente de la couche limite est complexe et peut faire intervenir plusieurs niveaux de rétroaction. On résume classiquement la situation à la réduction de la turbulence en couche limite stratifiée. Mais ce modèle est mis en défaut aussitôt que l'on considère des reliefs de pente en particulier parce qu'ils génèrent des écoulements gravitaires cisailés turbulents. Dans ce cas la production d'énergie cinétique turbulente résulte de 2 processus qui parfois sont à contre-courant, la production mécanique liée au cisaillement de quantité de mouvement et la production par flottabilité liée aux transferts turbulents de chaleur dans la couche limite. L'étude expérimentale in-situ de ces processus (thèse MESR C Charrondière 2018-2021) sur le rôle de la flottabilité sur le mélange turbulent dans les vents catabatiques) a permis d'enrichir l'analyse des résultats. Les études de terrain ont permis d'intensifier des collaborations entre le LEGI et l'IGE en particulier avec J.M. Cohard (équipe PHYREV) et J.E. Sicart (équipe CYME) sur les aspects expérimentaux et également de consolider l'interaction avec le CNRM de Météo-France, en particulier l'équipe Meso-NH de C. Lac à Toulouse.

On s'intéresse en particulier à la modélisation des effets de la stratification et du refroidissement en paroi sur le comportement des lois de couche limite turbulente. Les mesures in situ effectuées sur les pentes alpines du massif de Belledonne en 2012, 2015 et 2019 (figure) ont permis de caractériser les profils de vitesse et de flux turbulents dans la zone de proche paroi pour le cas de vent catabatique. On observe que la loi logarithmique classique en couche limite neutre est bien retrouvée, cependant la dernière campagne de mesure (thèse C. Charrondière 2018-2021) met clairement en évidence une croissance linéaire des flux turbulents à la paroi, alors que la théorie de couche limite suppose des flux de quantité de mouvement constants. Ces résultats sont confirmés théoriquement lorsqu'on prend en compte le refroidissement en paroi et son rôle de forçage dans l'approximation de Boussinesq sur la couche limite sur pente. L'analyse détaillée de ces études permettra d'éclaircir le rôle gravitaire de celui proprement thermique classiquement considéré dans la théorie de Monin-Obukhov de couche limite stratifiée sur sol plat (Zilitinkevich et al., 2013). Une piste consistera à séparer les effets de forçage de pente gravitaire, quantifiés par le nombre de Froude, de ceux de flottabilité, quantifiés par le nombre de Richardson de flux, chacun jouant à des échelles très différentes dans la couche limite atmosphérique (Charrondière et al., 2020). On s'est appuyé enfin sur les travaux théoriques de Bradshaw (1969) pour proposer d'élargir le point de vue sur l'effet de flottabilité sur les propriétés de mélange turbulent dans les jets catabatiques sur pente à partir d'une définition plus large du nombre de Richardson. Une autre campagne dédiée à la turbulence de couche limite très près de la surface est en préparation au LEGI pour confirmer ces résultats.

Illustrations - avec légende et crédit

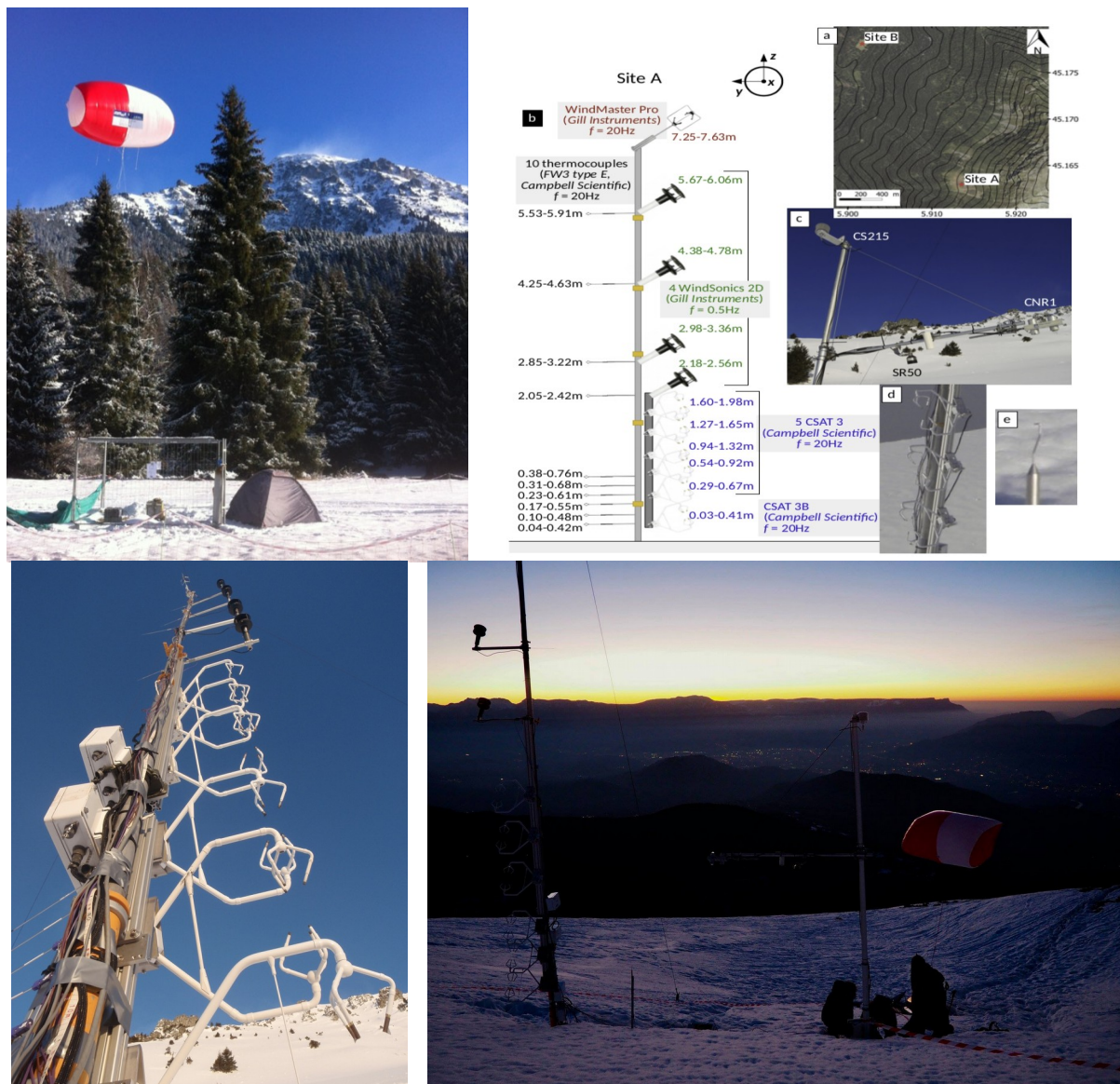


Figure : Localisation des sites de mesures de la campagne d'étude du vent catabatique sur forte pente dans le massif de Belledonne 2019. Mat instrumenté en sondes 3D de turbulence. Ballon captif instrumenté en sondes météo.

Crédits : C. Brun (haut gauche), C. Charrondière (haut droit), C. Brun (bas gauche), F. Meignan (bas droit),

Production scientifique

- **C. Charrondiere, C. Brun, J.E. Sicart, J.M. Cohard, R. Biron, S. Blein.** 'Buoyancy Effects in the Turbulence Kinetic Energy Budget and Reynolds Stress Budget for a Katabatic jet over a Steep Alpine Slope'. *Boundary Layer Meteorology*, 177 pages 97-122, 2020. <https://doi.org/10.1007/s10546-020-00549-2>
- **C. Charrondiere, C. Brun, J.E. Sicart, J.M. Cohard., M. Obligado, R. Biron, H. Guyard** 'Experimental study of katabatic jets over steep slopes: buoyancy effect and turbulence properties'. *European Geoscience Union*, Wien, 2020.
- **C. Charrondiere, C. Brun, J.E. Sicart, J.M. Cohard.** 'Buoyancy effect of katabatic flows on turbulence above a steep alpine slope'. *35th International Conference on Alpine Meteorology* 2019, Sep 2019, Riva del Garda, Italy.
- **C. Charrondiere, C. Brun, J.E. Sicart, J.M. Cohard, M.O Obligado, R. Biron, C. Coulaud, H. Guyard.** 'Katabatic winds over steep slopes : overview of a field experiment designed to investigate entrainment and near surface turbulence'. *Boundary Layer Meteorology (en cours de rédaction pour BLM)*.

Bilan financier succinct total 21.5 K€

Fonctionnement (matériel de mesure et logistique) 15 K€

- anémomètre sonique CSAT3B 8.2 K€
- 10 thermocouples fins FW3 et FW05 2 K€
- 1 radiomètre IR 120 0.7 K€
- chargeur batterie et piles 0.2 K€
- 10 grilles de chantier +plots béton 0.4 K€
- pièces raccord CSAT/Elcom/mat et brides 1 K€
- 1 ballon 7 m3 + charges He 1 K€
- transport hélicoptère Grand Colon 1.5K€

Financement Stage M2 de 5 mois : 3 K€

- Vents catabatiques sur forte pente alpine: traitement des données et comparaison de résultats de mesures in situ et de simulations numériques LES

Missions : 3.5 K€

- conférence ICAM 2019 + Réunion programme international TEAMx 2019



Ce projet est soutenu par le Laboratoire d'Excellence OSUG@2020 (ANR10 LABX56) financé par le programme d'Investissements d'Avenir lancé par l'Etat et mis en oeuvre par l'ANR.



- frais de publication JGR, JAS, BLM