



CNRM UMR 3589

# Suivi sur un site de haute altitude de la sublimation liée au transport de neige par le vent

---

Vionnet V.<sup>1</sup>, Guyomarc'h G.<sup>1</sup>, Deliot Y.<sup>1</sup>, Bellot H.<sup>2</sup>, Naaim Bouvet F.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Météo – France - CNRS, CNRM, UMR 3589, CEN, Grenoble, France

<sup>2</sup> Université Grenoble Alpes, Irstea, UR ETGR, 38402 St-Martin-d'Hères, France

# Transport de neige par le vent en zone de montagne

---



# Présentation

---

- 1) Contexte et théorie
- 2) Dispositif expérimental
- 3) Analyse sur Nov. et Déc. 2016 :
  - Analyse générale
  - Suivi détaillé sur un épisode de transport
- 4) Conclusion et perspectives



# Transport de neige par le vent et sublimation

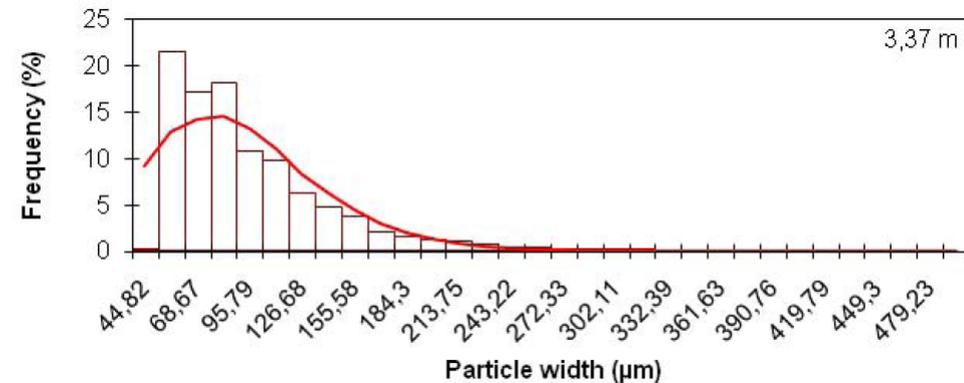
- **Taux de sublimation** ( $\text{kg s}^{-1}$ ) pour une sphère de glace de rayon  $r$  :

$$\frac{dm}{dt} = \frac{2\pi r \sigma}{\frac{L_s}{K_{\text{air}} T_{\text{air}} \text{Nu}} \left( \frac{L_s}{R_v T_{\text{air}}} - 1 \right) + \frac{R_v T_{\text{air}}}{D_v e_{\text{si}} \text{Sh}}} = \frac{2\pi r \sigma \text{Nu}}{A(T_{\text{air}}, P_{\text{air}})}$$

*Thorpe and Masson (1966)*

- **Facteurs influençant la sublimation d'un ensemble de particules :**

- Sous saturation par rapport à la glace
- Température de l'air
- Distribution en taille des particules
- Vitesse de ventilation des particules



*Naaim Bouvet et al. (2013)*

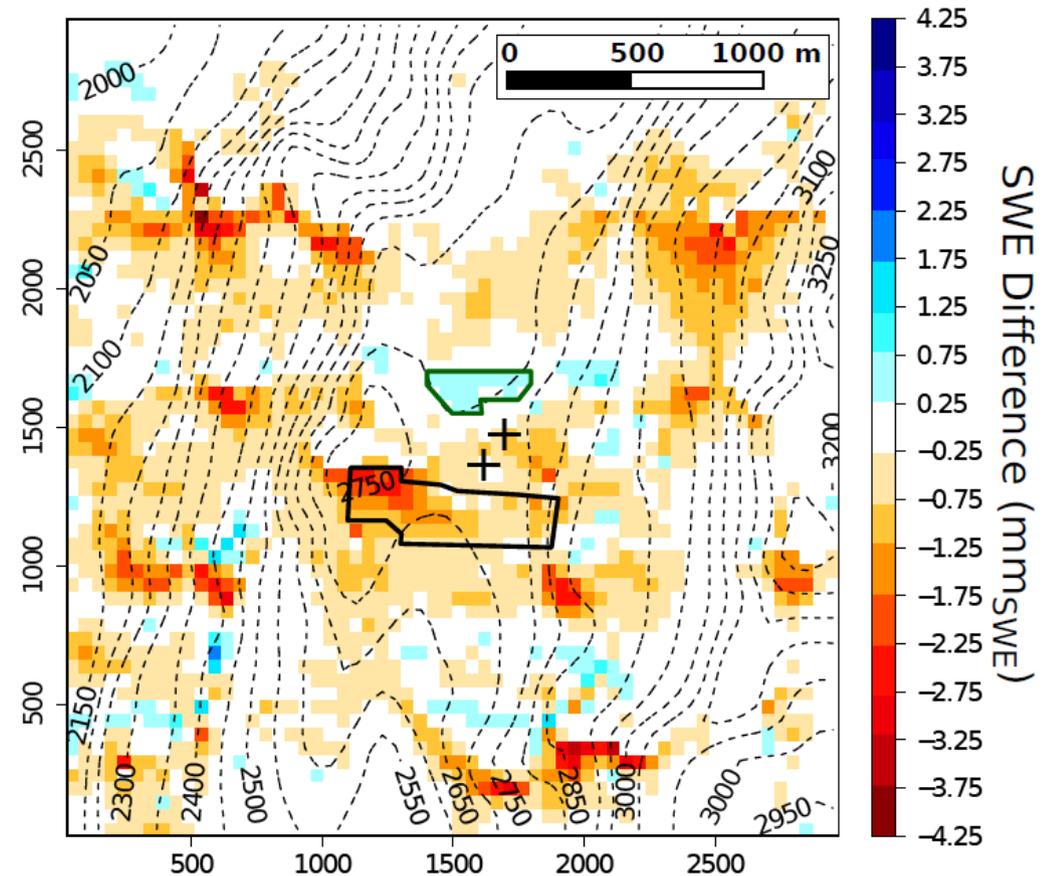
- **Conséquences :**

- Perte de masse pendant le transport
- Rétroactions sur la couche limite de surface (CLS)

# Impact sur le bilan de masse du manteau neigeux

- **Perte de masse** pour le manteau neigeux : réduction des dépôts
- **Contribution mal connue** en zone de montagne (estimée à l'aide de modèles)

- A l'échelle d'**un épisode de transport** :
  - Alpes Suisses : **-2,3 %** (Groot Zwaaftink et al., 2011)
  - Alpes Françaises : **-5,3 %** (Vionnet et al, 2014)
- A l'échelle d'**un hiver** :
  - Parc de Berchtesgaden : **- 4,1 %** (Strasser et al., 2008)
  - Rocheuses Canadiennes : **-18 %** (MacDonald et al., 2009)
  - Alpes Suisses : **-0,1 %** (Groot Zwaaftink et al., 2013)

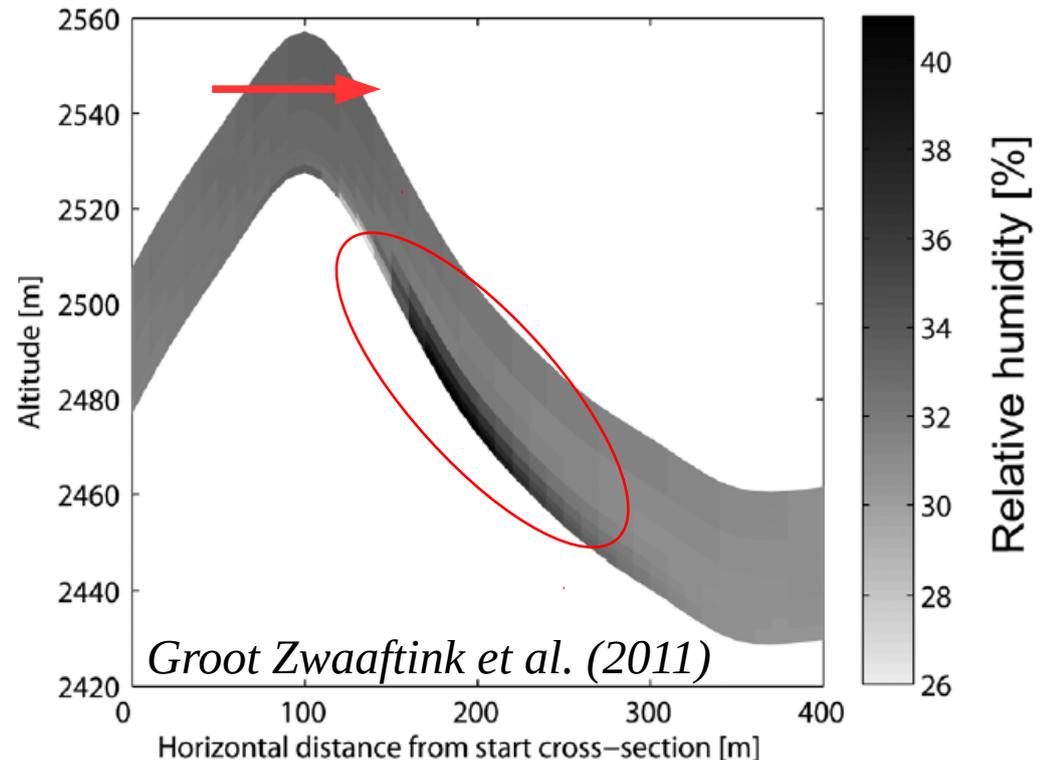


Vionnet et al (2014)

- **Variabilité spatiale marquée**
- **Besoin de quantification à l'aide de mesures**

# Rétroactions atmosphériques

- Deux rétroactions négatives :
  - **Augmentation de l'humidité relative** et donc diminution de la sous saturation et de la sublimation
  - **Diminution de la température de l'air** et donc diminution de la pression de vapeur à saturation et de la sublimation
- **En Antrarctique** : observation de la saturation de la CLS lors des épisodes de transport (*Mann et al, 2000, Barral et al, 2014*).
- Dans **les Alpes** : signature modérée suggérée par les modèles
- Augmentation de RH près de la surface de 5-9 à 15 % (*Groot Zwaaftink et al., 2011, Vionnet et al, 2014*)
- Influence de l'entraînement d'air sec (*Bintanja, 2001*)



# Dispositif expérimental

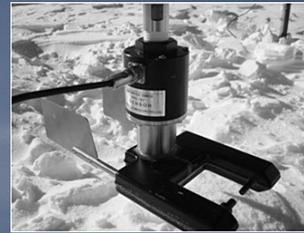
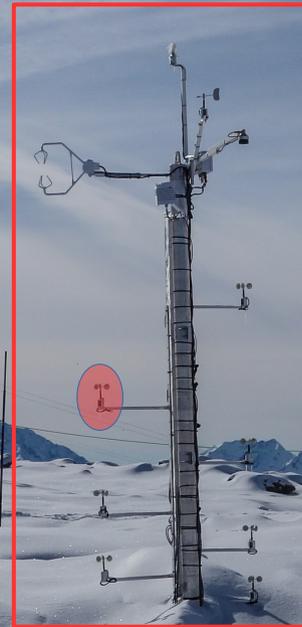


- Déployé au **Col du Lac Blanc** (Grandes Rousses, 2720 m)
- Fonctionne depuis **Novembre 2015**
- Profils disponibles au pas de temps de **10 min**

RH, T : Vaisala HMP 155A



Vent : Anémo. Coupelle A100 R



Flux et taille des particules : SPC

Crédits : F. Fontaine (Irstea)

# Conditions Novembre et Décembre 2016

- **6 épisodes de transport :**

- 3 avec précip. 

- 3 sans précip. 

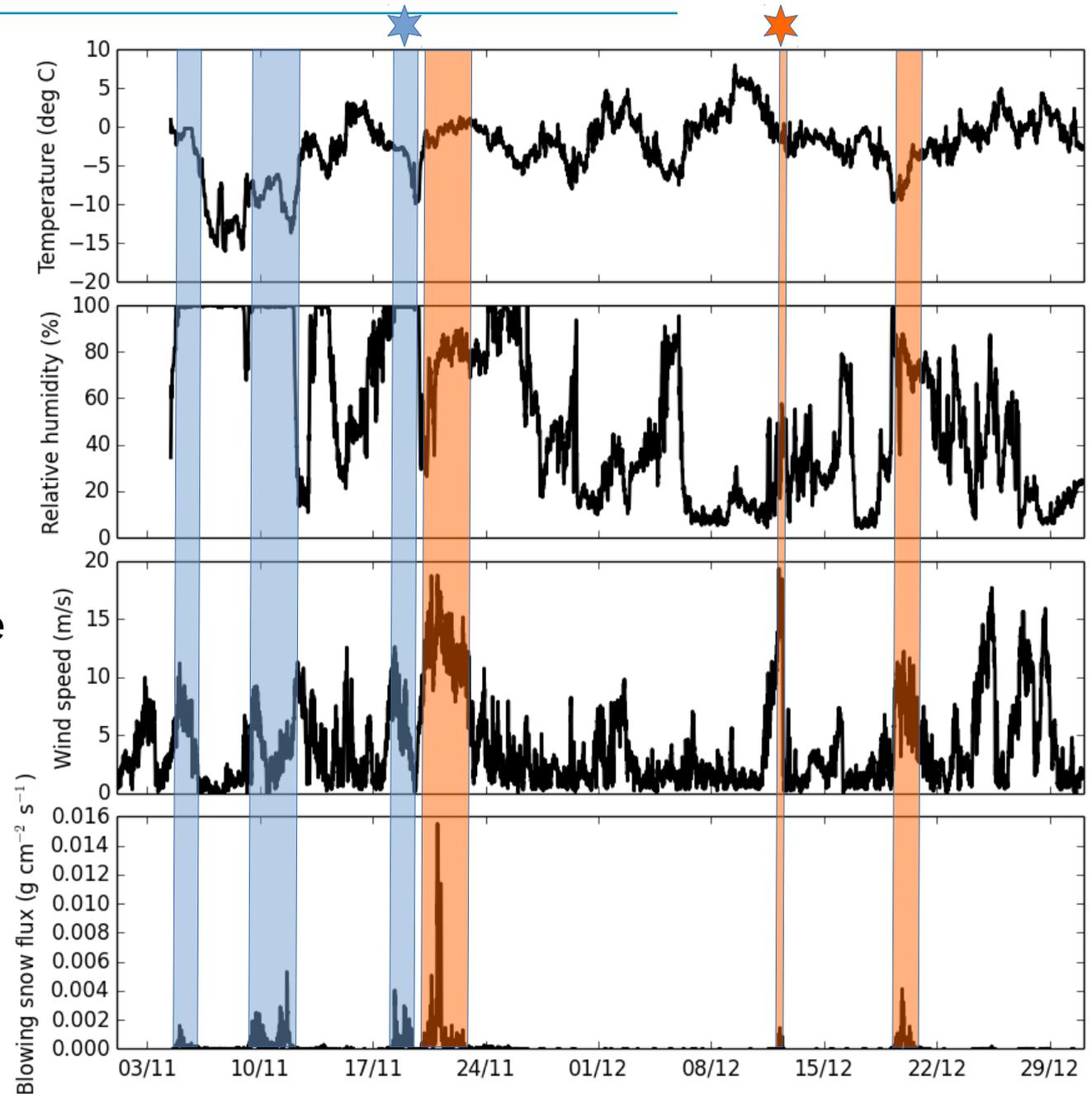
- **Forte variabilité temporelle de l'humidité relative :**

- Conditions synoptiques

- Sublimation :

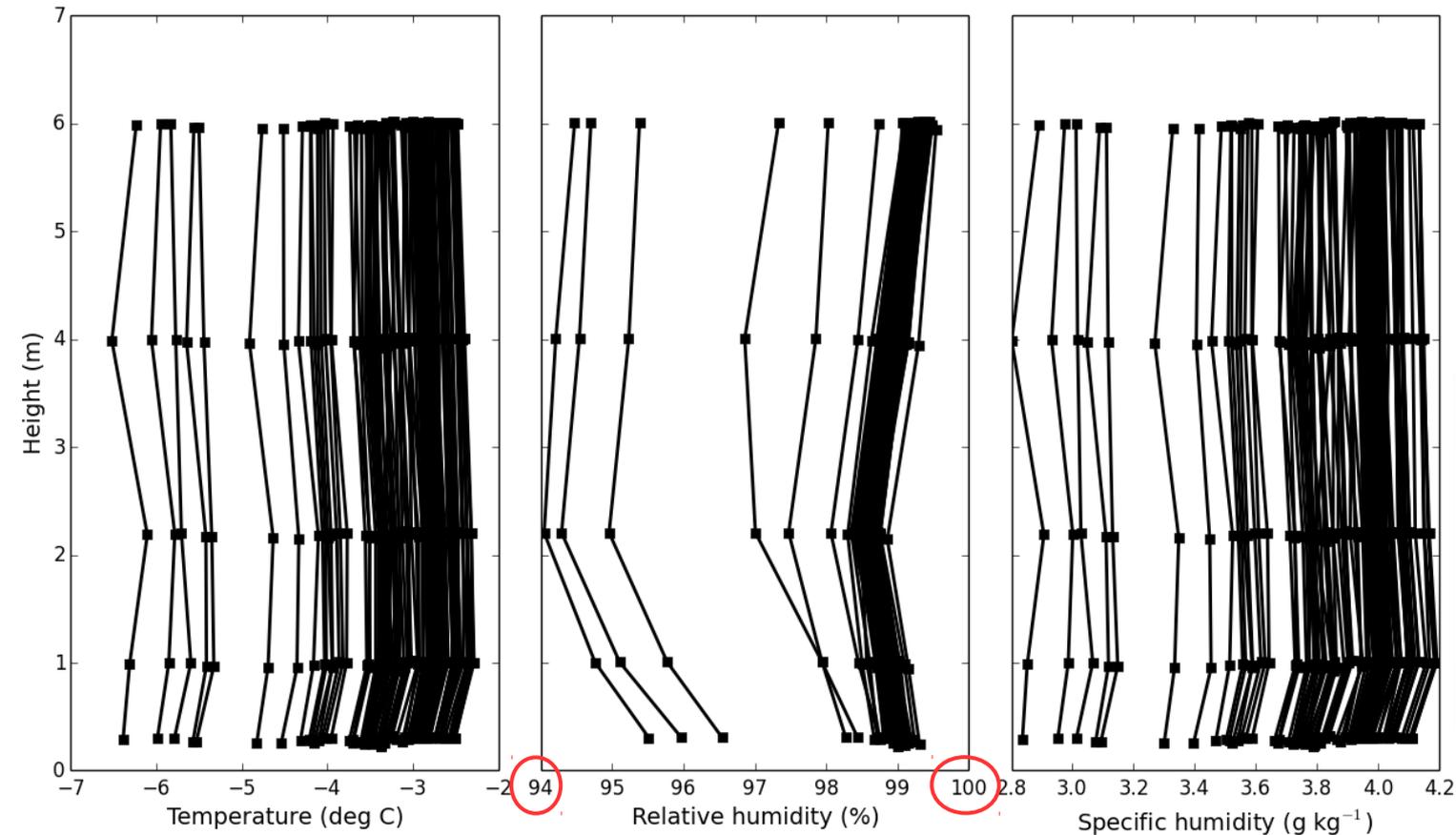
- de surface

- liée au transport



# Transport avec chute de neige

18/11/2016 04:00 – 19/11/2016 12:00



Profils verticaux pour  
 $F > 5 \cdot 10^{-4} \text{ g cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$



*Webcam Col du Lac Blanc  
18/11/2016 12:00*

- Profil vertical d'**humidité relative** proche de la **saturation**
- **Pas de variation** du profil de T et Q sur la verticale
- **Pas de sublimation** liée au transport de neige par le vent

# Flux turbulents (SHF, LHF)



Incertitude associée à la méthode à intégrer

Utilisation de la **méthode des profils** (e.g. Barral et al., 2014)

## 1. Analyse des gradients

$$u_2 - u_1 = \frac{u_*}{\kappa} [\ln(z_2/z_1) - \psi_m(z_2/L) + \psi_m(z_1/L)]$$

$$\theta_2 - \theta_1 = \frac{\theta_*}{\kappa} [\ln(z_2/z_1) - \psi_h(z_2/L) + \psi_h(z_1/L)]$$

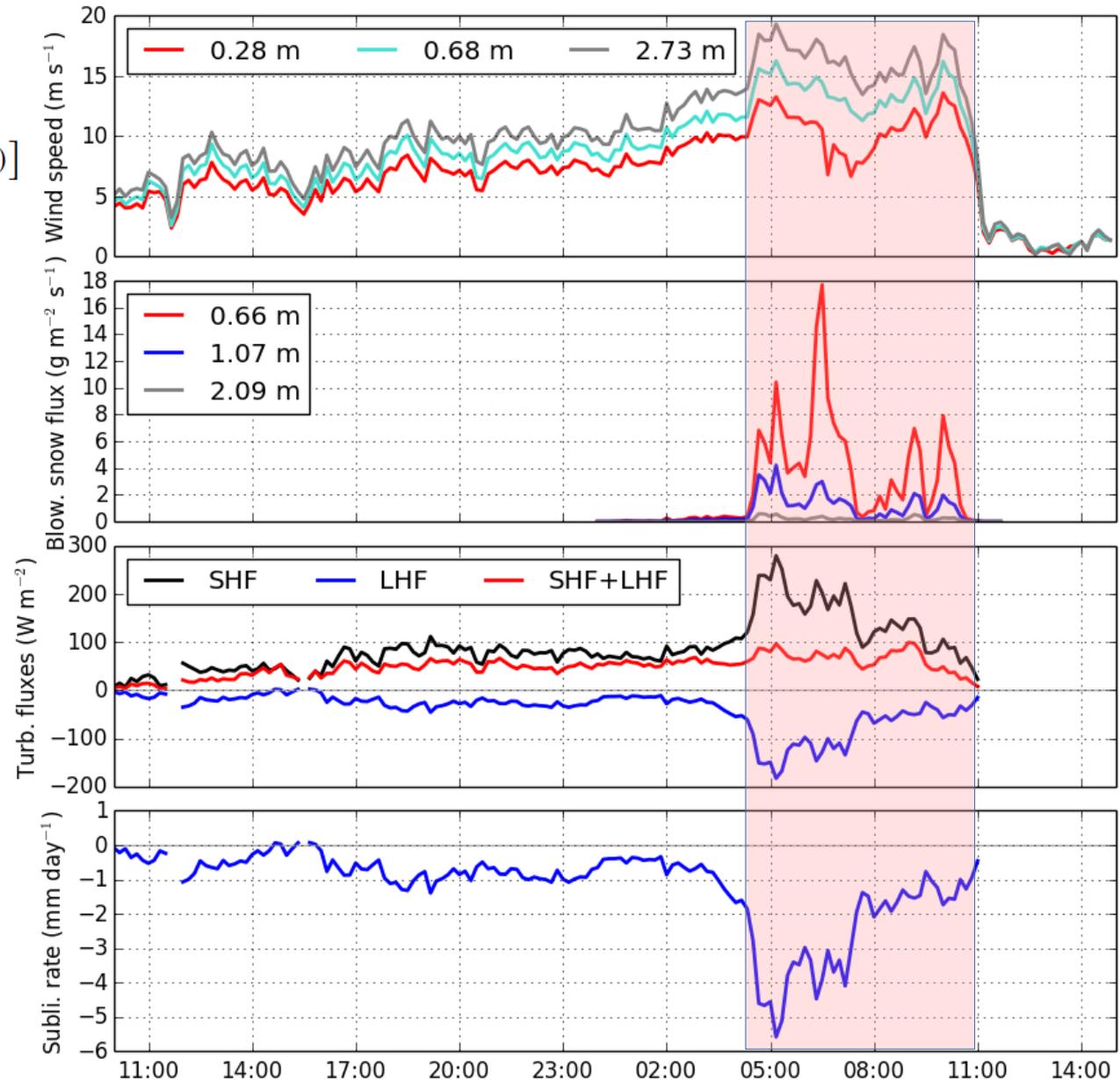
$$q_2 - q_1 = \frac{q_*}{\kappa} [\ln(z_2/z_1) - \psi_h(z_2/L) + \psi_h(z_1/L)]$$

## 2. Calcul des flux

$$\text{SHF} = \rho c_p u_* \theta_*$$

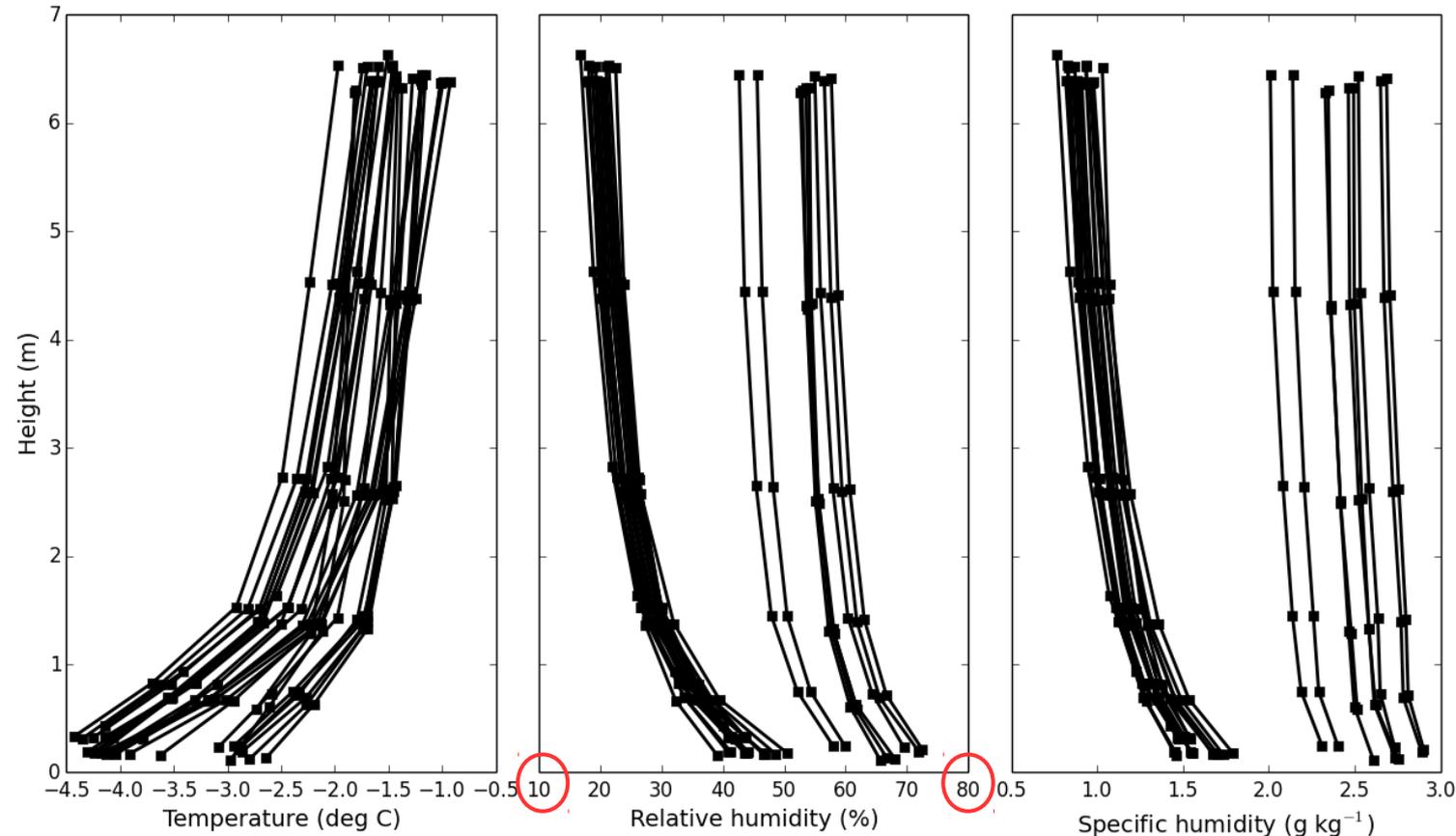
$$\text{LHF} = \rho L_s u_* q_*$$

- **Flux turbulents élevés** pendant de l'épisode de transport
- **Sublimation marquée**
- **Quelle contribution du transport ?**



# Transport sans chute de neige

12/12/2016 00:00 – 12/12/2016 12:00



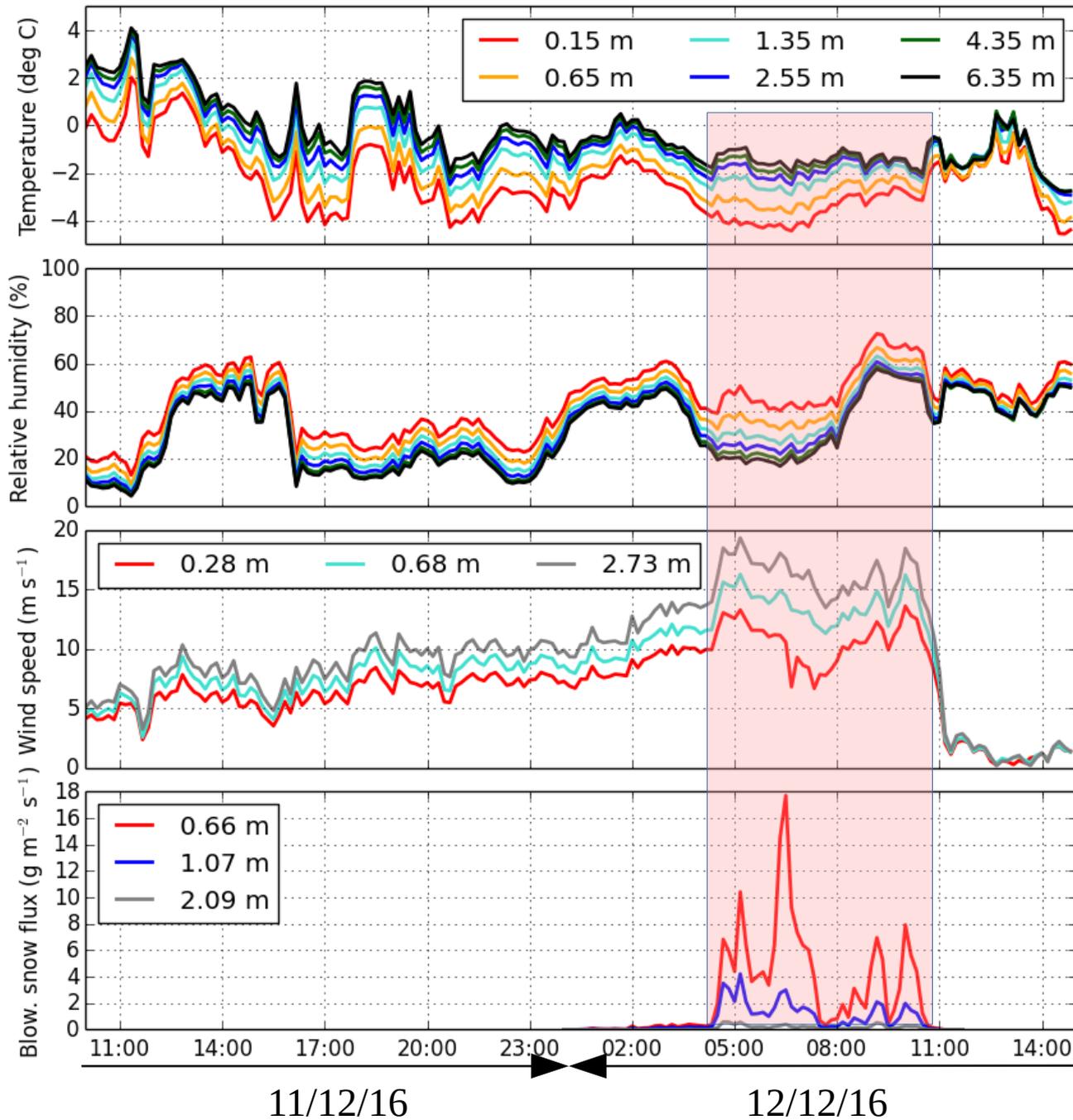
Profils verticaux pour  
 $F > 5 \cdot 10^{-4} \text{ g cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$



*Webcam Col du Lac Blanc*  
12/12/2016 10:00

- Humidité relative et spécifique plus élevées proche de la surface
- **CLS stable** : inversion marquée de température proche de la surface
- **Signature combinée** : sublimation de surface + sublimation liée au transport de neige par le vent

# Analyse détaillée Épisode 12/12/2016



# Flux turbulents (SHF, LHF)



Incertitude associée à la méthode à intégrer

Utilisation de la **méthode des profils** (e.g. Barral et al., 2014)

## 1. Analyse des gradients

$$u_2 - u_1 = \frac{u_*}{\kappa} [\ln(z_2/z_1) - \psi_m(z_2/L) + \psi_m(z_1/L)]$$

$$\theta_2 - \theta_1 = \frac{\theta_*}{\kappa} [\ln(z_2/z_1) - \psi_h(z_2/L) + \psi_h(z_1/L)]$$

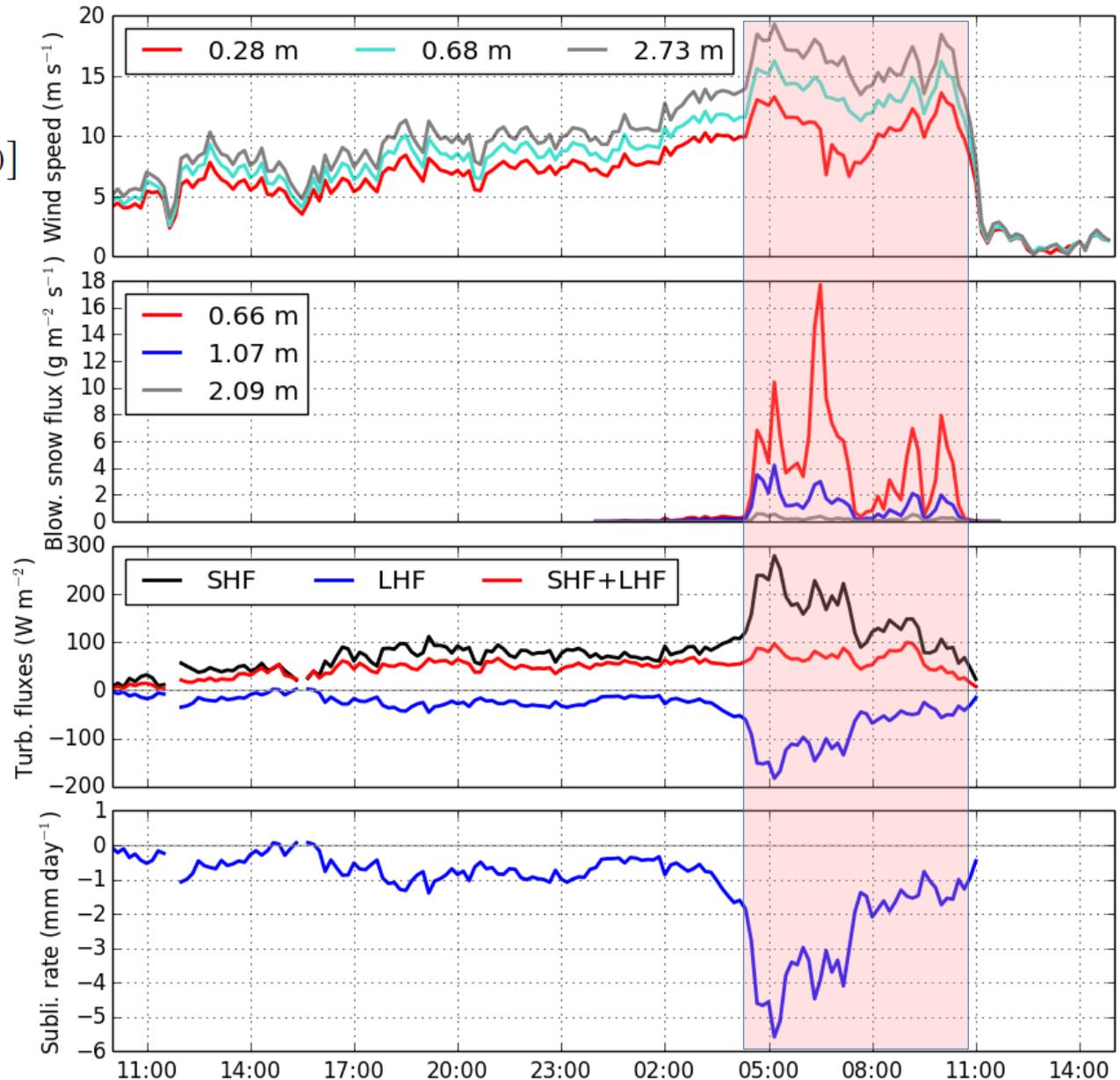
$$q_2 - q_1 = \frac{q_*}{\kappa} [\ln(z_2/z_1) - \psi_h(z_2/L) + \psi_h(z_1/L)]$$

## 2. Calcul des flux

$$\text{SHF} = \rho c_p u_* \theta_*$$

$$\text{LHF} = \rho L_s u_* q_*$$

- **Flux turbulents élevés** pendant de l'épisode de transport
- **Sublimation marquée**
- **Quelle contribution du transport ?**



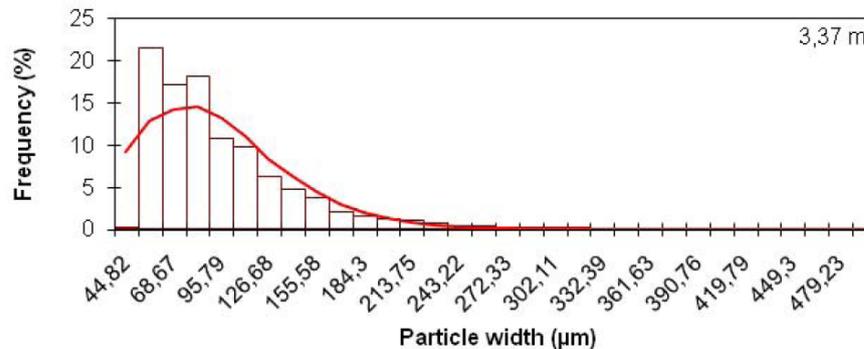
# Sublimation liée au transport (1)

Schmidt (1982), Mann et al. (2000)

- Méthode des profils : profils verticaux :  $T(z)$ ,  $RH_i(z)$  et  $U(z)$
- Analyse du profil des **3 SPC** :

1) Profil vertical de **concentration en nombre** ( $\# \text{ m}^{-3}$ )  $N(z)$  :  $\frac{N(z)}{N_r} = \left(\frac{z}{z_r}\right)^{-\frac{w_{f,\alpha} v}{k u_*}}$

2) Distribution en taille des particules : **loi gamma**  $f(D) = \frac{D^{\alpha-1}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \exp\left(-\frac{\beta}{D}\right)$



$$D_m = \alpha \beta$$

3) Détermination de  $\alpha(z)$  et  $D_m(z)$

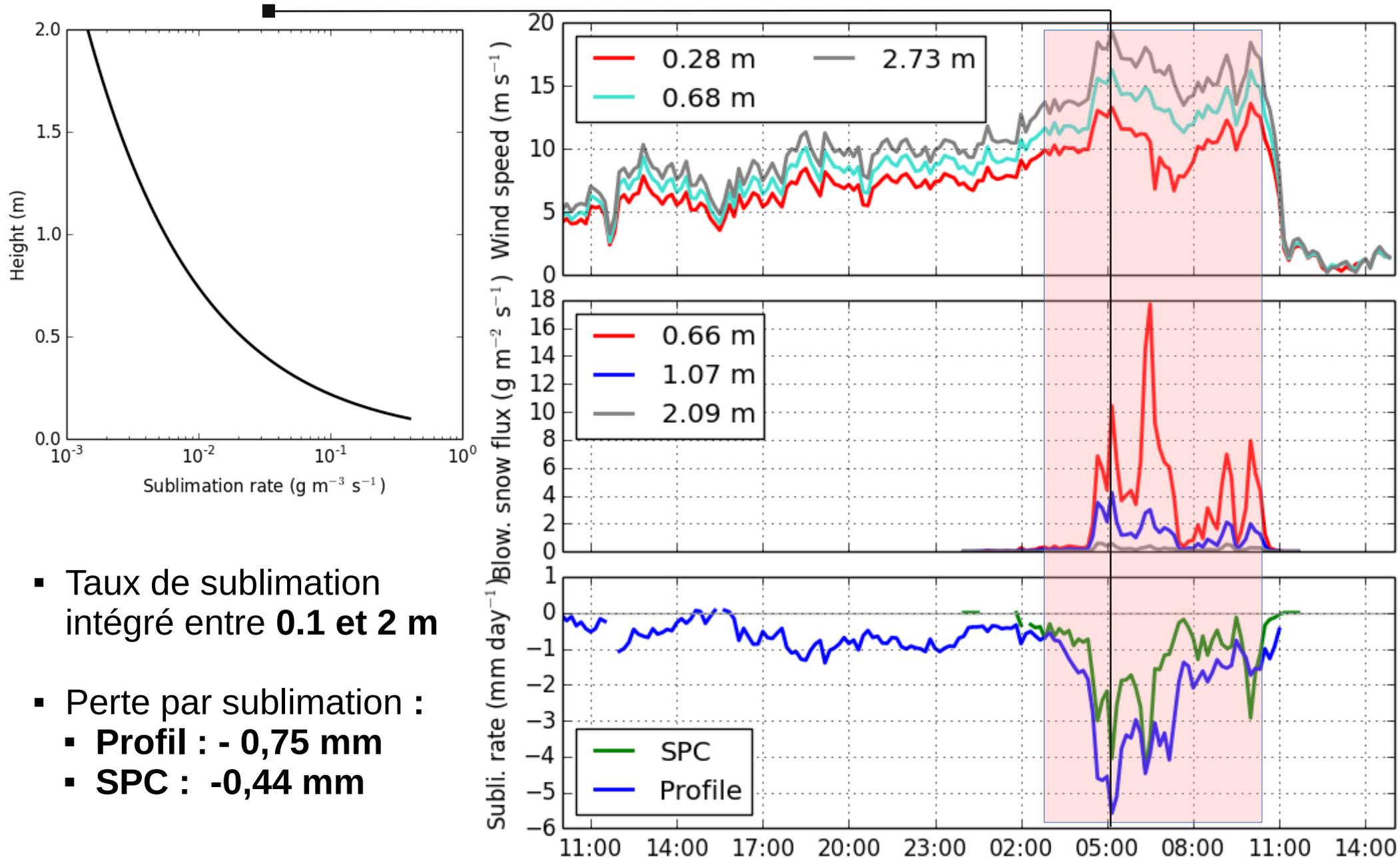
- Calcul des **taux de sublimation** :

1) Taux de sublimation à une hauteur donnée :  $q_{Subl}(z) = \int_0^\infty N_z(z) f(D) \frac{dm}{dt}(D, z) dD$  ( $\text{kg m}^{-3} \text{ s}^{-1}$ )

2) Taux de sublimation intégré

$$S_{h_1 h_2} = \int_{h_1}^{h_2} q_{Subl}(z) dz$$
 ( $\text{kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )

# Sublimation liée au transport (2)



# Conclusion et perspectives

---

- Déploiement d'un **dispositif expérimental** complet pour caractériser la sublimation liée au transport de neige par le vent
- **Pas de saturation de la CLS** lors des épisodes de transport (accord avec les modèles)
- Mise en place d'une méthode de **calcul indirect** des **quantités de neige sublimée** lors des épisodes de transport
- Analyse à étendre sur **l'hiver 2015/2016**
- Nécessité de proposer une **quantification des incertitudes**

**Merci pour votre attention !  
Questions ?**

