

Caractérisation des processus diabatiques dans la tempête Stalactite et étude de leurs impacts sur la dynamique de méso-échelle

Nicolas BLANCHARD¹, Jean-Pierre CHABOUREAU¹

¹Laboratoire d'Aérodynamique, CNRS, Université Paul Sabatier, Toulouse

Julien DELANOË²

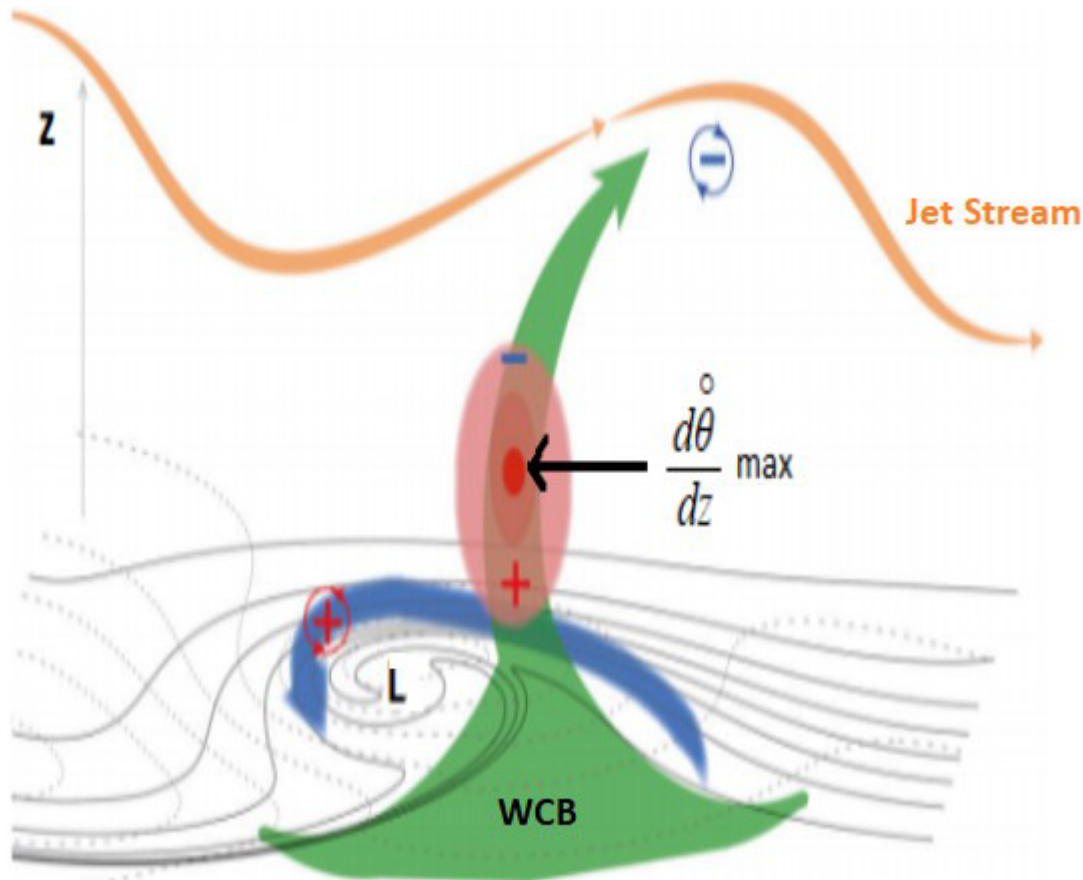
²LATMOS-IPSL, CNRS/INSU, Université Versailles St-Quentin, Guyancourt



Réunion d'équipe NAWDEX, 29 janvier 2018, Météo-France

Motivation

Améliorer la paramétrisation des processus diabatiques au sein des tempêtes extra-tropicales afin de mieux prévoir les événements à fort impacts en aval dans les modèles numériques



Wernli et al. (2014)

Hoskins et al. (1985)

$$\frac{D.PV}{Dt} = \frac{1}{\rho} \cdot (f + \zeta^r) \cdot \frac{d\theta}{dz}$$

- Au-dessus $\frac{d\theta}{dz}_{\max}$:
 - Destruction diabatique de PV
 - Circulation anticyclonique renforcée
- En-dessous $\frac{d\theta}{dz}_{\max}$:
 - Production diabatique de PV
 - Circulation cyclonique renforcée



Erreurs de prévision

Dégagement de chaleur latente (LE)
dans la bande transporteuse d'air
chaud (WCB) modifie la dynamique
Joos et Wernli (2012)

Représentation des processus diabatiques dans la WCB

Chauffage

$\sim 2 \text{ K h}^{-1}$ entre 850-500 hPa issu de condensation dans basses et moyennes couches / déposition de vapeur d'eau sur les hydrométéores glacés en haute couche ; convection non-négligeable

Impacts

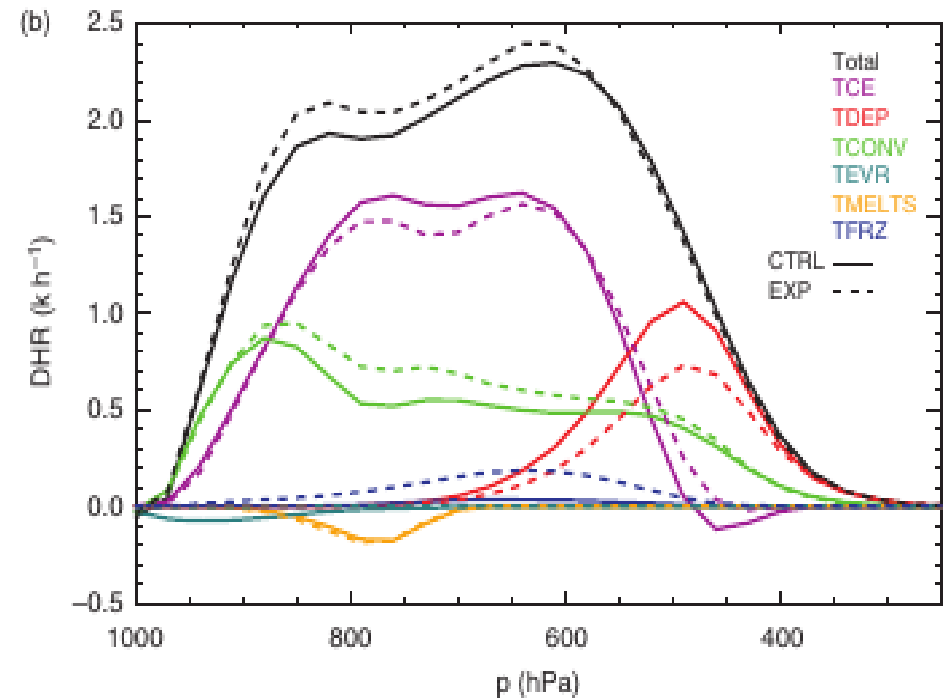
→ Localisation et intensité des précipitations, des rafales et du flux en sortie de WCB

(Binder et al. 2016, Chagnon et Gray 2015, Hawcroft et al. 2016, Joos et Wernli 2012, Joos et Forbes 2016, Madonna et al. 2014, Madonna et al. 2015, Martinez-Alvarado et al. 2014)

Limitations

→ Paramétrisation de la circulation méso-échelle (dont convection) et de la physique nuageuse dans simulations NWP ou cadres idéalisés pour simulations $\Delta x \sim 1 \text{ km}$

→ Pas d'observation à l'intérieur de la WCB



Bilans lagrangiens sur les tendances de θ le long des trajectoires dans une WCB (Joos et Forbes 2016)

Quel est l'impact d'une simulation à convection explicite sur le chauffage diabatique et la dynamique dans une tempête extra-tropicale ?

Impacts des processus diabatiques en aval

Circulation d'altitude modifiée

- dégagement de chaleur dans la WCB
- effet radiatif des nuages d'altitude

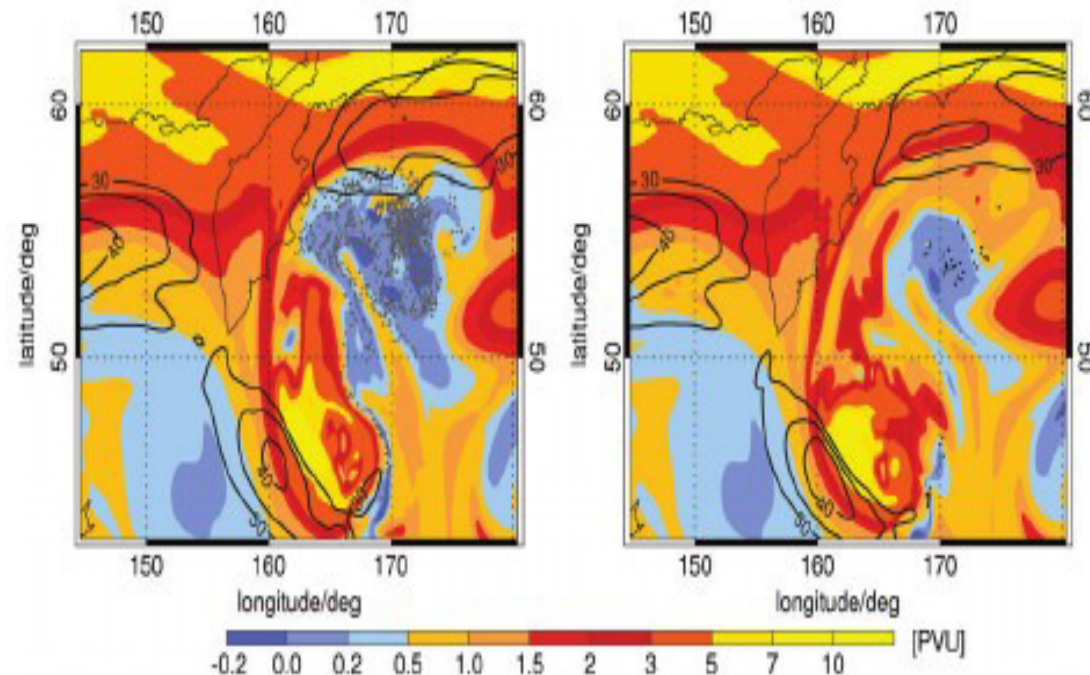
(Chagnon et al. 2013, Davies et Didone 2013, Grams et al. 2011, Grams et Blumer 2015, Grams et Archambault 2016, Gray et al. 2014, Madonna et al. 2014, Methven 2014, Pfhal et al. 2015, Saffin et al. 2016, Saffin et al. 2017, Schemm et al. 2013, Teubler et Riemer 2016)

Sensibilité à l'humidité dans les régions d'ascendances de la WCB

(Doyle et al. 2013, Pfhal et al. 2014, Schäfler et al. 2011, Schäfler et Harnisch 2015)

Limitations

- Paramétrisation de la circulation méso-échelle et de la physique nuageuse dans simulations NWP à $\Delta x \sim 12-25$ km
- Pas d'observations en sortie et en aval de la WCB



PV et vent à $\theta=322$ K

(Schäfler et Harnisch 2015)

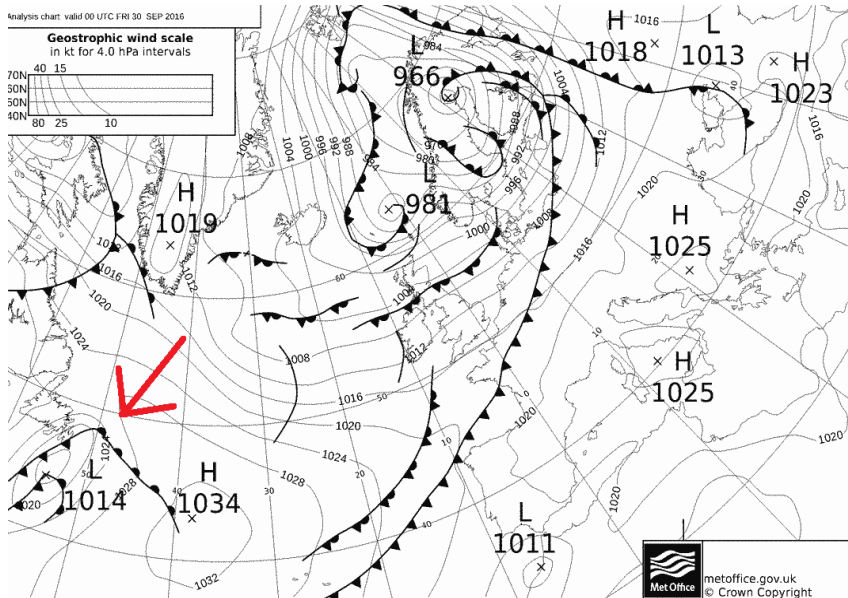
$\Delta \text{MSLP}_{\min} = -3$ hPa, $\Delta \text{DHR} = -3$ K,

$\text{WCB}_{\text{out}} = -20$ hPa, $V_{\text{courant-jet}} = -15\%$

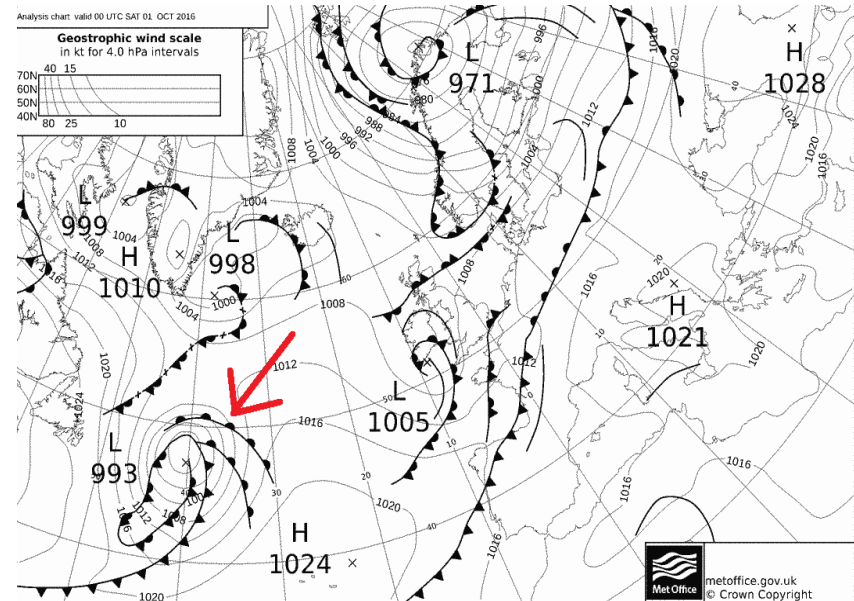
Quel est l'impact d'une simulation à convection explicite sur la dynamique de grande-échelle en aval des tempêtes extra-tropicales ?

Développement de la tempête *Stalactite*

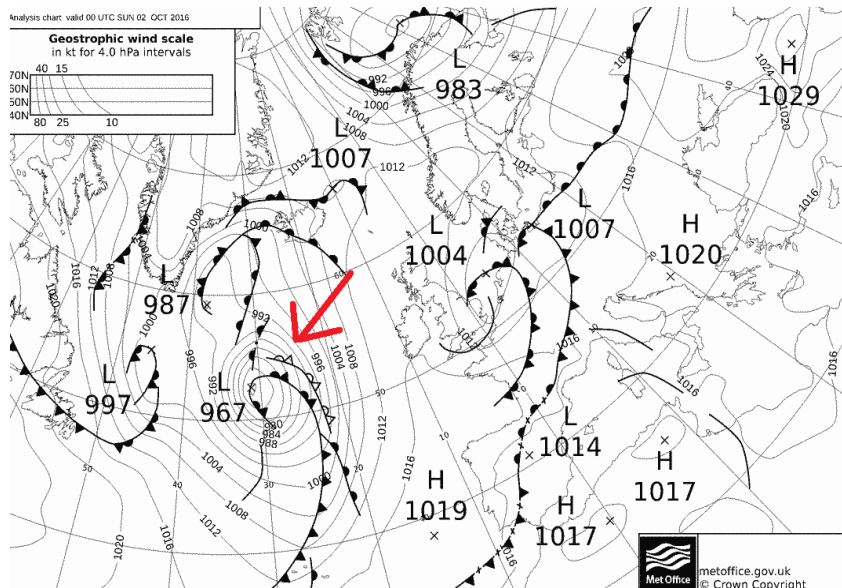
0000 UTC, 30/09/2016



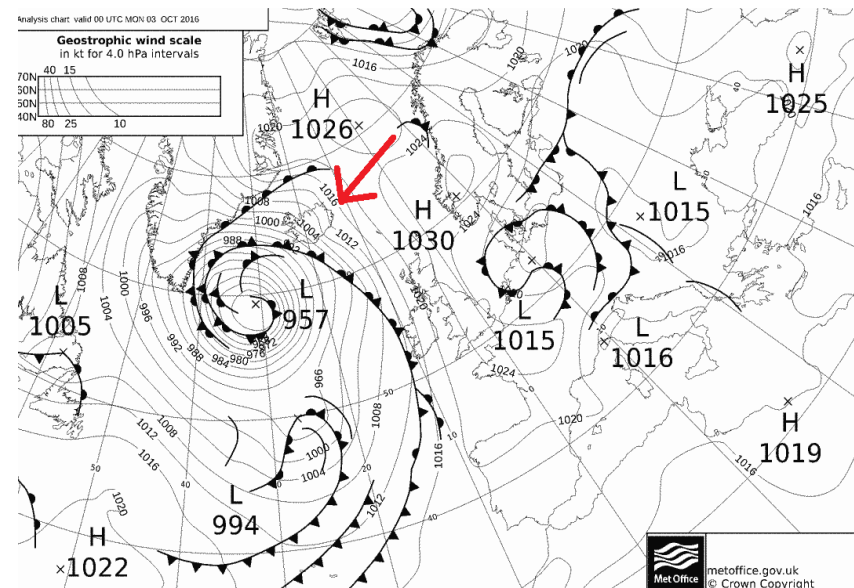
0000 UTC, 01/10/2016



0000 UTC, 02/10/2016



0000 UTC, 03/10/2016



Objectifs

1. **Obtenir une simulation capable de reproduire la tempête Stalactite**
 - Simulations avec le modèle atmosphérique Mésos-NH
 - Utilisation d'observations satellites et radar
2. **Identifier et quantifier les processus diabatiques**
 - Étude des structures de méso-échelle dans la WCB
 - Bilans eulériens dans une partie de la WCB
3. **Caractériser les impacts des processus diabatiques sur la dynamique**
 - À la surface, au niveau de la tropopause ?
 - Simulation de référence vs. sensibilité aux processus nuageux

Simulations et observations

Simulations Meso-NH : mesoscale non-hydrostatic model

- 800x800 points grille
- $\Delta x = 2.5$ km
→ convection résolue
- Start à 0000 UTC le 2 Octobre
 $t = 36$ h ; analyses ECMWF

1. Simulation de référence (REF)

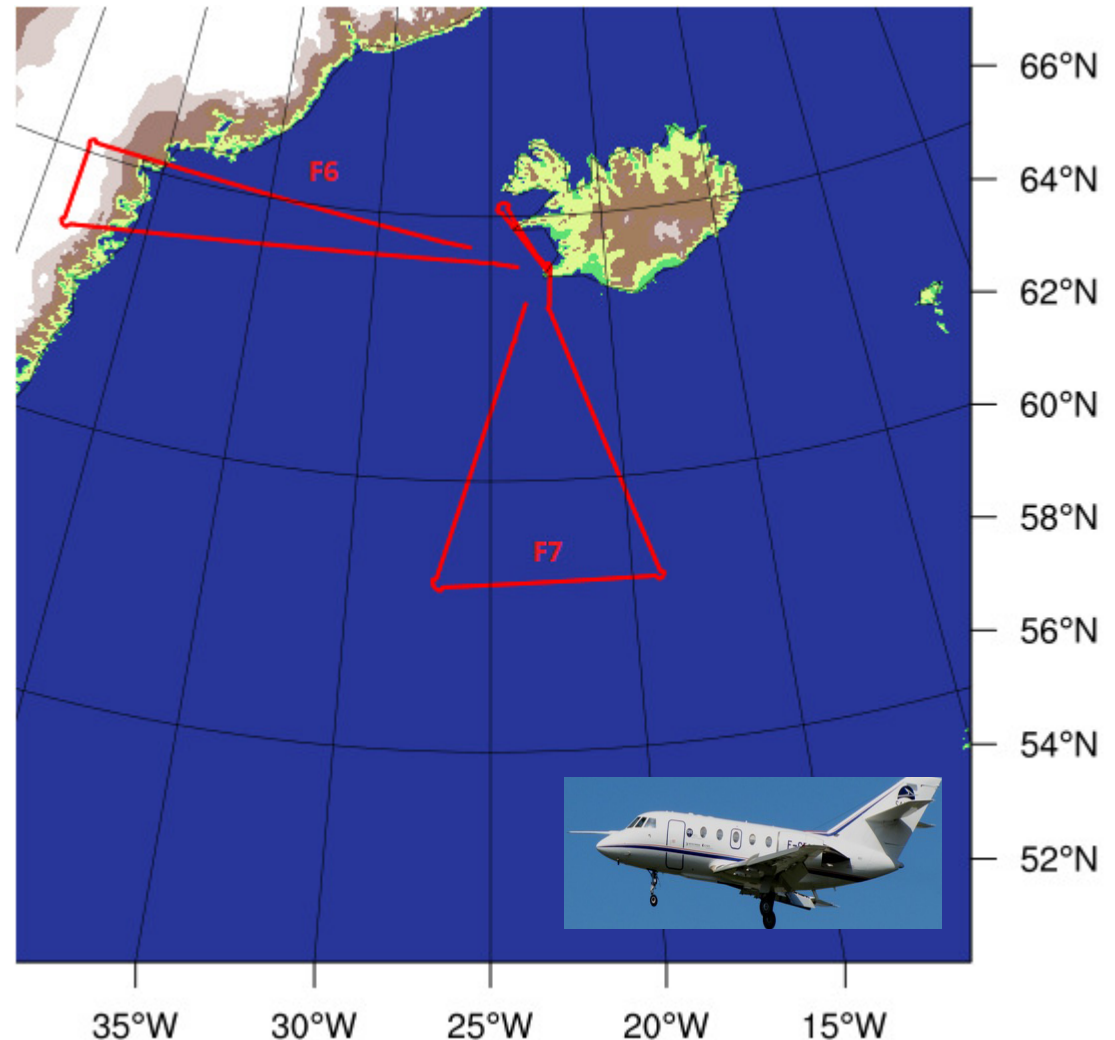
- tous les processus diabatiques

2. Simulation de sensibilité (SEN)

- dégagement de chaleur +
refroidissement dus aux
processus nuageux coupés

Observations :

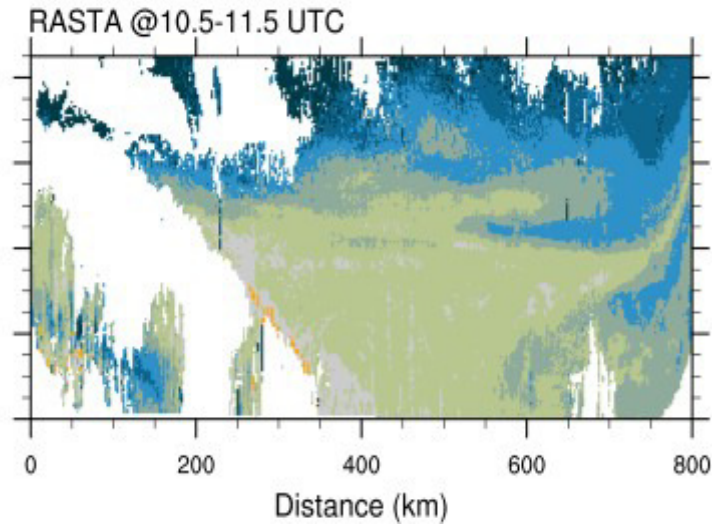
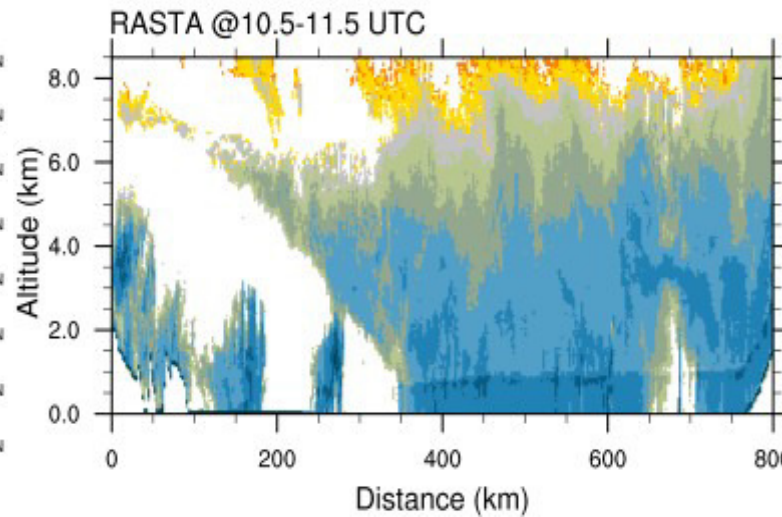
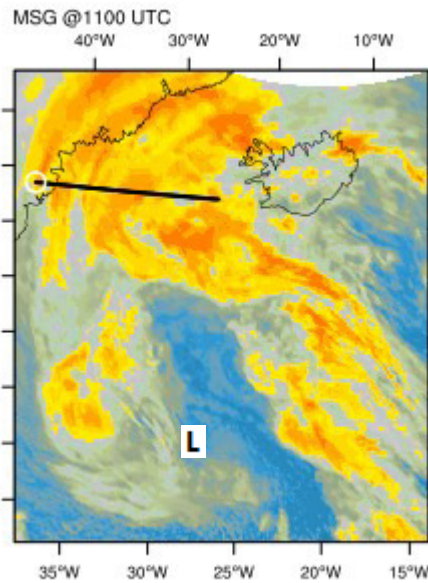
- Images satellite MSG ($10,8 \mu\text{m}$)
- Radar Doppler RASTA (3 mm)



F6: 0900 UTC – 1130 UTC → flux sortie WCB

F7: 1300 UTC – 1600 UTC → ascendances WCB

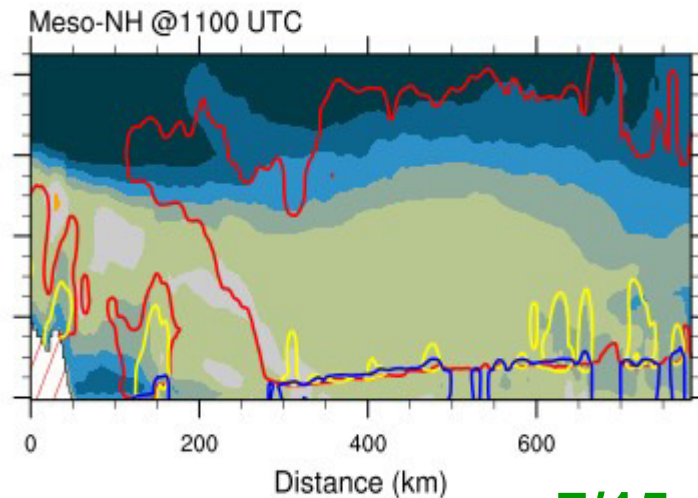
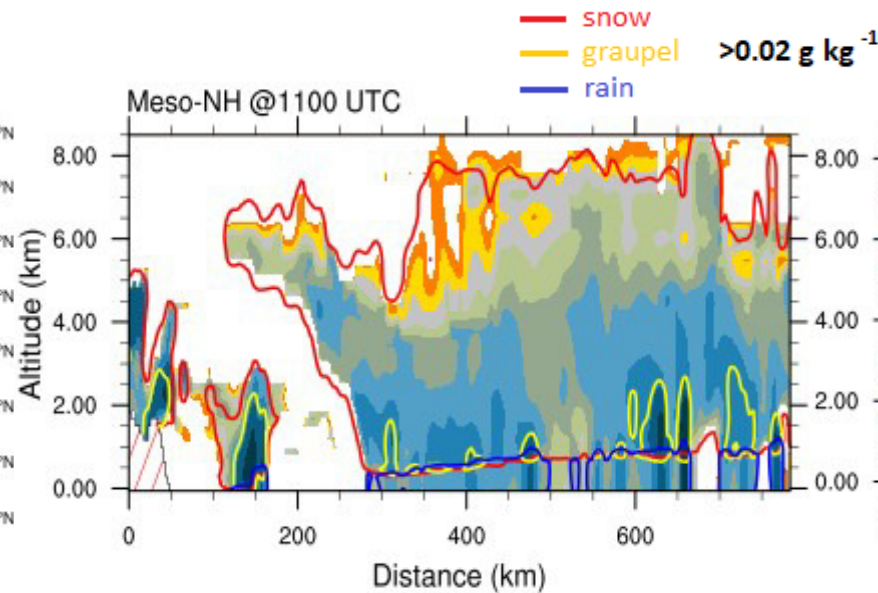
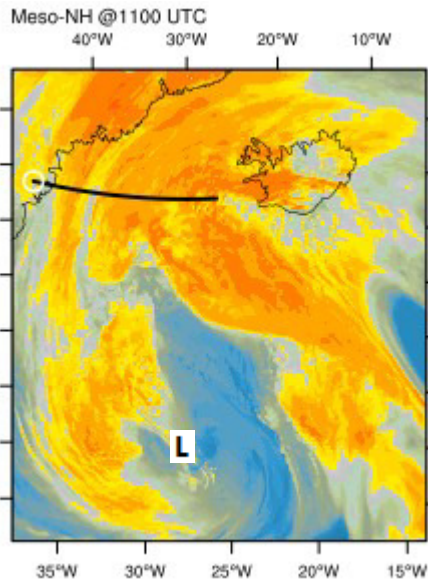
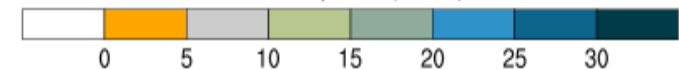
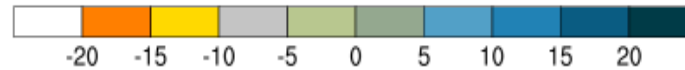
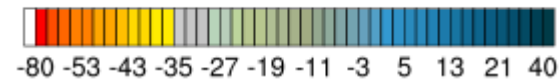
Observations vs. Ref à 1100 UTC



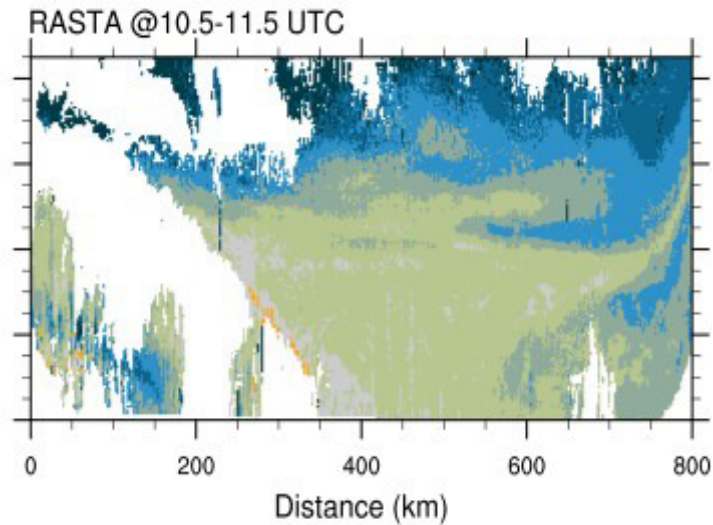
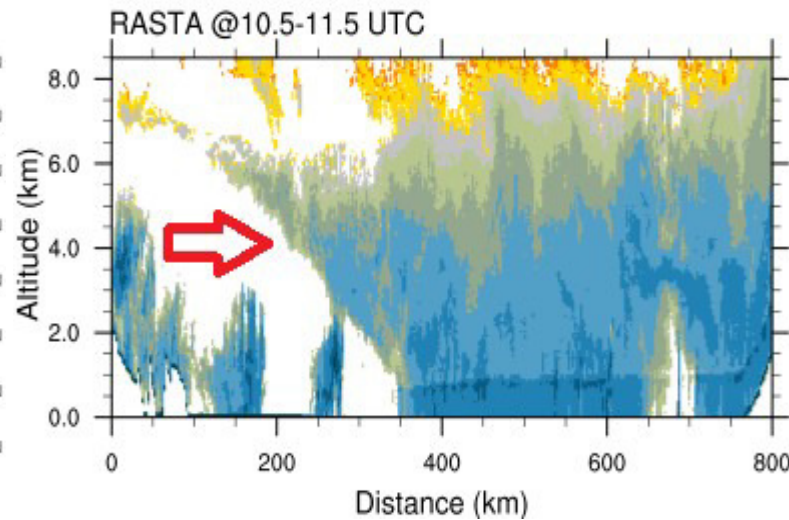
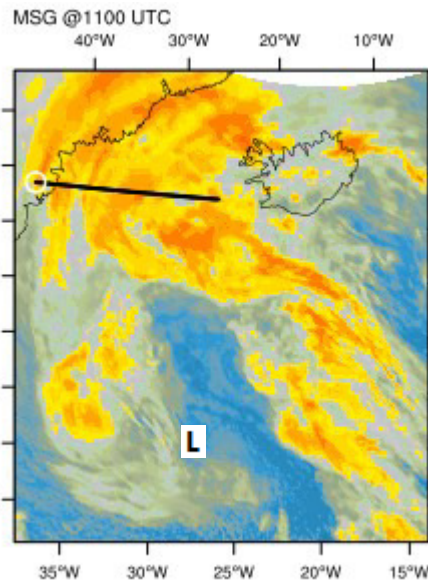
10.8 μm Brightness Temperature ($^{\circ}\text{C}$)

Radar Reflectivity (dBZ)

Wind speed (m s^{-1})



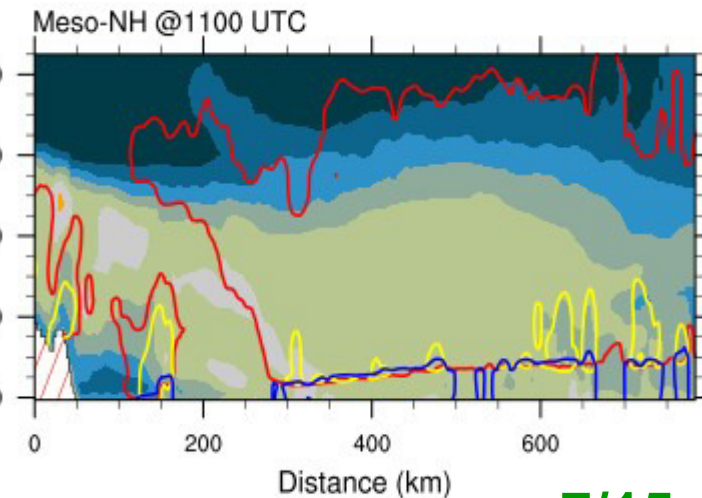
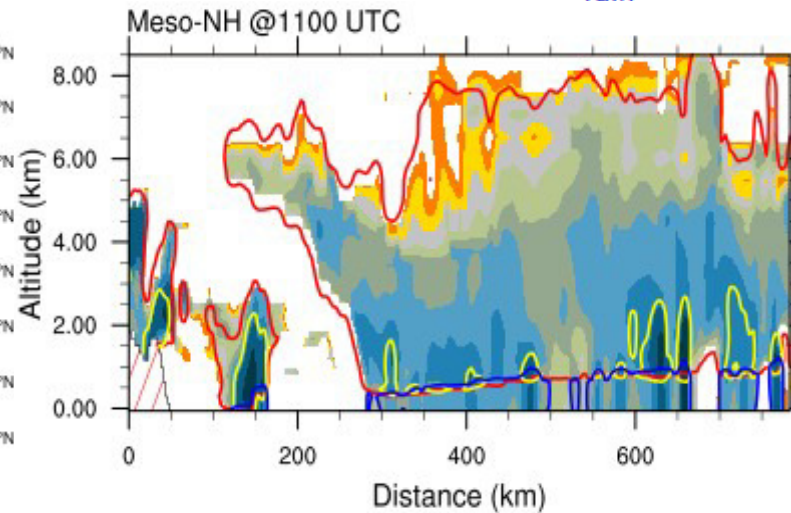
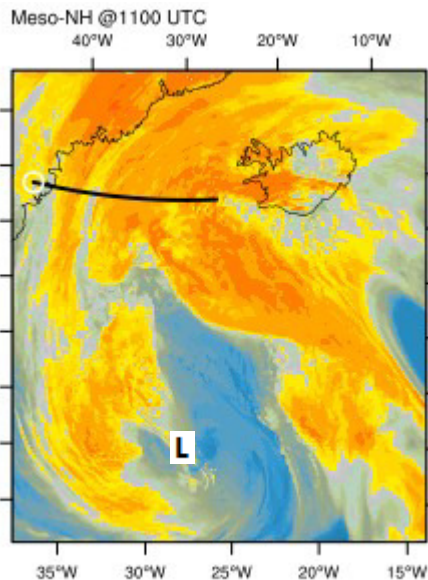
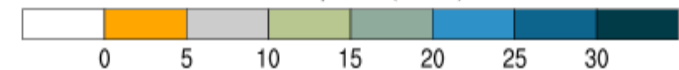
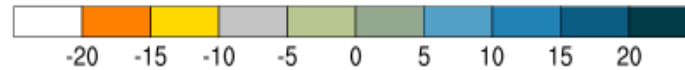
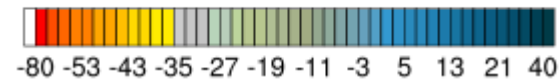
Observations vs. Ref à 1100 UTC



10.8 μm Brightness Temperature ($^{\circ}\text{C}$)

Radar Reflectivity (dBZ)

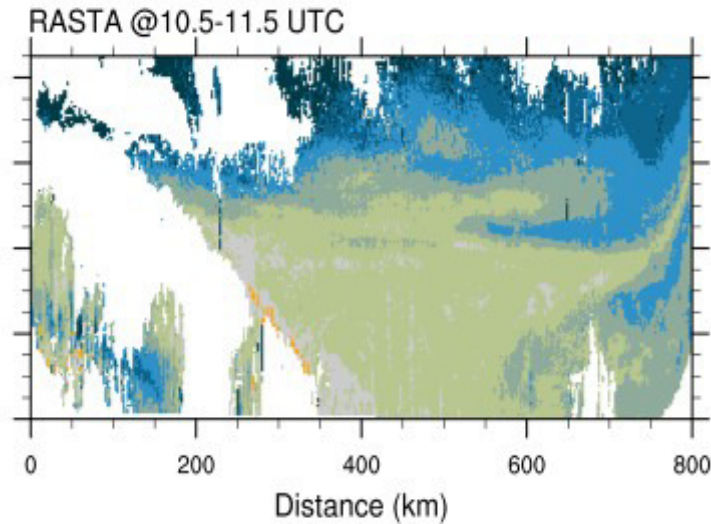
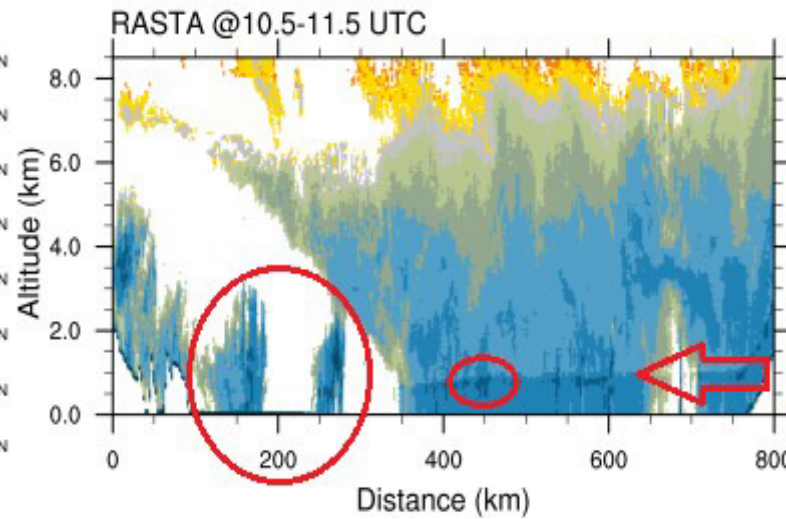
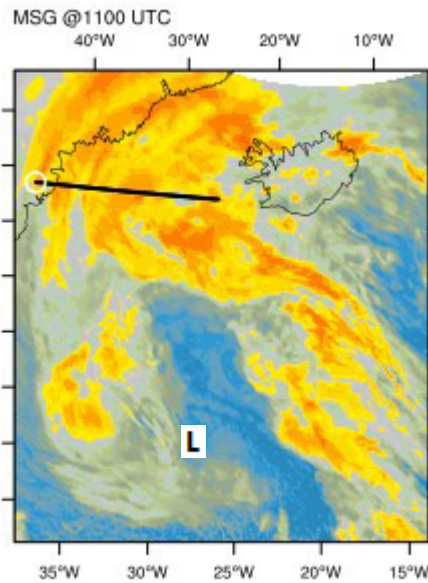
Wind speed (m s^{-1})



— snow
— graupel
— rain

$>0.02 \text{ g kg}^{-1}$

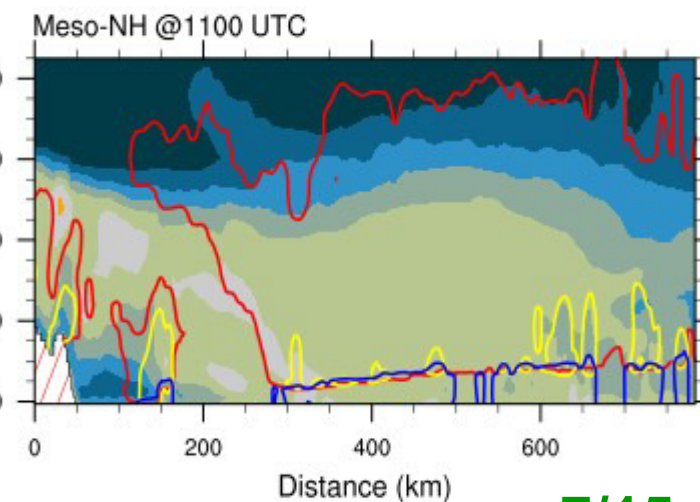
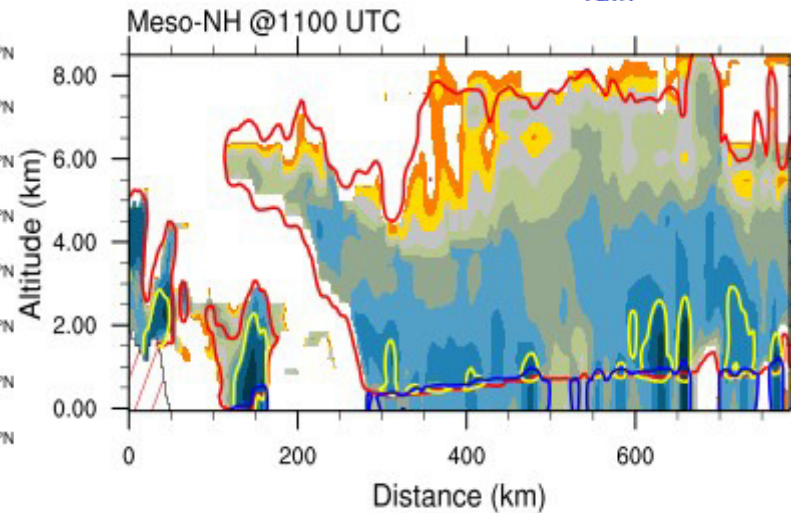
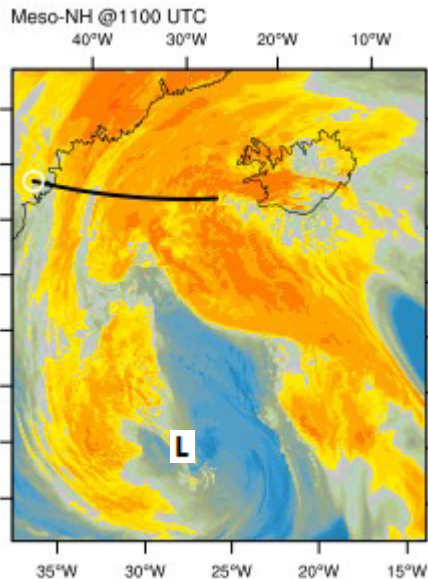
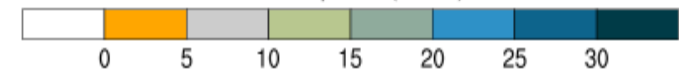
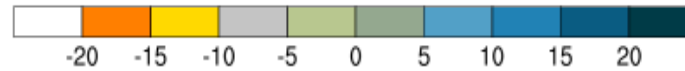
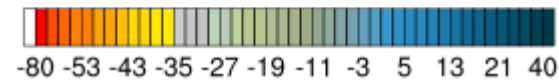
Observations vs. Ref à 1100 UTC



10.8 μm Brightness Temperature ($^{\circ}\text{C}$)

Radar Reflectivity (dBZ)

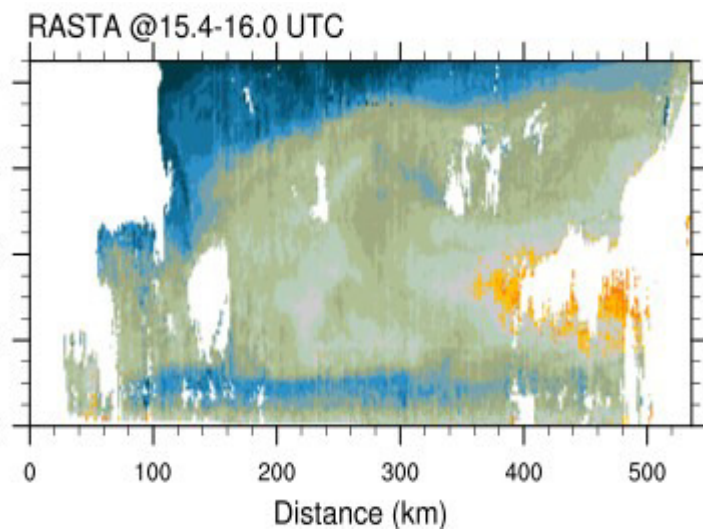
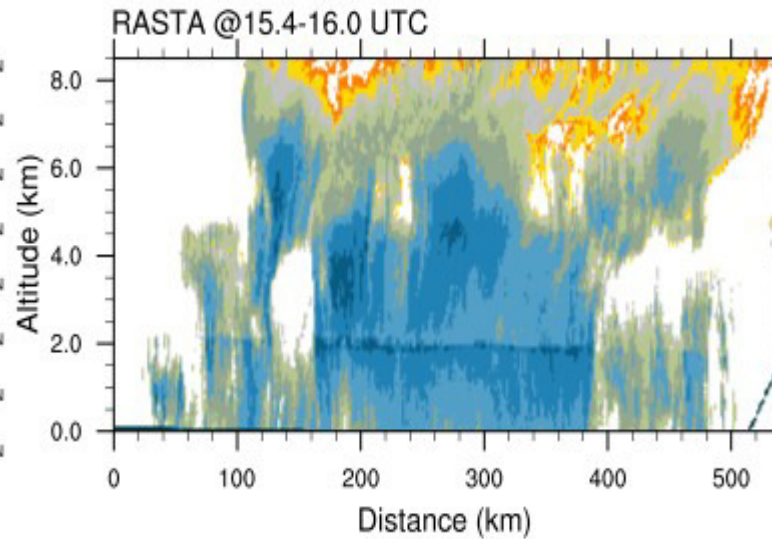
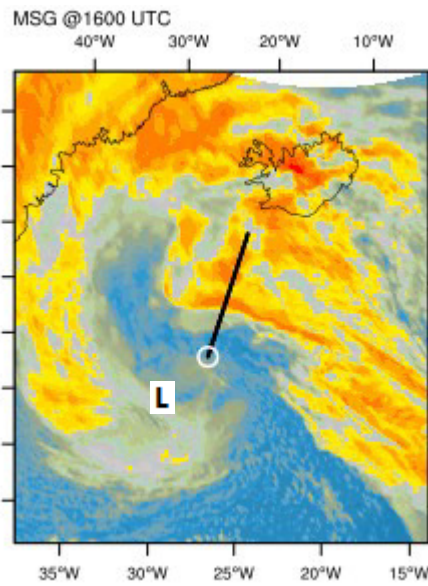
Wind speed (m s^{-1})



— snow
— graupel
— rain

$>0.02 \text{ g kg}^{-1}$

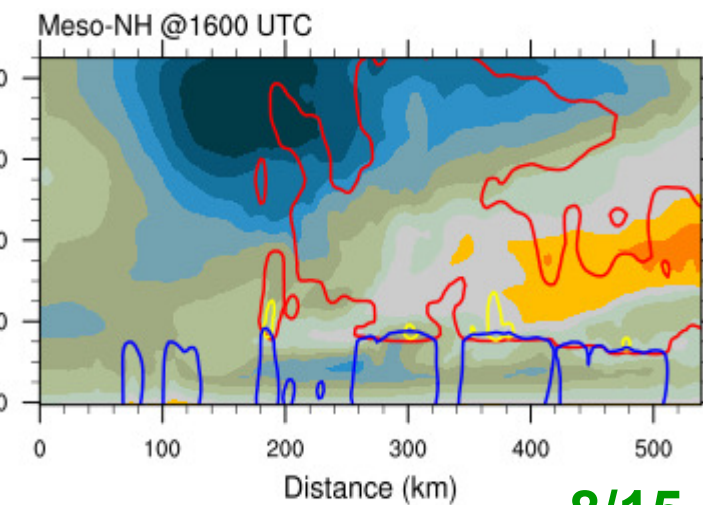
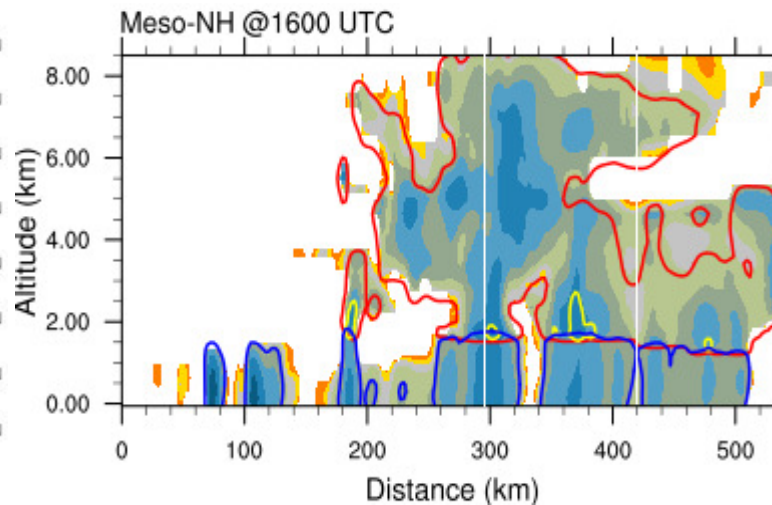
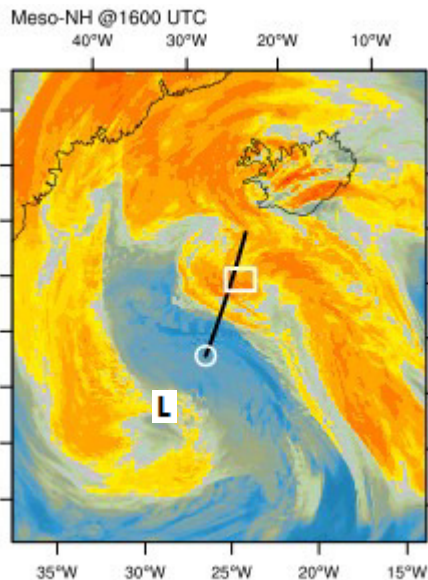
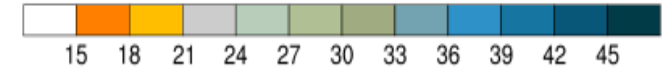
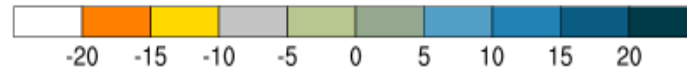
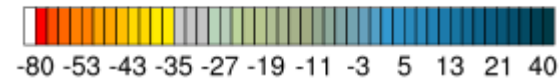
Observations vs. Ref à 1600 UTC



10.8 μm Brightness Temperature ($^{\circ}\text{C}$)

Radar Reflectivity (dBZ)

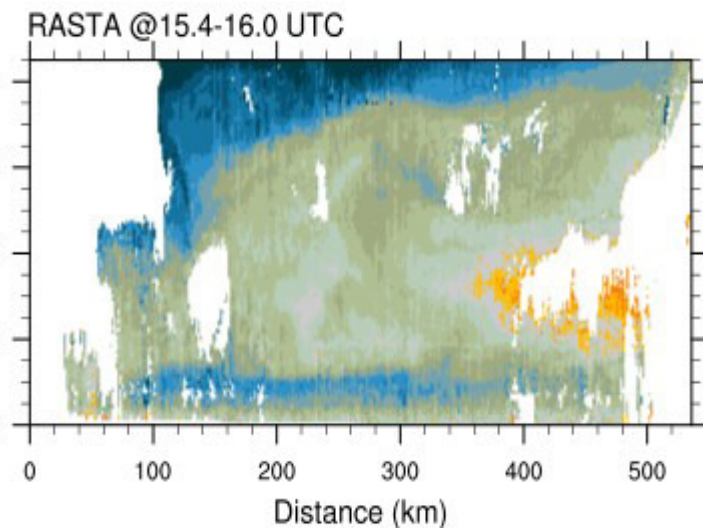
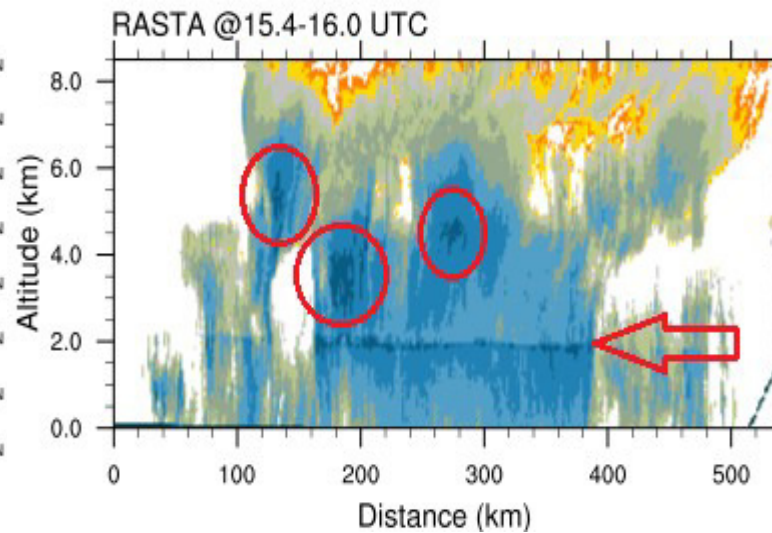
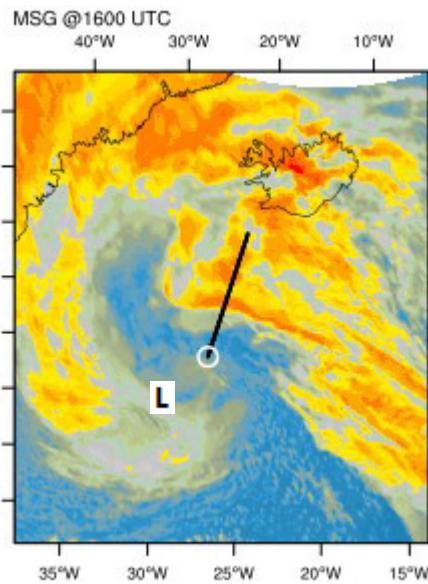
Wind speed (m s^{-1})



— snow
— graupel
— rain

$>0.02 \text{ g kg}^{-1}$

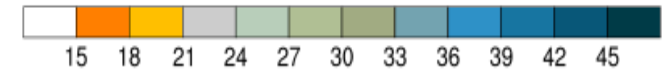
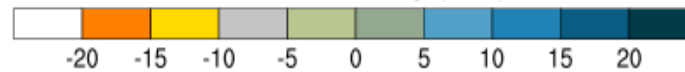
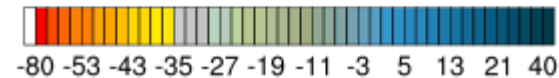
Observations vs. Ref à 1600 UTC



10.8 μm Brightness Temperature ($^{\circ}\text{C}$)

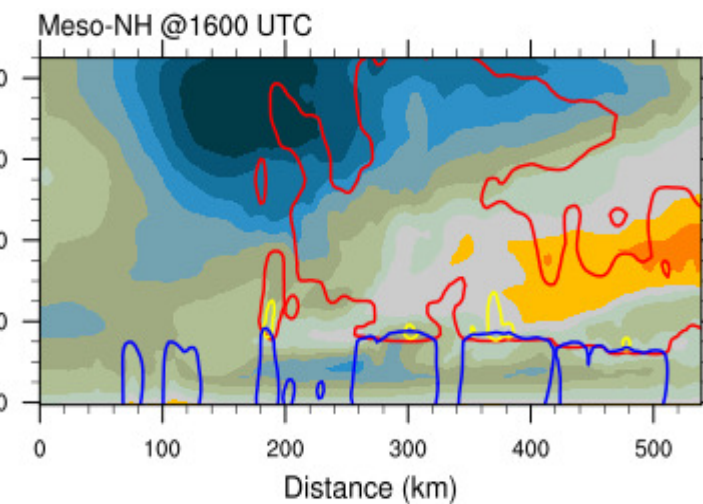
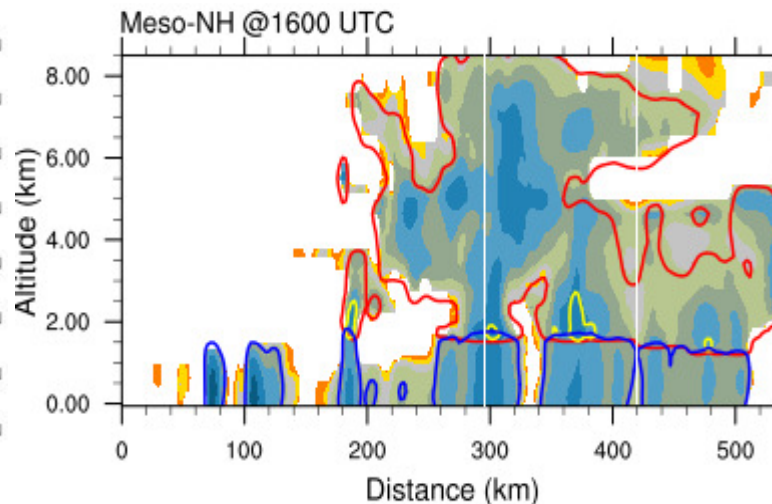
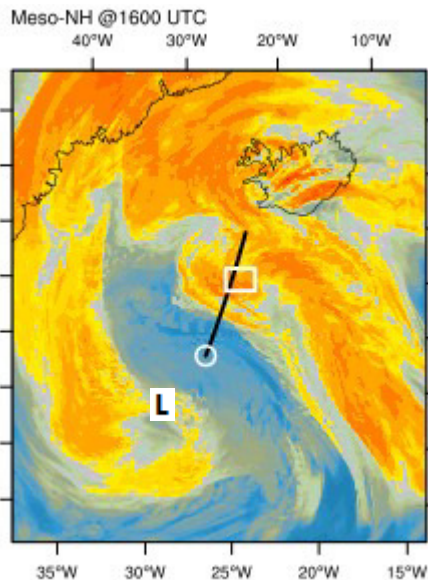
Radar Reflectivity (dBZ)

Wind speed (m s^{-1})

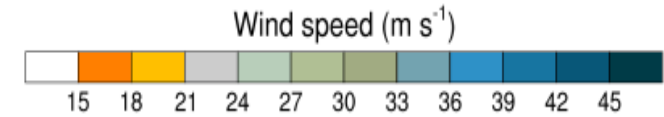
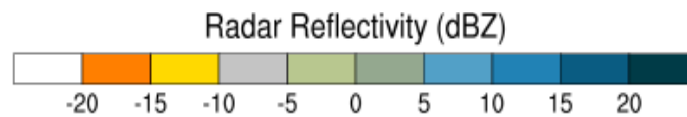
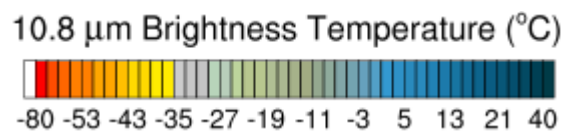
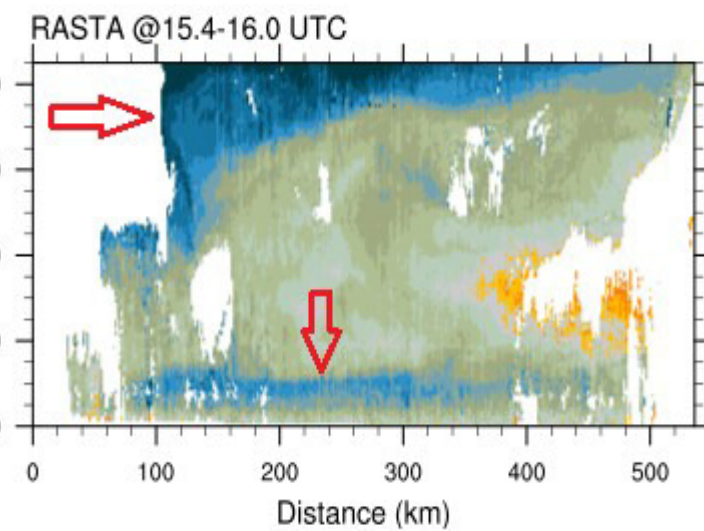
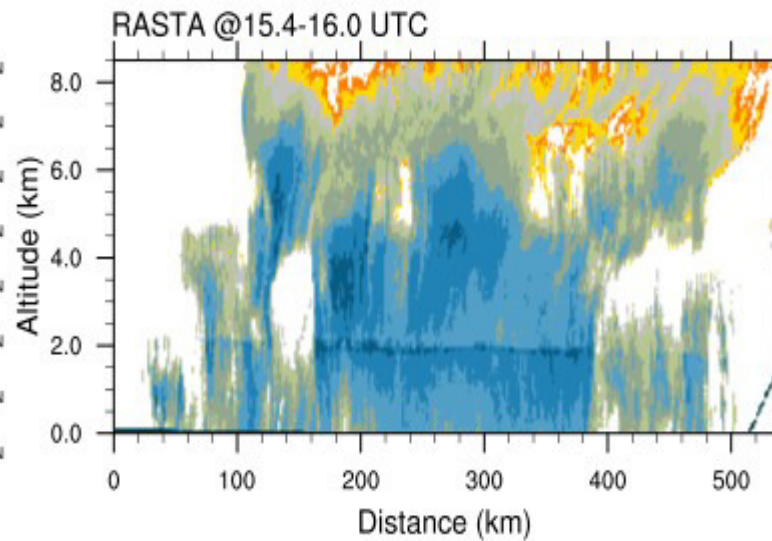
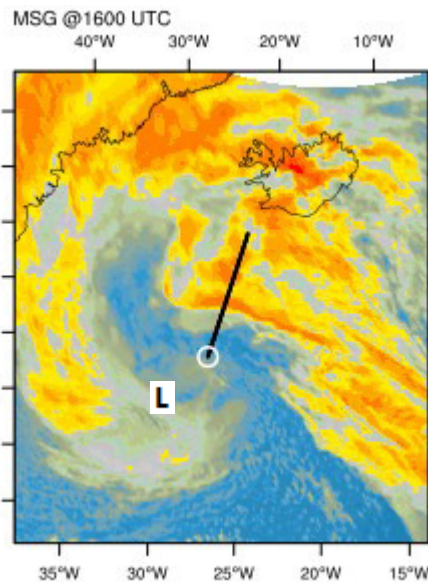


— snow
— graupel
— rain

$>0.02 \text{ g kg}^{-1}$

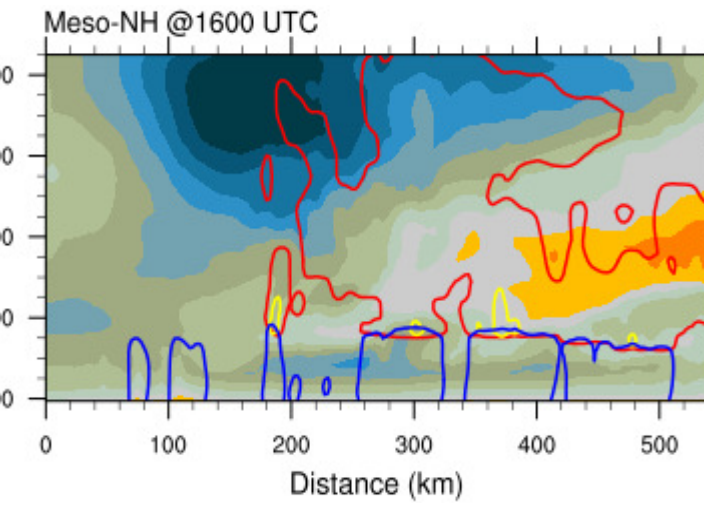
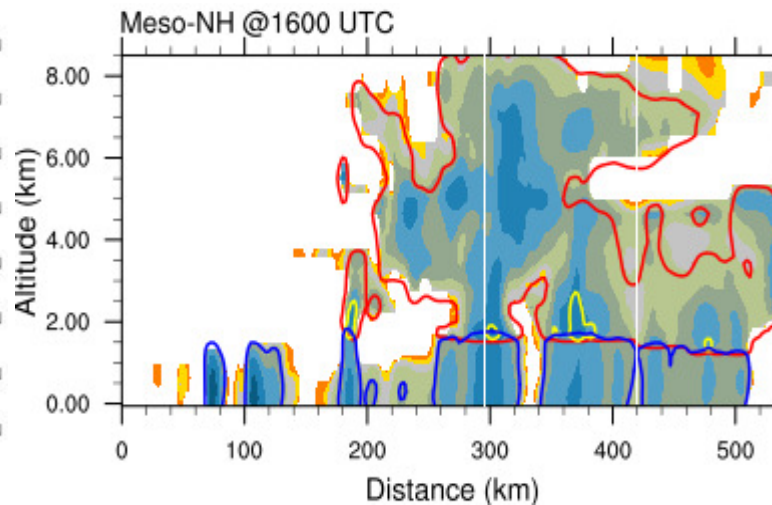
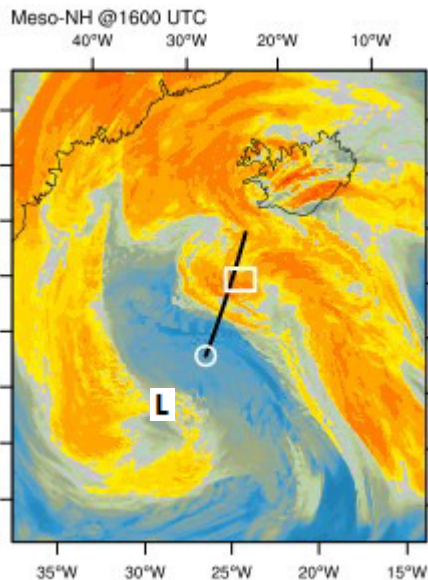


Observations vs. Ref à 1600 UTC

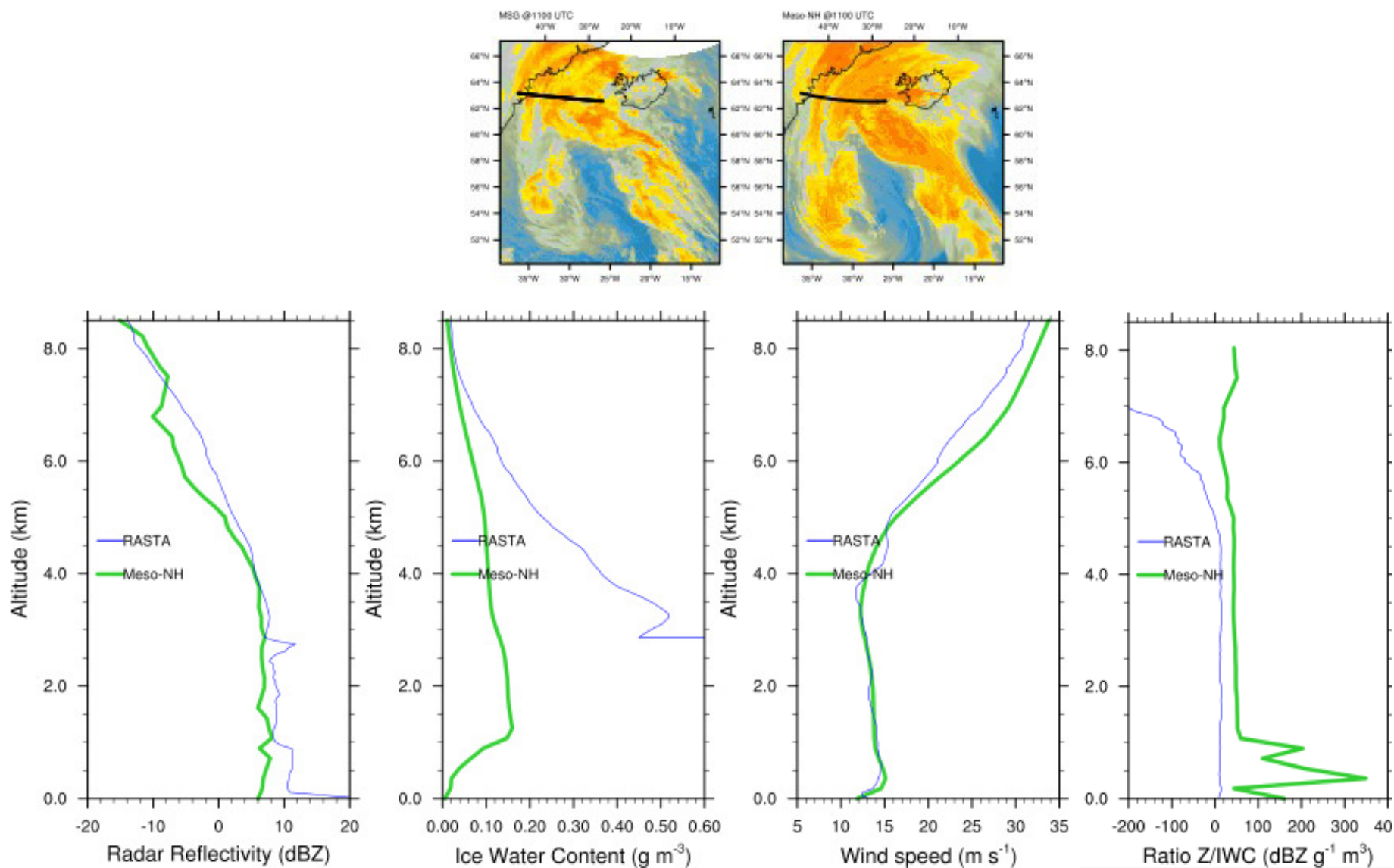


— snow
— graupel
— rain

$>0.02 \text{ g kg}^{-1}$



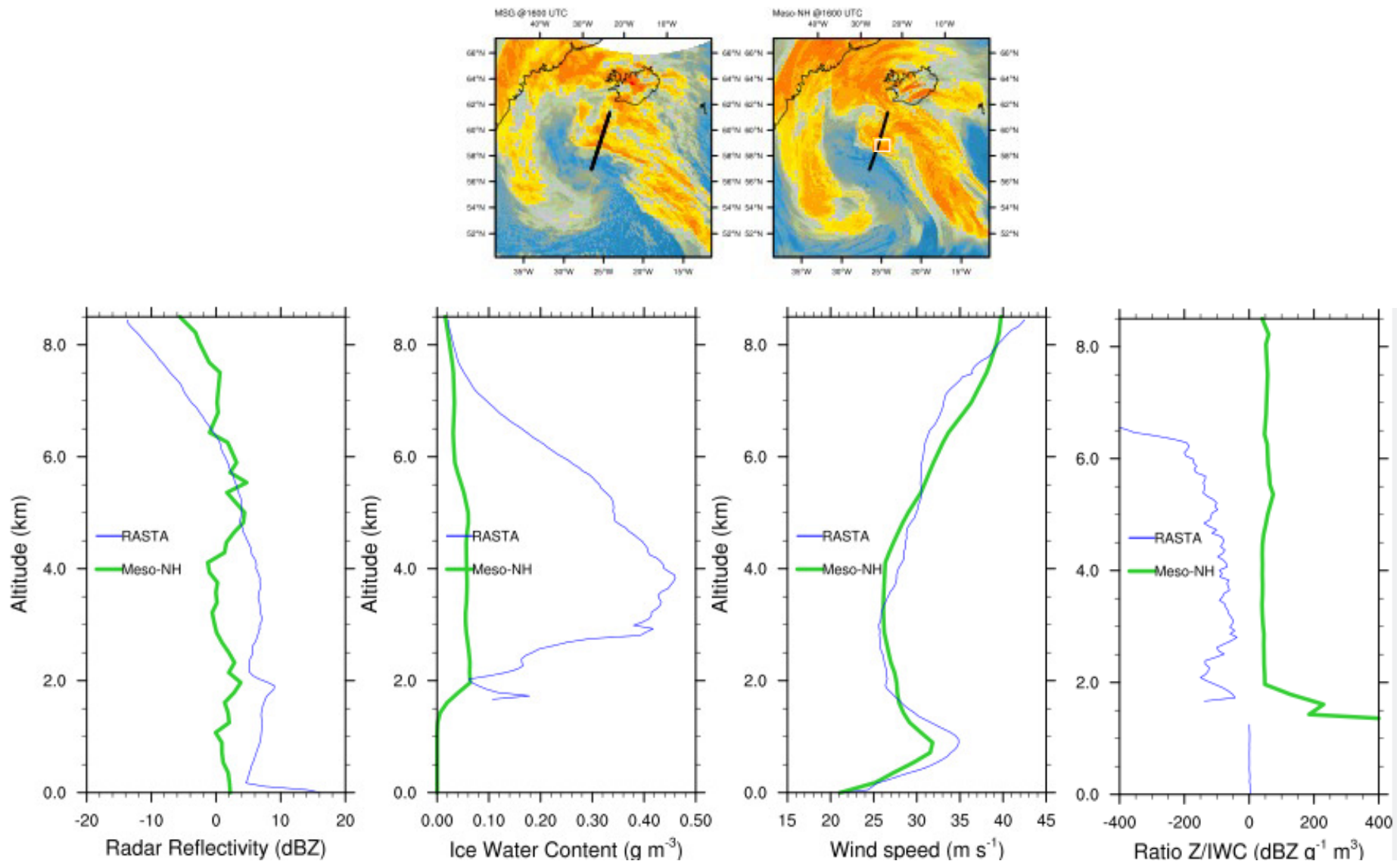
Profils moyennés à 1100 UTC



→ ~5 dBZ d'écart ; ~3 m/s vent horizontal en altitude (OK)

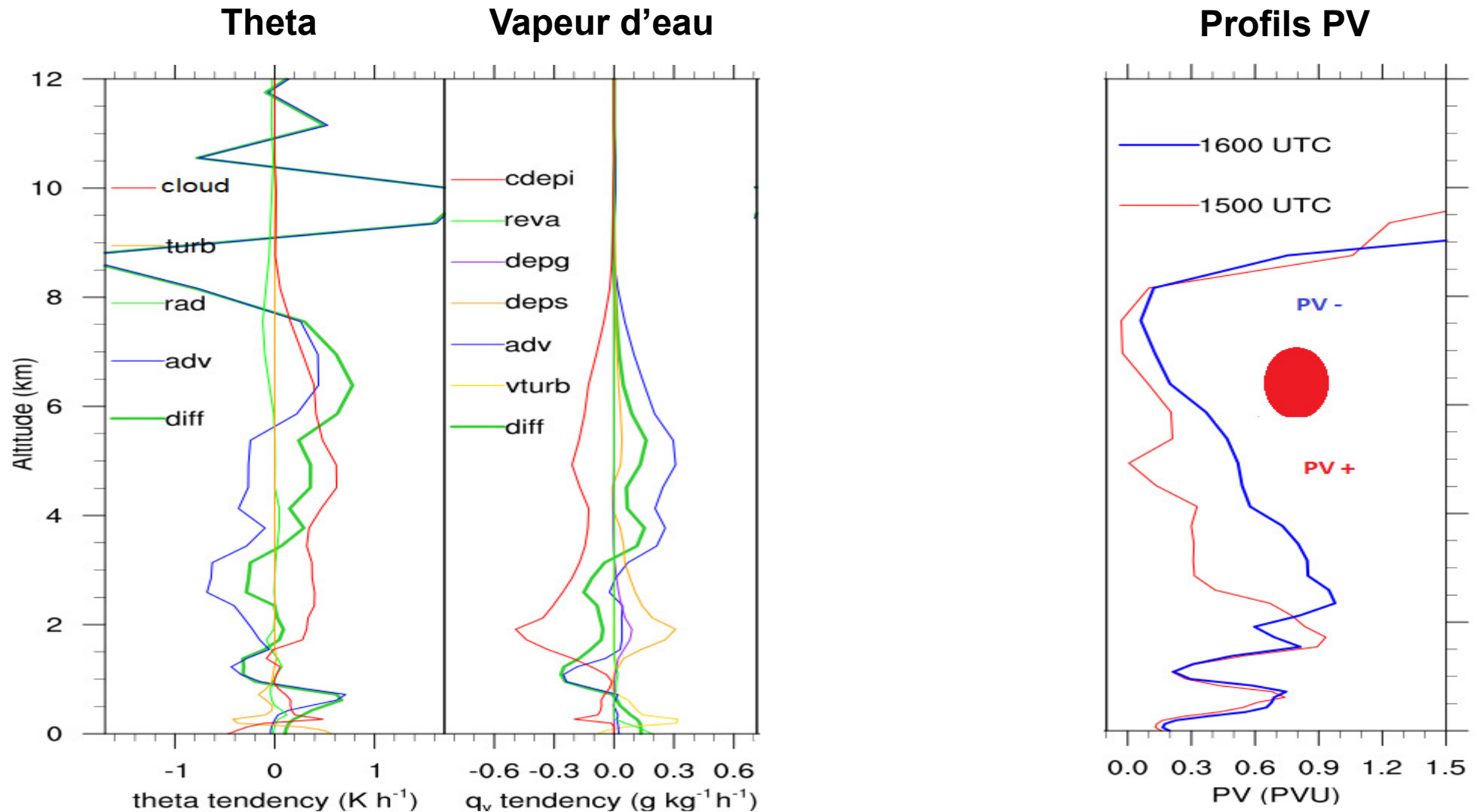
→ contenu en glace très différent : biais RASTA dus aux contenus tropicaux HAIC ?

Profils moyennés à 1600 UTC



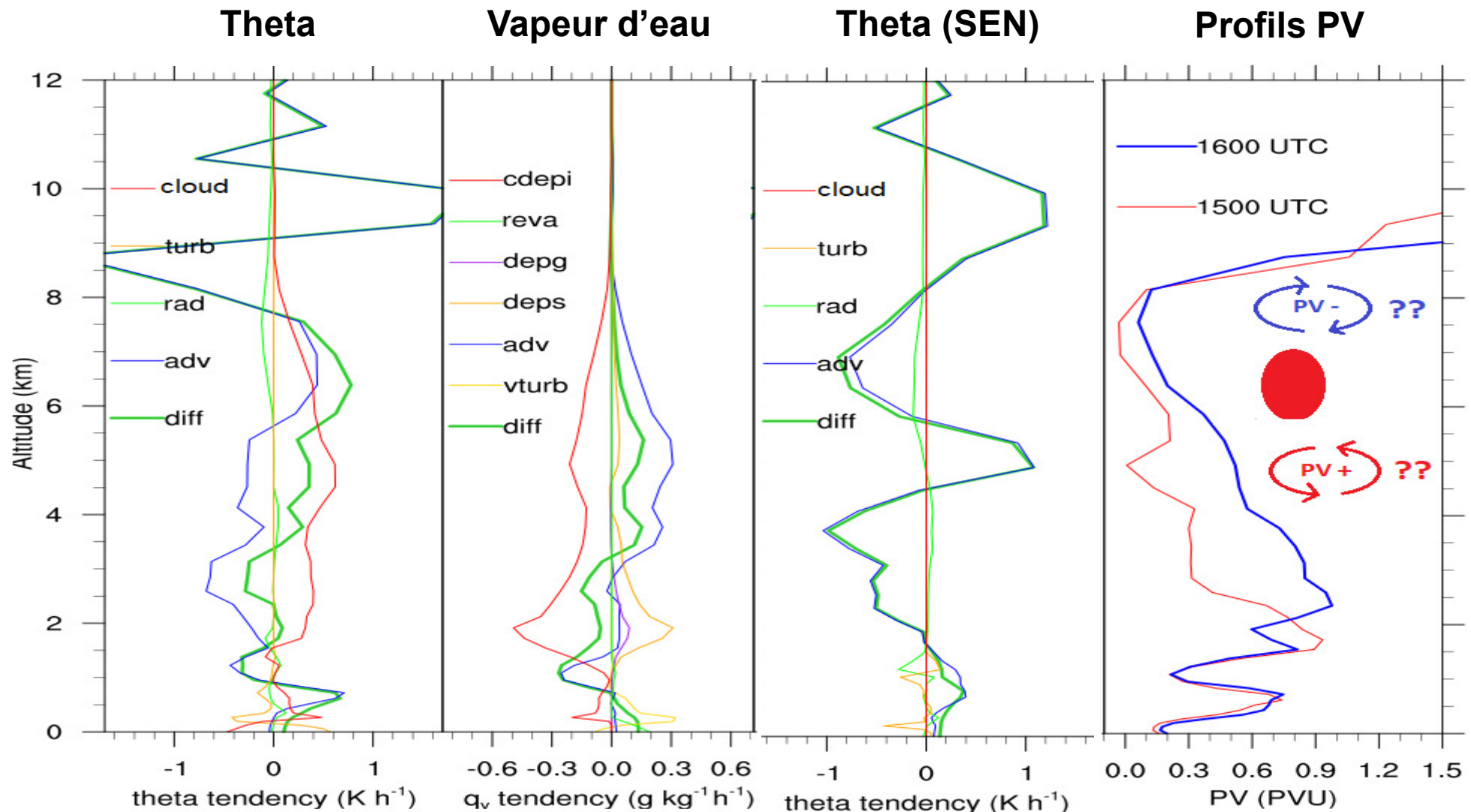
- ~8 dBZ d'écart ; ~3 m/s vent horizontal en basse couche et en altitude
- contenu en glace très différent : ~ facteur 5 entre RASTA et Meso-NH

Bilans entre 1500 – 1600 UTC dans la WCB



- Parmi processus diabatiques : **processus nuageux** impactent le plus θ ($\sim 0,8 \text{ K h}^{-1}$ entre 6 - 7 km)
- Chauffage issu de **condensation** et **déposition de vapeur** de l'air chaud ascendant dans WCB
- Profils : **gain de PV** en-dessous du maximum de chauffage et **destruction de PV** au-dessus

Bilans entre 1500 – 1600 UTC dans la WCB



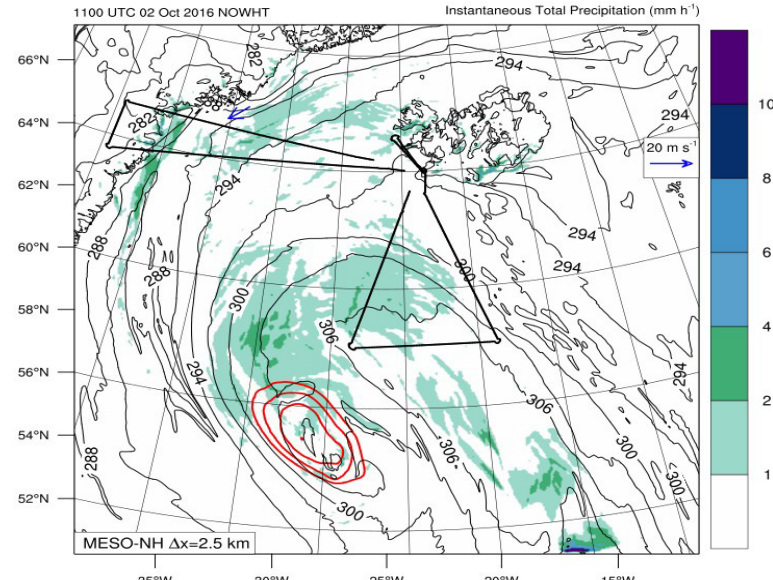
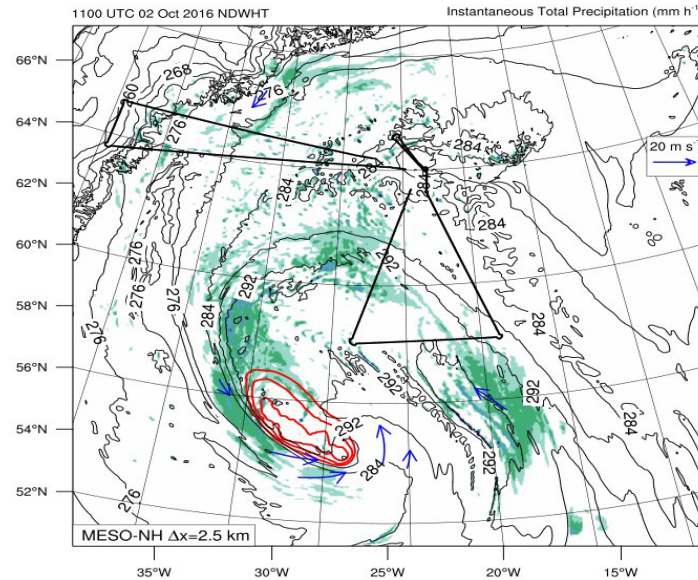
- Parmi processus diabatiques : **processus nuageux** impactent le plus θ ($\sim 0,8 K h^{-1}$ entre 6 - 7 km)
- Chauffage issu de **condensation** et **déposition de vapeur** de l'air chaud ascendant dans WCB
- Profils : **gain de PV** en-dessous du maximum de chauffage et **destruction de PV** au-dessus

Impacts des processus nuageux en surface

REF

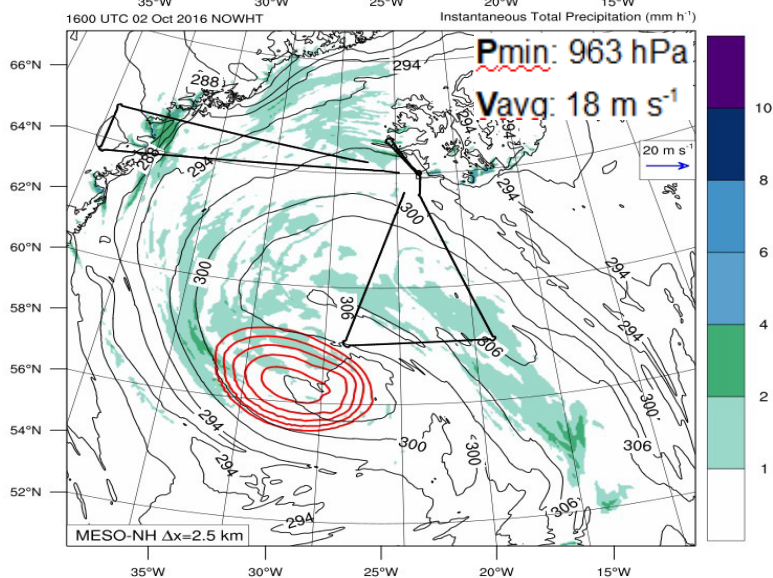
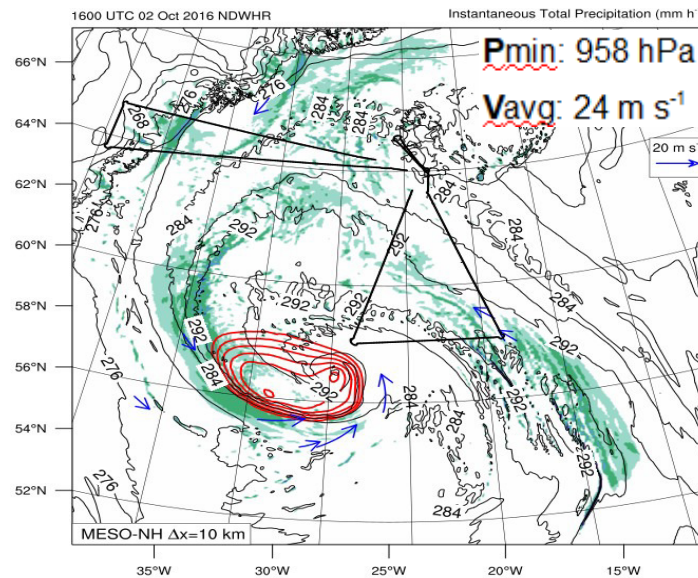
SEN

1100 UTC



Vent à 10 m :
> 20 m s⁻¹

1600 UTC



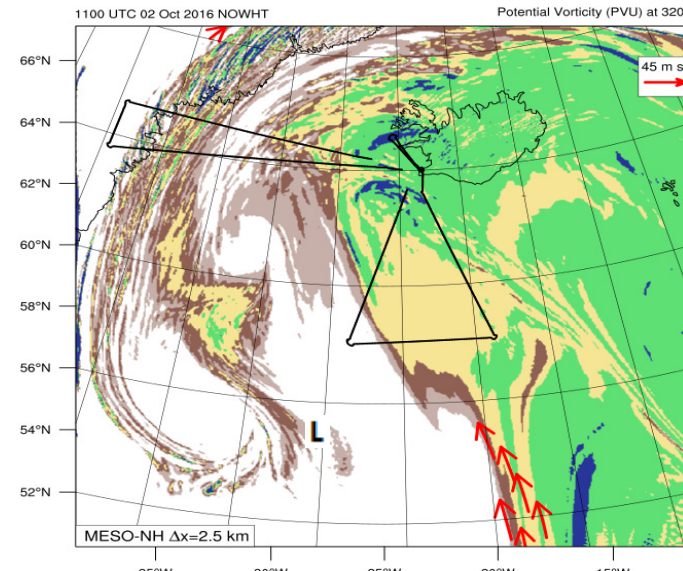
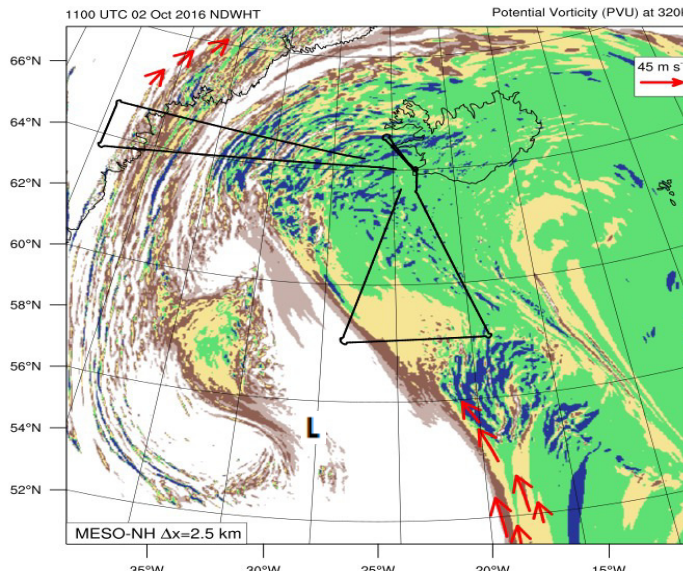
→ Processus nuageux dans **REF** creusent tempête, maintiennent fronts, intensifient précipitations et vents en surface

Impacts des processus nuageux à la tropopause

REF

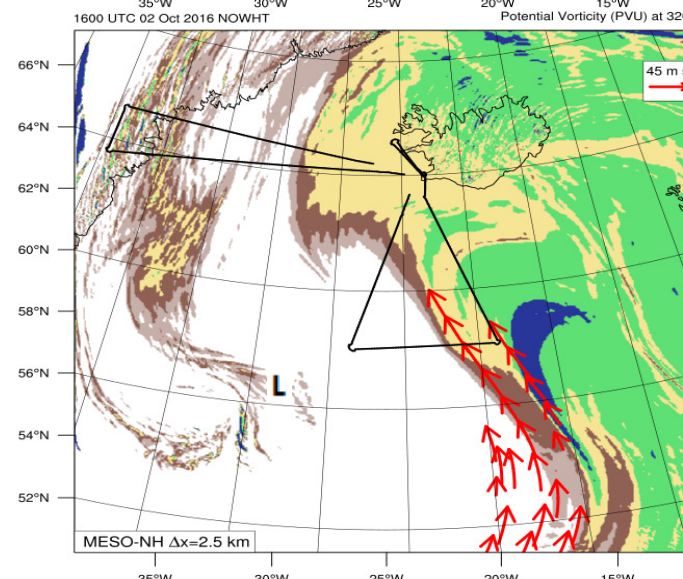
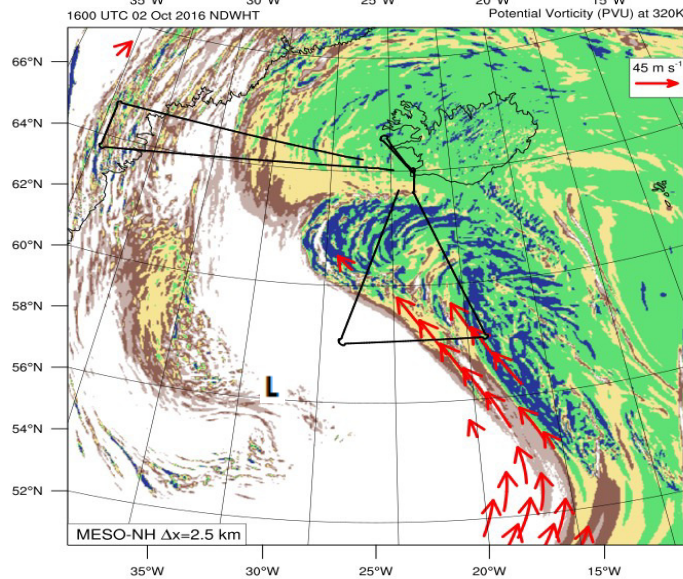
SEN

1100 UTC



Jet stream :
Vent à 300 hPa
> 45 m s⁻¹

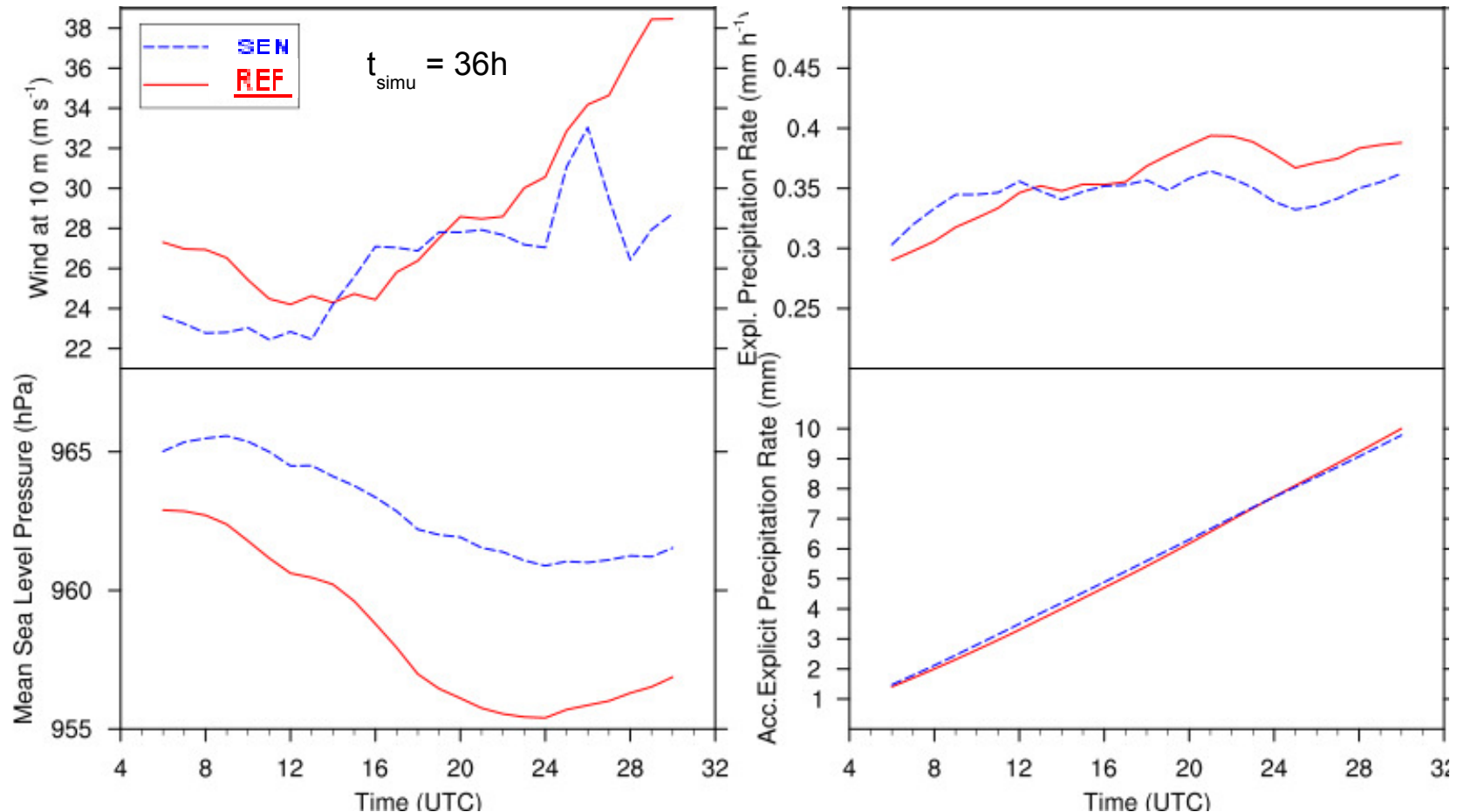
1600 UTC



Plus de destruction de PV à $\theta = 320$ K dans REF que dans SEN

→ Jet stream plus intense et plus étendu dans REF

Évolutions temporelles des ≠ champs moyennés sur le domaine de simulation



→ Vent à 10 m et précipitations explicites (instantanées et cumulées) sont en moyenne + élevés dans **REF** que dans **SEN**

→ Tempête + creuse dans **SEN**

Conclusions

1. Méso-NH permet-il de reproduire les structures nuageuses et la dynamique du Stalactite cyclone ?

- ✓ MSG / RASTA ont observé des structures méso-échelles typiques : front chaud, WCB, intrusion sèche, jet de basse couche, jet stream, convection locale
- ✓ Bien représentées par le modèle : simulation $\Delta x = 2.5$ km convection profonde résolue
- *Trajectoire du MSLPmin (en cours) ? Différences contenu glace RASTA et Méso-NH ?*

2. Quels sont les processus diabatiques dominants dans la WCB ?

- ✓ Chauffage par condensation et déposition de vapeur d'eau sur les hydrométéores glacés
- ✓ $\sim 0,8 \text{ K h}^{-1}$ entre 1500 UTC et 1600 UTC en milieu de troposphère
- *Trajectoires lagrangiennes et évolution de q_v , θ , PV (en cours) ?*

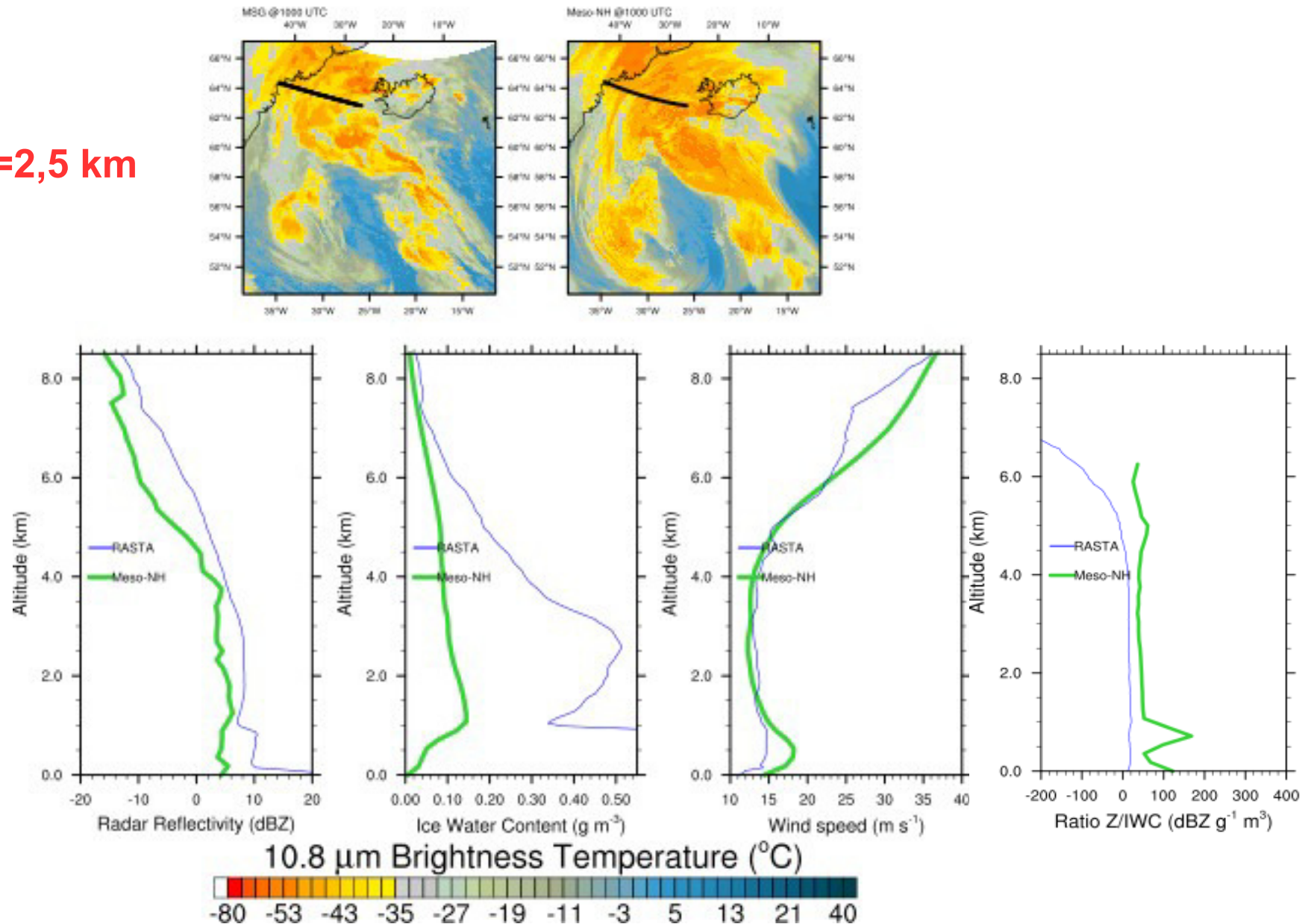
3. Quels sont les impacts des processus nuageux sur la structure et la dynamique ?

- ✓ En surface: tempête + creuse, vents en surface/précip' + forts, fronts maintenus dans **REF**
- ✓ À la tropopause: + destruction de PV , jet stream + intense dans **REF**
- *Incertitudes variation dégagement LE (en cours) et humidité basses couches (envisagé) ?*

Annexes

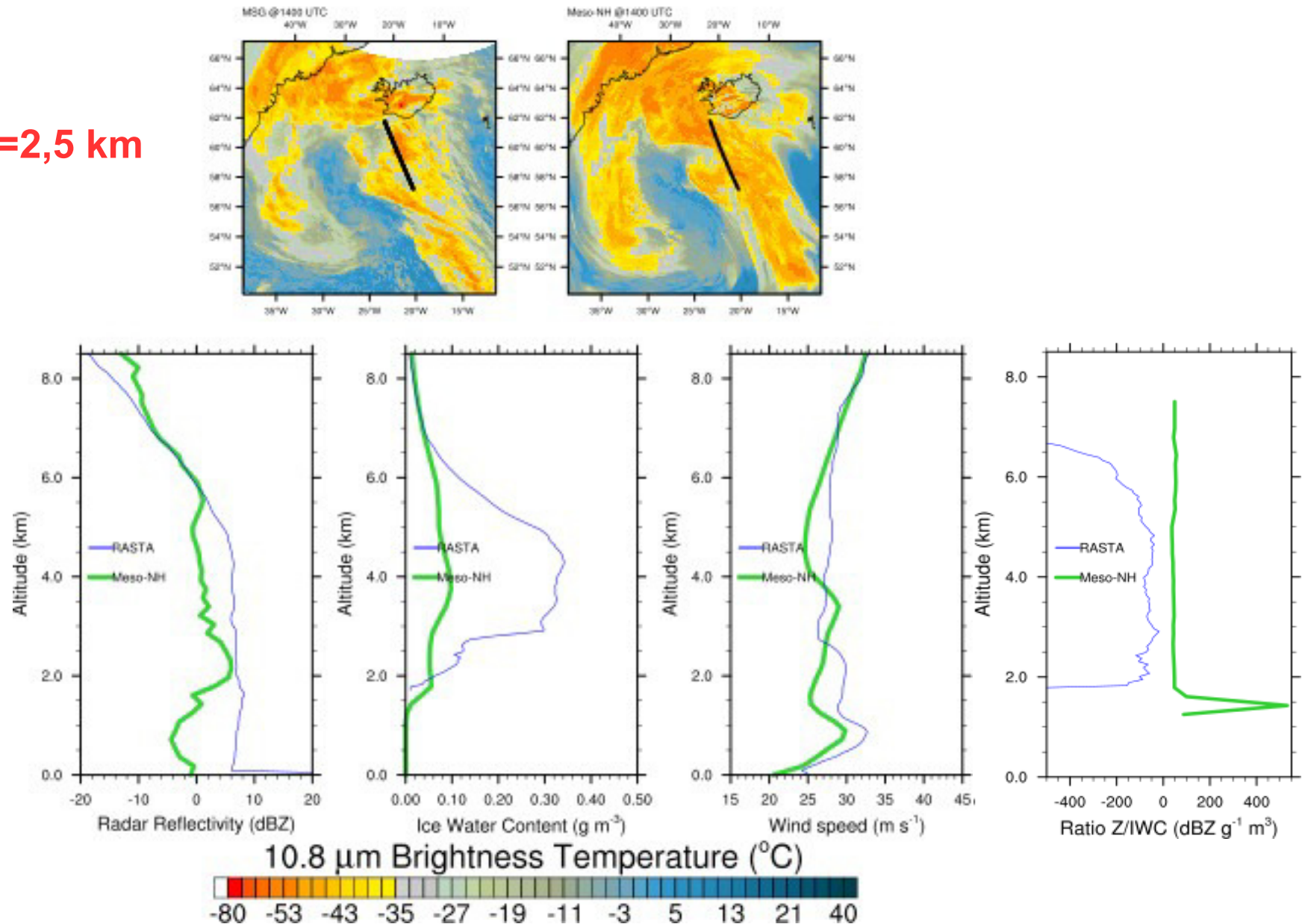
F6 - 1000 UTC 02 Oct - NDWHT

$\Delta x = 2,5 \text{ km}$



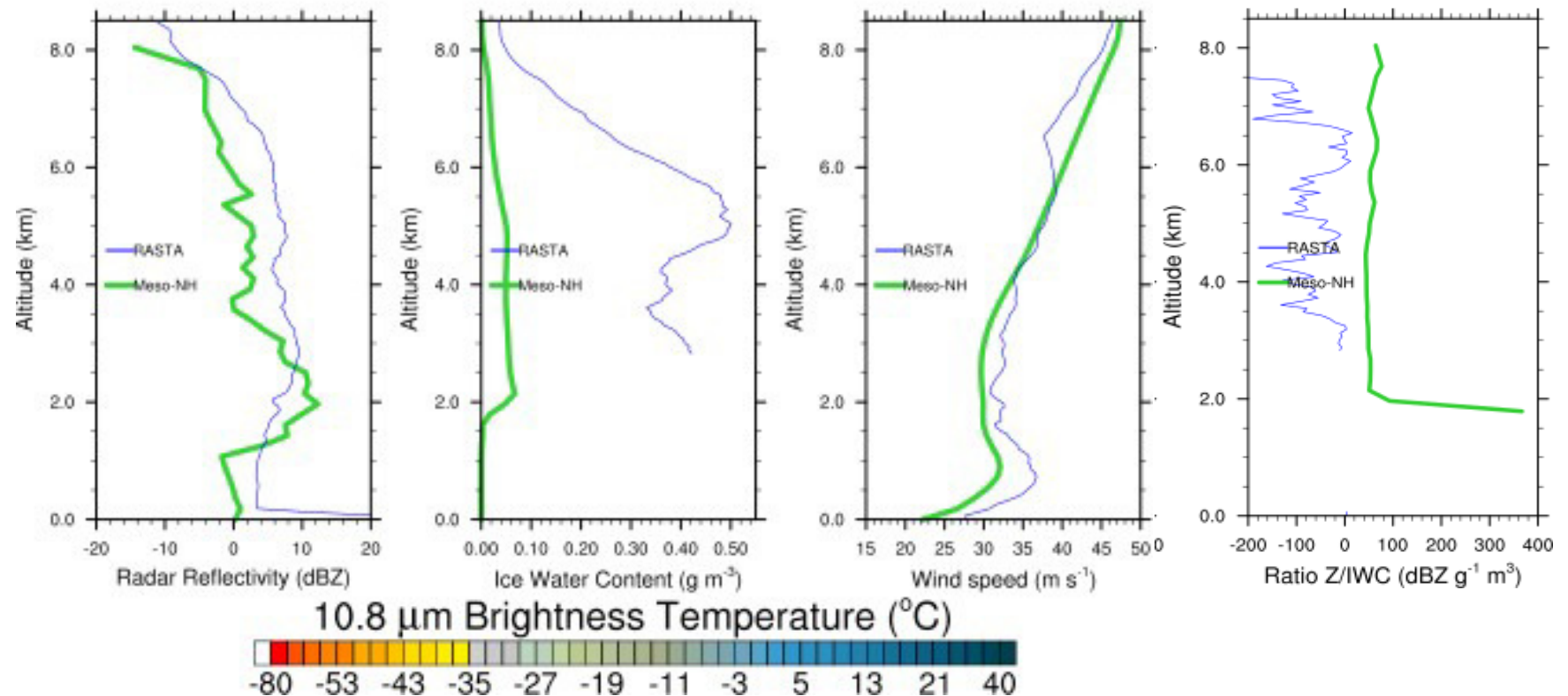
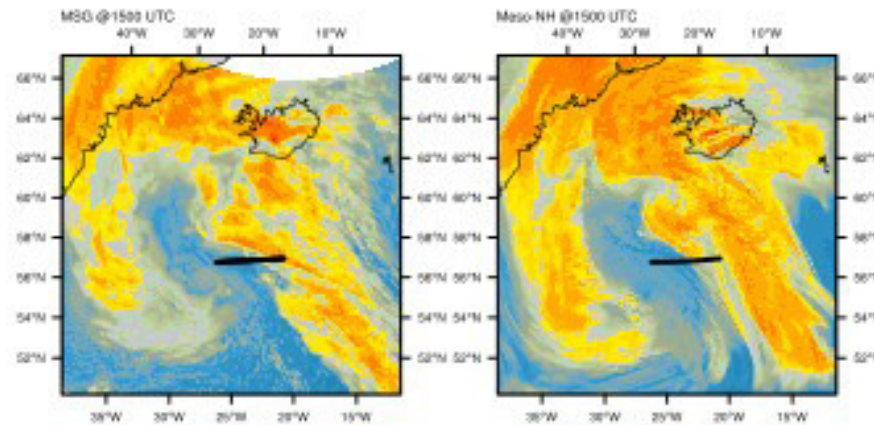
F7 - 1400 UTC 02 Oct - NDWHT

$\Delta x = 2,5 \text{ km}$



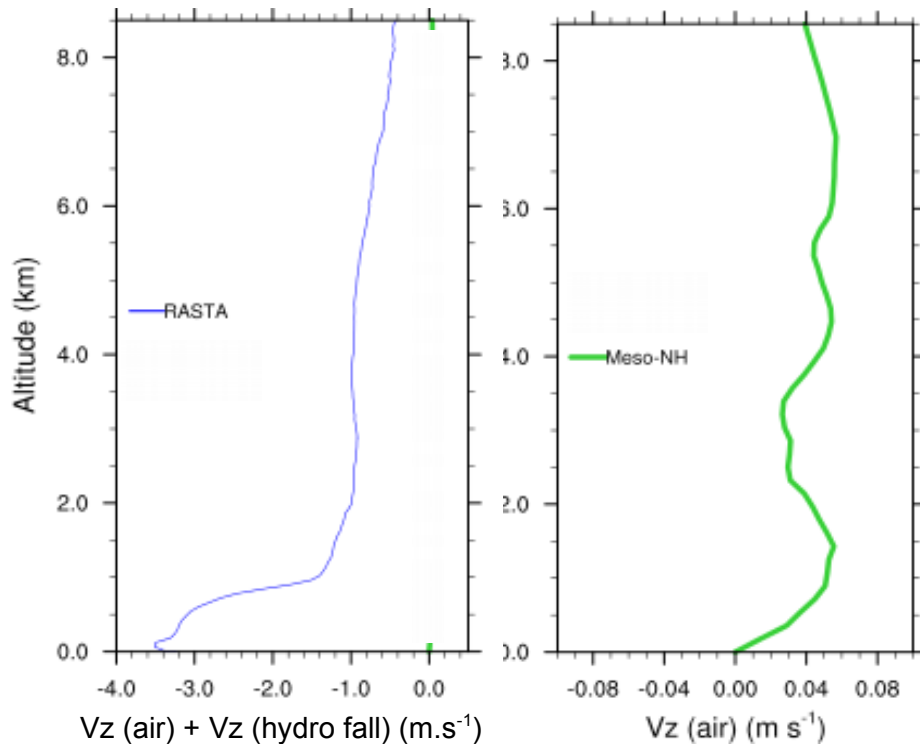
F7 - 1500 UTC 02 Oct - NDWHT

$\Delta x = 2,5 \text{ km}$

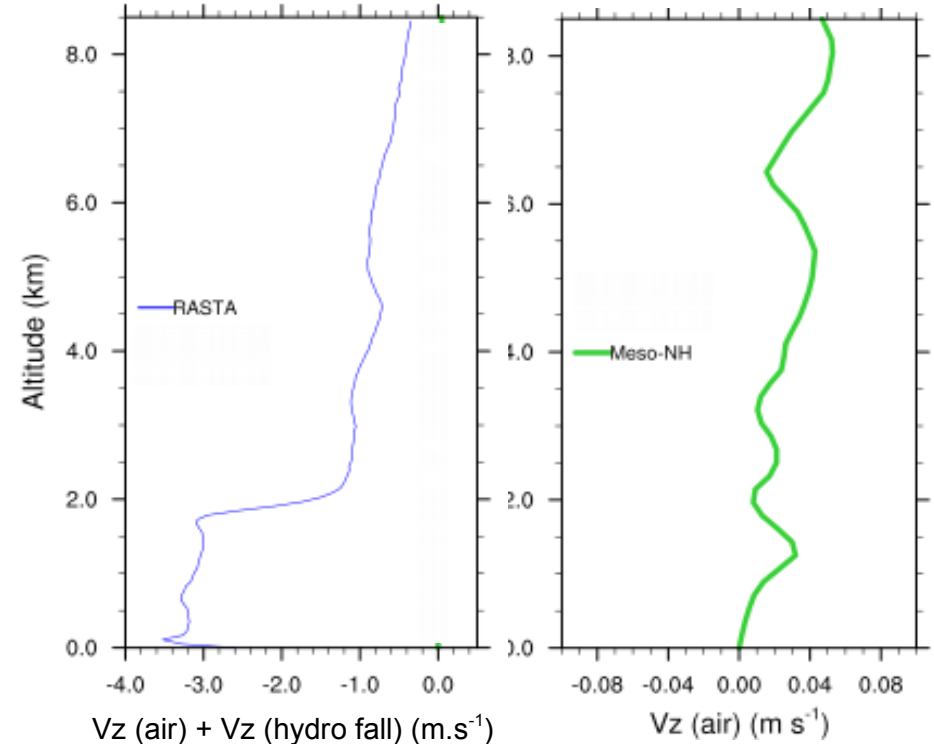


Profils moyens de $v_{z(\text{air})} + v_{z(\text{chute hydro})}$ dans RASTA et de $v_{z(\text{air})}$ dans Méso-NH

1100 UTC



1600 UTC



→ **RASTA** : Vitesses négatives **plus importantes dans les basses couches** dues aux précipitations

à 1100 UTC : $-3 < v_z < -1 \text{ m.s}^{-1}$ jusqu'à $z \sim 1 \text{ km}$

à 1600 UTC : $-4 < v_z < -1 \text{ m.s}^{-1}$ jusqu'à $z \sim 2 \text{ km}$

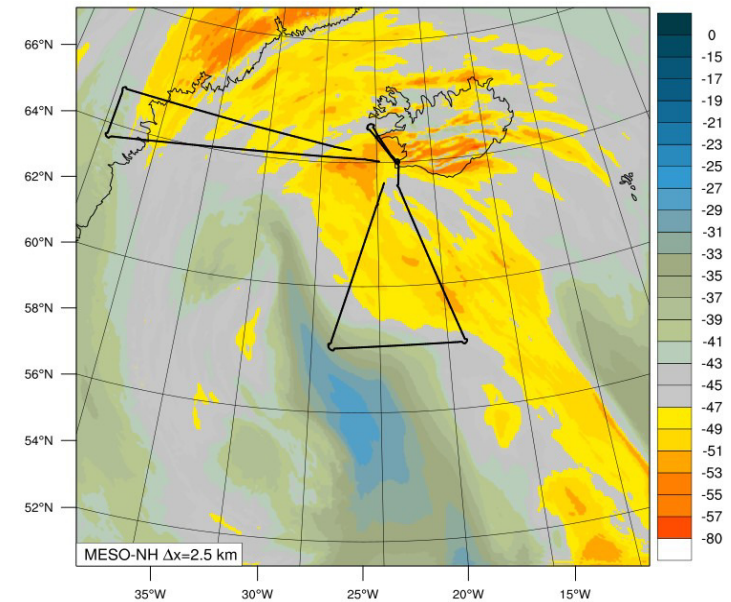
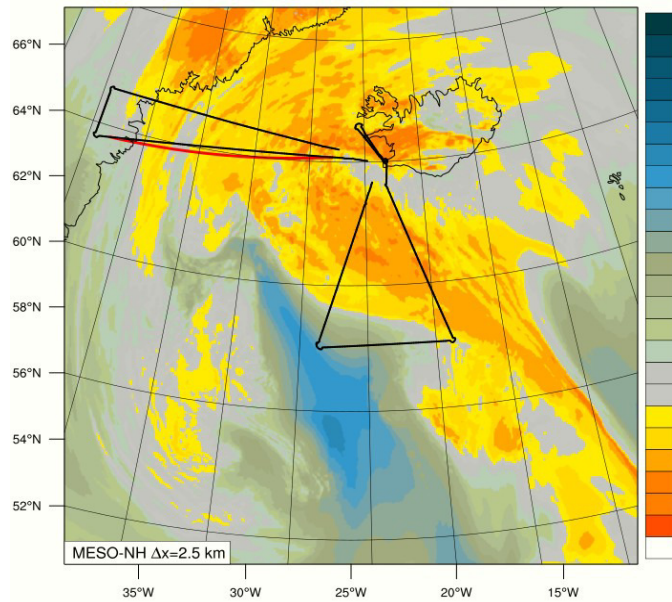
→ **Méso-NH** : Vitesses **plus faibles** $\sim \text{qlqs cm.s}^{-1}$

Températures de brillance ($\lambda=6,2 \mu\text{m}$)

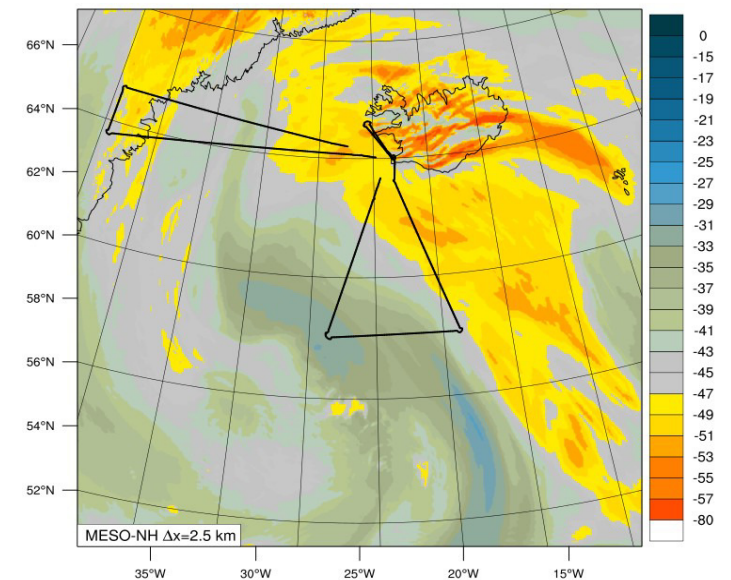
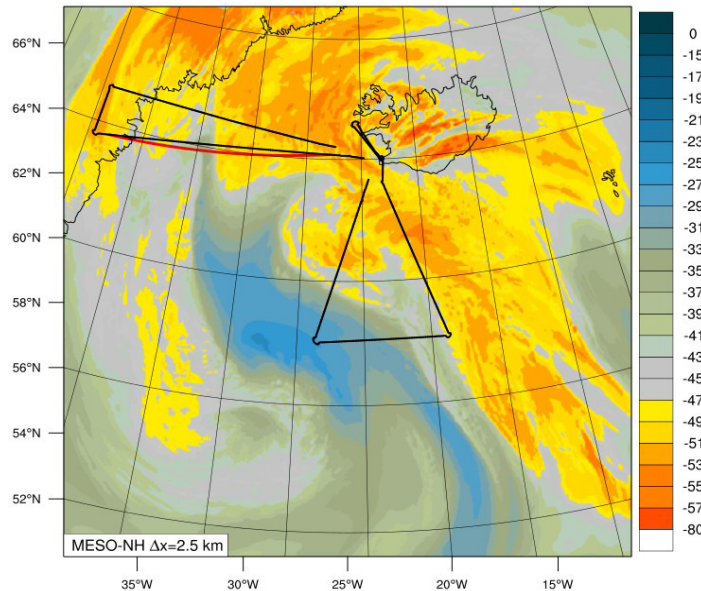
REF

SEN

1100 UTC



1600 UTC

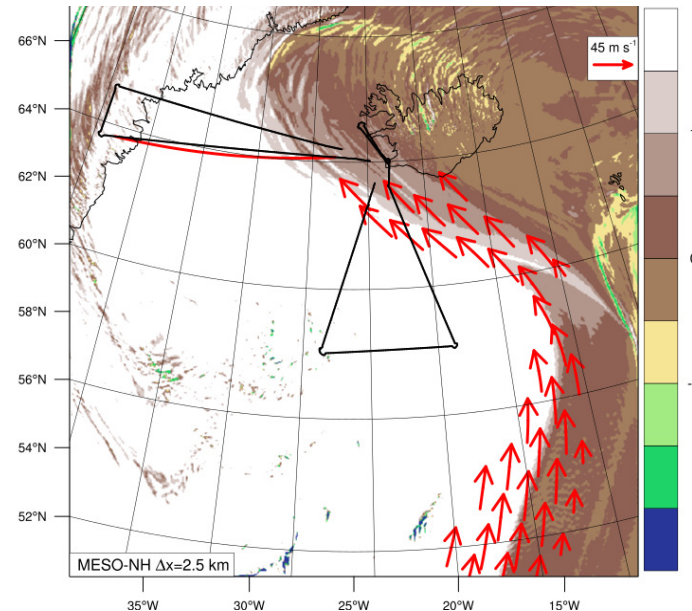
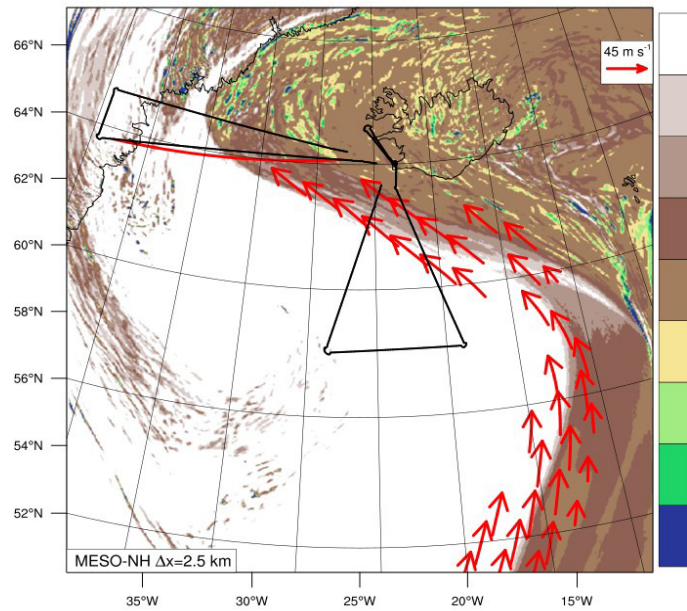


PV à $\theta=320$ K

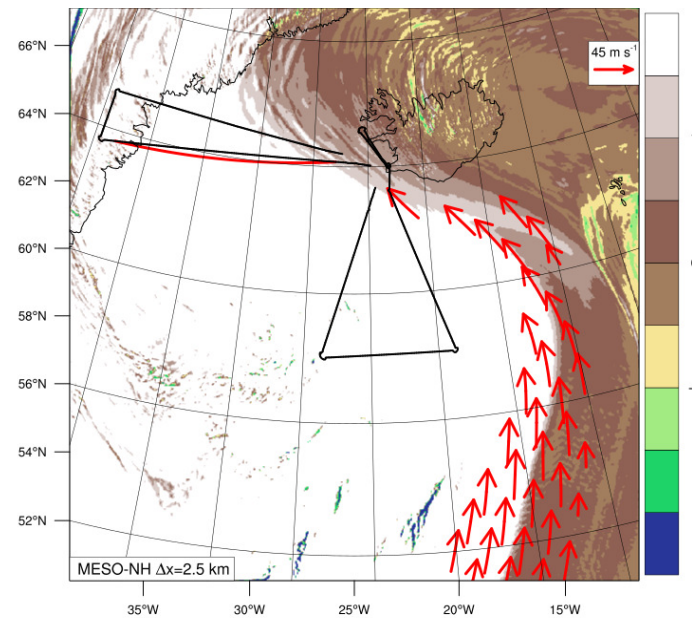
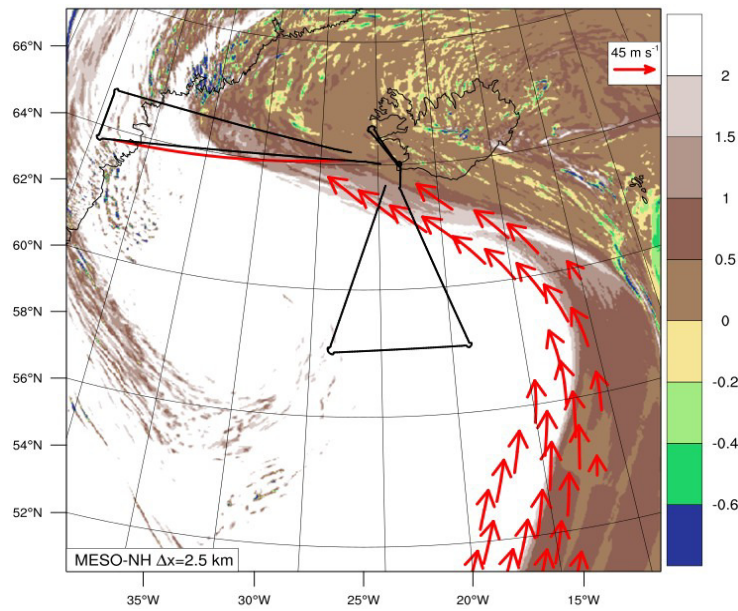
REF

SEN

0100 UTC



0200 UTC

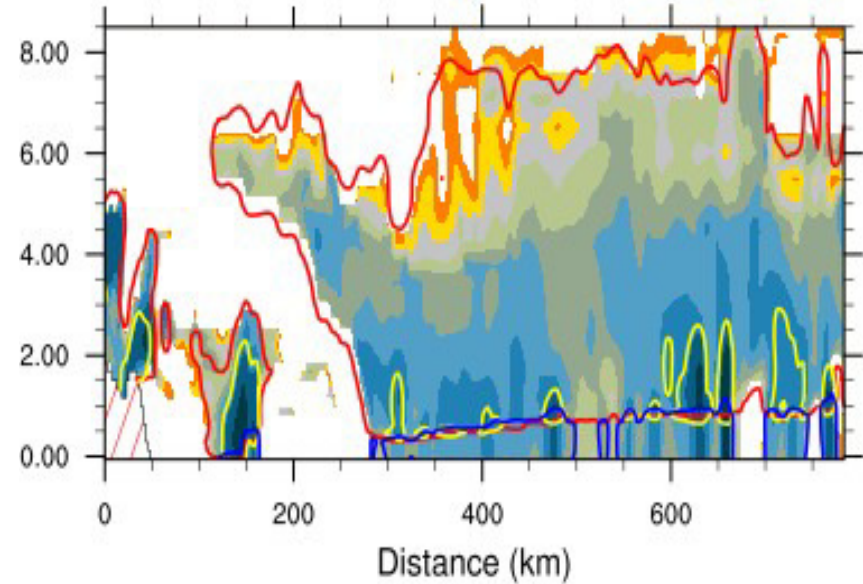
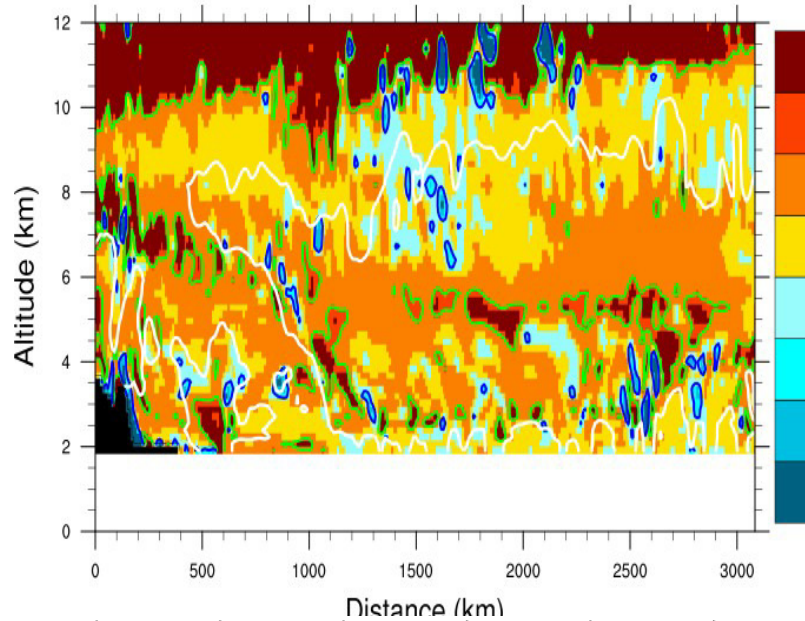


Coupes verticales du PV (REF)

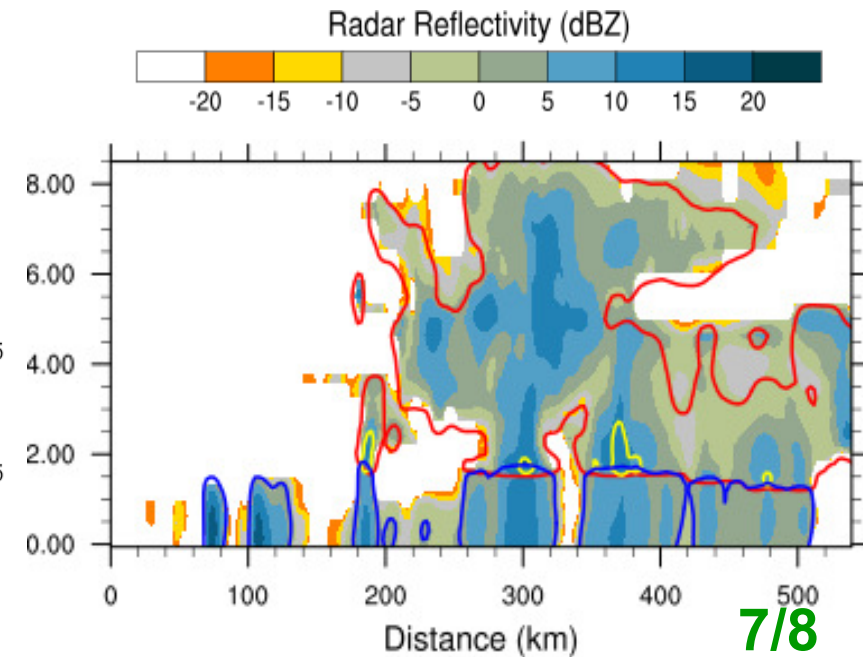
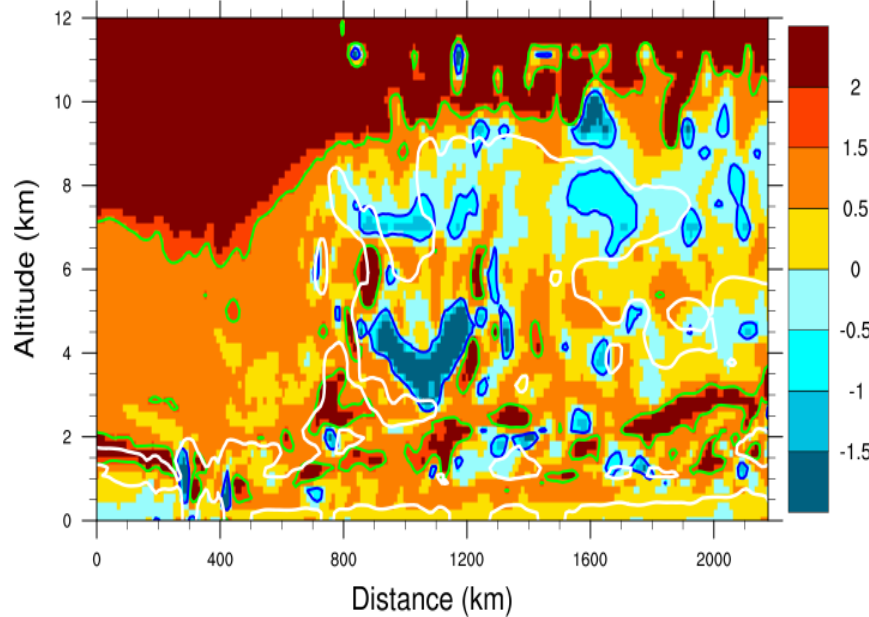
PV

Réflectivité

1100 UTC



1600 UTC

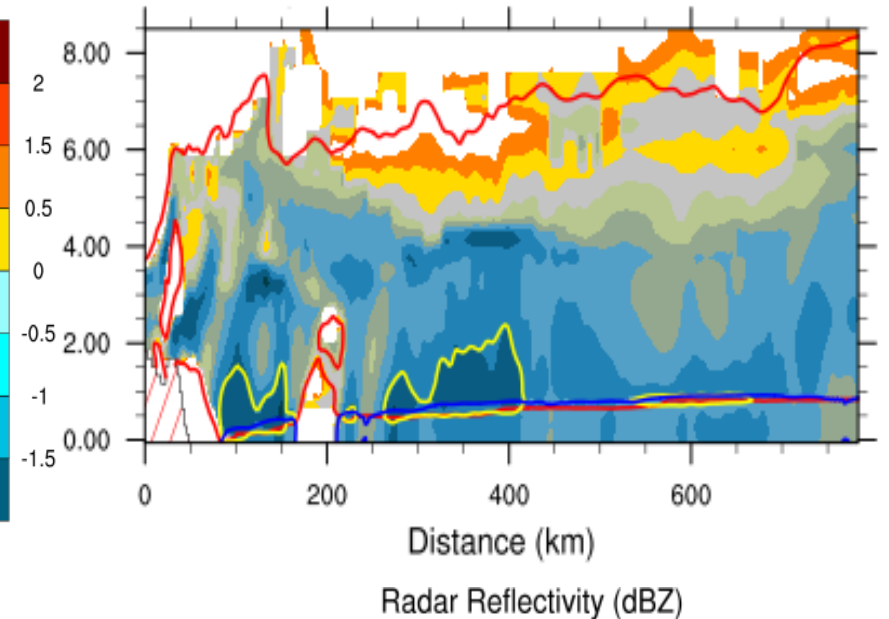
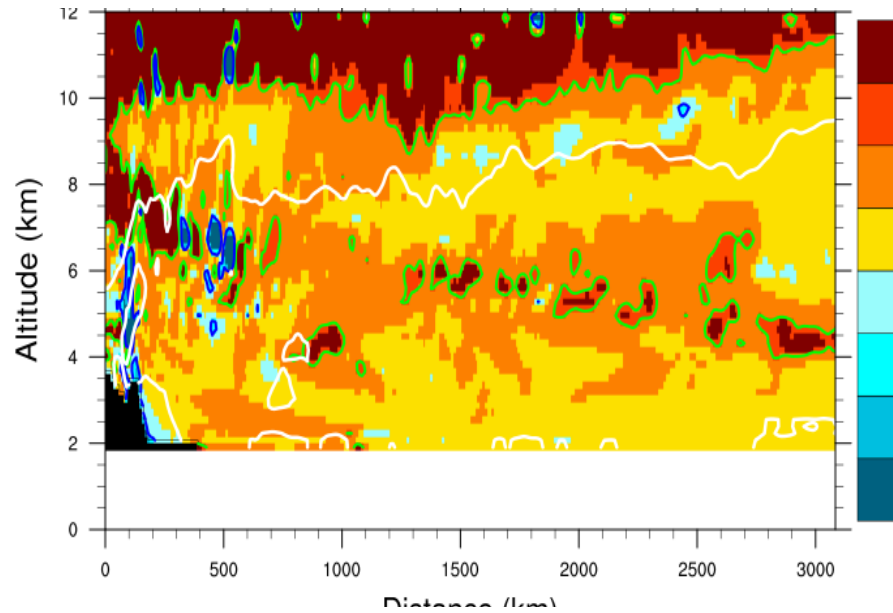


Coupes verticales du PV (SEN)

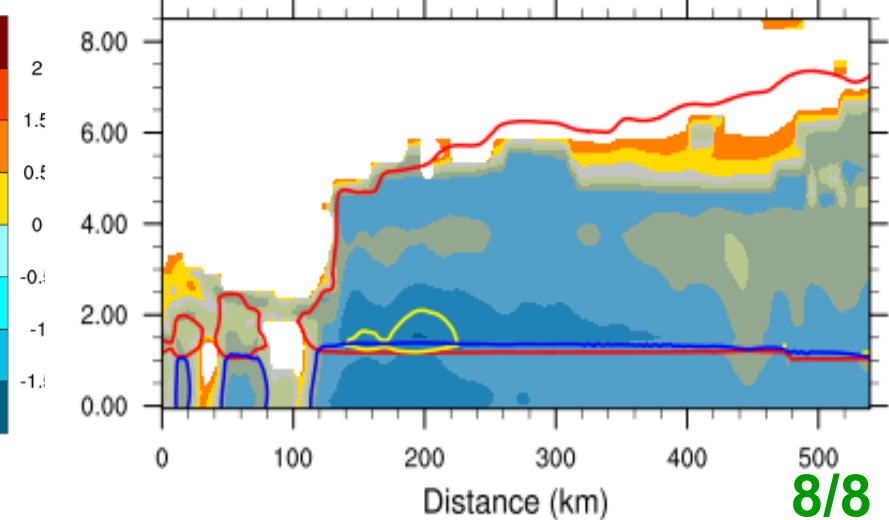
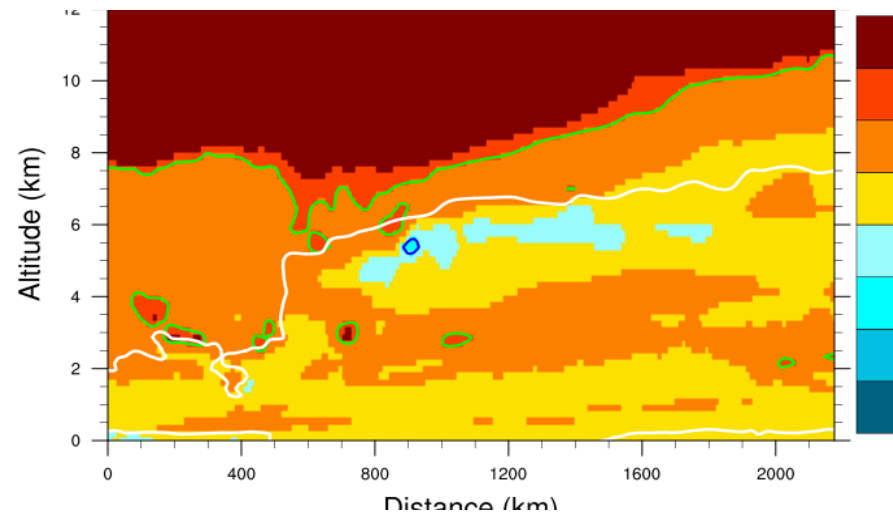
PV

Réflectivité

1100 UTC



1600 UTC

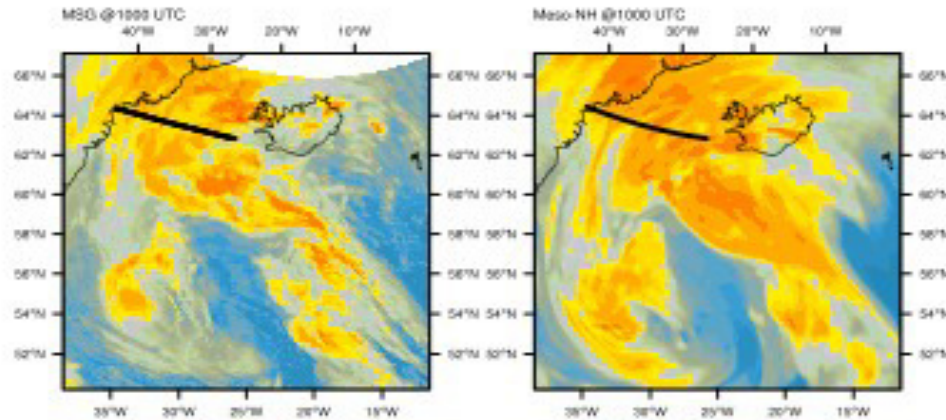


Simulations à $\Delta x=10$ km

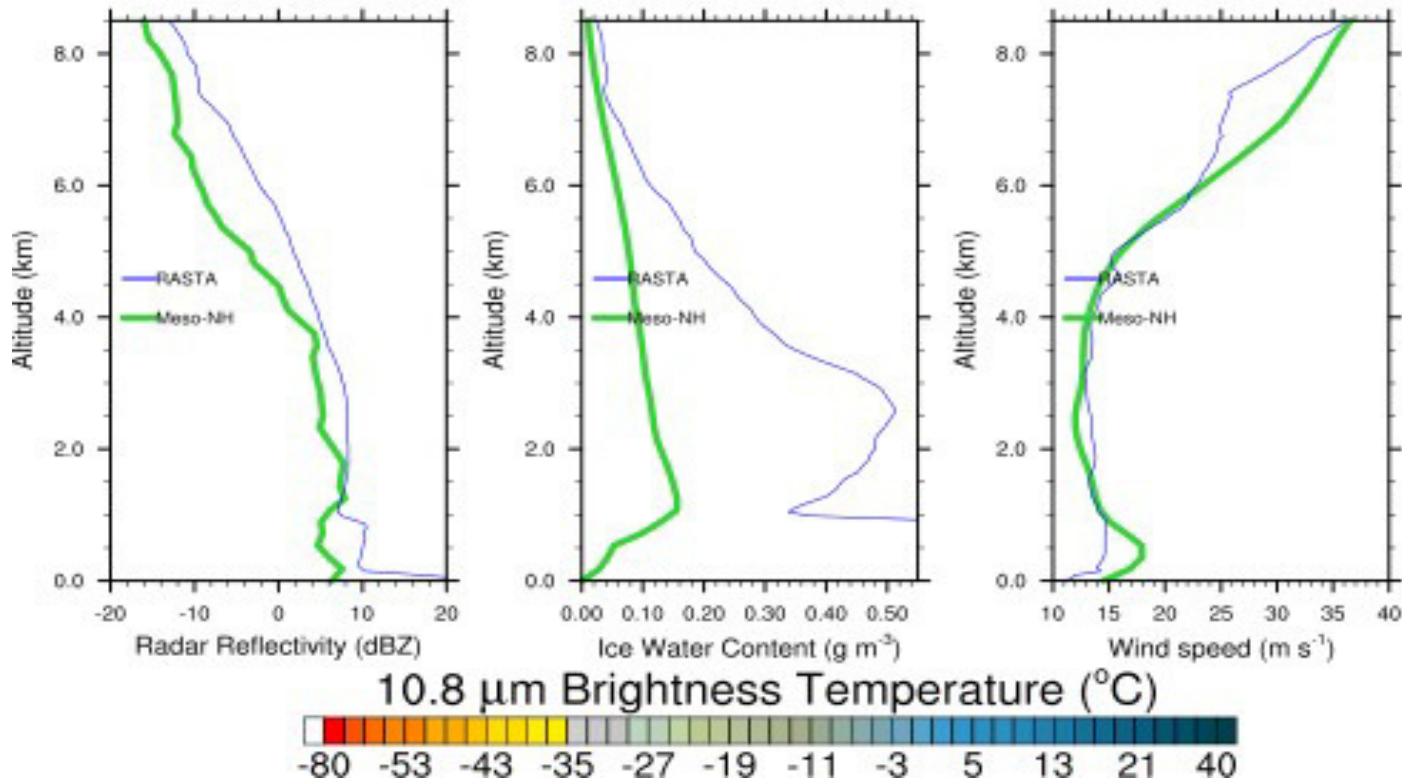
(schéma convection profonde activé)

F6 - 1000 UTC 02 Oct - NDWLR

$\Delta x = 10$ km

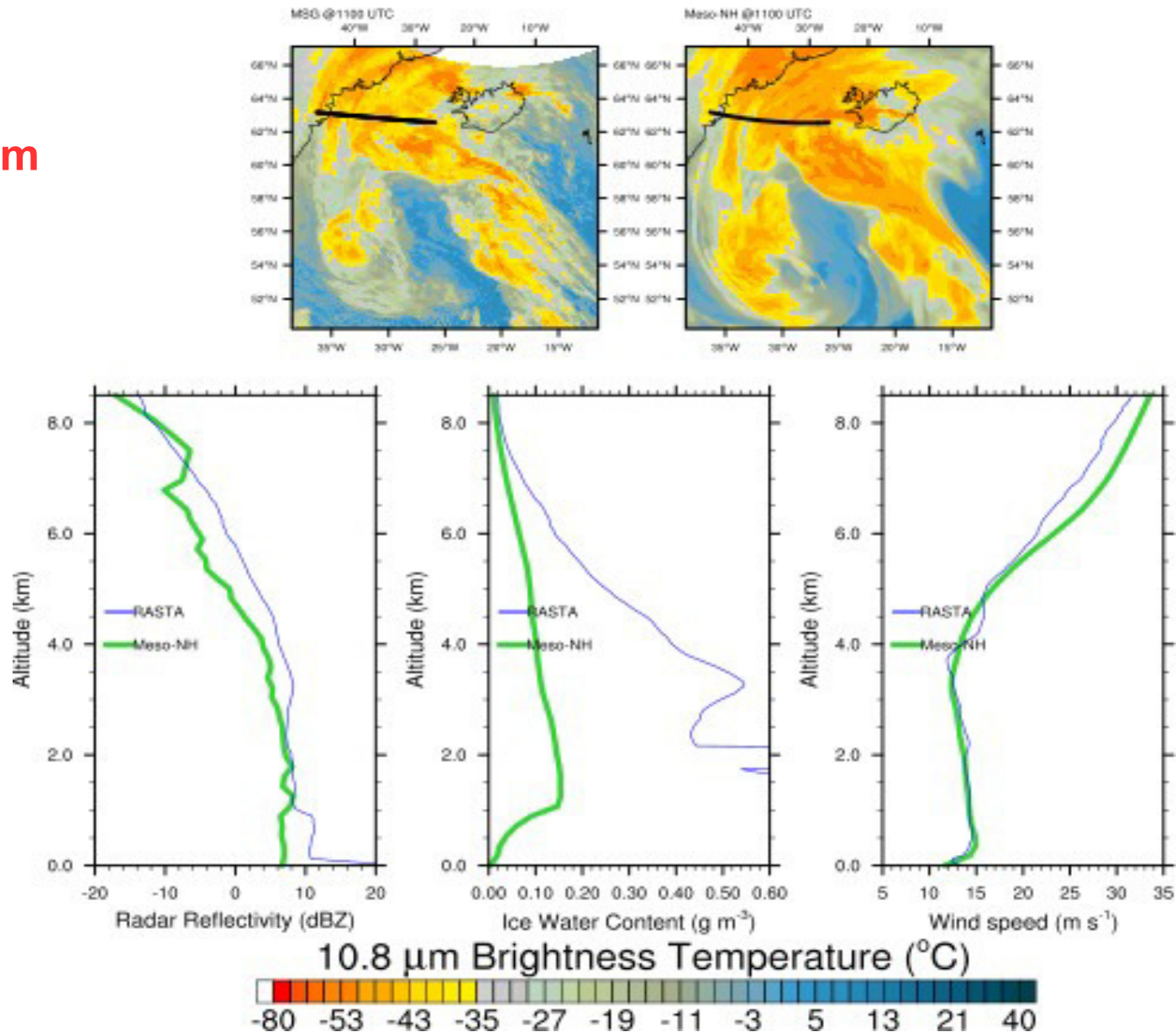


Écarts entre
profils de
réflectivité /
vents +
importants
que pour
 $\Delta x = 2,5$ km



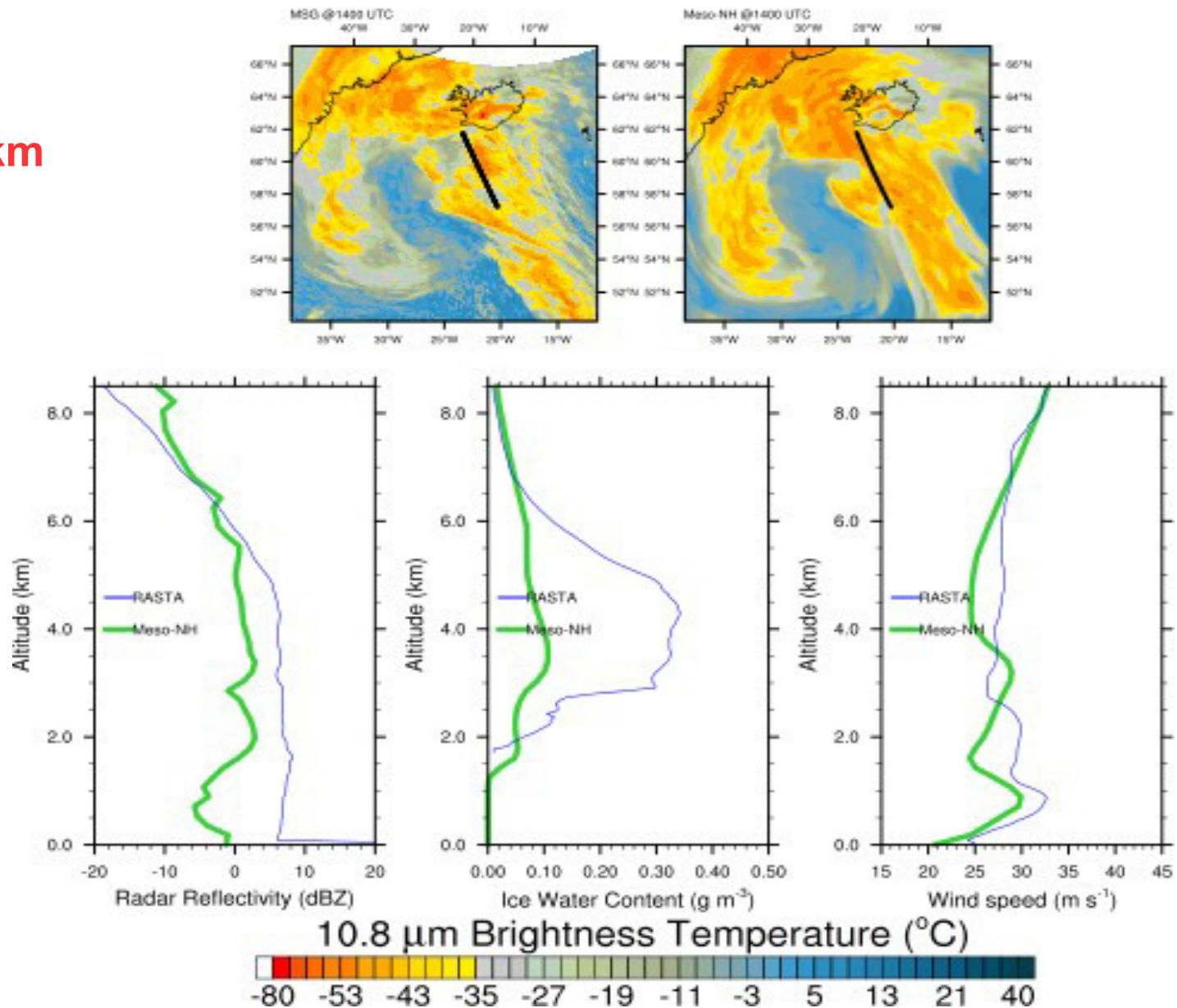
F6 - 1100 UTC 02 Oct - NDWLR

$\Delta x = 10$ km



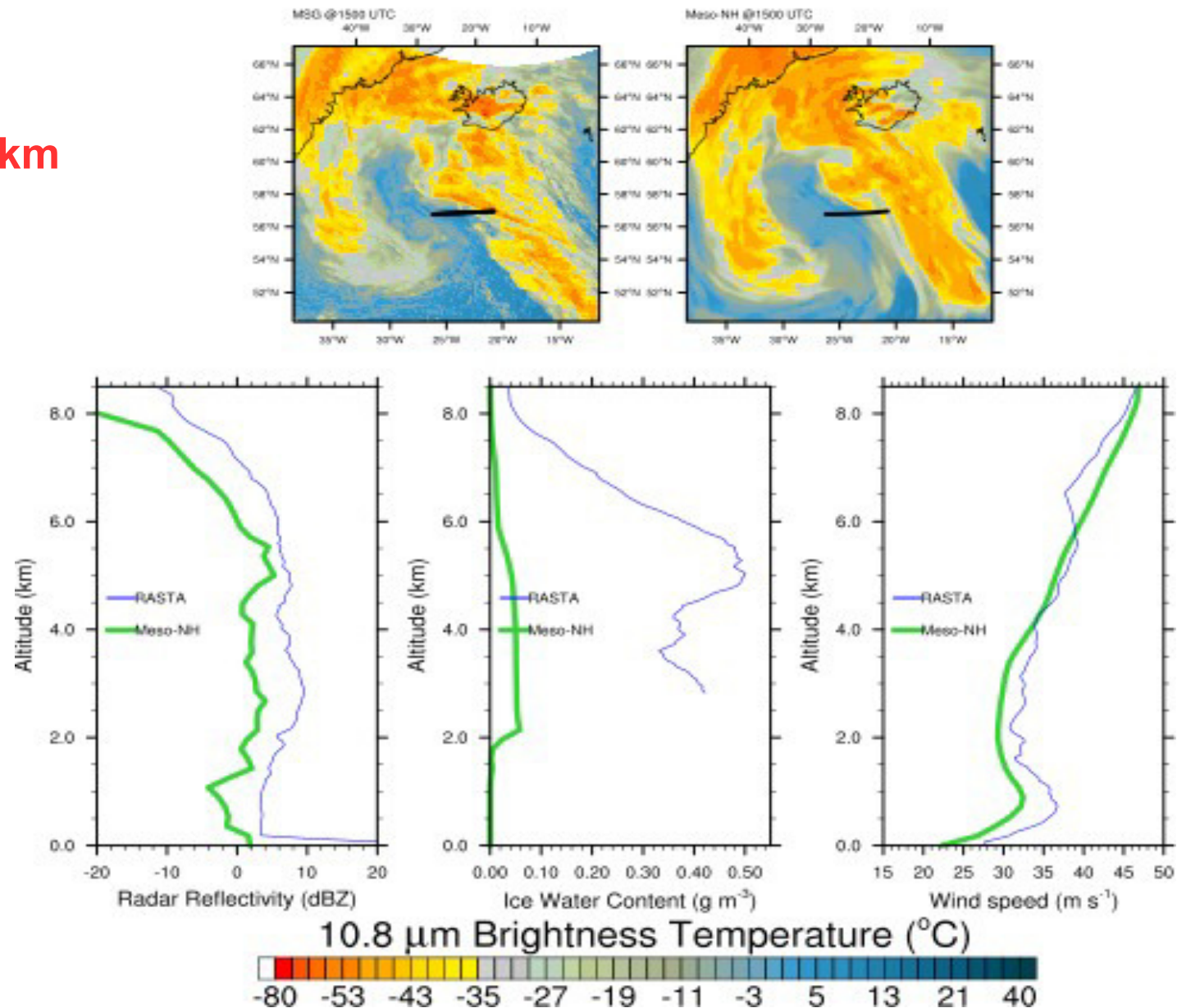
F7 - 1400 UTC 02 Oct - NDWLR

$\Delta x = 10$ km



F7 - 1500 UTC 02 Oct - NDWLR

$\Delta x = 10$ km



F7 - 1600 UTC 02 Oct - NDWLR

$\Delta x = 10$ km

