

22 octobre 2025

Modélisation 1D

Meso-NH pour l'étude de la CLA

S9 IENM3 2025-2026



Plan

1. Contexte et objectifs
2. Analyse synoptique et contexte météorologique
3. Simulation de référence
4. Sensibilité au schéma de turbulences
5. Sensibilité aux forçages
6. Sensibilité aux conditions initiales
7. Sensibilité à la grille verticale
8. Sensibilité aux paramètres de la surface
9. Conclusion

Contexte

- Analyse de la couche limite atmosphérique et de son évolution sur le site de mesures de Lannemezan
- Prises de mesures avec des radiosondages
- Découverte du modèle MESO-NH
- Comparaison avec les différents instruments
- Tests de sensibilité des différents paramètres dans MESO-NH

Produire les données d'observation météo-climatiques

Objectifs

Comment la variation des paramètres physiques et numériques influence-t-elle la CLA dans le modèle Mésoscale-NH ?

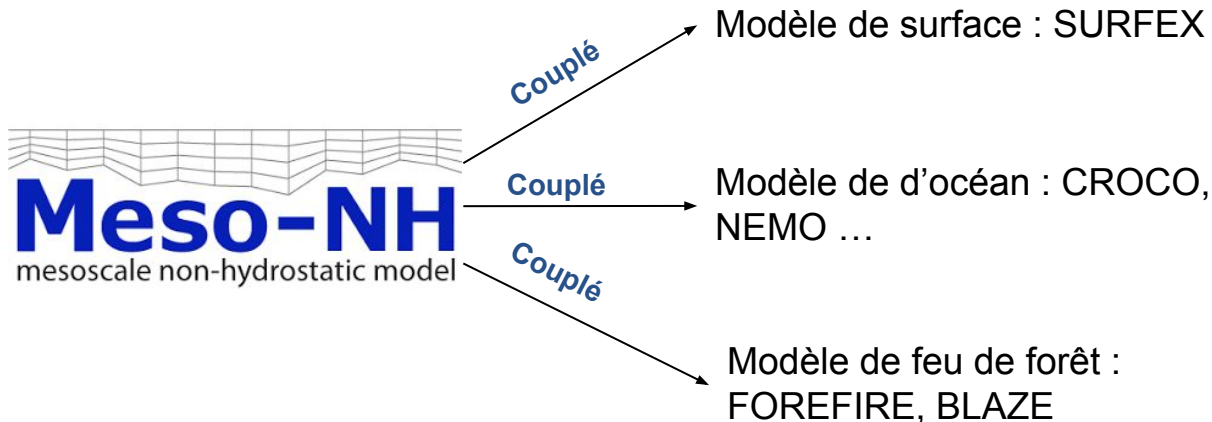
- Simulation de référence uni-colonne
- Étude de sensibilité aux paramètres du modèle :
conditions initiales, forçages externes, grille verticale, paramétrisation de la surface et
turbulence
- Analyse de l'impact des choix de paramétrisation sur la couche limite

Meso-NH (1993) : Mesoscale Non-Hydrostatic développé par le CNRM et Laero

- Polyvalence d'échelle :
~ 1000 km à ~ 1m

- Large nombre de
paramétrisations

- Fonctionne en 1D, 2D et 3D

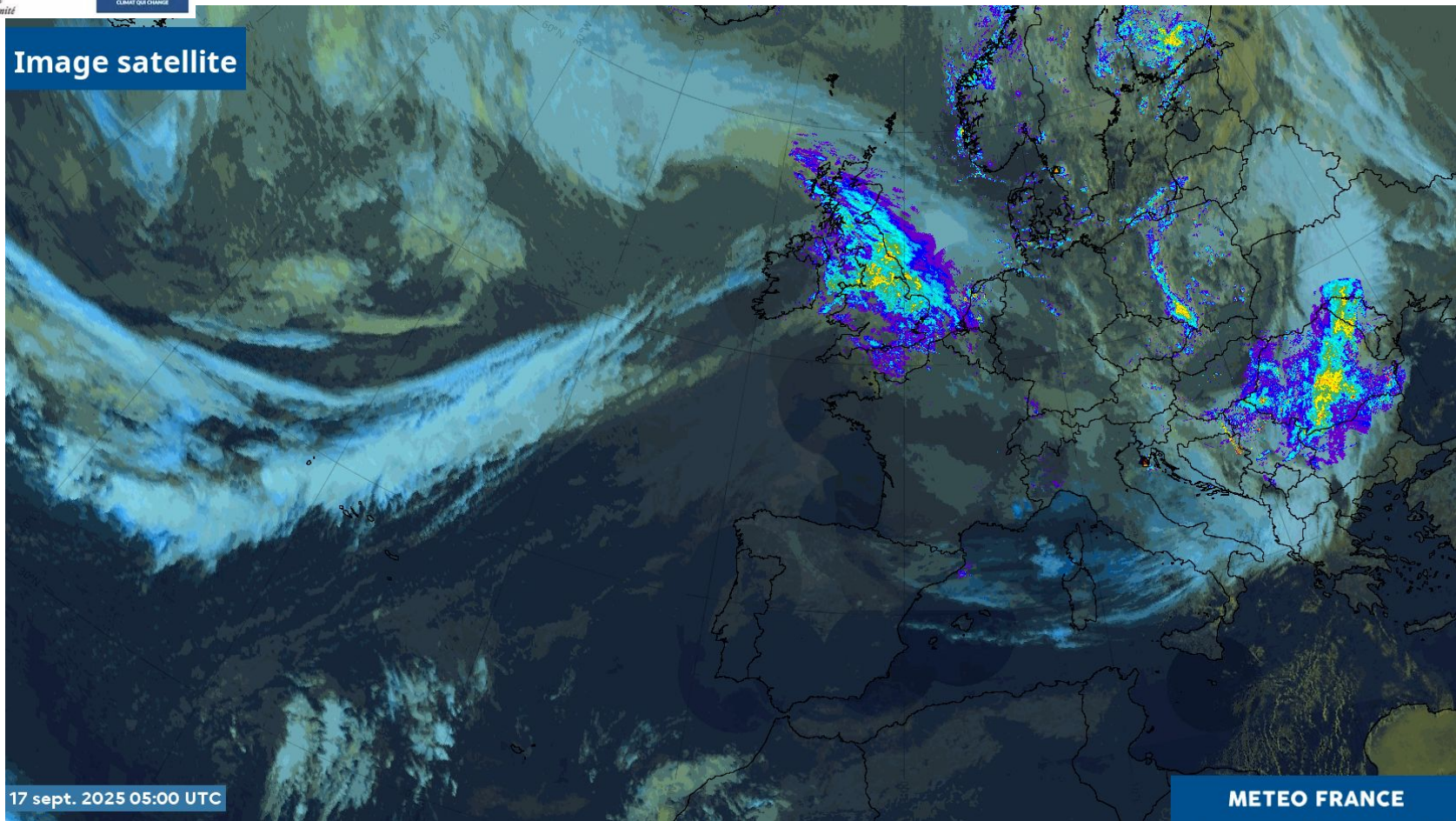


Plan

1. Contexte et objectifs
2. Analyse synoptique et contexte météorologique
3. Simulation de référence
4. Sensibilité au schéma de turbulence
5. Sensibilité aux forçages
6. Sensibilité aux conditions initiales
7. Sensibilité à la grille verticale
8. Sensibilité aux paramètres de la surface
9. Conclusion

Image satellite du 17 septembre de 7h00 à 17h00 locales

Image satellite

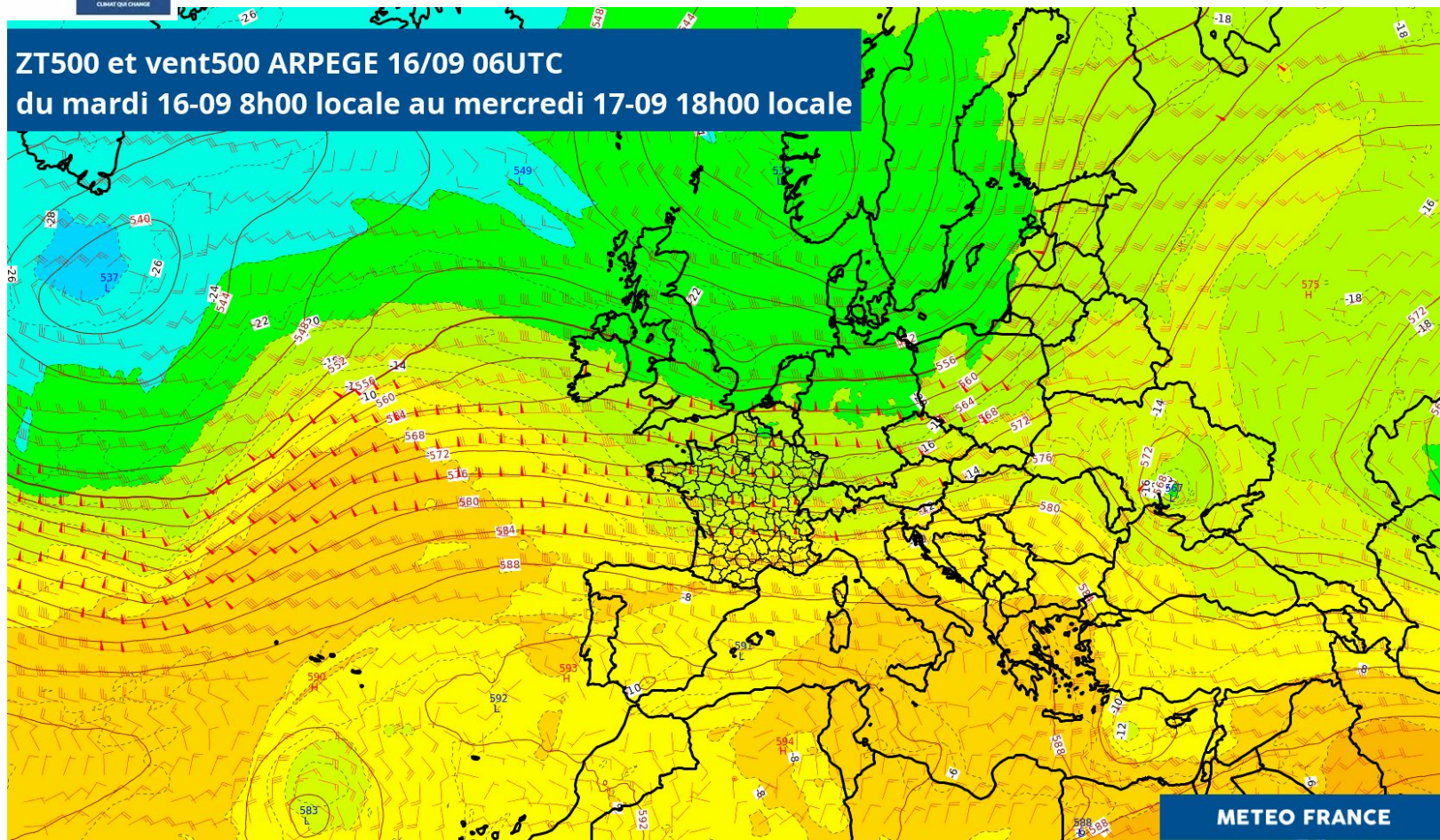


17 sept. 2025 05:00 UTC

METEO FRANCE

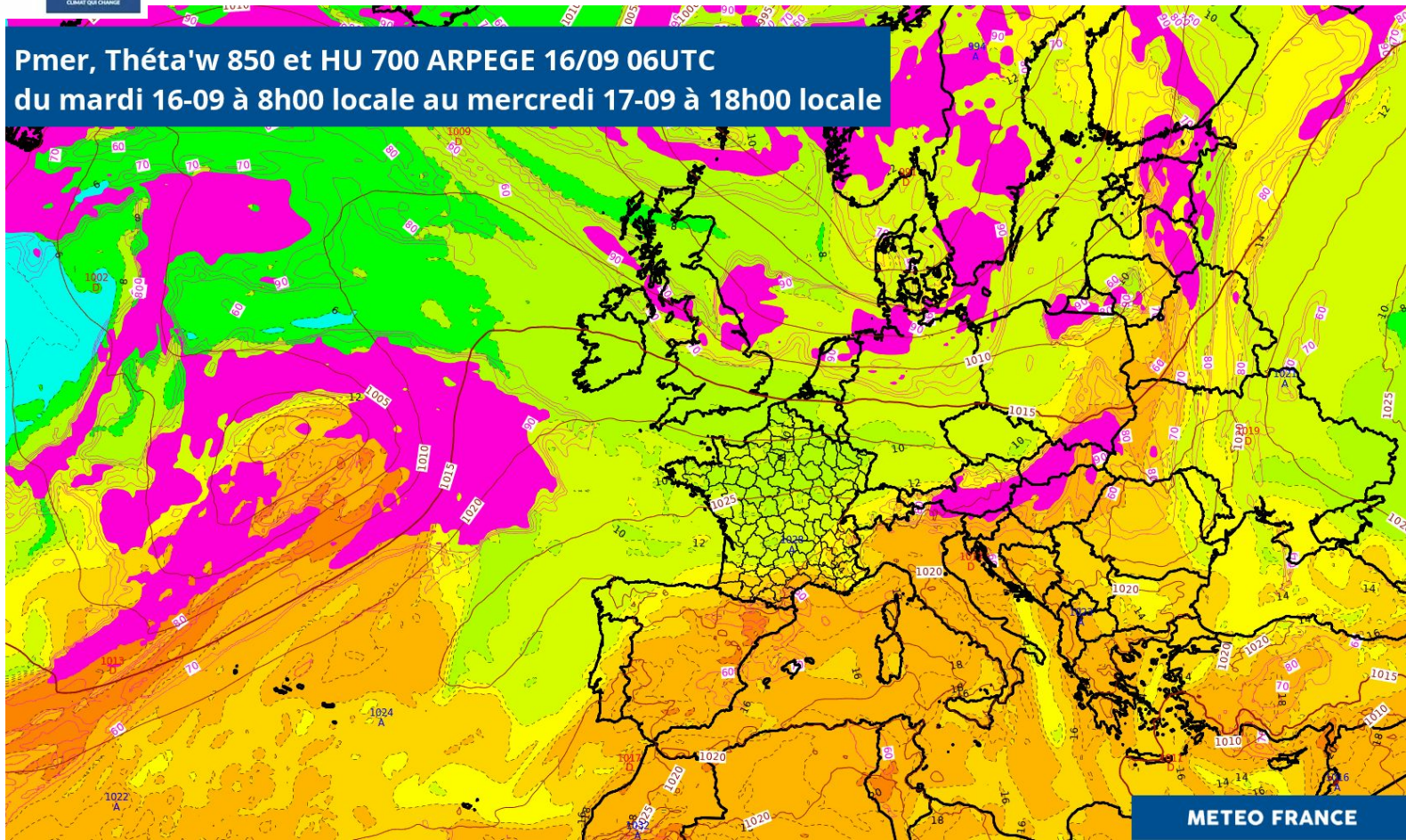
Situation synoptique ZT500

ZT500 et vent500 ARPEGE 16/09 06UTC
du mardi 16-09 8h00 locale au mercredi 17-09 18h00 locale



Pmer, Théta'w 850 et HU700

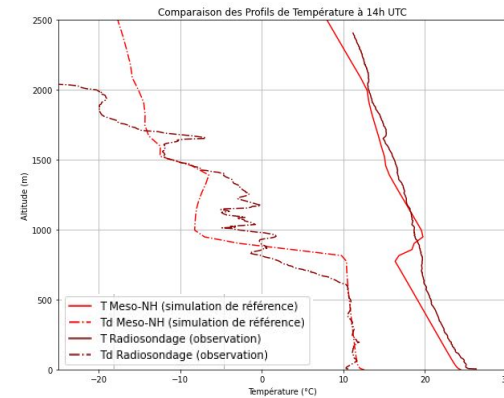
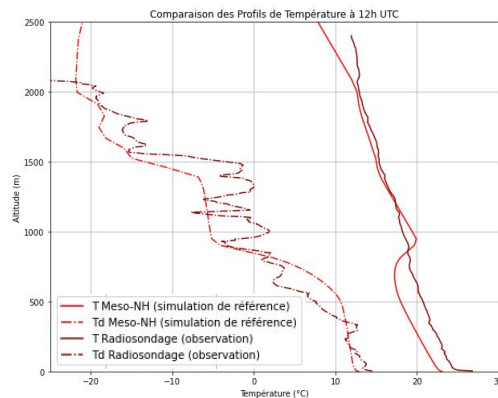
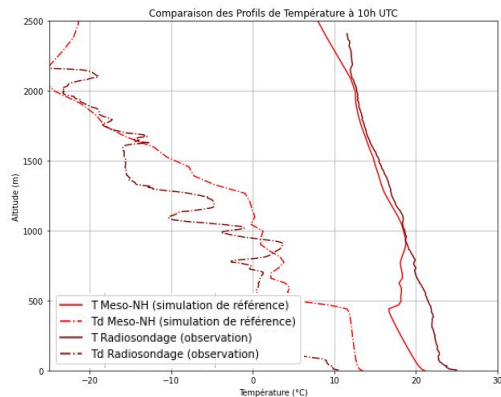
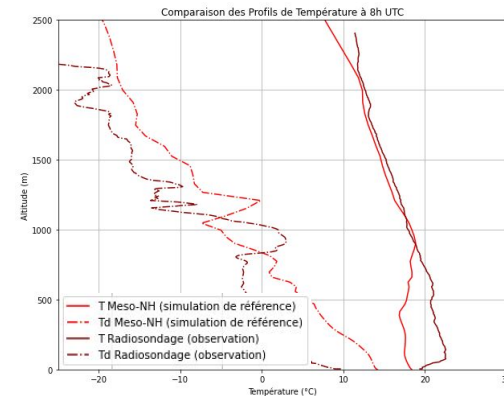
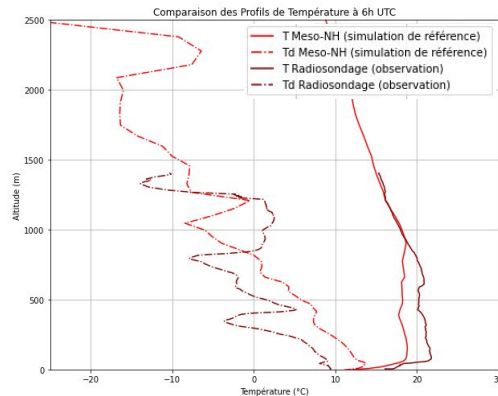
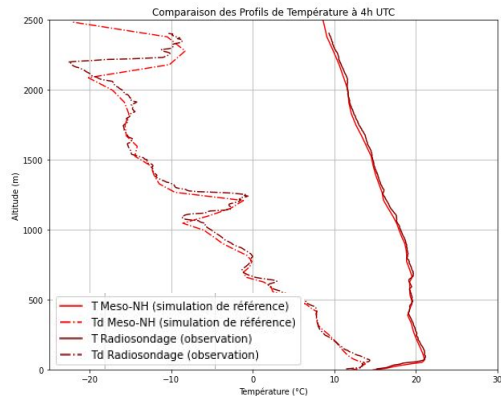
Pmer, Théta'w 850 et HU 700 ARPEGE 16/09 06UTC
du mardi 16-09 à 8h00 locale au mercredi 17-09 à 18h00 locale



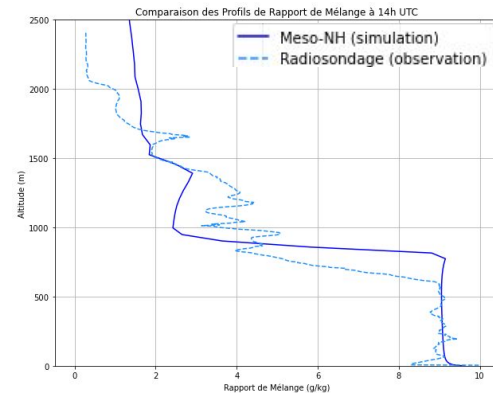
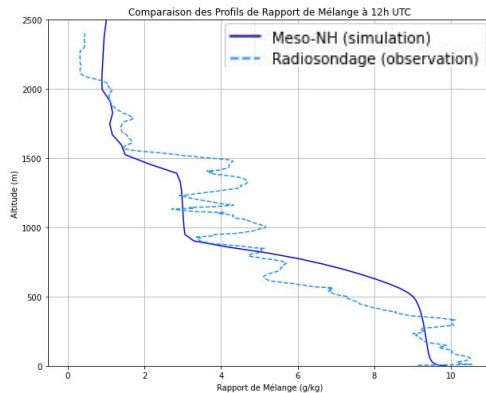
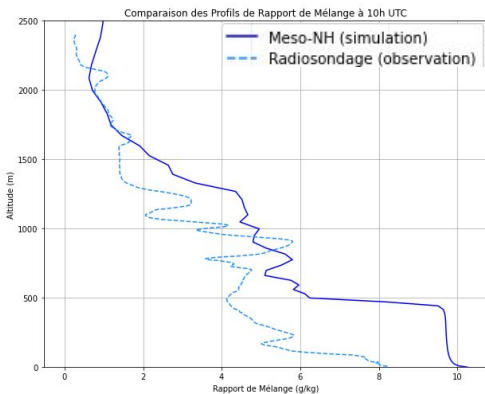
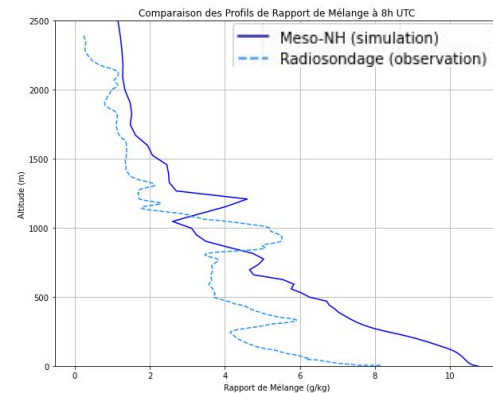
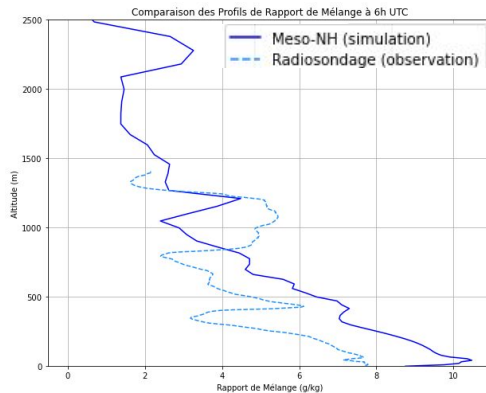
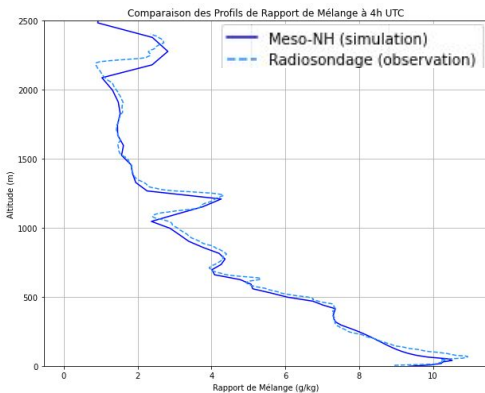
Plan

1. Contexte et objectifs
2. Analyse synoptique et contexte météorologique
3. Simulation de référence
4. Sensibilité au schéma de turbulence
5. Sensibilité aux forçages
6. Sensibilité aux conditions initiales
7. Sensibilité à la grille verticale
8. Sensibilité aux paramètres de la surface
9. Conclusion

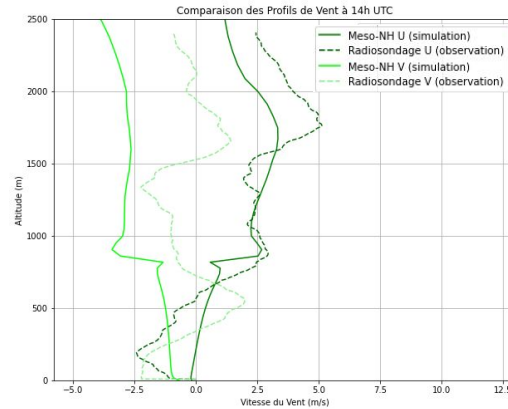
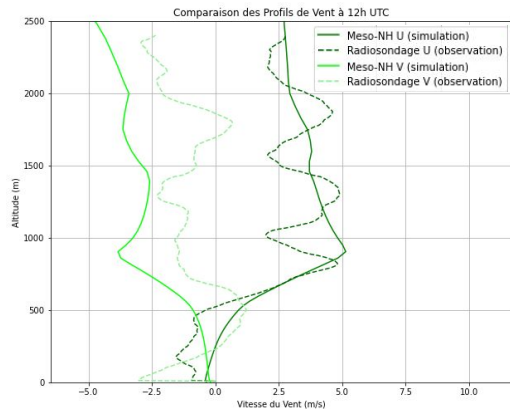
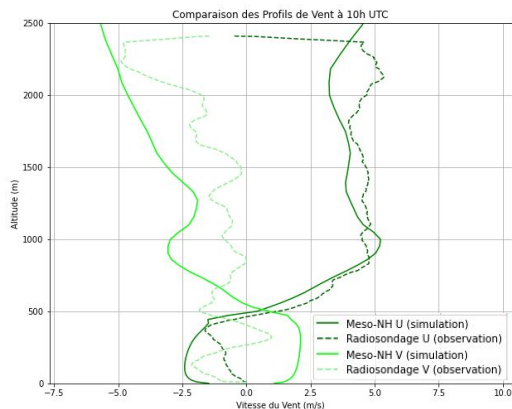
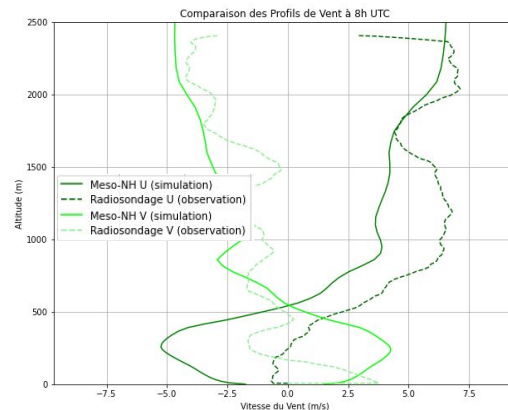
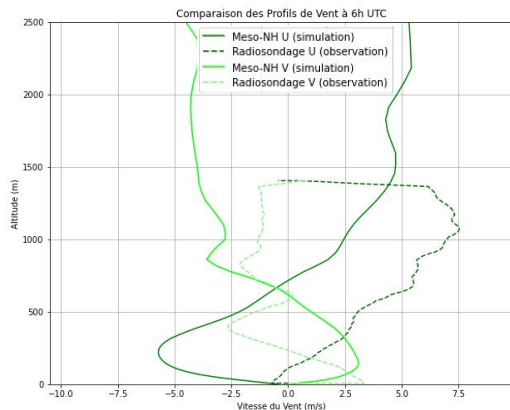
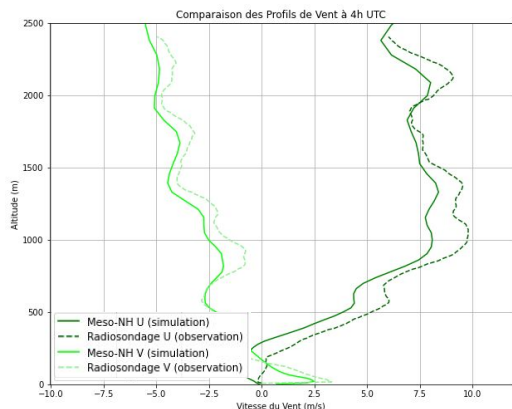
Simulation de référence et radiosondage



Simulation de référence et radiosondage



Simulation de référence et radiosondage

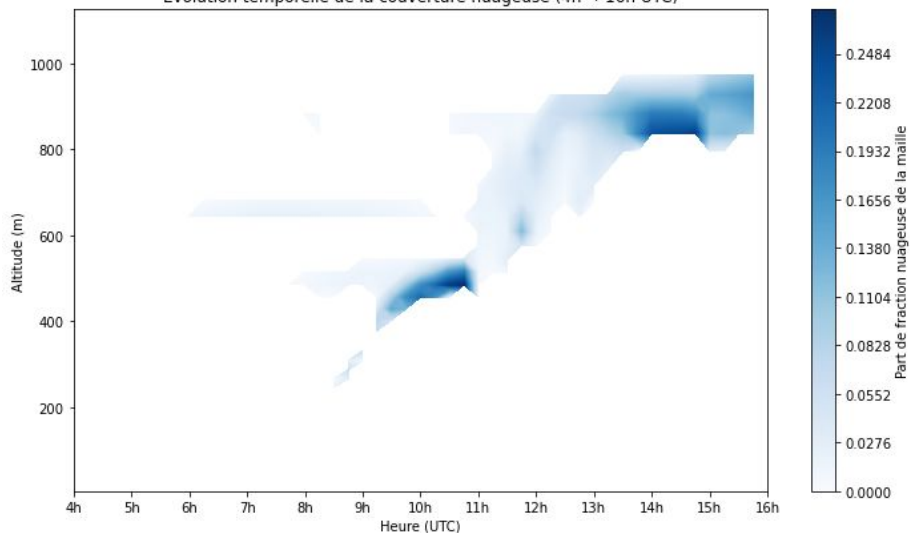


Simulation de référence et radiosondage

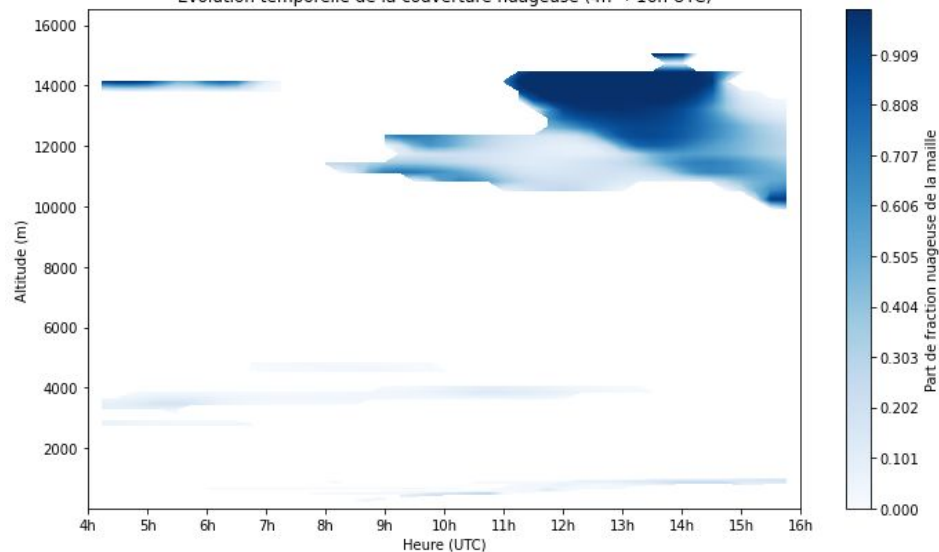
Méthodes / Heures (UTC)	04:00	06:00	08:00	10:00	12:00	14:00
Radiosondage (vent)	200	200	300	400	500	700
MESO-NH référence	150	150	300	500	600	800

Simulation de référence

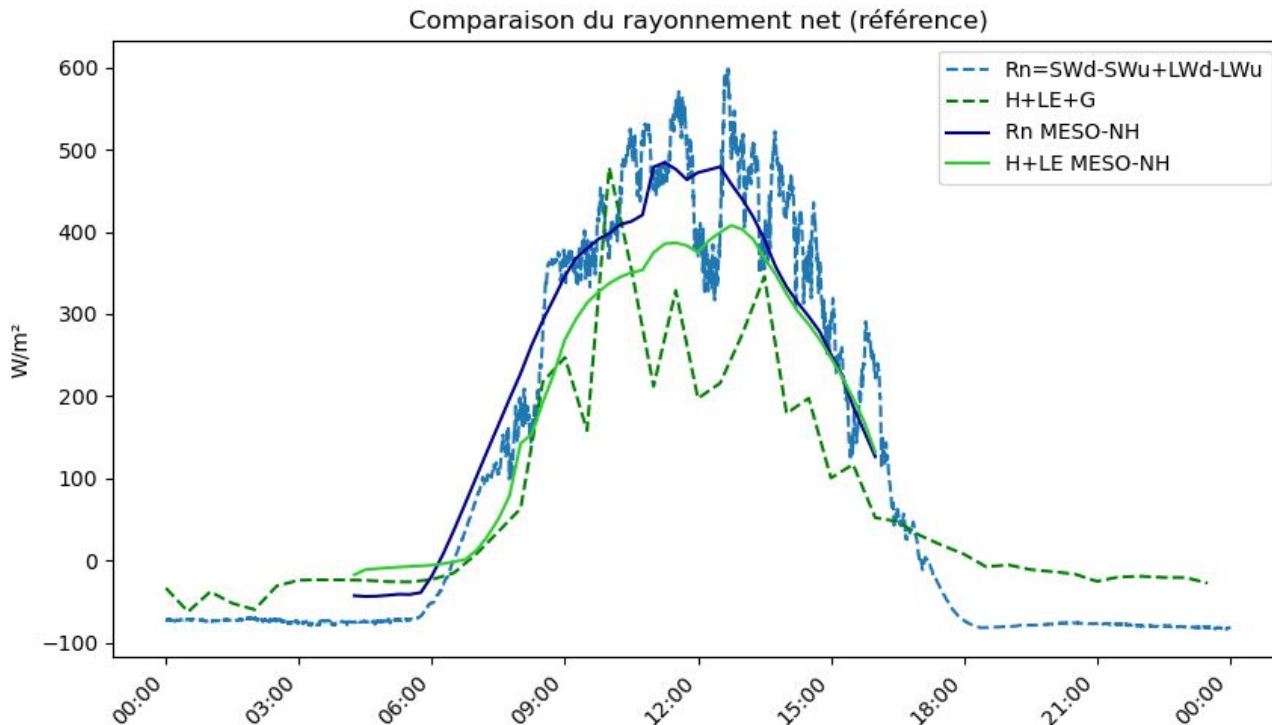
Évolution temporelle de la couverture nuageuse (4h → 16h UTC)



Évolution temporelle de la couverture nuageuse (4h → 16h UTC)



Rayonnement net de référence



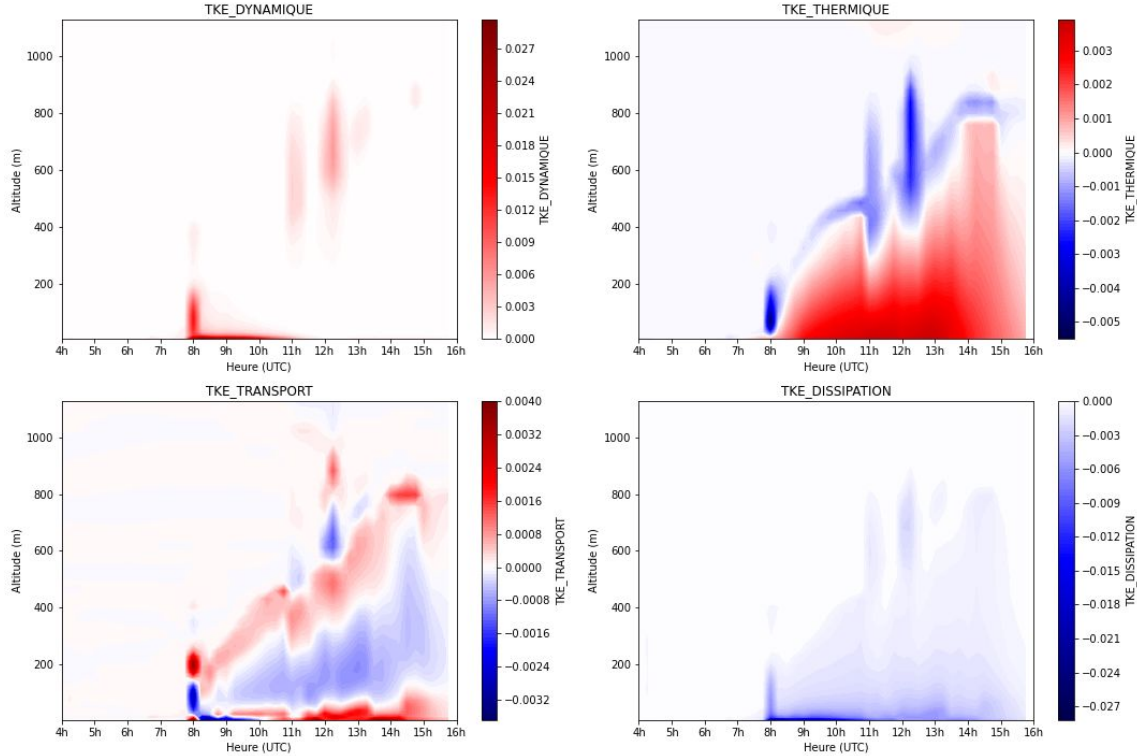
Étude de la turbulence de référence

$$\frac{\partial TKE}{\partial t} = \cancel{\text{advection}} + \underbrace{\overset{\text{3D}}{\text{prod. dyn. (DP)}}}_{\overline{u'_i u'_j} \frac{\partial \bar{U}_i}{\partial x_j}} + \underbrace{\overset{\text{1D}}{\text{prod. therm. (TP)}}}_{\frac{g}{\theta_{vref}} (E_\theta \overline{w' \theta'_l} + E_r \overline{w' r'_{np}})} + \text{transport} + \text{dissipation}$$

$(r_{np} = r_c + r_i + r_v)$

Étude de la turbulence de référence

Variables TKE individuelles (centrées sur 0)



3D
prod. dyn. (DP)

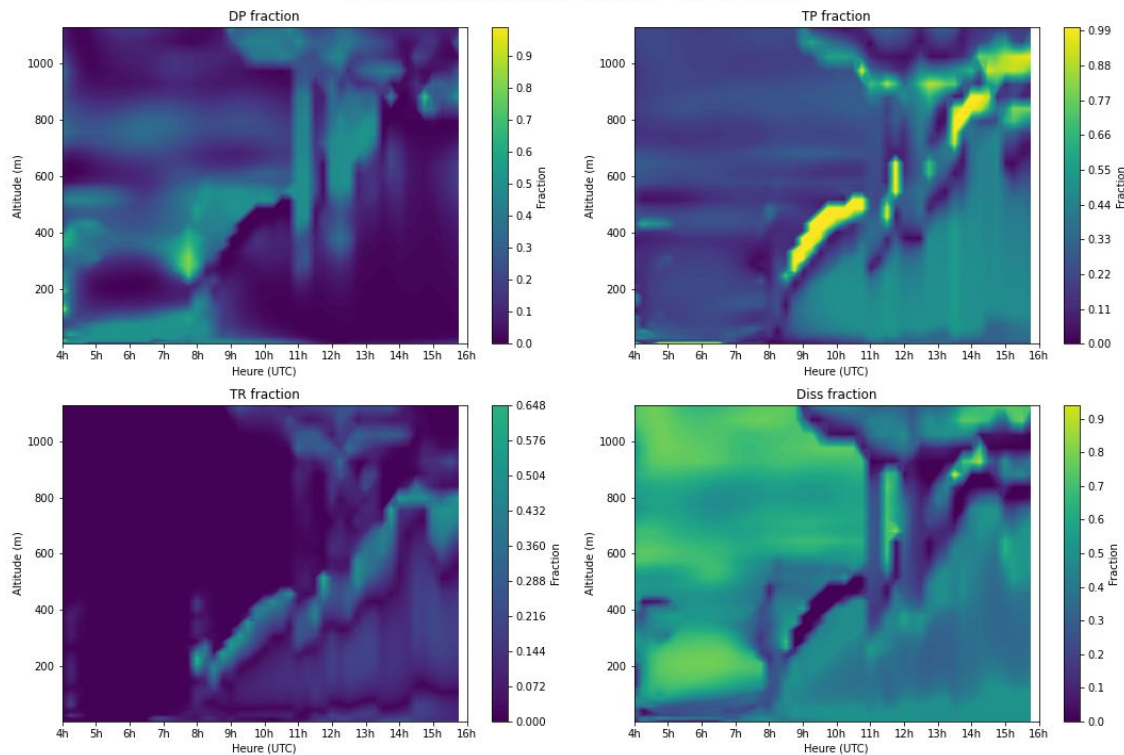
$$\overline{u'_i u'_j} \frac{\partial \bar{U}_i}{\partial x_j}$$

1D
prod. therm. (TP)

$$\frac{g}{\theta_{vref}} (\overline{E_\theta w' \theta'_l} + \overline{E_r w' r'_{np}})$$

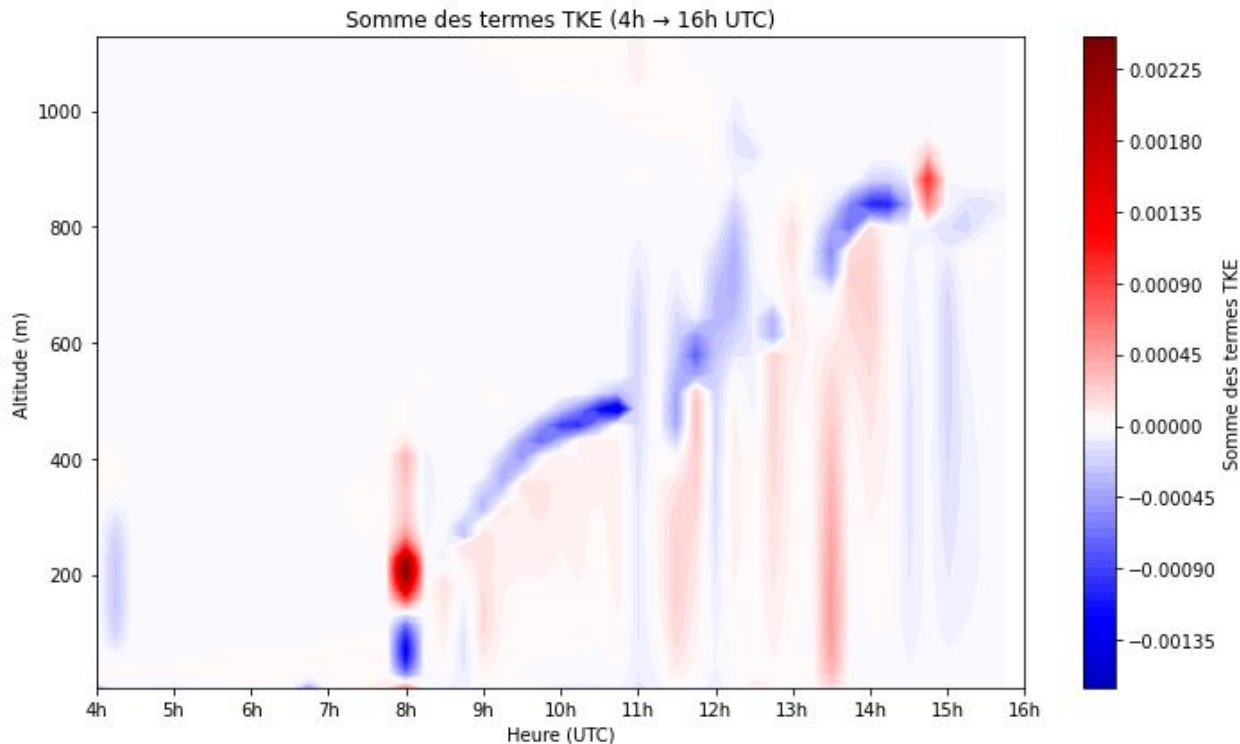
Étude de la turbulence de référence

Fraction de contribution de chaque terme TKE (0 → 1, valeurs absolues)

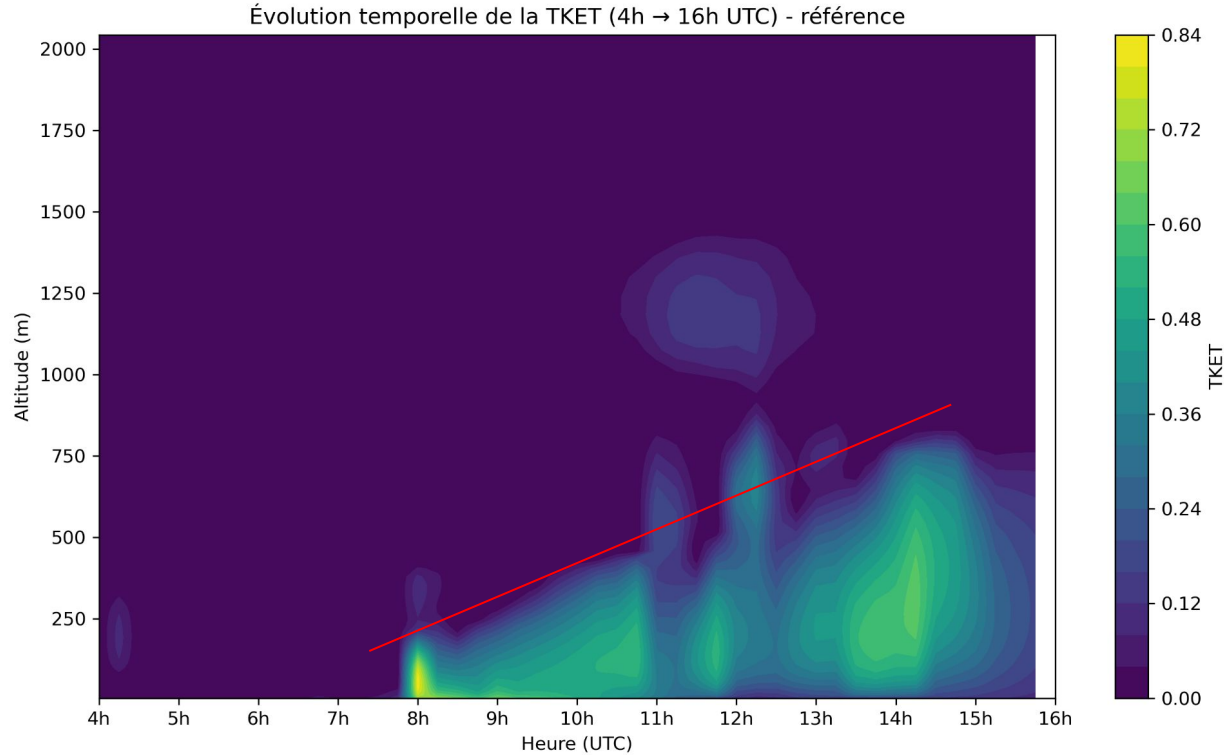


Étude de la turbulence de référence

$$\frac{\partial TKE}{\partial t}$$

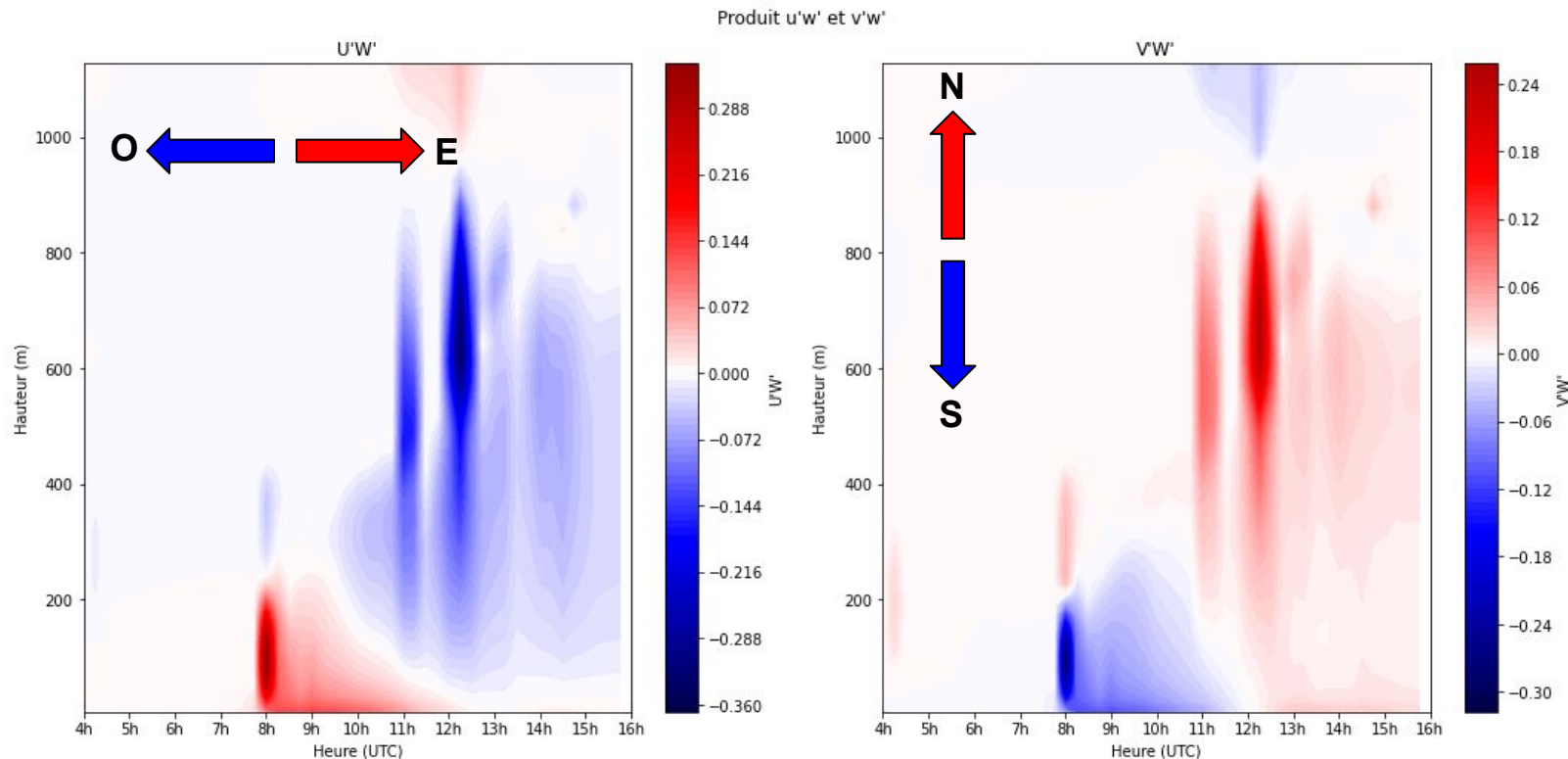


Étude de la turbulence de référence



$$TKE = \frac{1}{2} (\overline{u'^2 + v'^2 + w'^2})$$

Étude de la turbulence de référence



Plan

1. Contexte et objectifs
2. Analyse synoptique et contexte météorologique
3. Simulation de référence
4. Sensibilité au schéma de turbulence
5. Sensibilité aux forçages
6. Sensibilité aux conditions initiales
7. Sensibilité à la grille verticale
8. Sensibilité aux paramètres de la surface
9. Conclusion

Schéma de turbulence

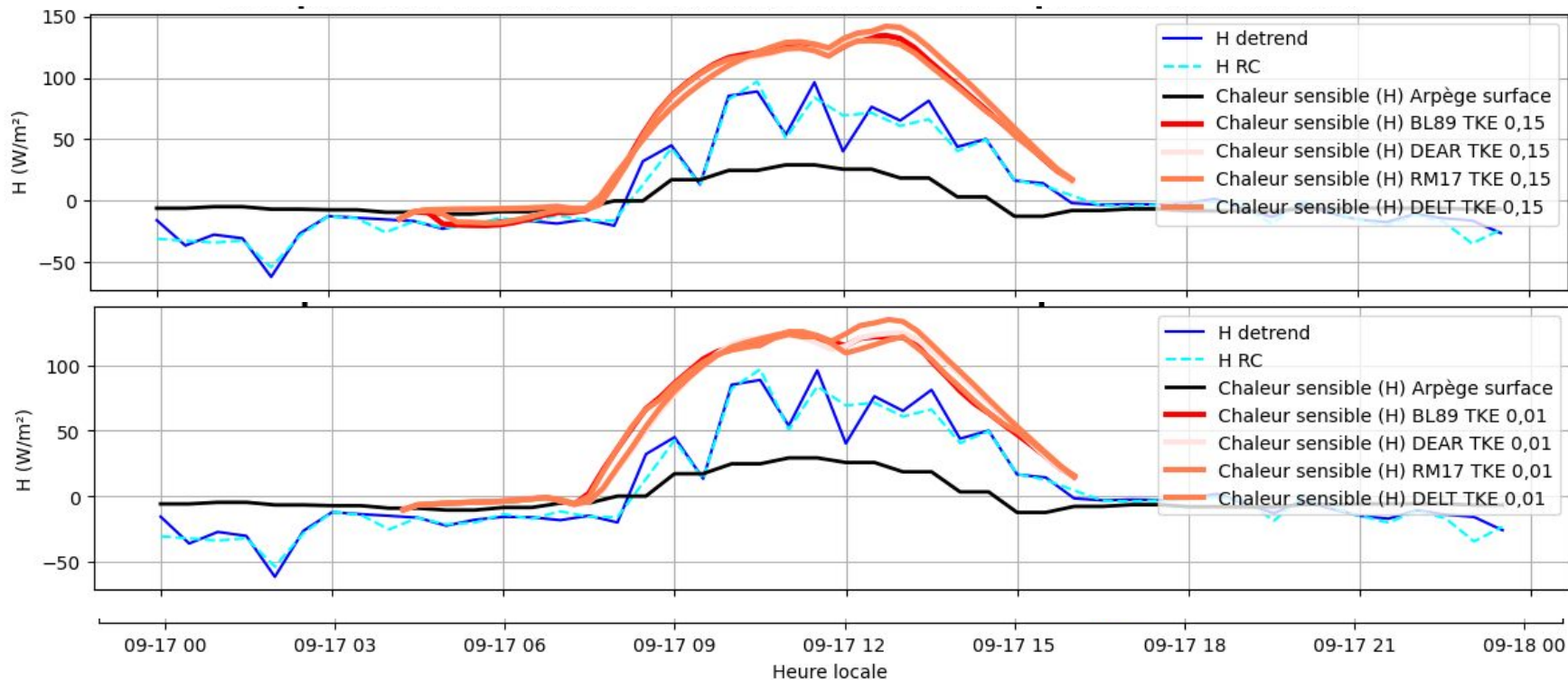


Schéma de turbulence

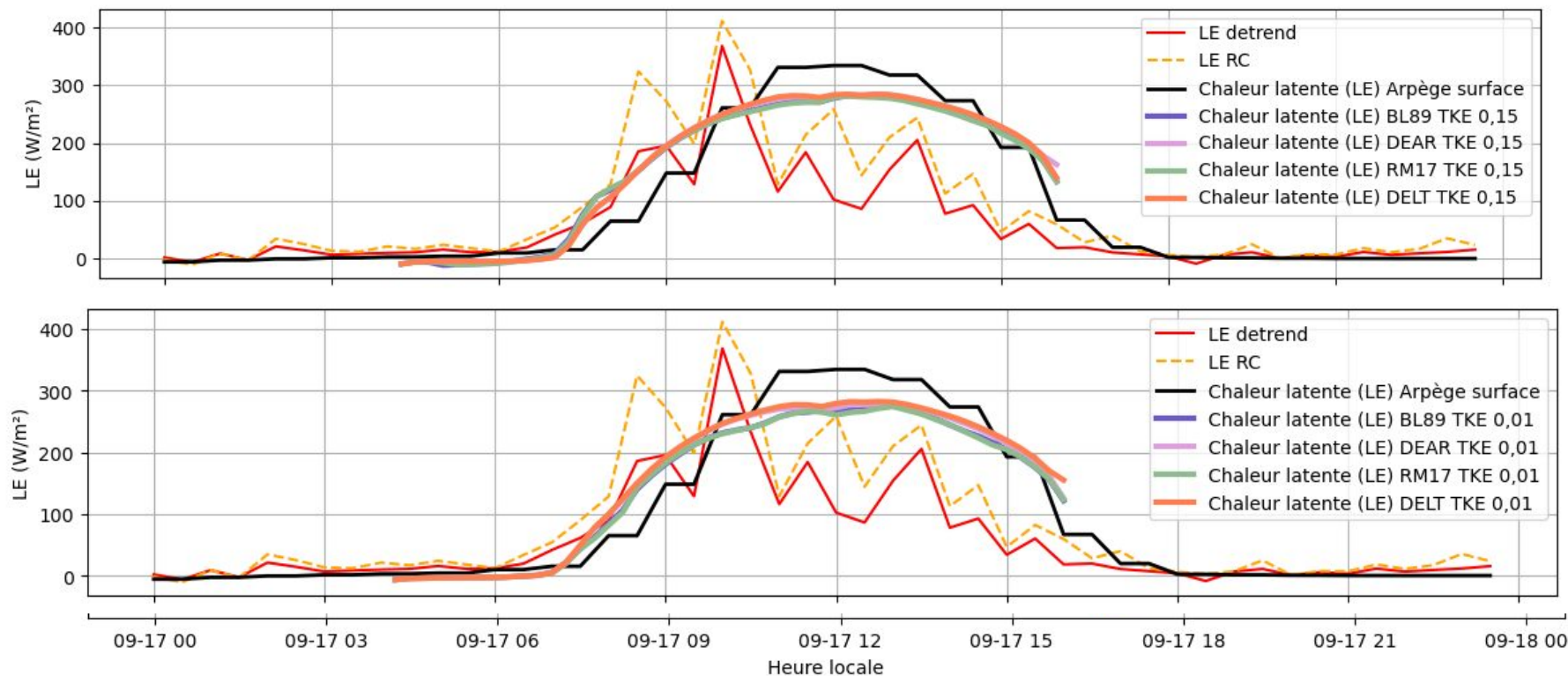


Schéma de turbulence

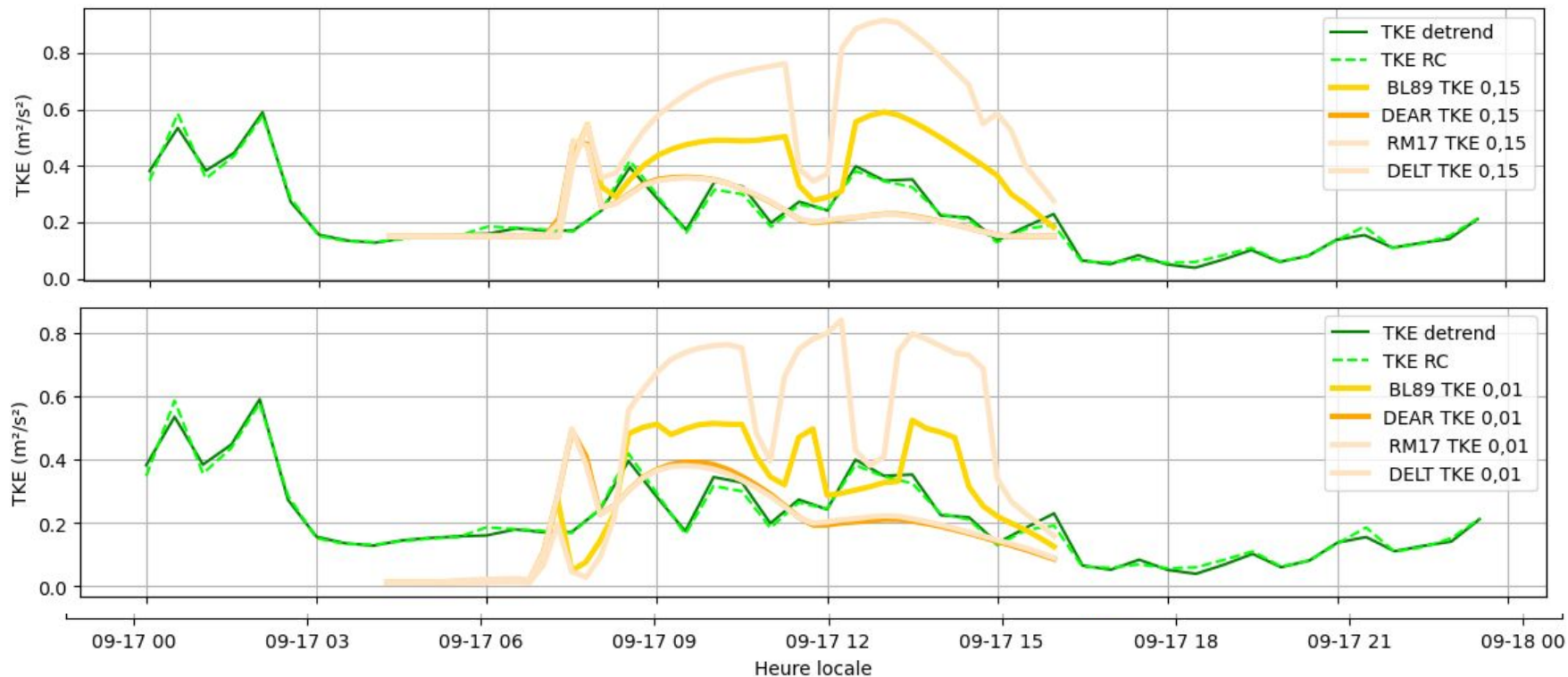


Schéma de turbulence

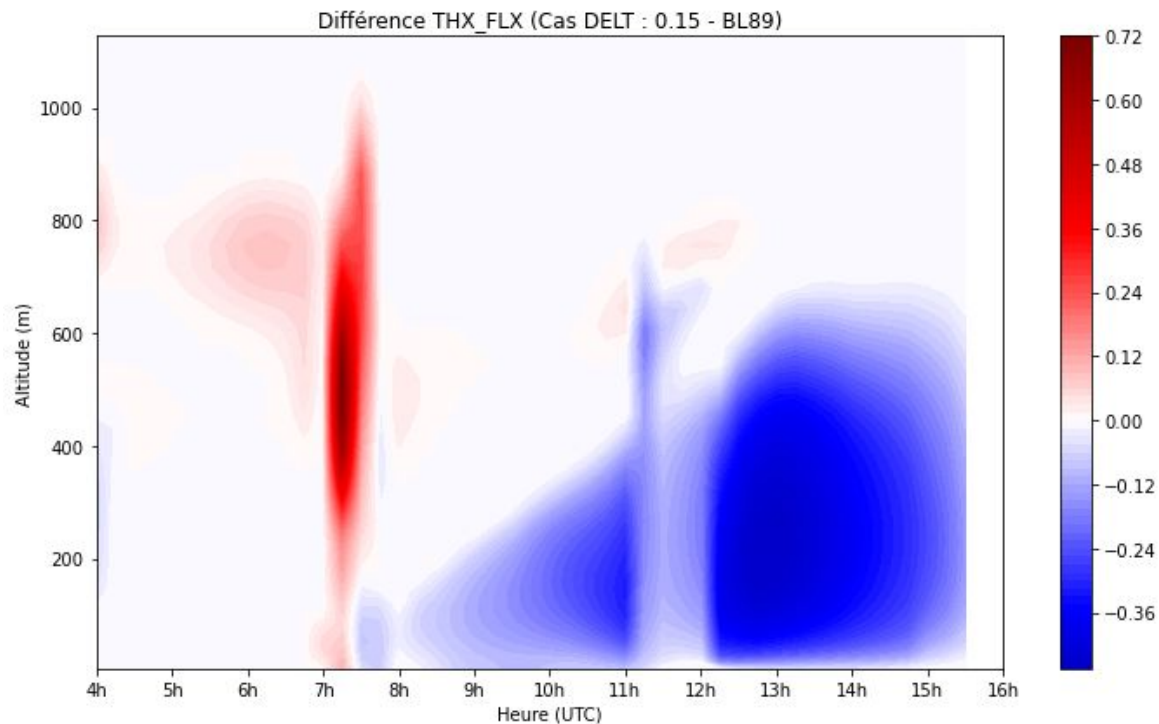


Schéma de turbulence

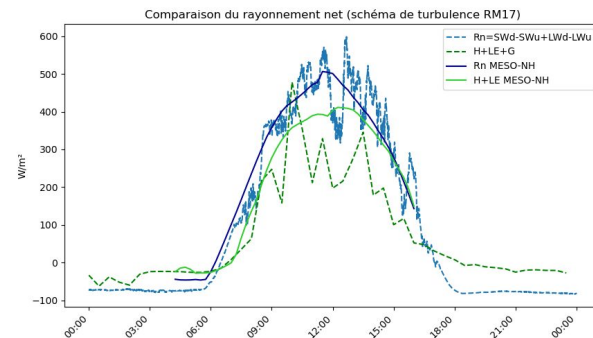
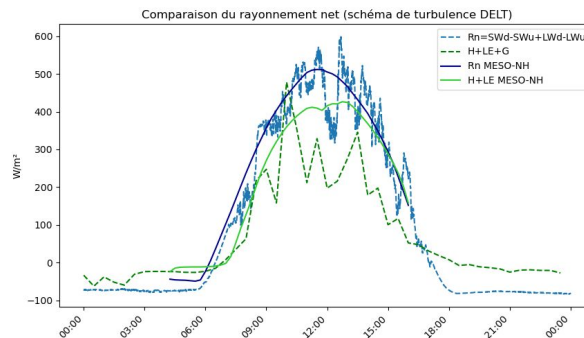
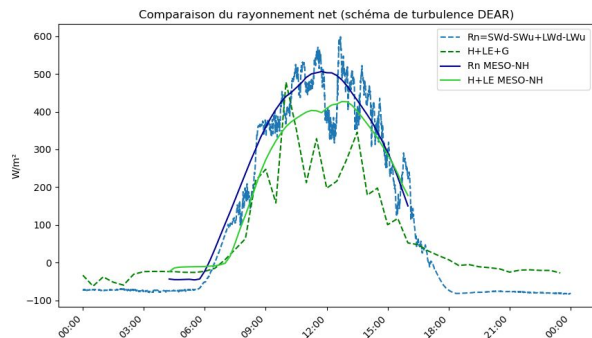


Schéma de convection peu profonde

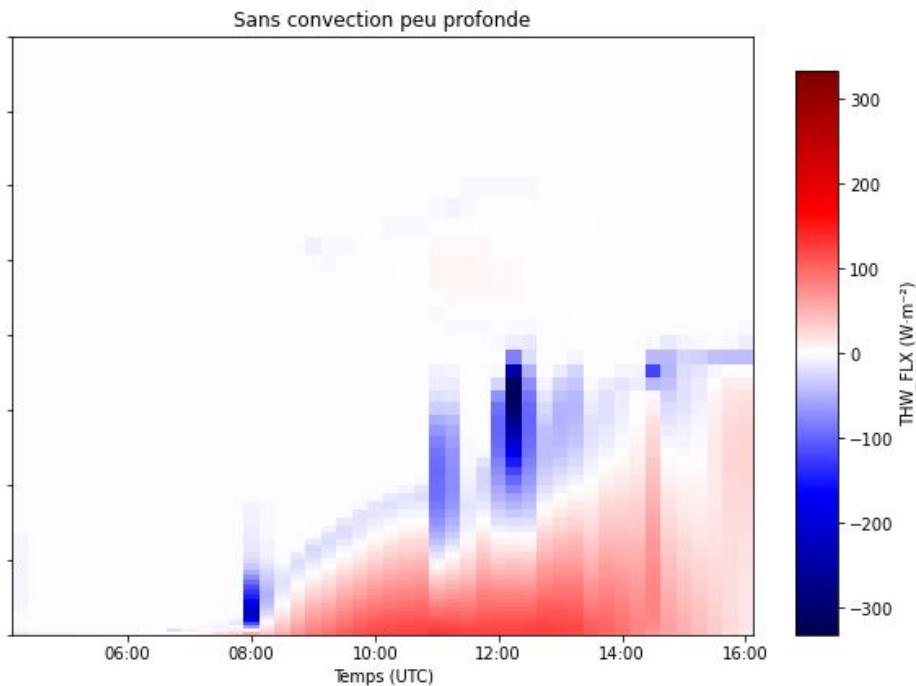
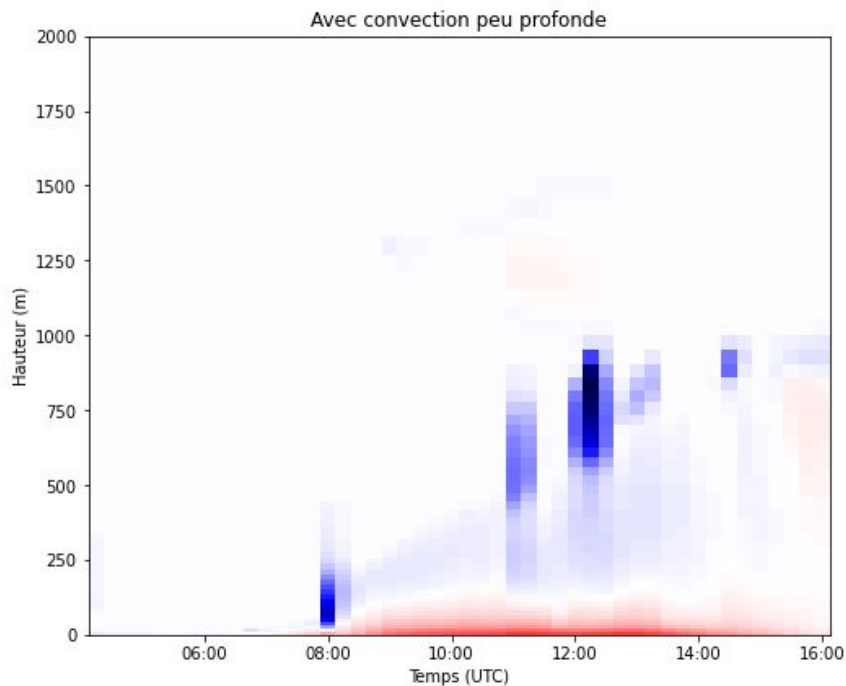
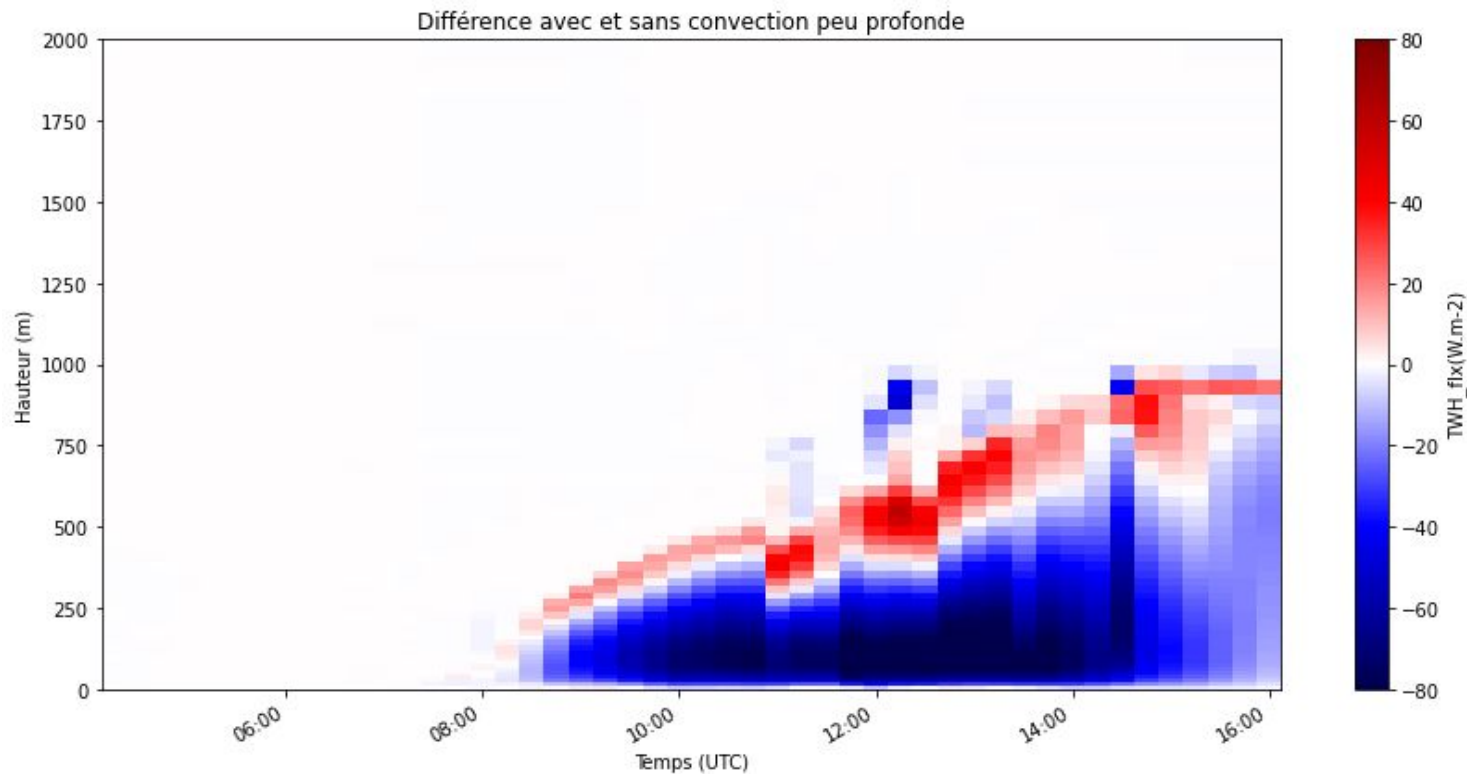
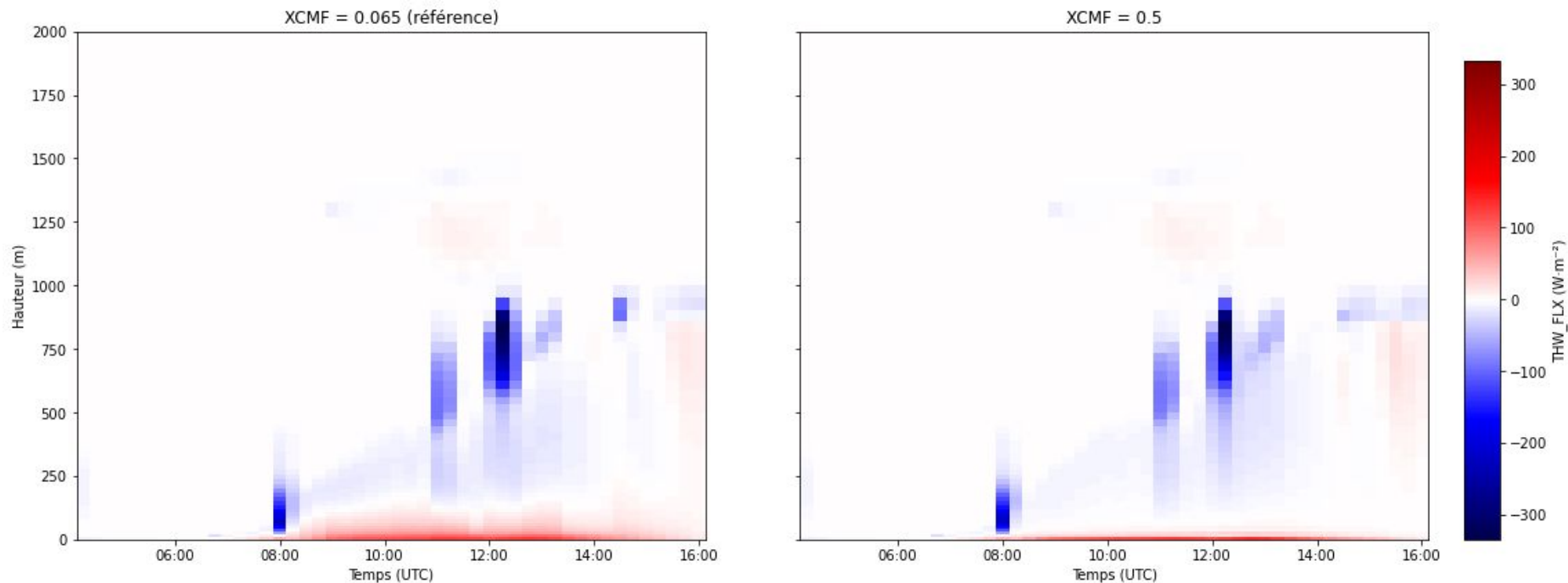


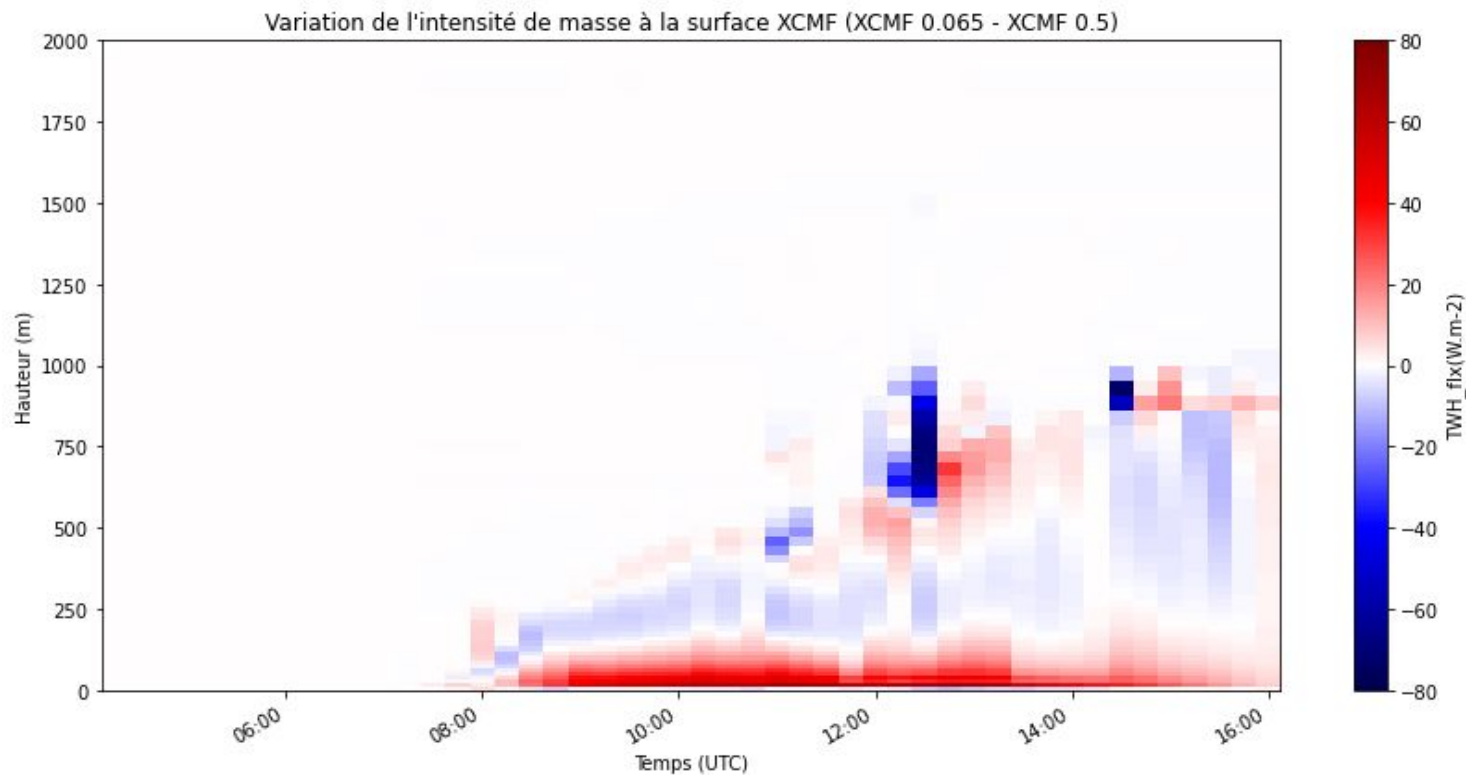
Schéma de convection peu profonde



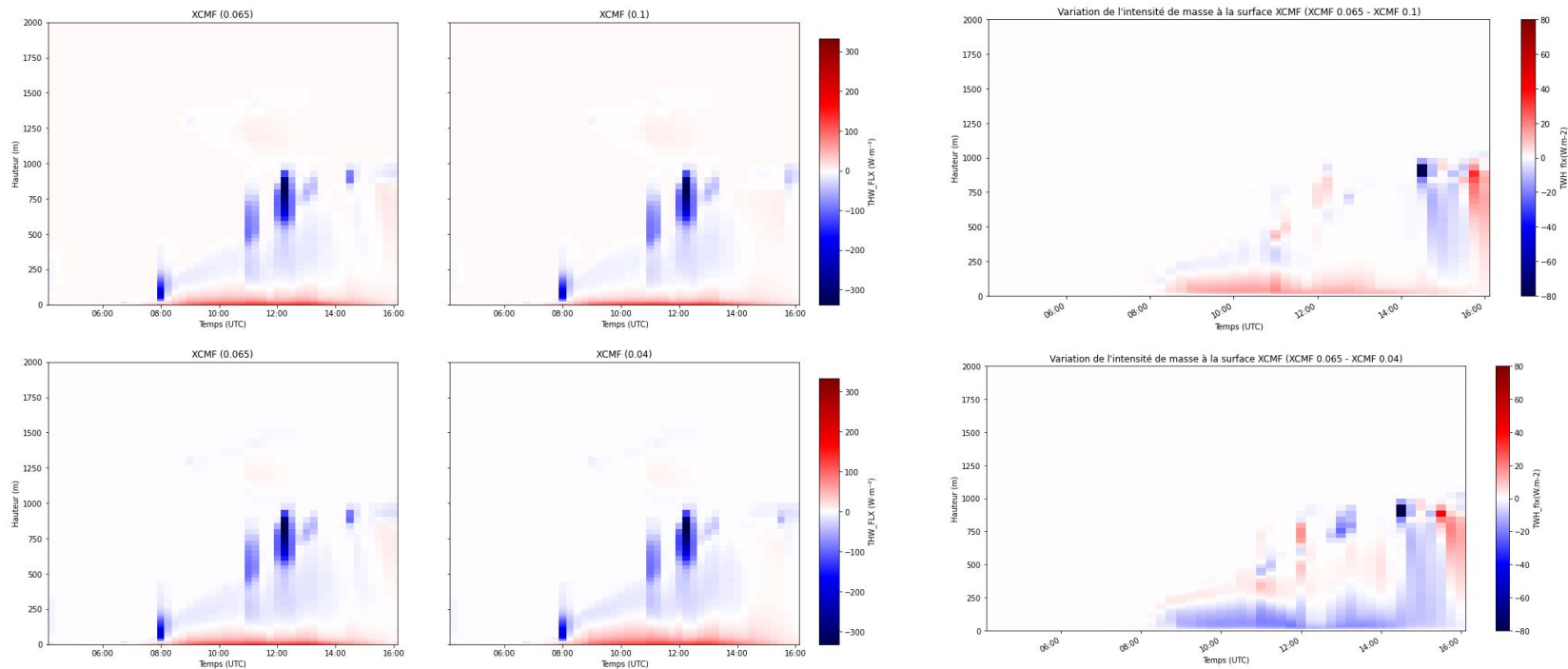
Variation intensité du flux de masse à la surface



Variation intensité du flux de masse à la surface



Variation intensité du flux de masse à la surface



Si XCMF augmente, le flux de chaleur sensible diminue et inversement

Plan

1. Contexte et objectifs
2. Analyse synoptique et contexte météorologique
3. Simulation de référence
4. Sensibilité au schéma de turbulence
5. Sensibilité aux forçages
6. Sensibilité aux conditions initiales
7. Sensibilité à la grille verticale
8. Sensibilité aux paramètres de la surface
9. Conclusion

Étude des forçages

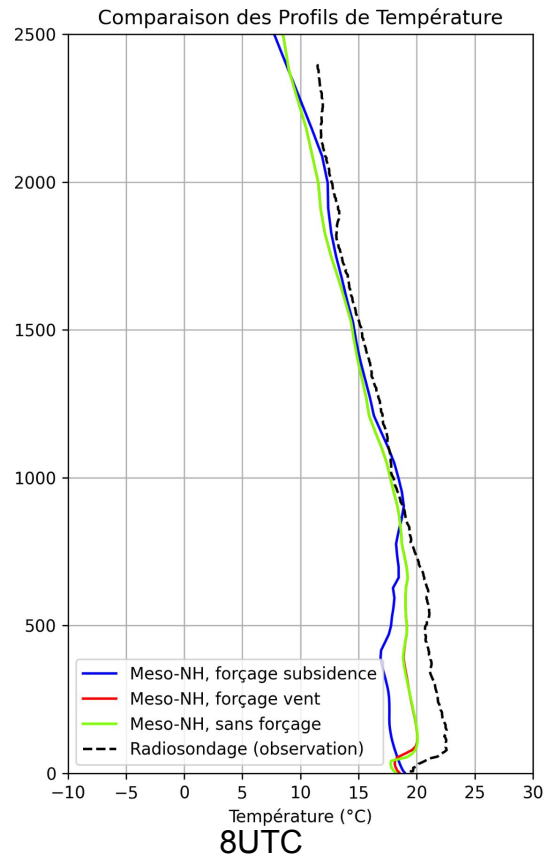
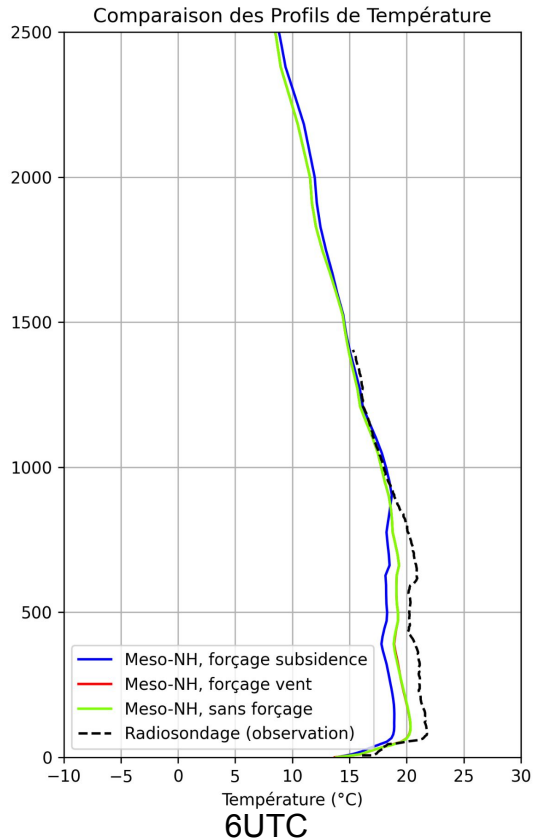
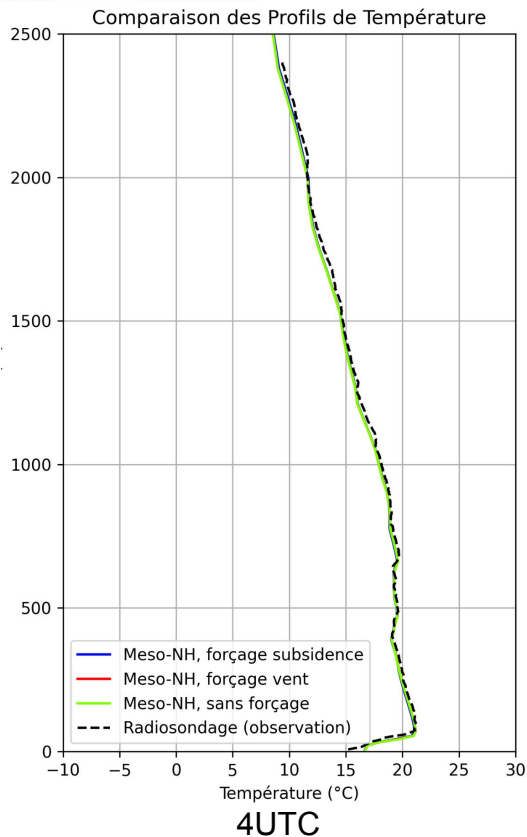
Simulation de référence : 3 forçages aux bords du domaine

en vent horizontal, en température potentielle et en rapport de mélange

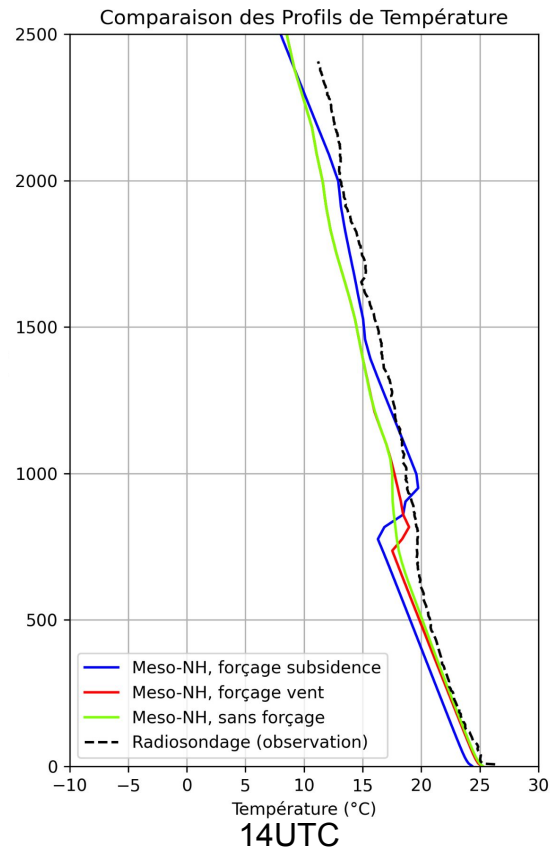
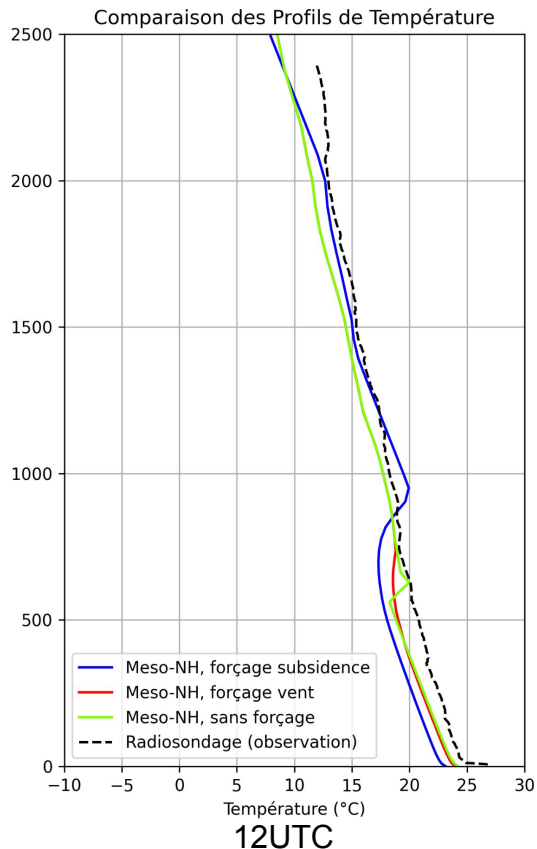
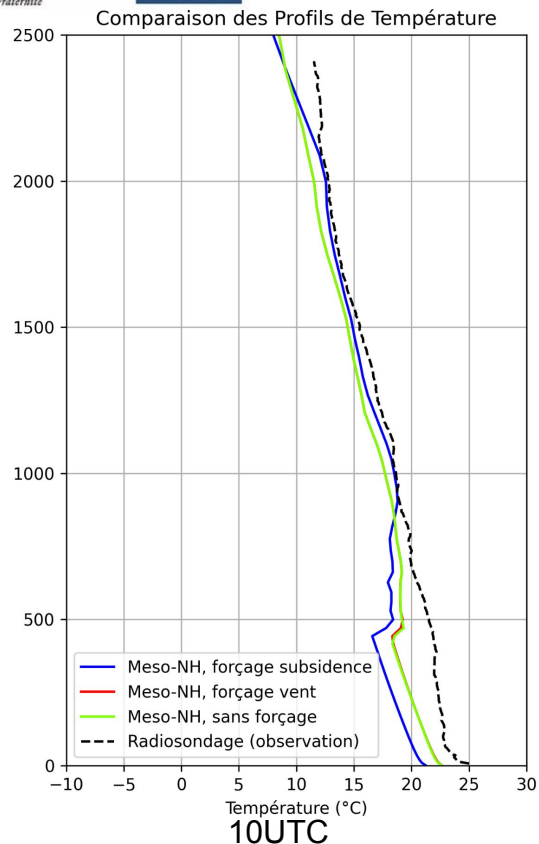
3 nouvelles expériences :

- 1) en désactivant tous les forçages
- 2) en activant uniquement le forçage en vent horizontal
- 3) en ajoutant un forçage de subsidence à tous les forçages de la référence

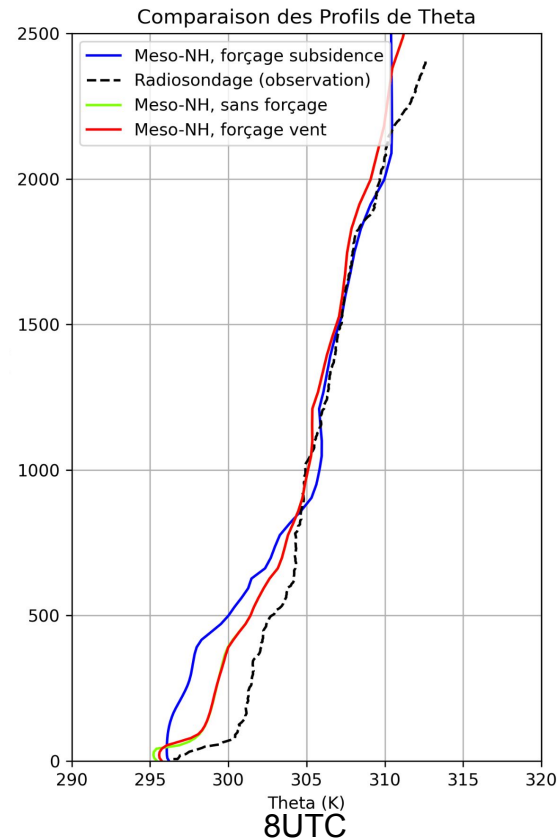
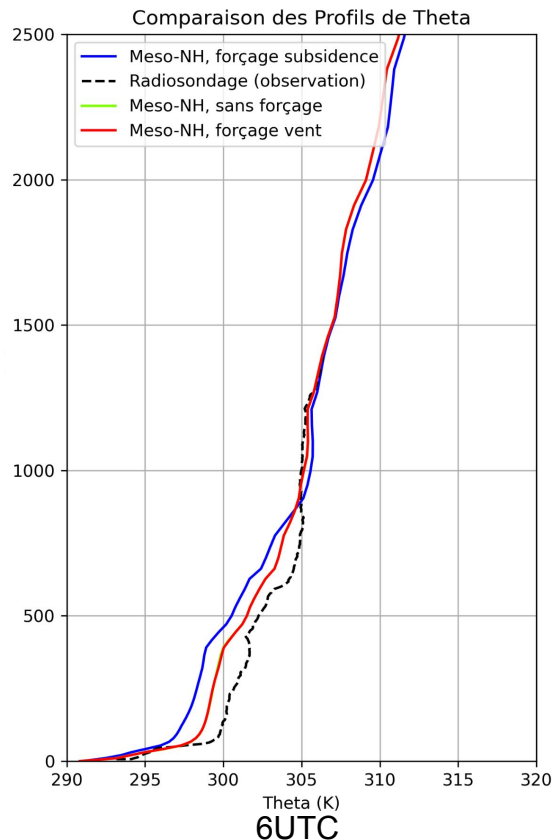
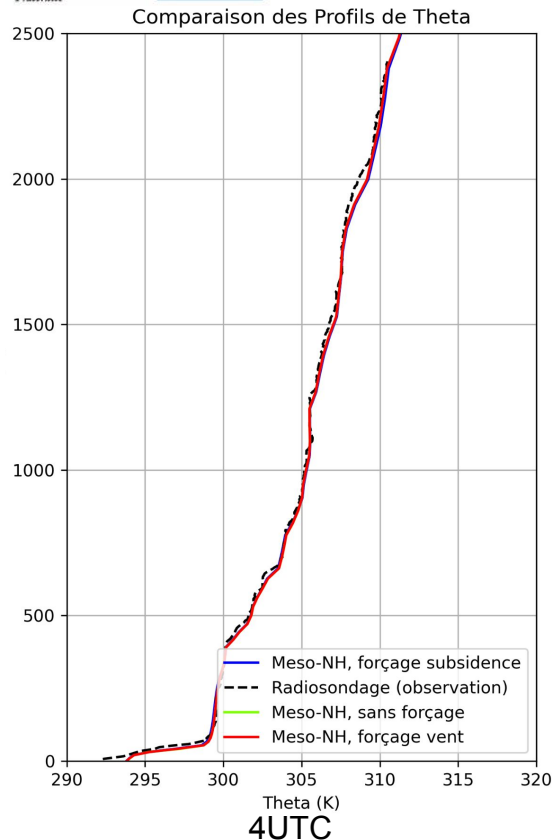
Sensibilité aux forçages - température



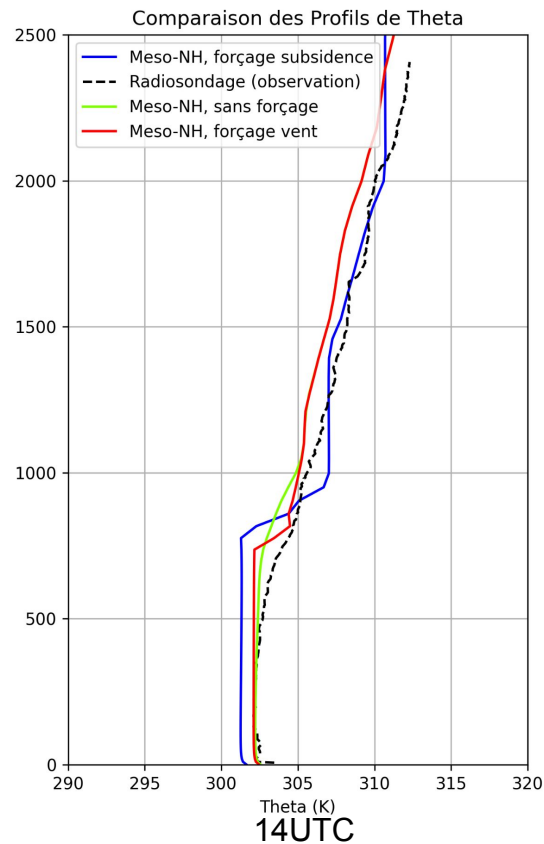
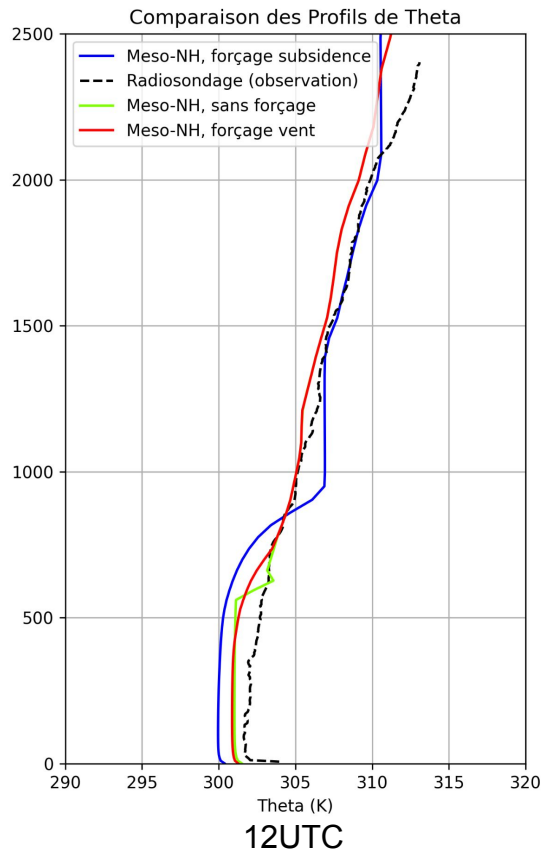
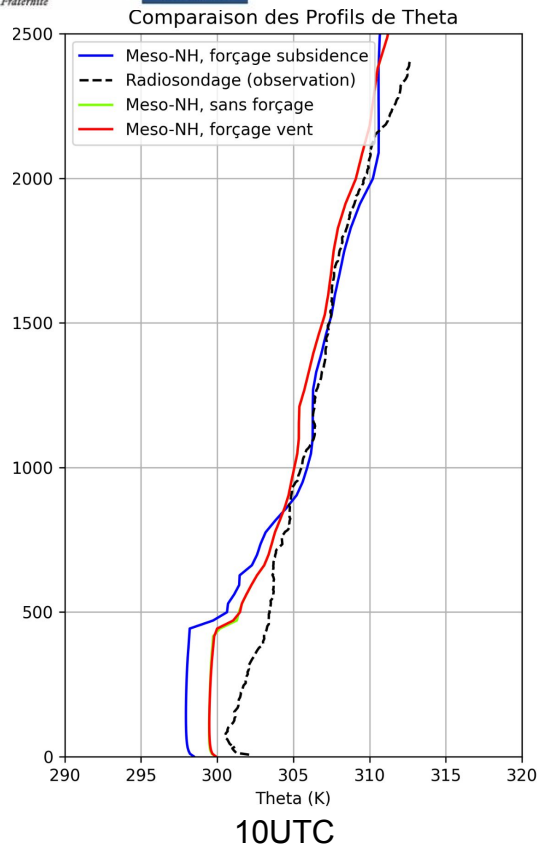
Sensibilité aux forçages - température



Sensibilité aux forçages - température potentielle

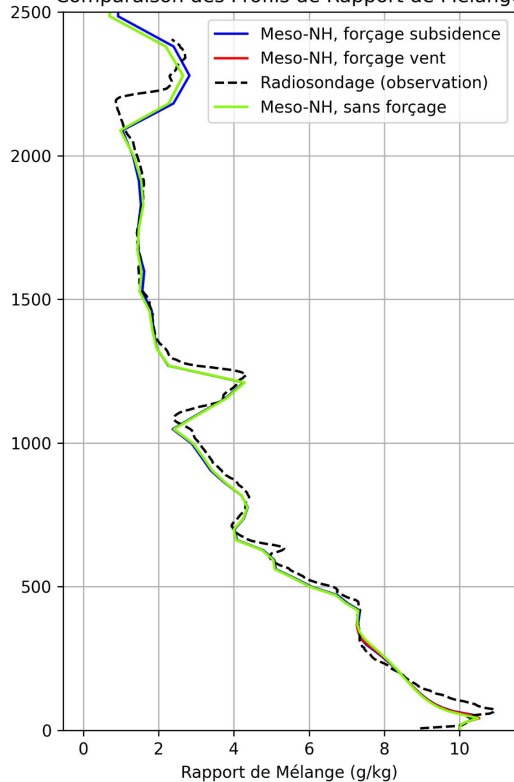


Sensibilité aux forçages - température potentielle



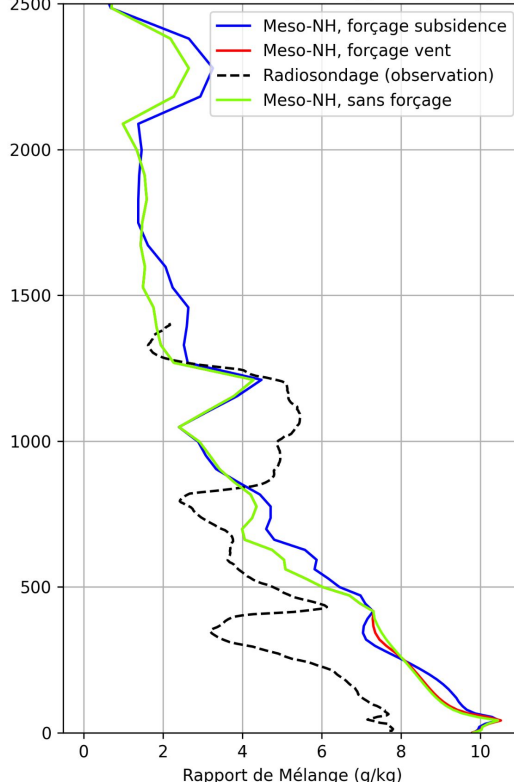
Sensibilité aux forçages - rapport de mélange

Comparaison des Profils de Rapport de Mélange



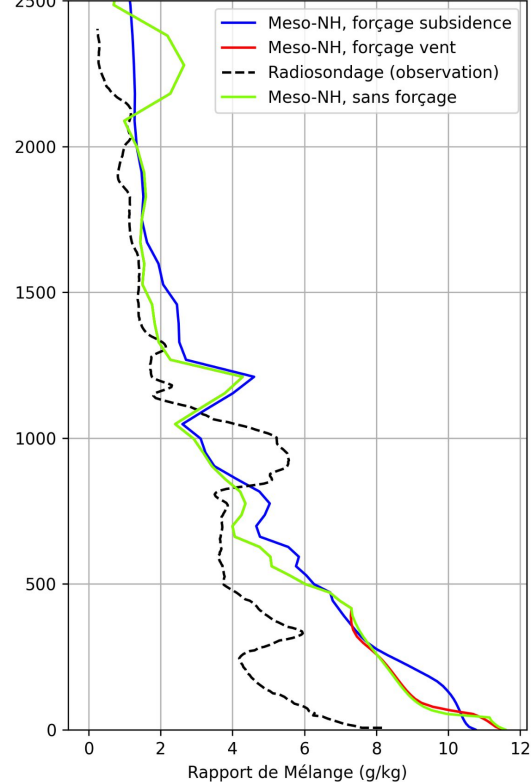
4UTC

Comparaison des Profils de Rapport de Mélange



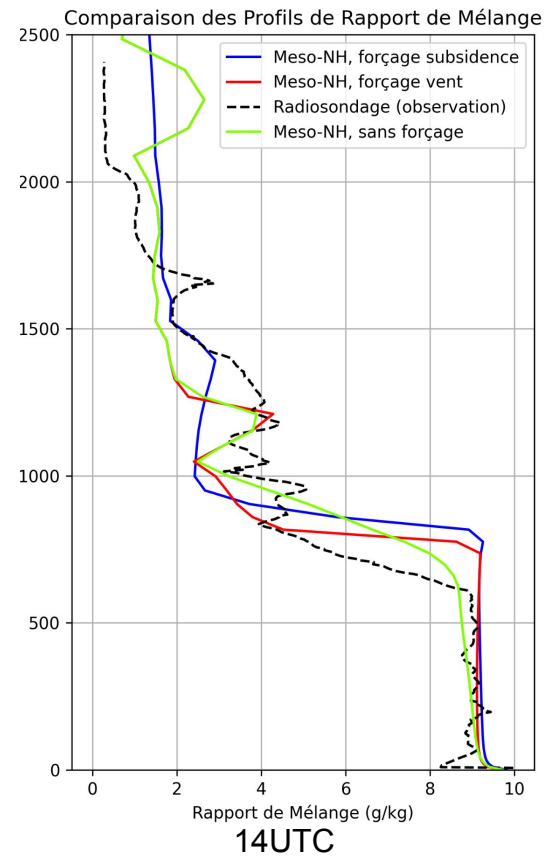
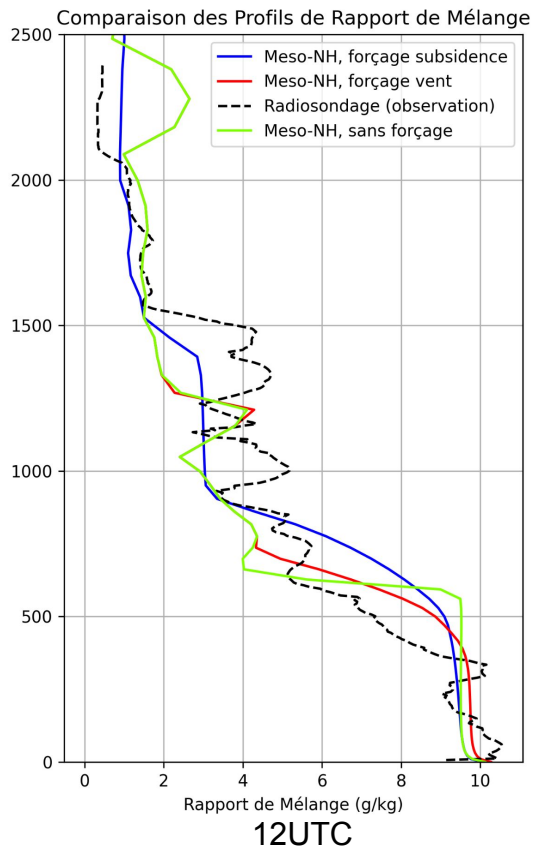
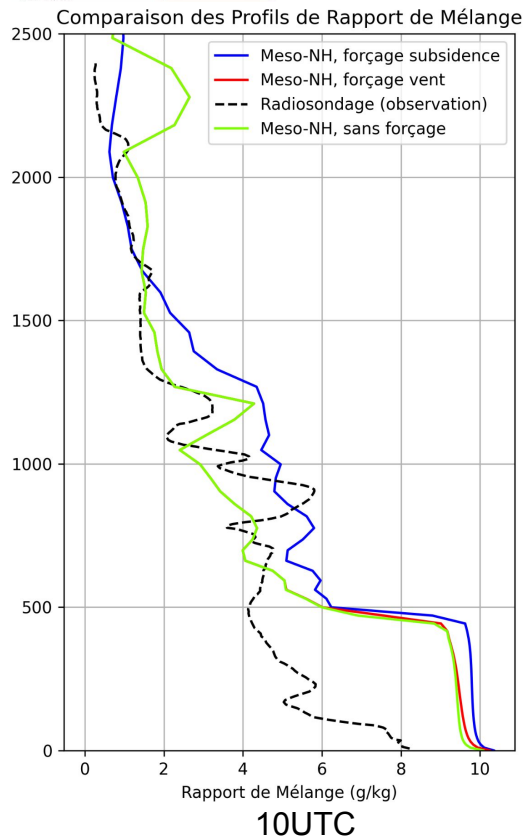
6UTC

Comparaison des Profils de Rapport de Mélange

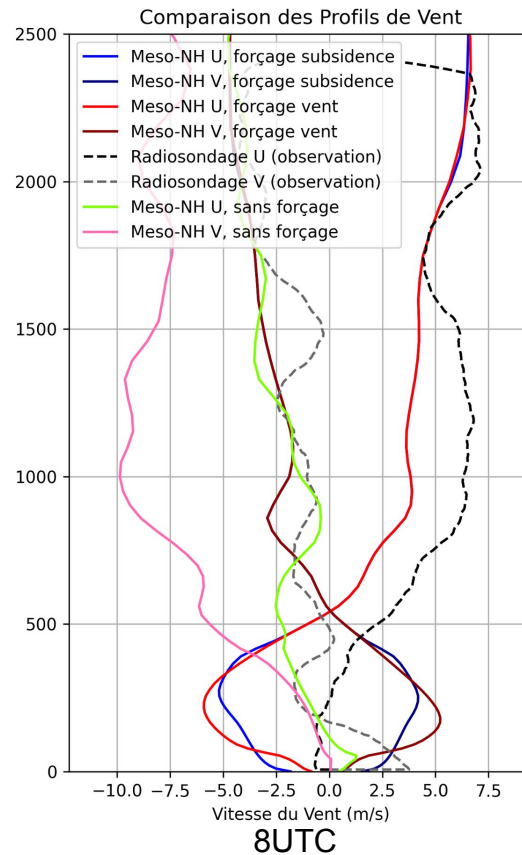
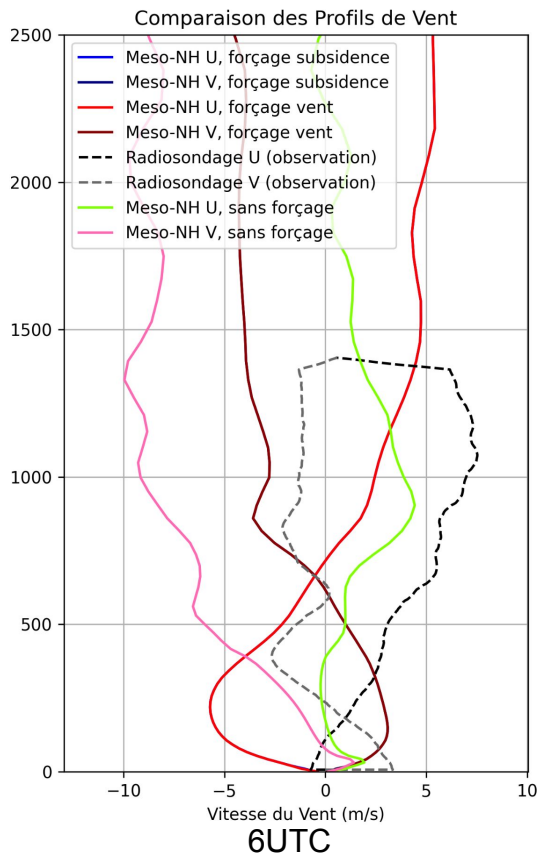
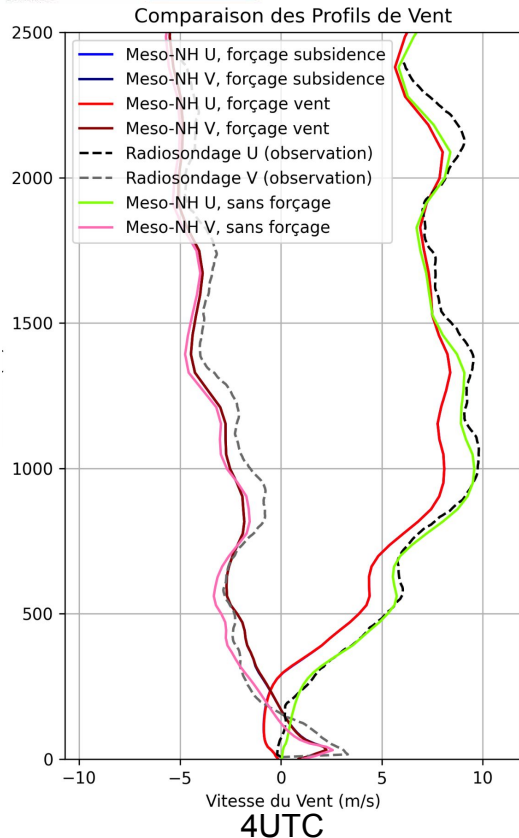


8UTC

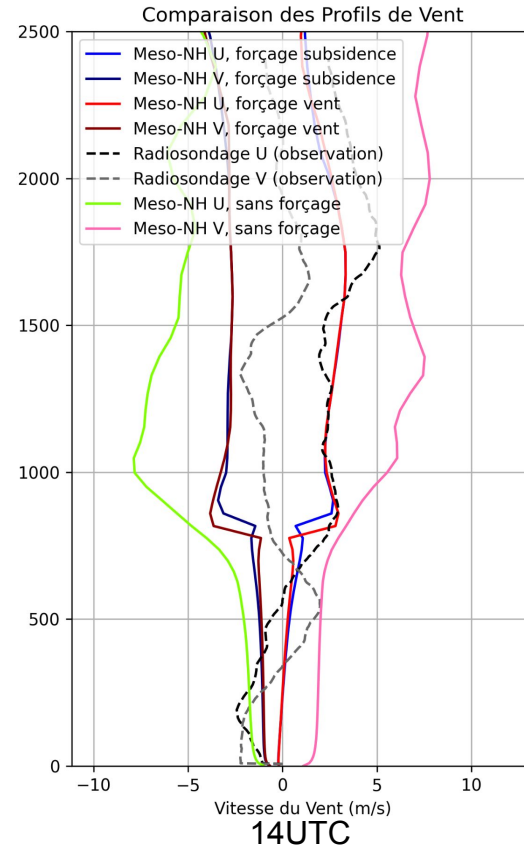
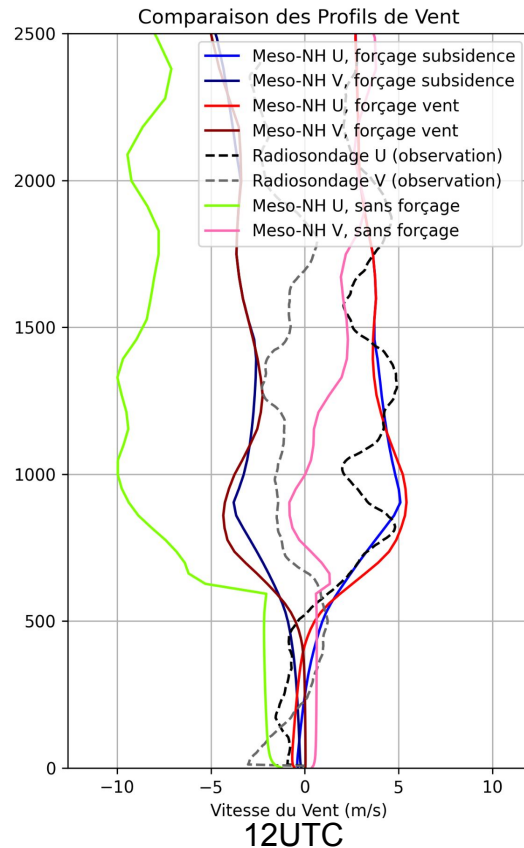
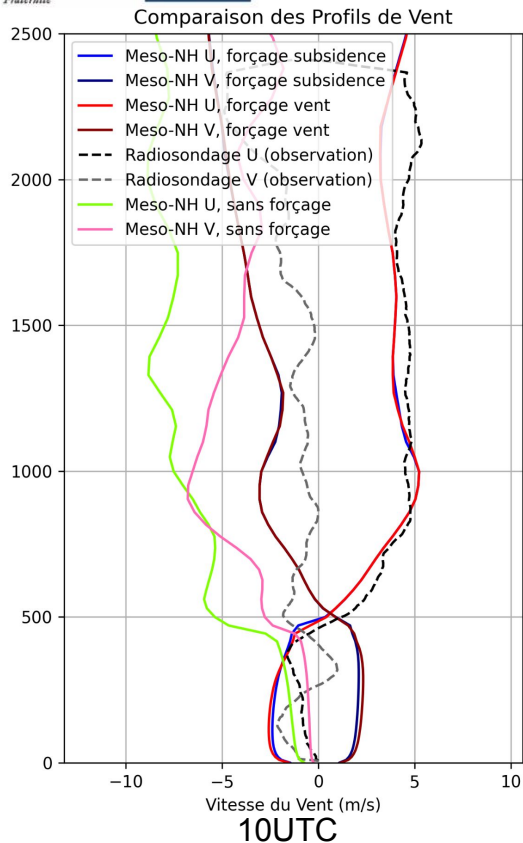
Sensibilité aux forçages - rapport de mélange



Sensibilité aux forçages - vent zonal et méridien



Sensibilité aux forçages - vent zonal et méridien

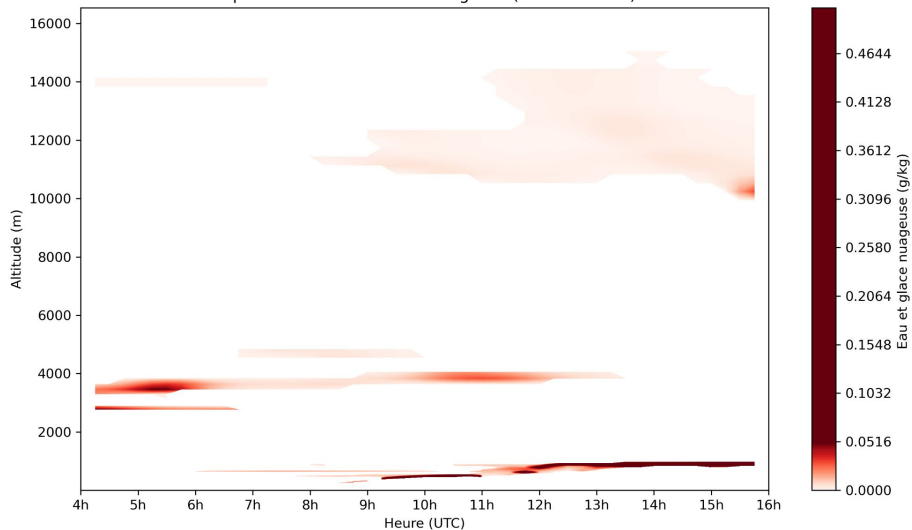


Étude des forçages - génération des nuages par Meso-NH

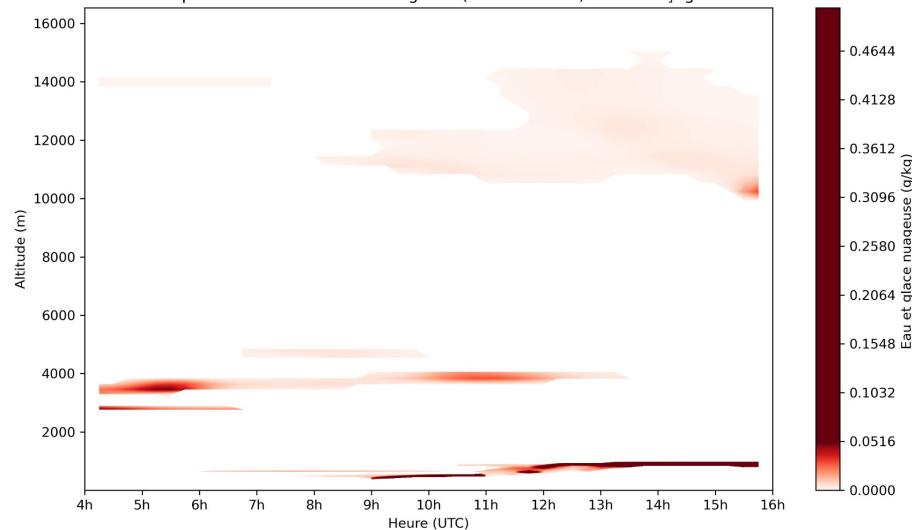
Référence

Référence+forçage subsidence

Évolution temporelle de la couverture nuageuse (4h → 16h UTC) - référence



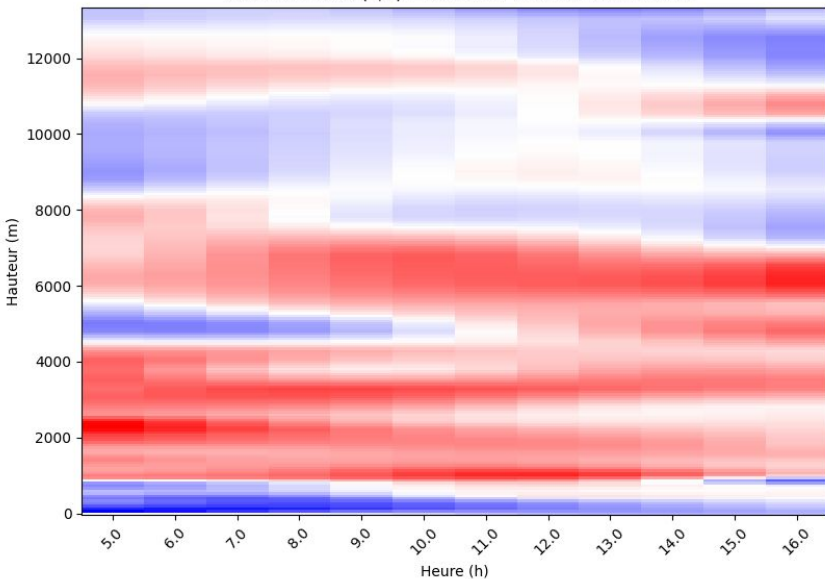
Évolution temporelle de la couverture nuageuse (4h → 16h UTC) - avec forçage subsident



Étude des forçages - tendances theta et Rv

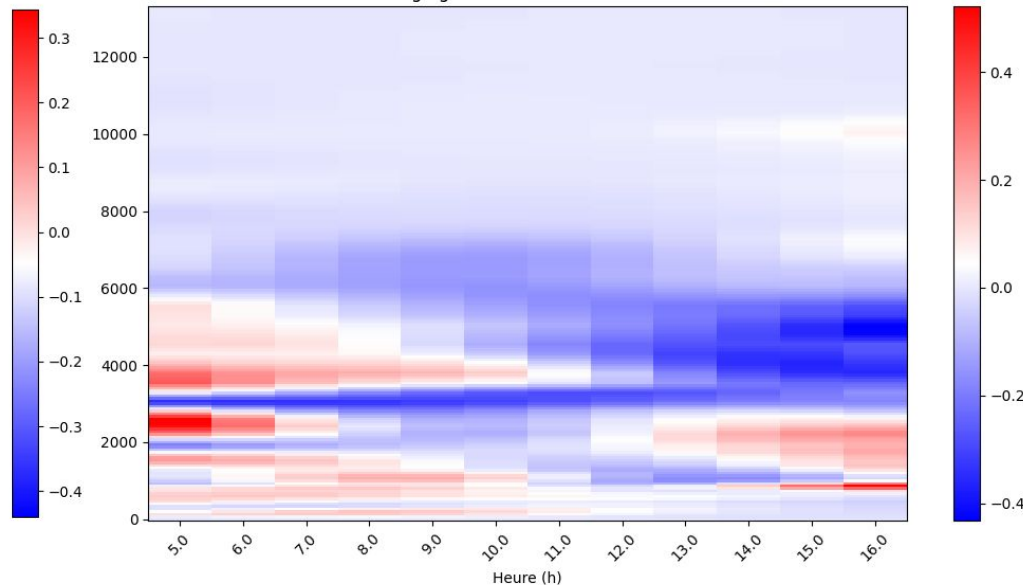
Tendance température potentielle

Tendance Theta (K/h) — lissée en fonction de l'altitude



Tendance rapport de mélange

Tendance Rv (g/kg/h) — lissée en fonction de l'altitude



Étude des forçages - Hauteur de la couche limite

Méthodes / Heures (UTC)	04:00	06:00	08:00	10:00	12:00	14:00
Radiosondage (vent)	200	200	300	400	500	700
Sans forçage	100	100	100	400	600	600
Forçage vent	100	100	100	400	700	700
Forçage référence + subsidence	100	100	200	400	800	800

Conclusion de l'étude des forçages

Couche limite plus épaisse avec tous les forçages (référence+subsidence)

Gradient en température plus important au sommet de la CLA avec la subsidence

Mêmes couches nuageuses entre la référence et le forçage en subsidence

Subsidence au-dessus de 1500 mètres pas assez basse pour dissiper les cumulus

Vent modélisé par Meso-NH bien différent de la réalité en l'absence de forçage

Tendance rapport de mélange : bon indicateur des couches nuageuses de Meso-NH

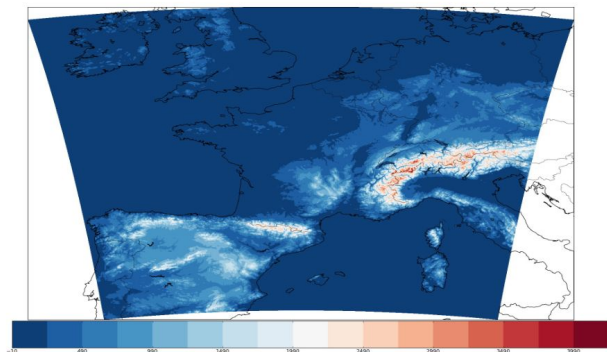
Tendance θ : marqueur de la stabilité entre la couche limite et l'atmosphère libre

Plan

1. Contexte et objectifs
2. Analyse synoptique et contexte météorologique
3. Simulation de référence
4. Sensibilité au schéma de turbulence
5. Sensibilité aux forçages
6. Sensibilité aux conditions initiales
7. Sensibilité à la grille verticale
8. Sensibilité aux paramètres de la surface
9. Conclusion

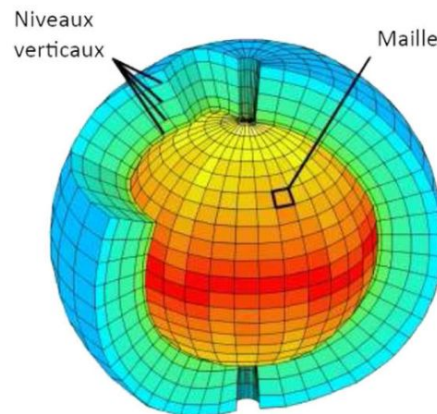
Étude des conditions initiales AROME

Test des conditions initiales en initialisant avec les données du modèle AROME (analyse)

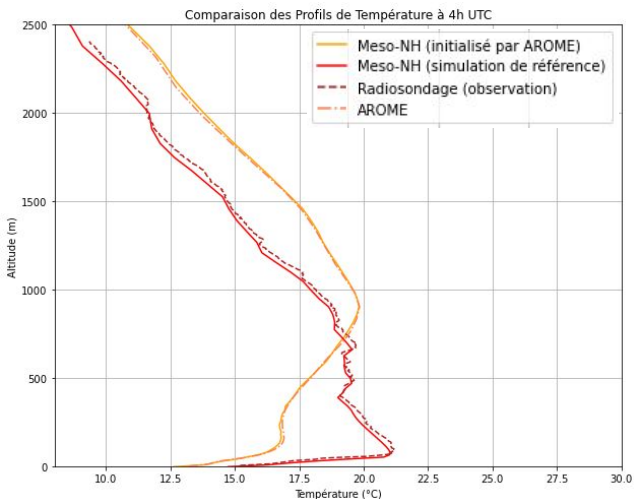


Jusqu'à 2500 m { Niveaux de la référence : 63
Niveaux de AROME : 61
Niveaux du radiosondage : 2406

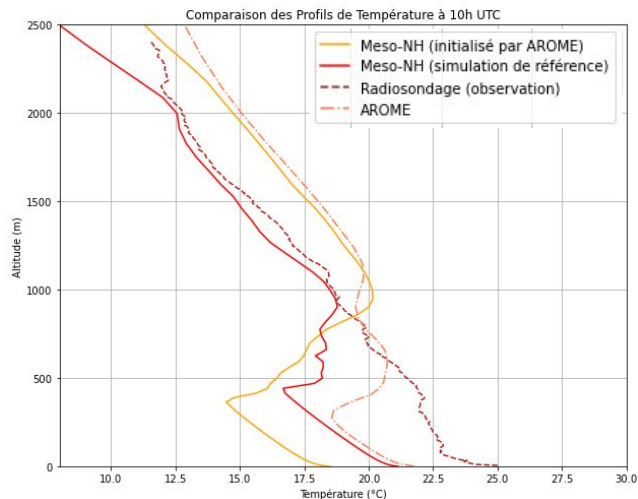
Maille : 1.3km * 90 niveaux (ici 61)



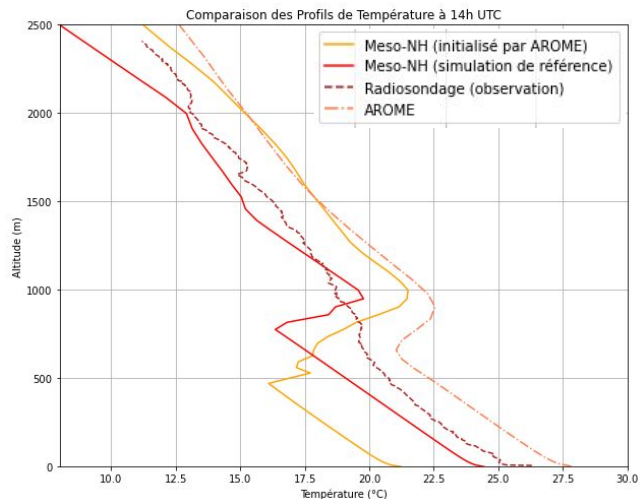
Étude des conditions initiales AROME



4h

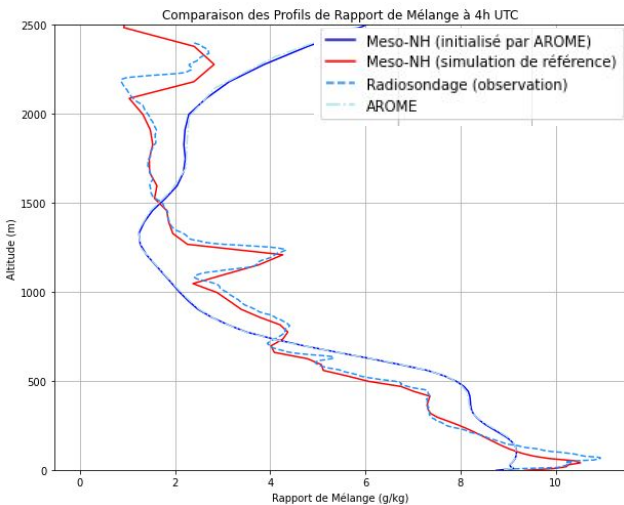


10h

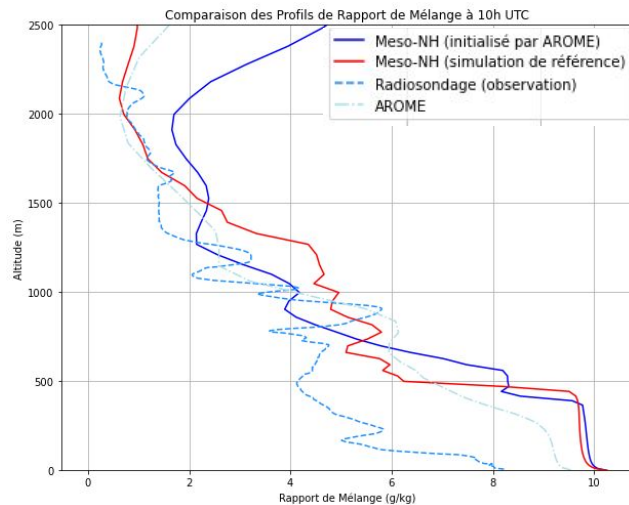


14h

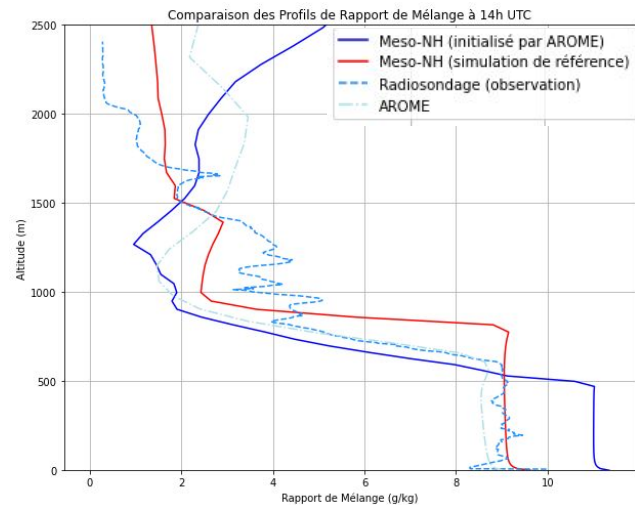
Étude des conditions initiales AROME



4h

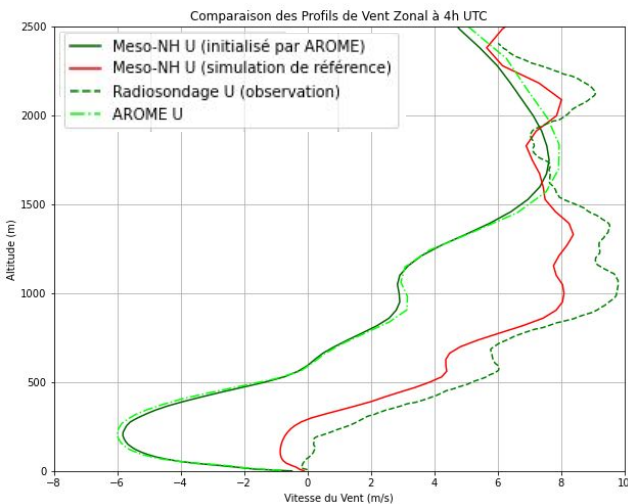


10h

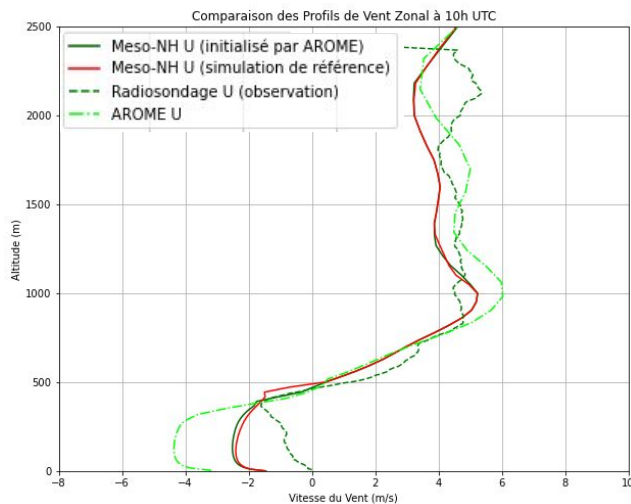


14h

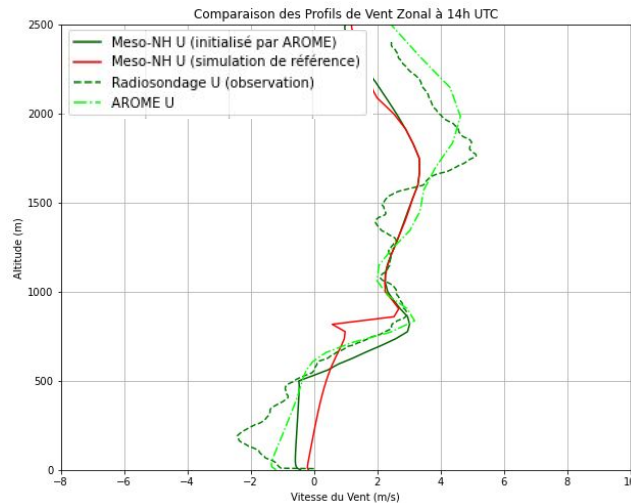
Étude des conditions initiales AROME



4h

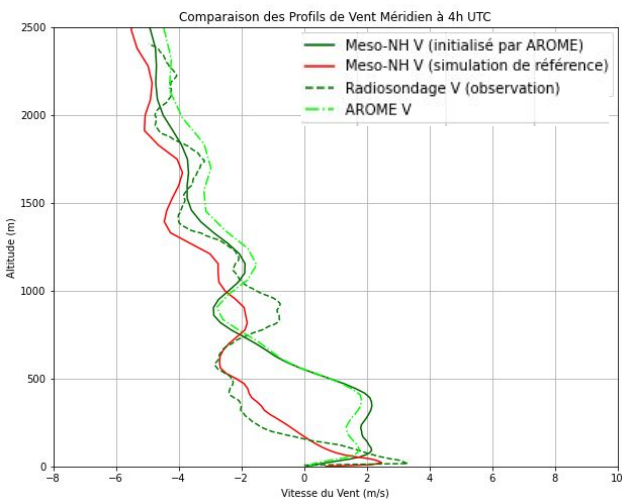


10h

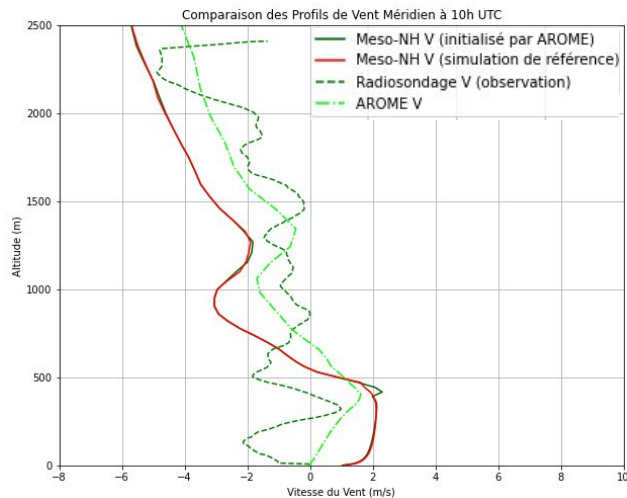


14h

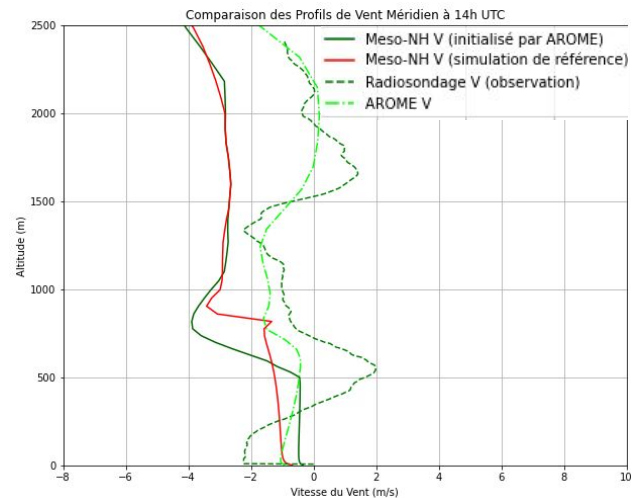
Étude des conditions initiales AROME



4h



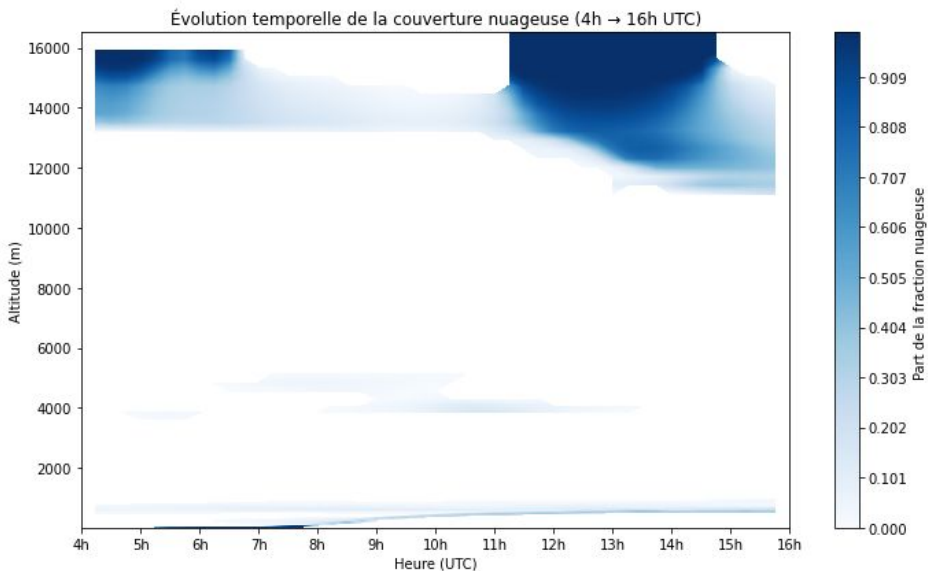
10h



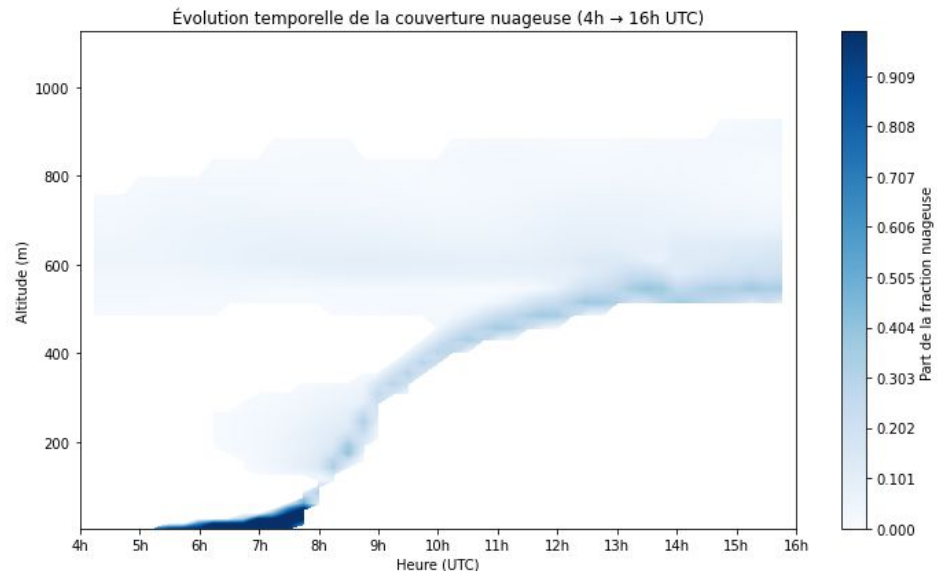
14h

Étude des conditions initiales AROME

Couverture nuageuse initialisée par AROME

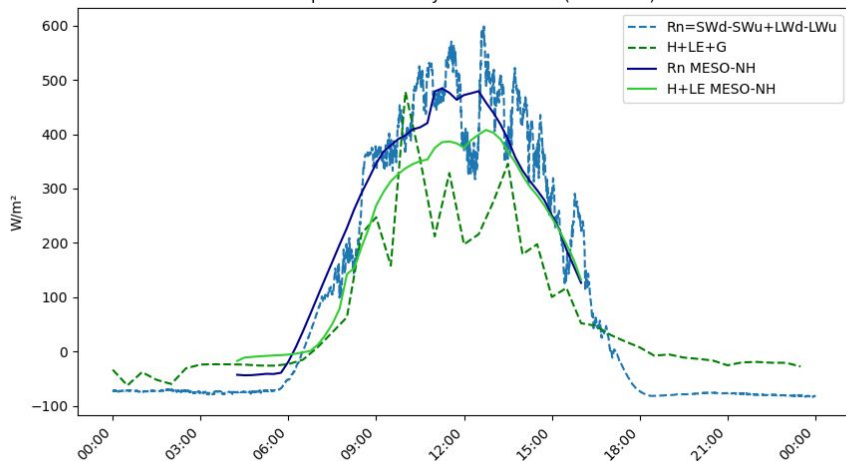


Zoom sur couche limite

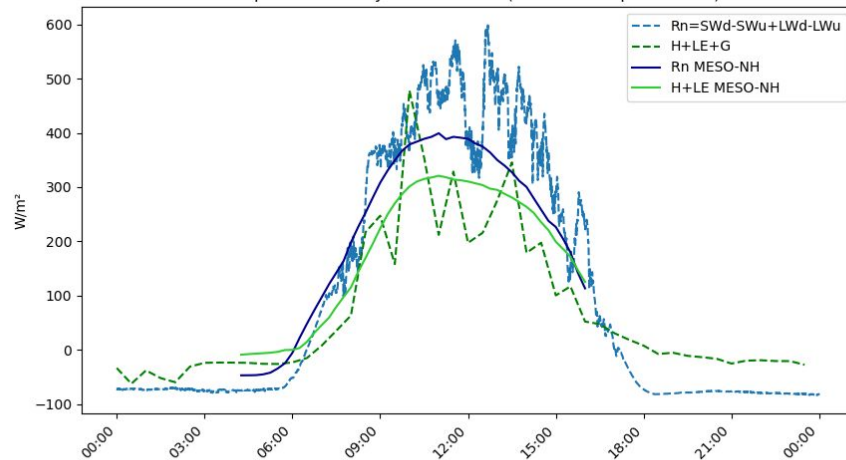


Étude des conditions initiales AROME

Comparaison du rayonnement net (référence)



Comparaison du rayonnement net (initialisation par AROME)



Simulation de référence et radiosondage

Hauteur de la couche limite

Méthodes / Heures (UTC)	04:00	06:00	08:00	10:00	12:00	14:00
Radiosondage (vent)	200	200	300	400	500	700
MESO-NH référence	150	150	300	500	600	800
MESO-NH AROME	150	200	300	400	500	500

Plan

1. Contexte et objectifs
2. Analyse synoptique et contexte météorologique
3. Simulation de référence
4. Sensibilité au schéma de turbulence
5. Sensibilité aux forçages
6. Sensibilité aux conditions initiales
7. Sensibilité à la grille verticale
8. Sensibilité aux paramètres de la surface
9. Conclusion

Etude de la sensibilité de la grille verticale

Simulation de référence : 115 niveaux - premier niveau à 10 m de hauteur

3 nouvelles expériences :

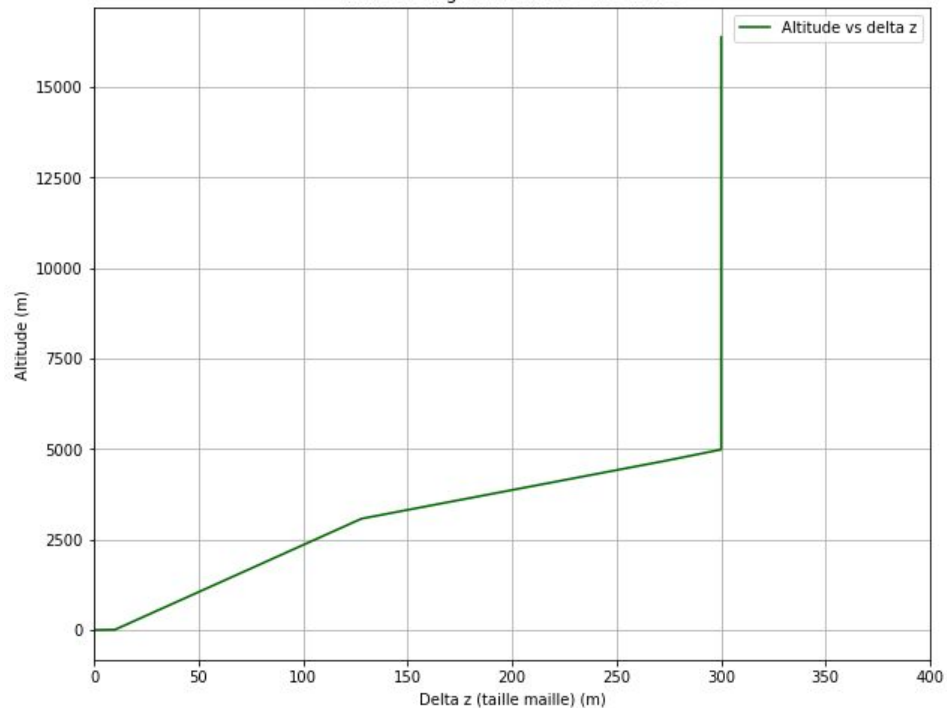
- 1) 50 niveaux avec un premier niveau à 200 m
- 2) 150 niveaux avec un premier niveau à 5 m
- 3) 280 niveaux avec un premier niveau à 1 m

Sensibilité à la grille verticale

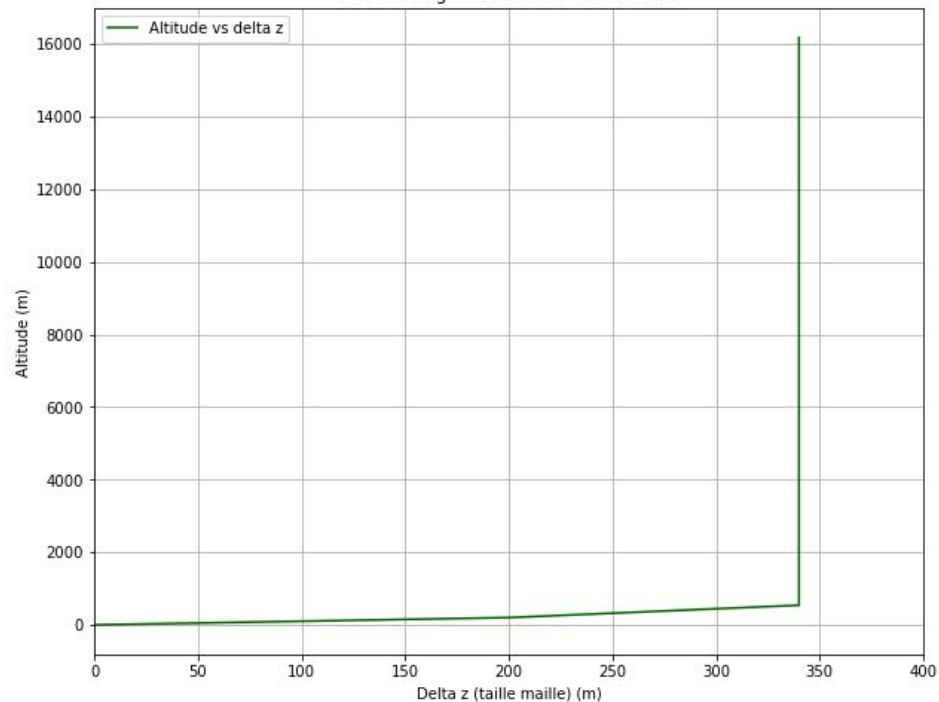
Nombre de points	Grille de référence (115 niveaux)	Grille à 50 niveaux	Grille à 150 niveaux	Grille à 280 niveaux
< 300 m	21	1	36	99
< 1000 m	42	3	67	154

Sensibilité à la grille verticale

Taille de la grille verticale - référence

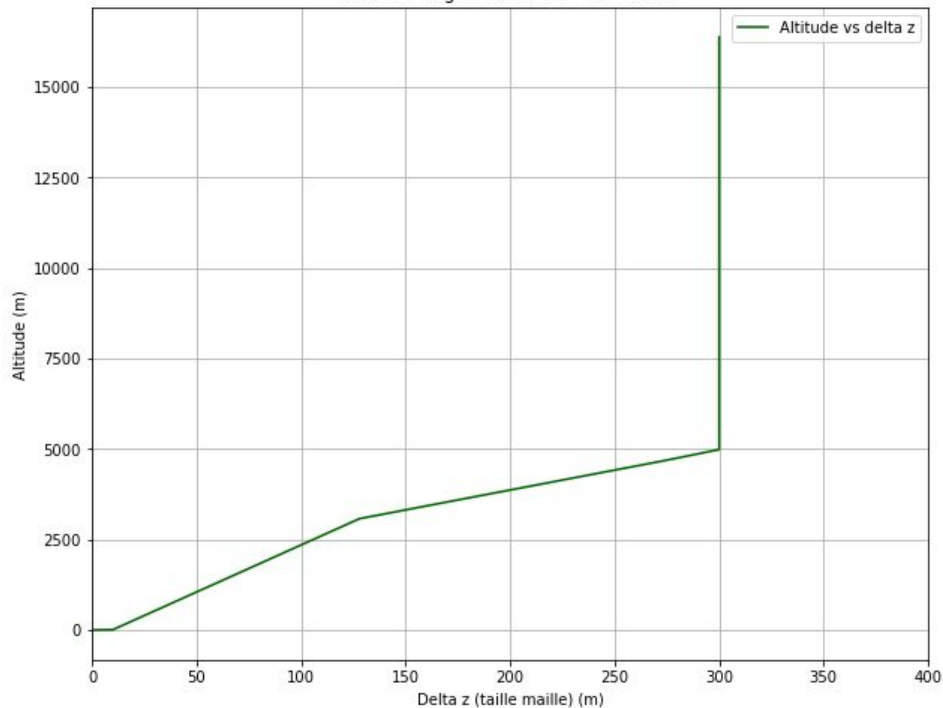


Taille de la grille verticale - 50 niveaux

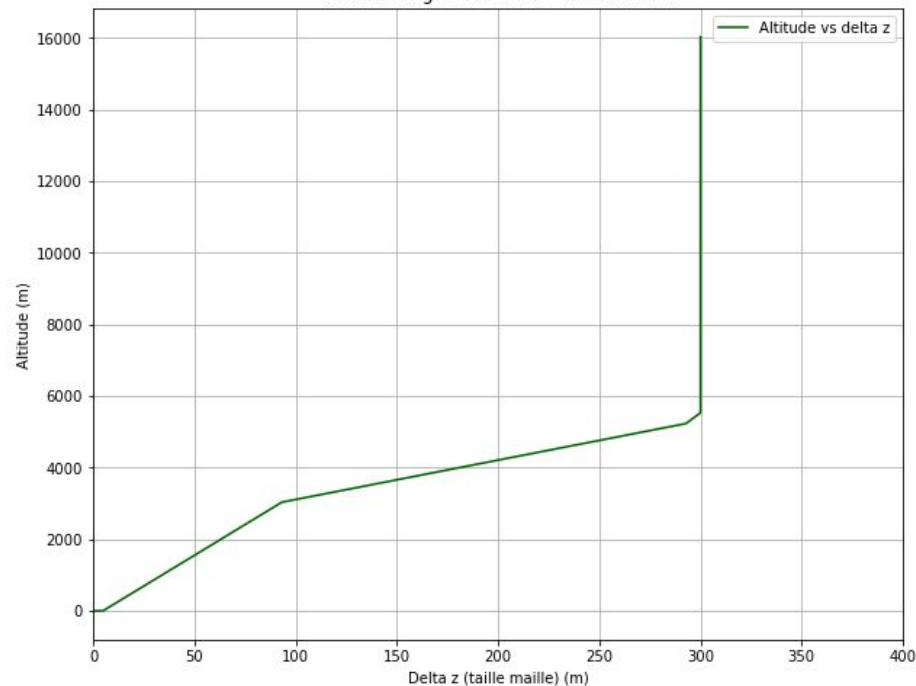


Sensibilité à la grille verticale

Taille de la grille verticale - référence

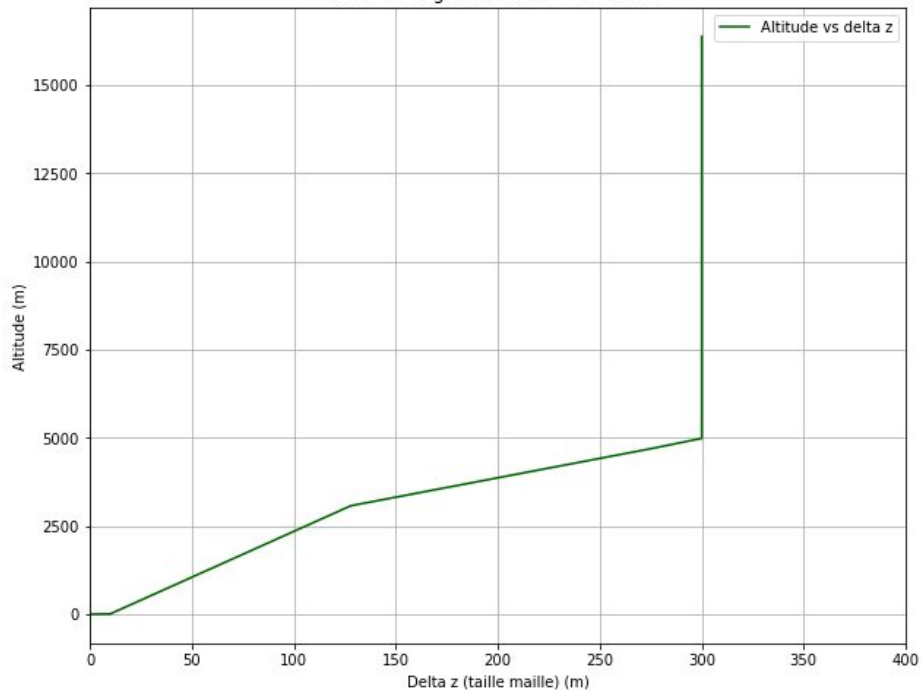


Taille de la grille verticale - 150 niveaux

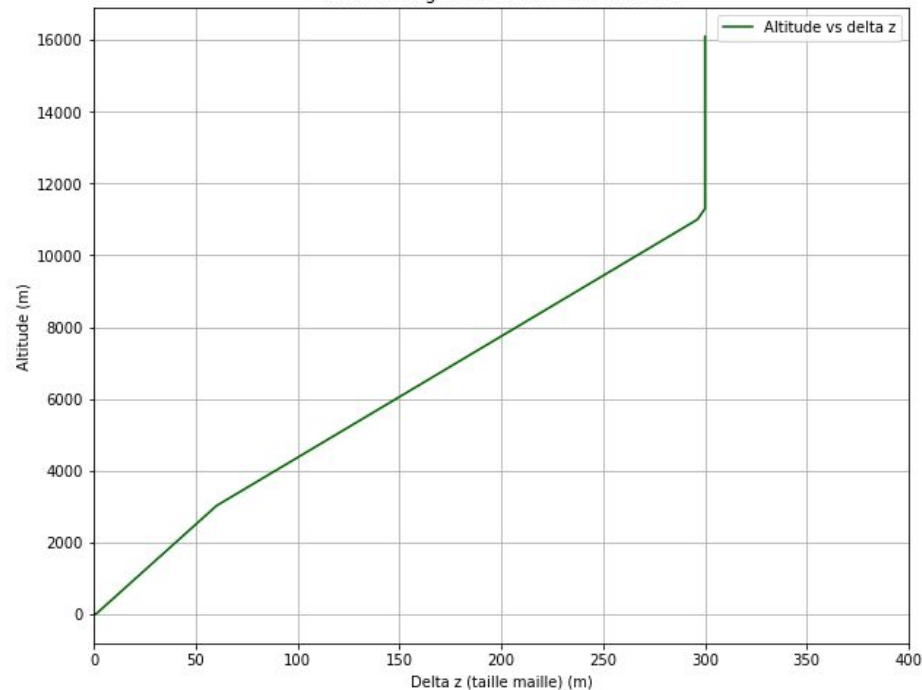


Sensibilité à la grille verticale

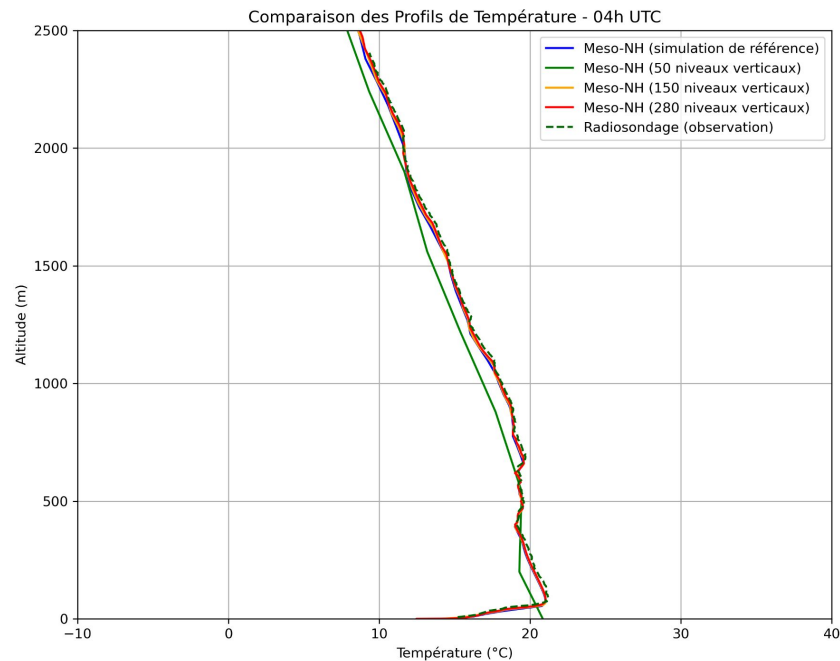
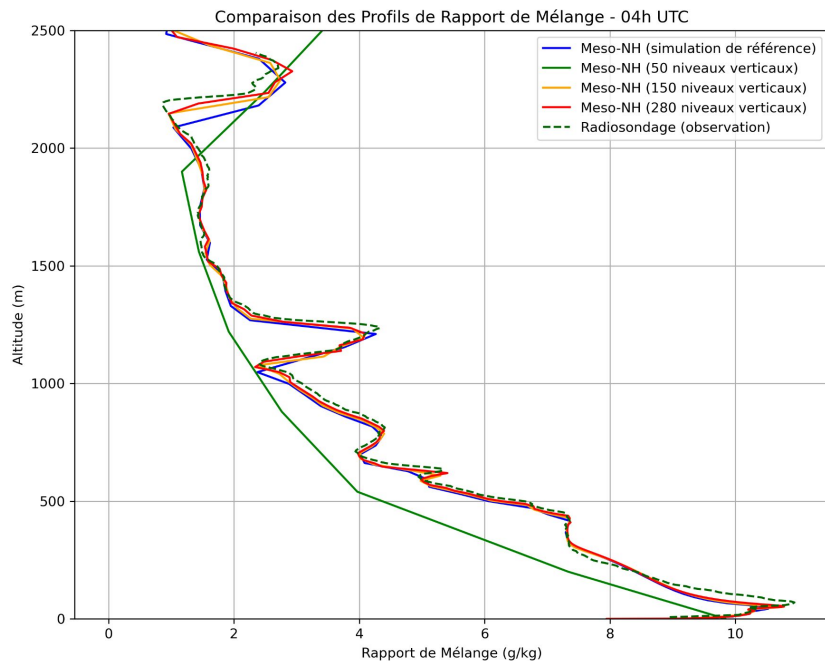
Taille de la grille verticale - référence



Taille de la grille verticale - 280 niveaux

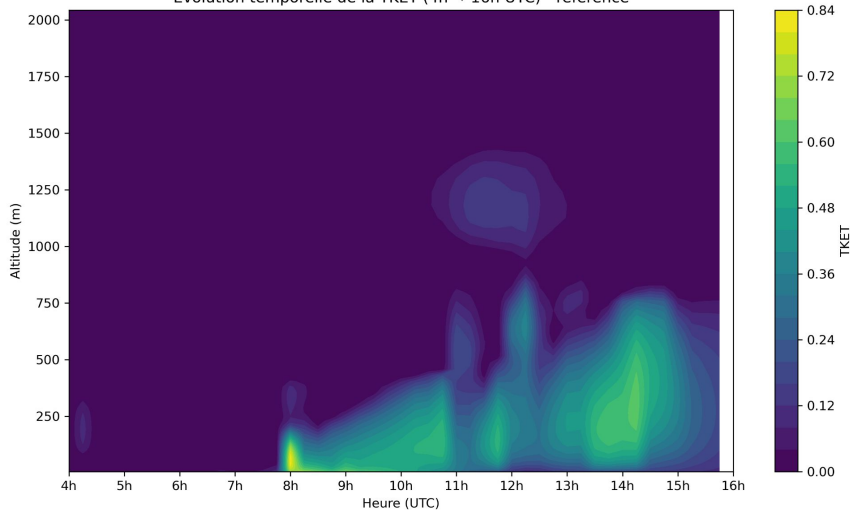


Comparaison des radiosondages avec MesoNH

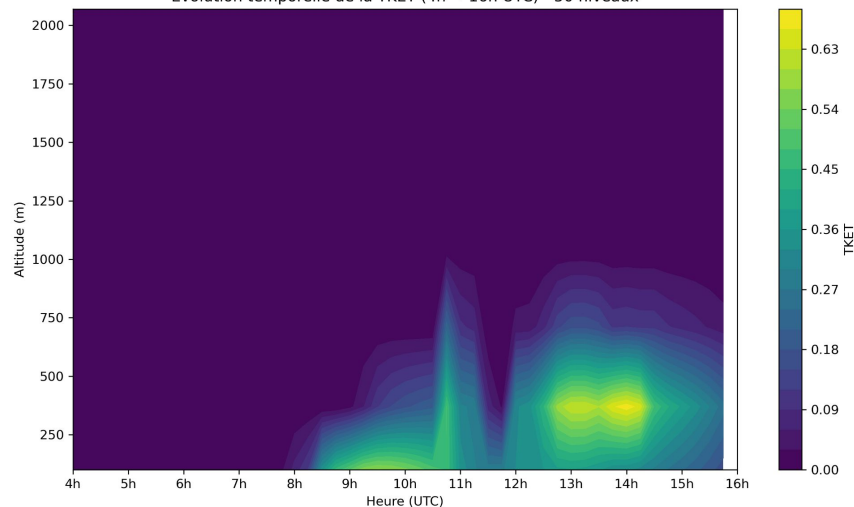


Évolution de la TKE au cours de la journée

Évolution temporelle de la TKET (4h → 16h UTC) - référence

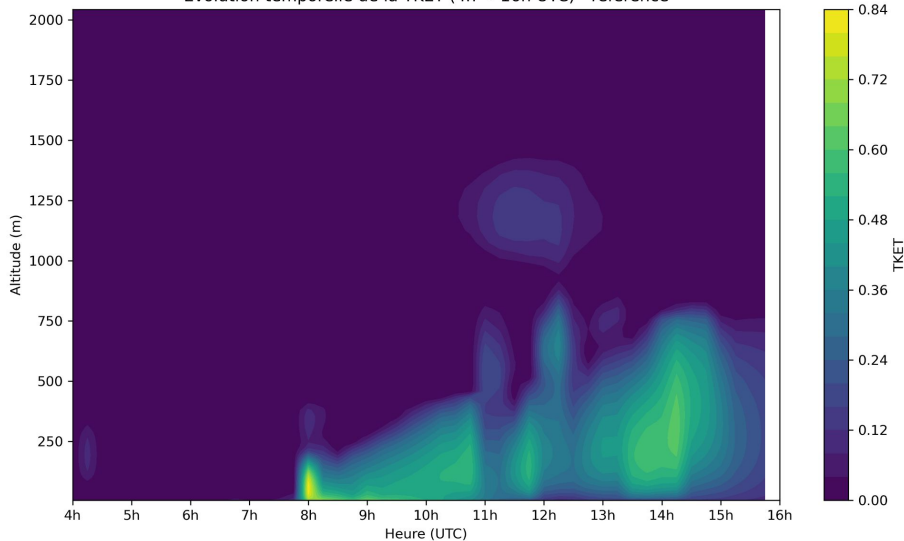


Évolution temporelle de la TKET (4h → 16h UTC) - 50 niveaux

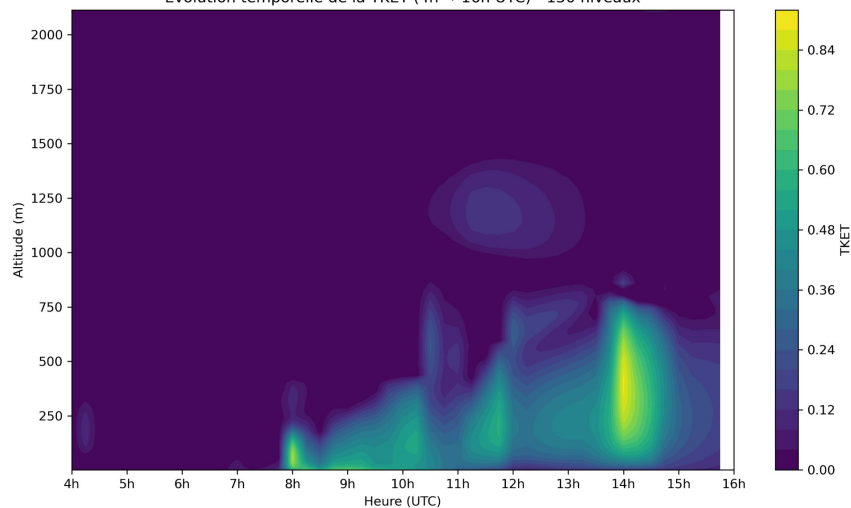


Évolution de la TKE au cours de la journée

Évolution temporelle de la TKET (4h → 16h UTC) - référence

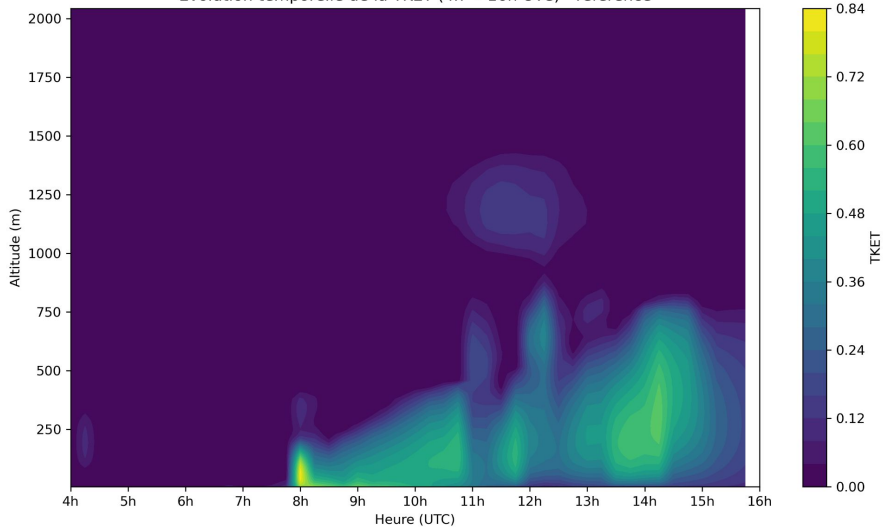


Évolution temporelle de la TKET (4h → 16h UTC) - 150 niveaux

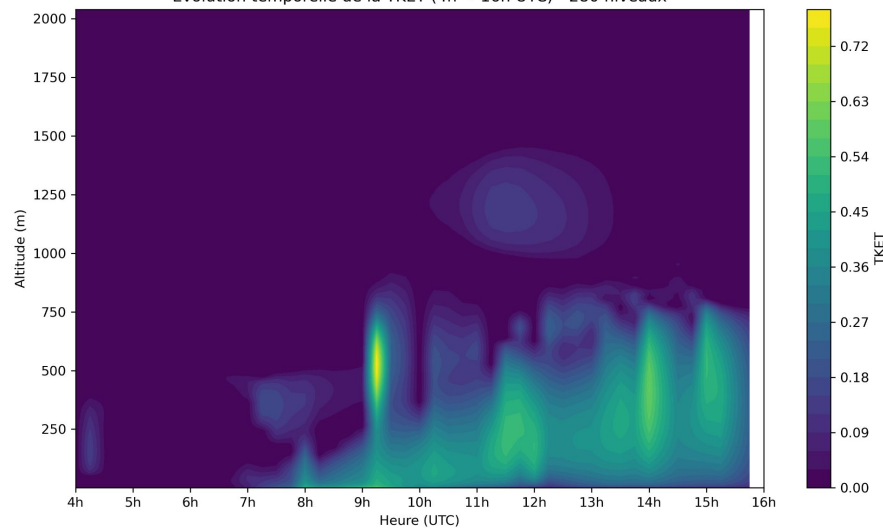


Évolution de la TKE au cours de la journée

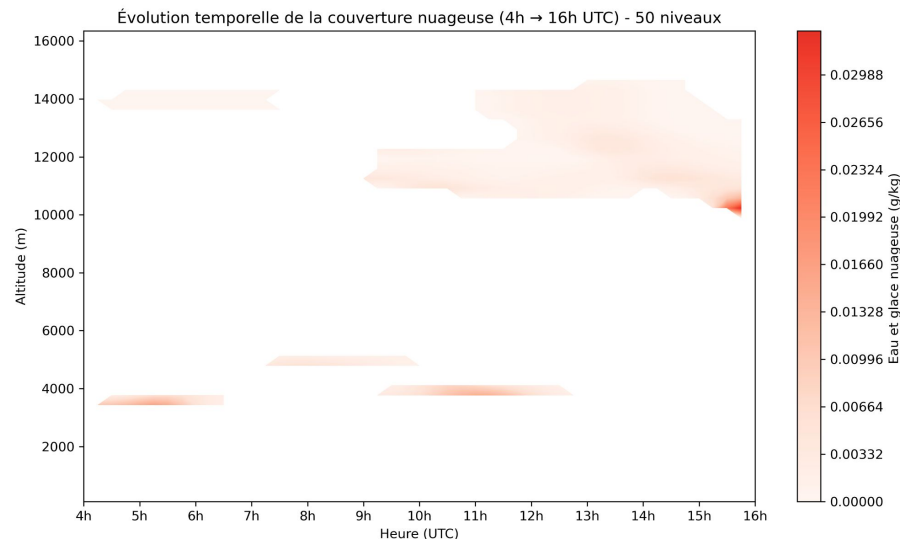
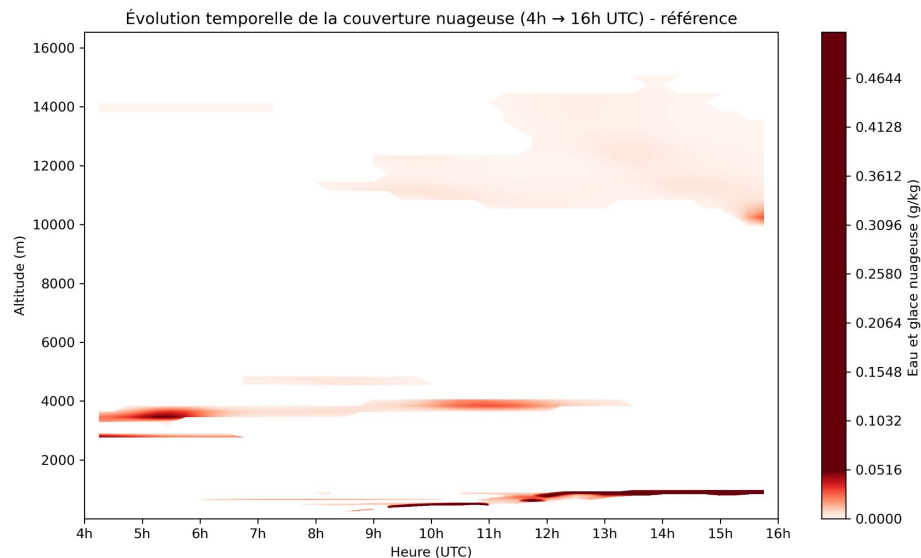
Évolution temporelle de la TKET (4h → 16h UTC) - référence



Évolution temporelle de la TKET (4h → 16h UTC) - 280 niveaux

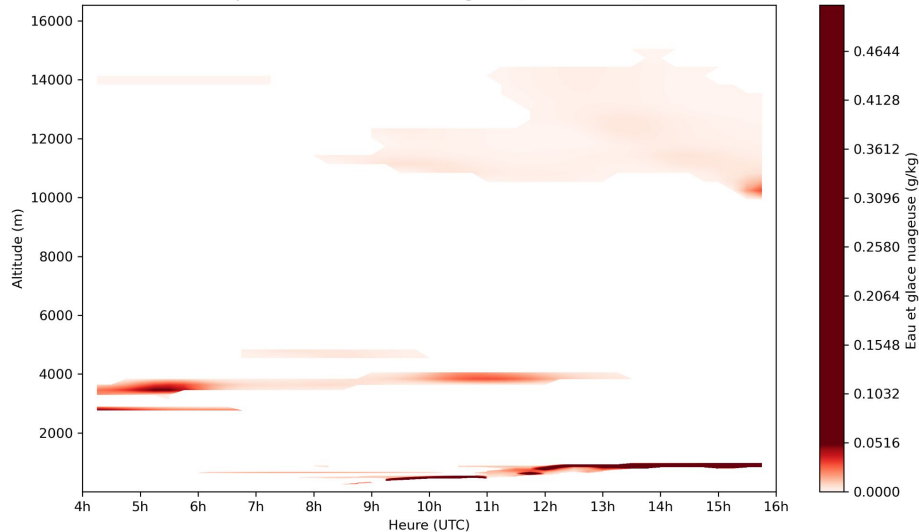


Influence du nombre de niveaux sur la modélisation de la couverture nuageuse

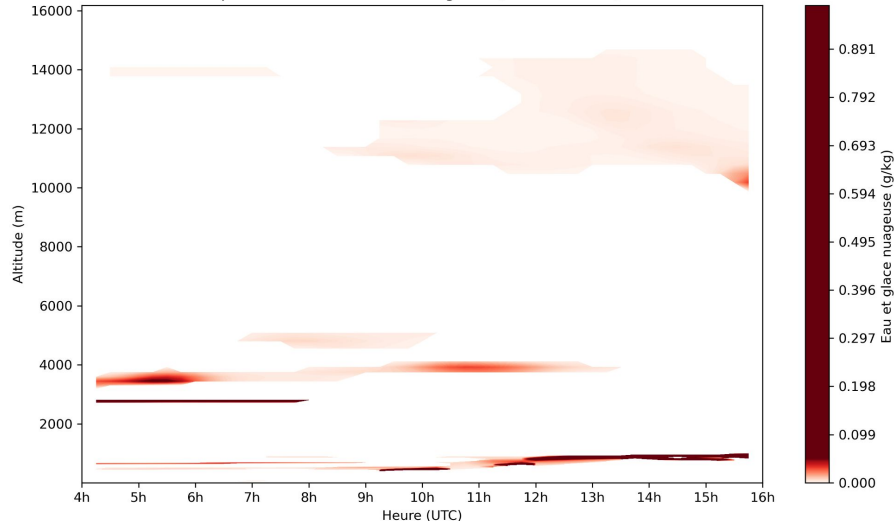


Influence du nombre de niveaux sur la modélisation de la couverture nuageuse

Évolution temporelle de la couverture nuageuse (4h → 16h UTC) - référence

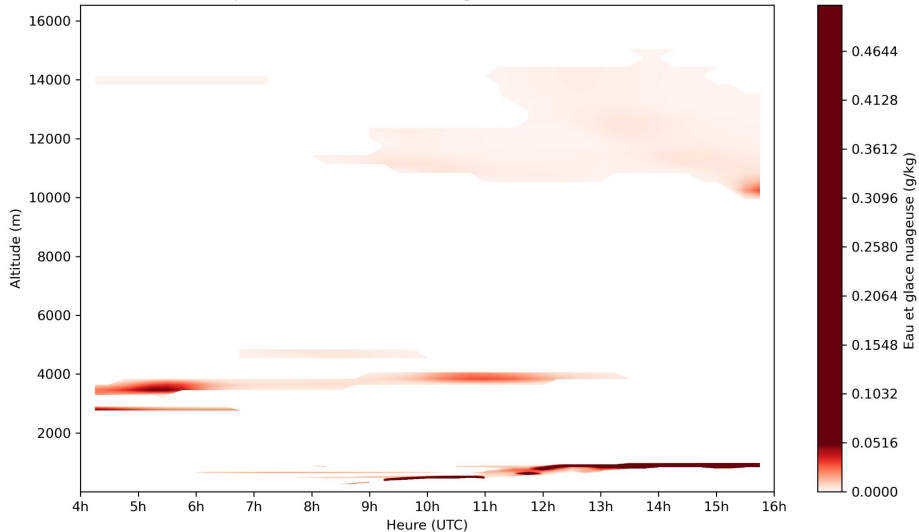


Évolution temporelle de la couverture nuageuse (4h → 16h UTC) - 150 niveaux

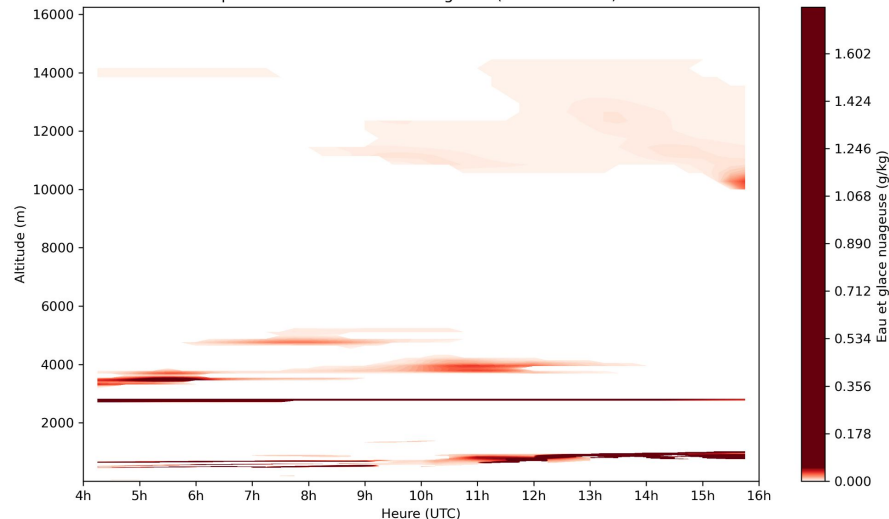


Influence du nombre de niveaux sur la modélisation de la couverture nuageuse

Évolution temporelle de la couverture nuageuse (4h → 16h UTC) - référence

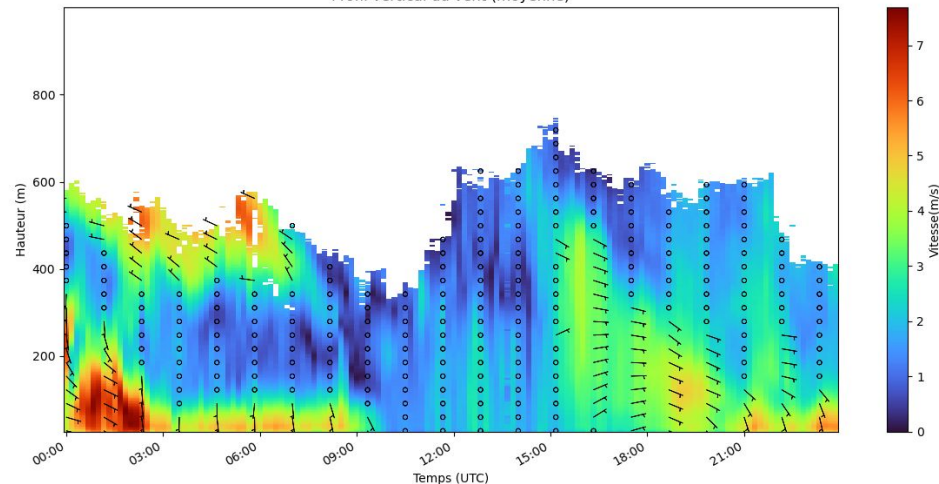


Évolution temporelle de la couverture nuageuse (4h → 16h UTC) - 280 niveaux



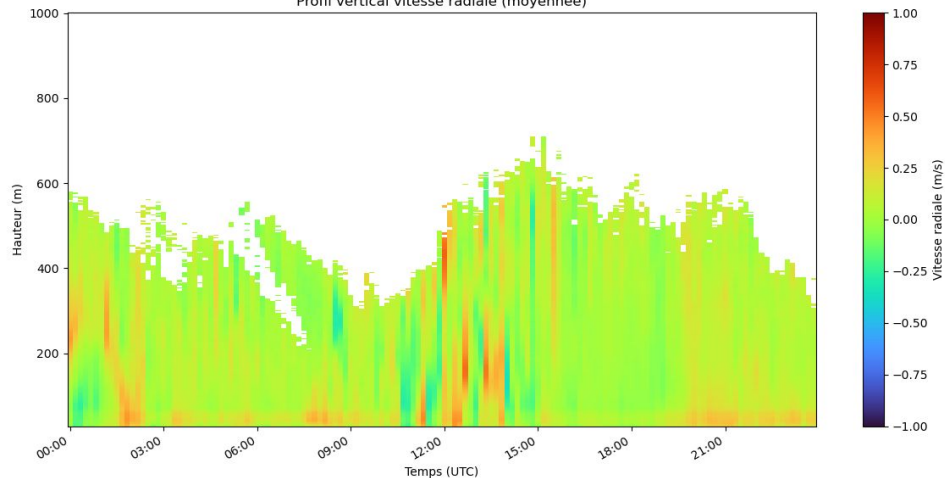
Référence : Profils verticaux LiDAR VS+

Profil vertical du vent (moyenné)



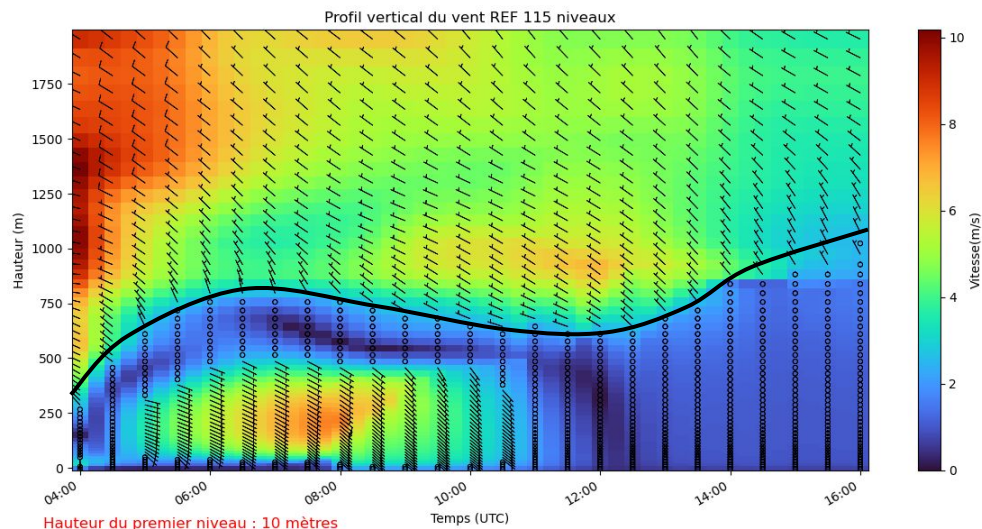
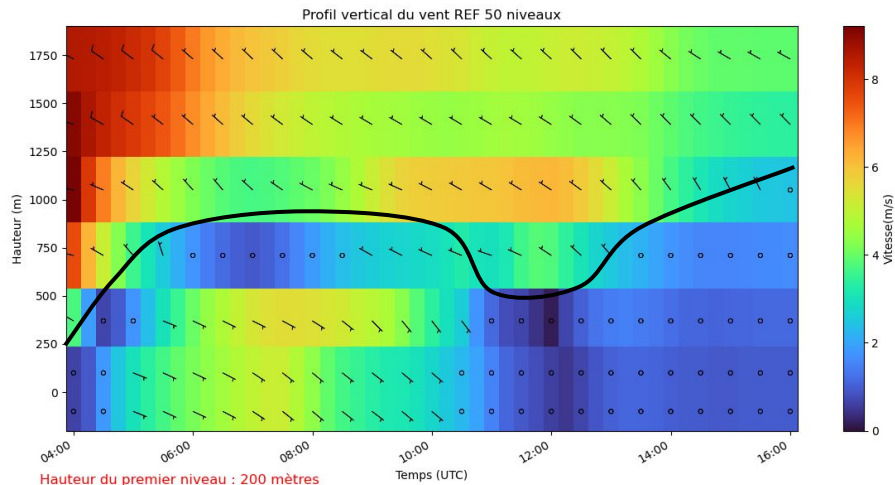
Calcul du module du vent à partir
des champs u et v de MesoNH

Profil vertical vitesse radiale (moyennée)

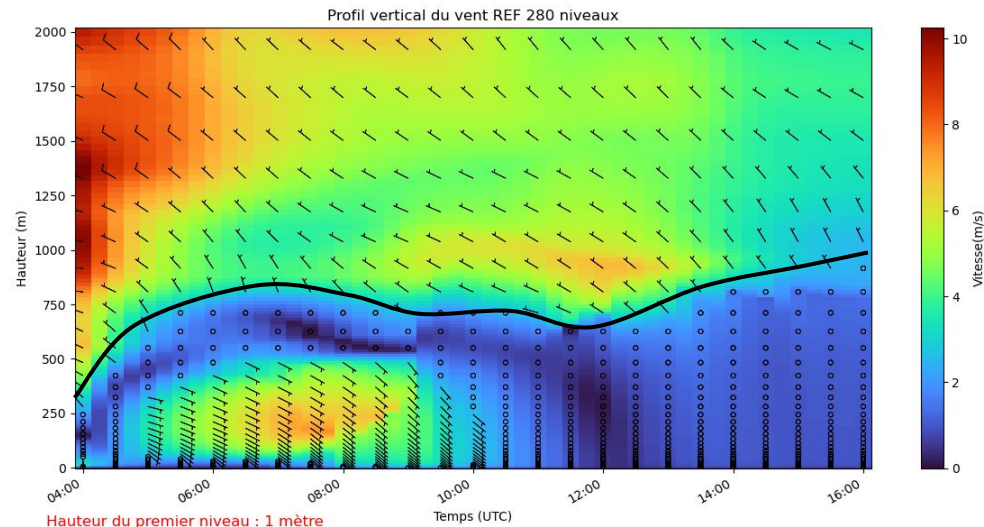
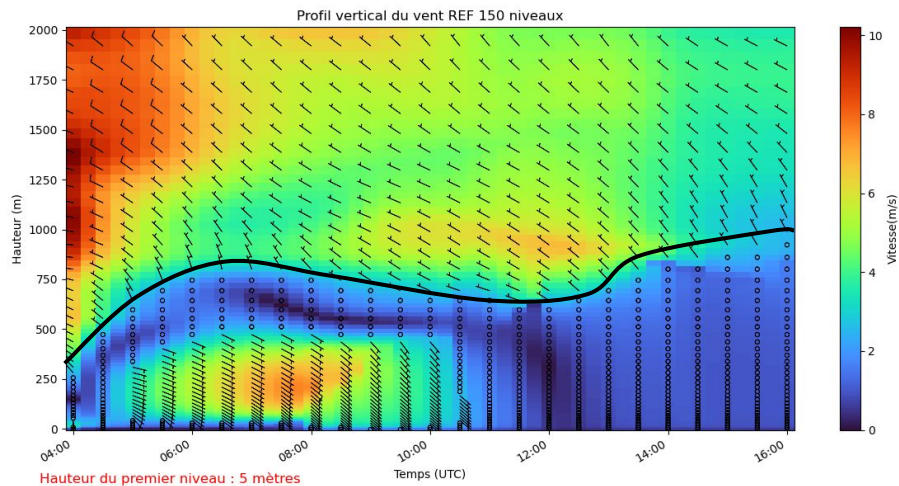


Simulation 1D unicolonne : pas de vitesse
radiale disponible

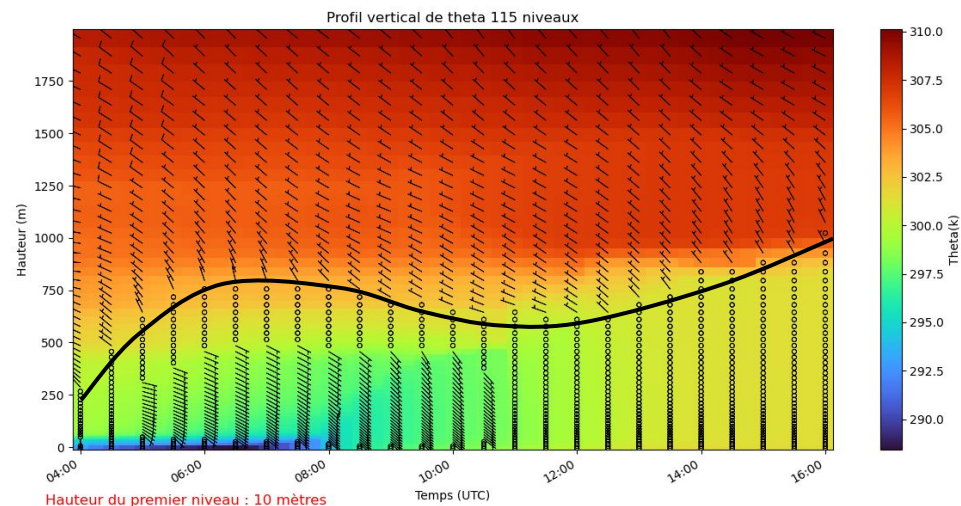
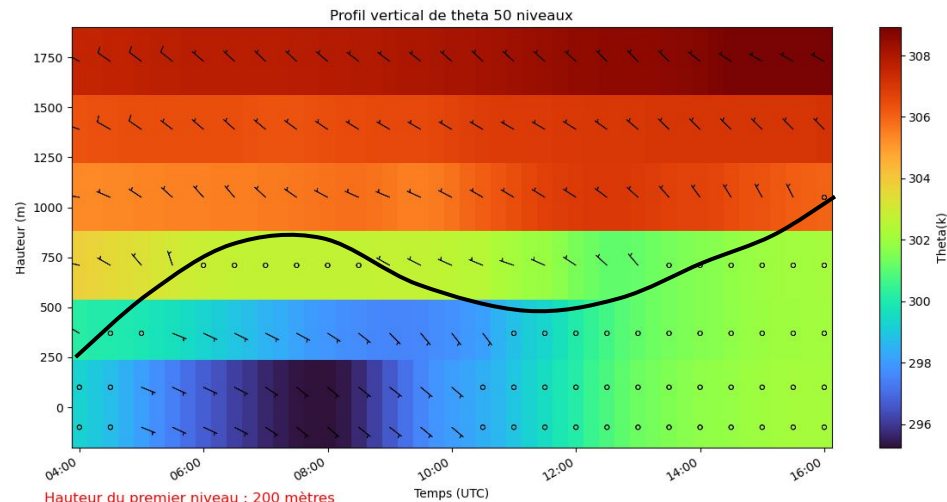
Profils verticaux de vent à partir des champs MesoNH



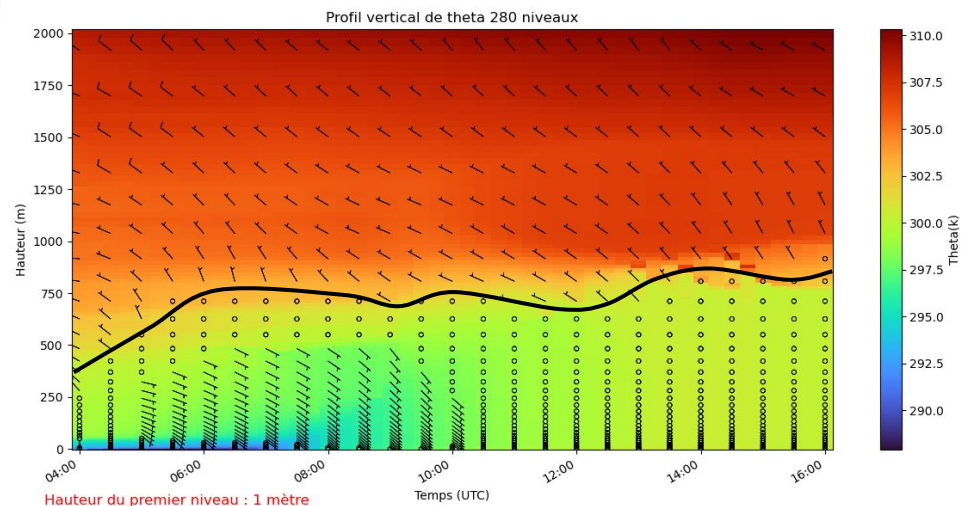
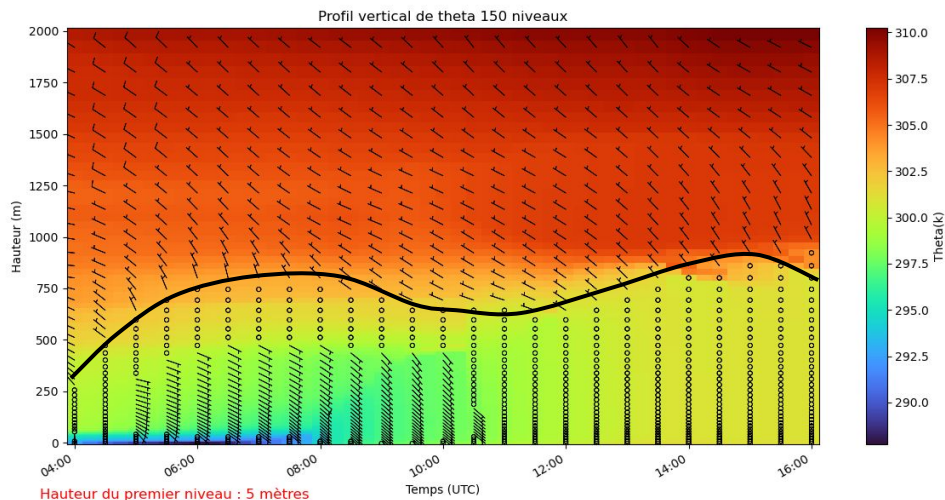
Profils verticaux de vent à partir des champs MesoNH



Profils verticaux de theta à partir des champs MesoNH



Profils verticaux de theta à partir des champs MesoNH



Sensibilité de MesoNH à la résolution verticale

Résolution verticale
Théta

Tests de sensibilité / Heures (UTC)	04:00	06:00	08:00	10:00	12:00	14:00
LIDAR (référence)	500	550	450	330	600	650
50 niveaux verticaux	250	600	750	550	500	750
115 niveaux verticaux	250	750	700	650	600	750
150 niveaux verticaux	300	700	800	600	650	850
280 niveaux verticaux	350	750	700	750	650	850

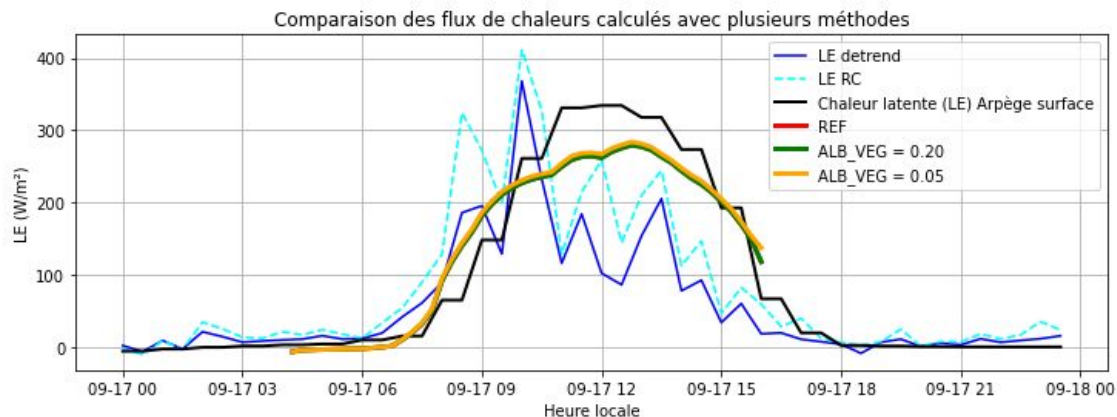
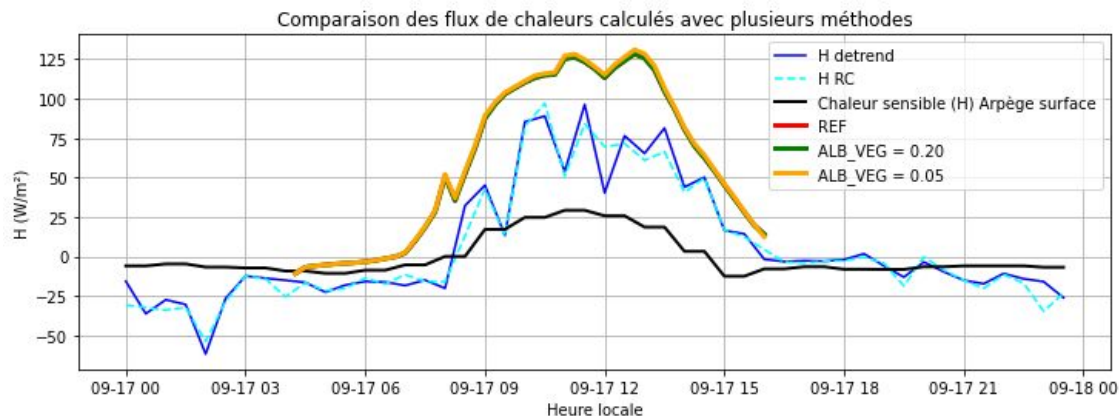
Plan

1. Contexte et objectifs
2. Analyse synoptique et contexte météorologique
3. Simulation de référence
4. Sensibilité au schéma de turbulence
5. Sensibilité aux forçages
6. Sensibilité aux conditions initiales
7. Sensibilité à la grille verticale
8. Sensibilité aux paramètres de la surface
9. Conclusion

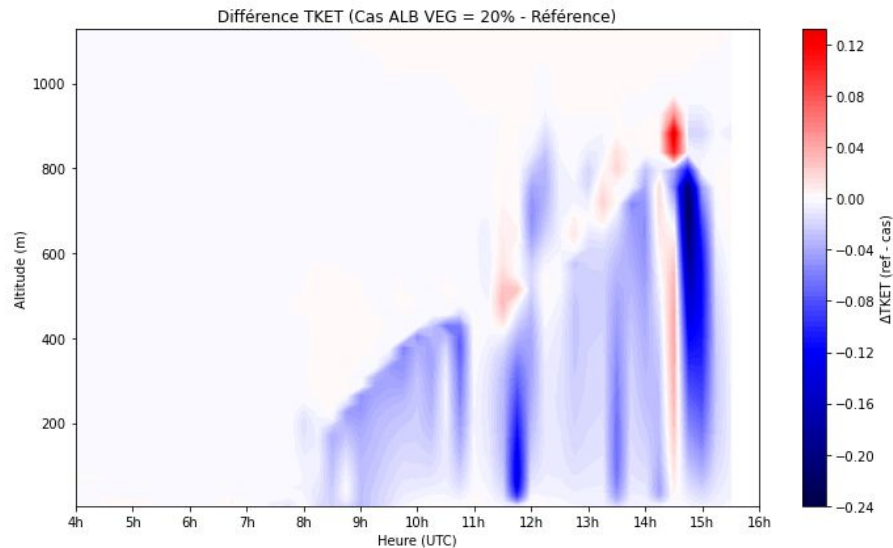
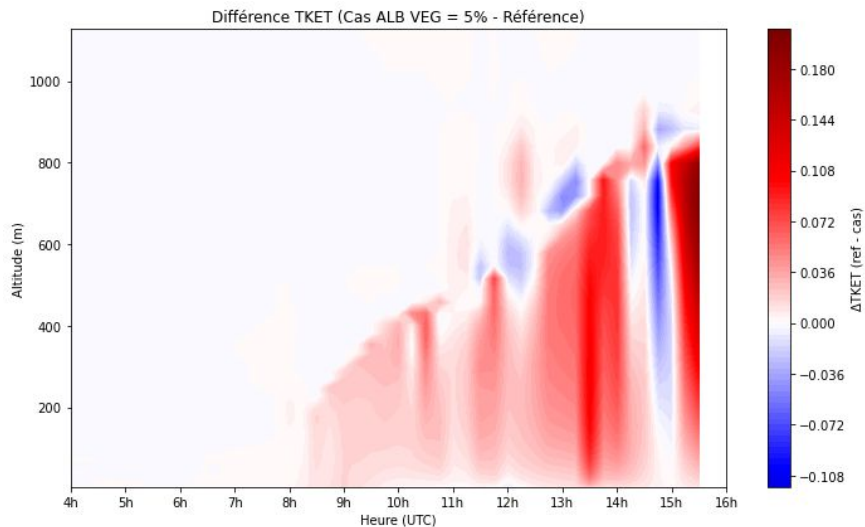
Paramètres de surface étudiés

Paramètres étudiés	Valeurs de référence	Valeurs simulées
Albédo de la végétation	X	5% et 20%
Longueur de rugosité (Z0)	0.4 m	0 et 1 m
Température du sol (04 UTC)	Tsol = 282.7 K	277.7K et 287.7K (±5K)
Humidité du sol (04 UTC)	HU = 27.7%	17.7% et 37.7% (±10%)
Couverture végétale	arbre = 50% herbe = 50%	arbre 100% / herbe 0% arbre 0% / herbe 100%
Proportion d'argile et de sable	Argile = 22% Sable = 34% Limon = 44% (reste)	A 32% / S 34% / L 34% A 22% / S 44% / L 34%
Indice de surface foliaire (LAI)	3.4 m ² /m ²	1 / 2 / 4 m ² /m ²

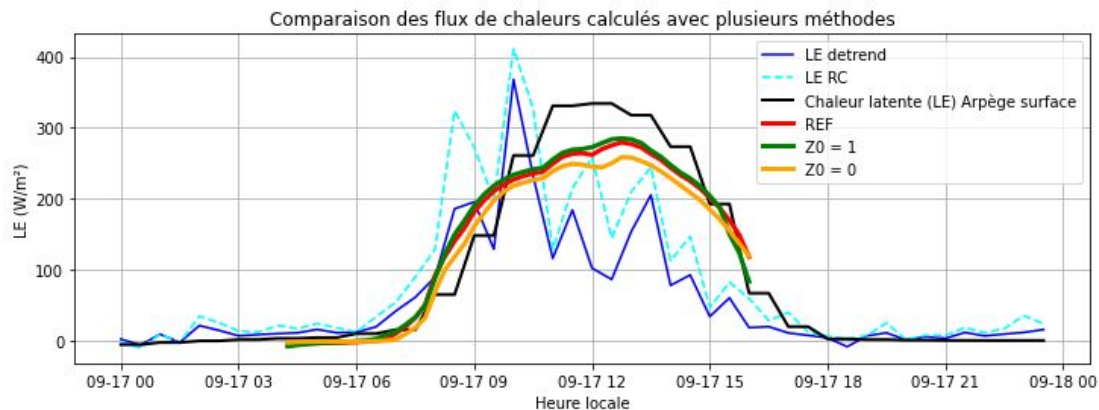
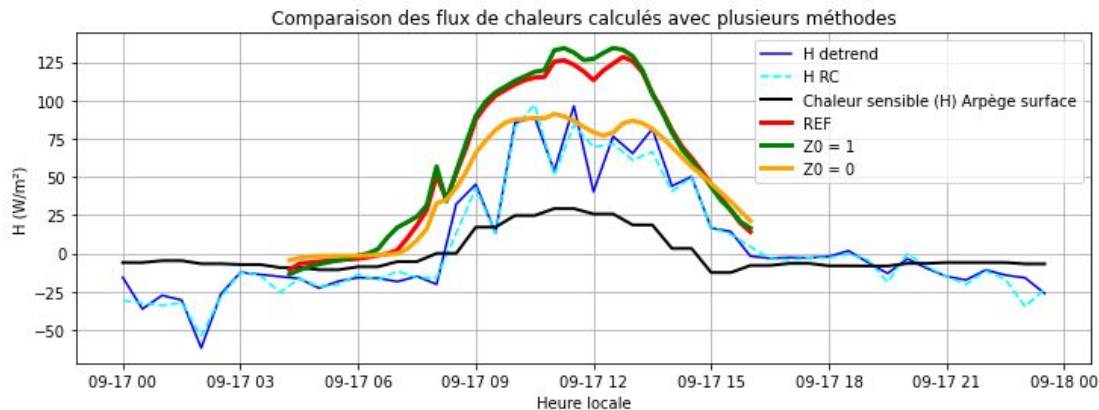
Étude : Albédo végétation = 5 ou 20%



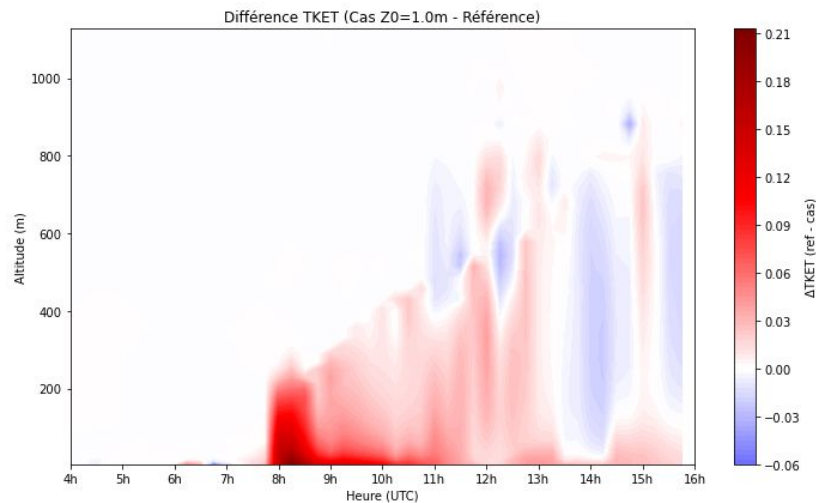
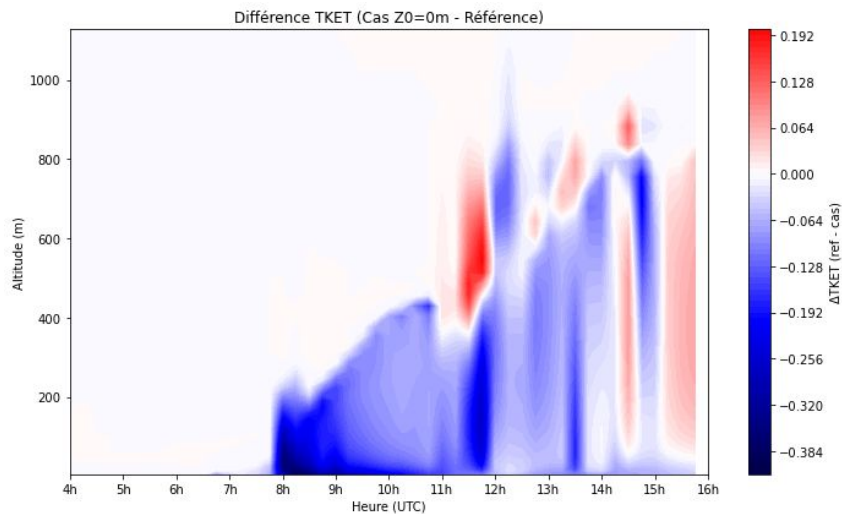
Étude : Albédo de la végétation = 5 ou 20%



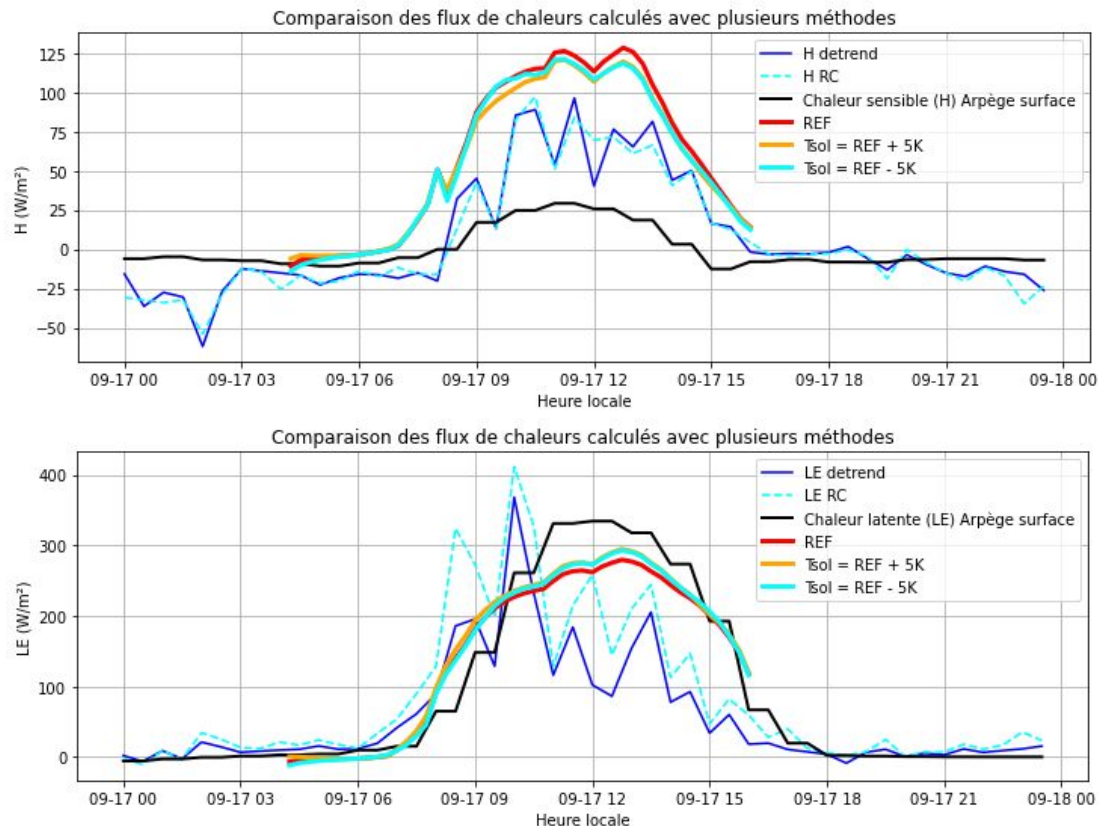
Étude : Couche de rugosité (référence 0.4m)



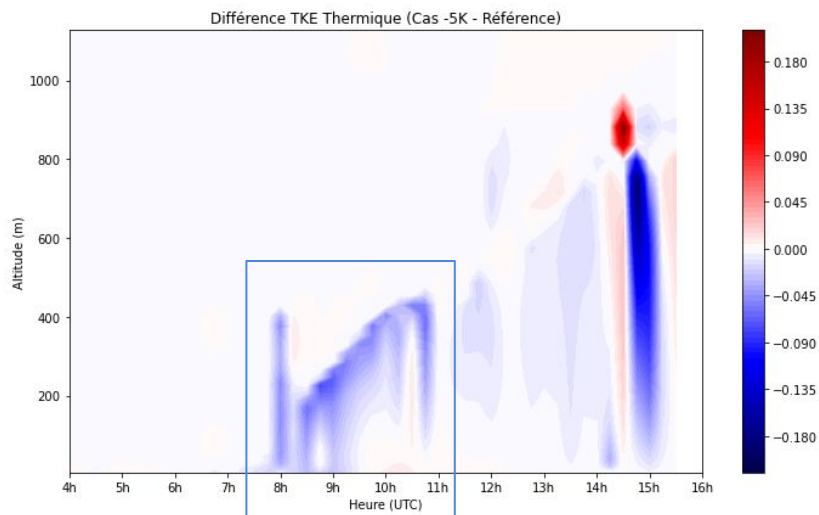
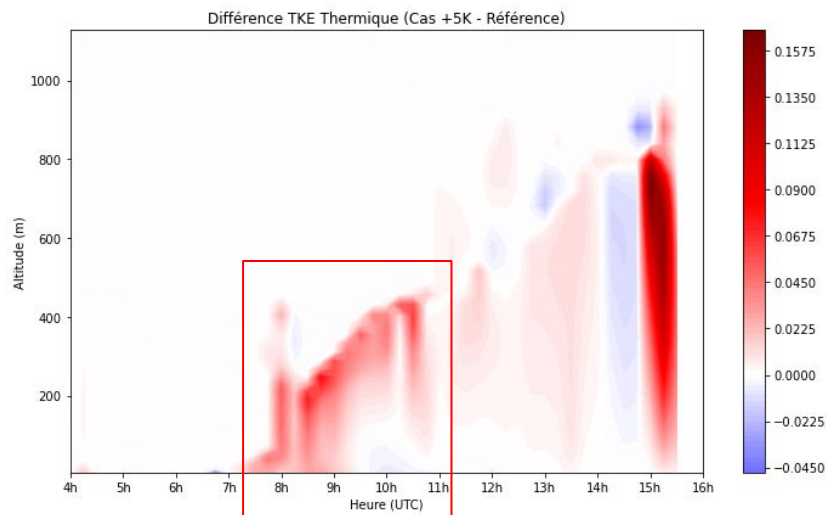
Étude : Couche de rugosité (référence 0.4m)



Étude : Température du sol à l'état initial



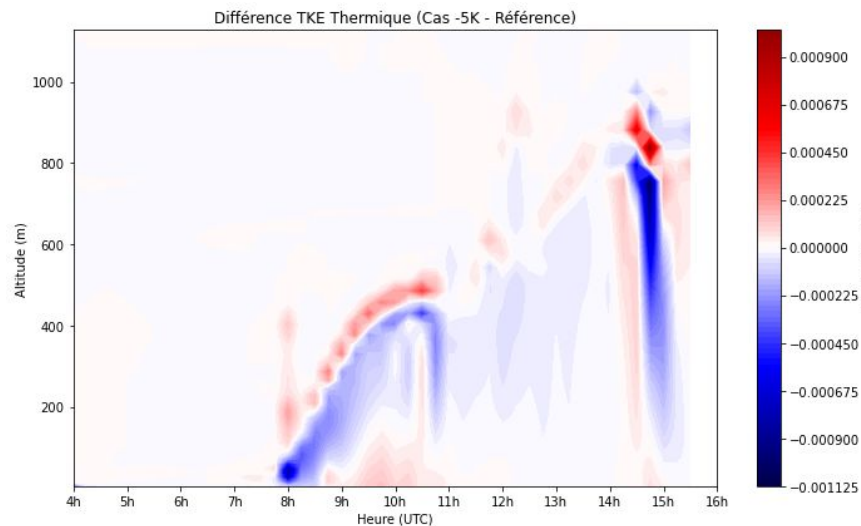
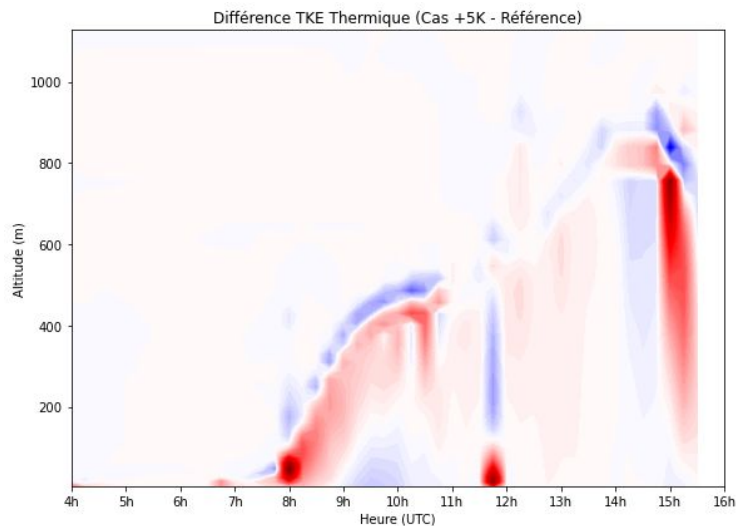
Étude : Température du sol à l'état initial



Référence à 04h UTC : 8.9°C

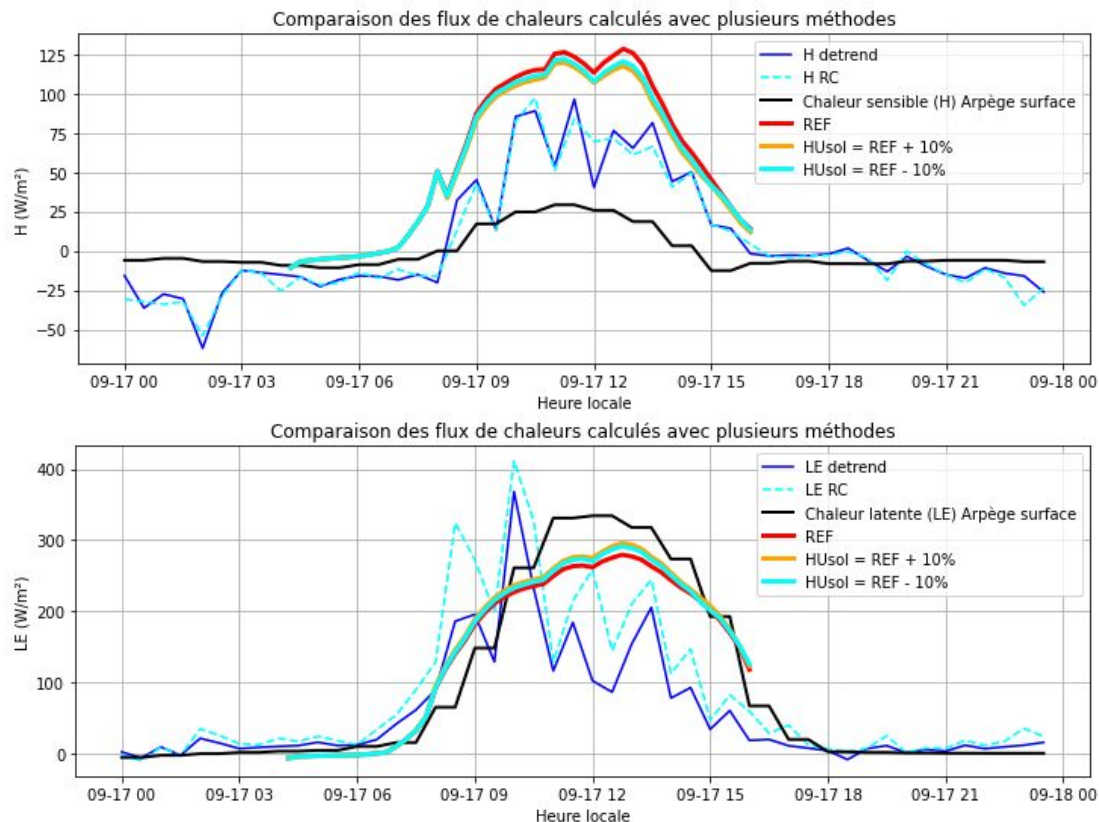
Étude : Température du sol à l'état initial

$$\frac{g}{\theta_{vref}} \underbrace{(E_{\theta} \overline{w'\theta'_l} + E_r \overline{w'r'_{np}})}_{1D \text{ prod. therm. (TP)}}$$

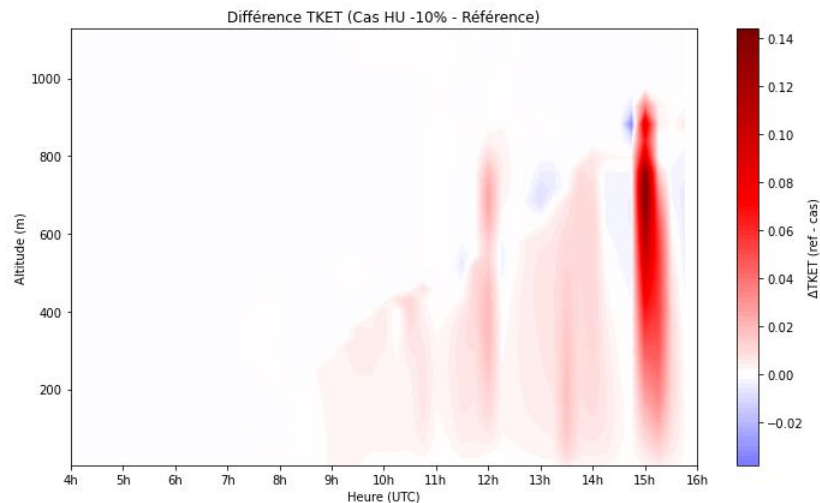
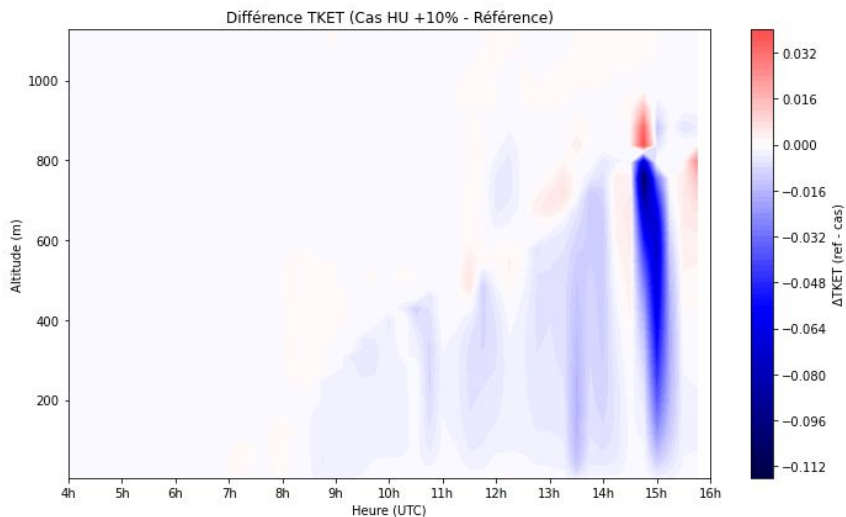


Référence à 04h UTC : 8.9°C

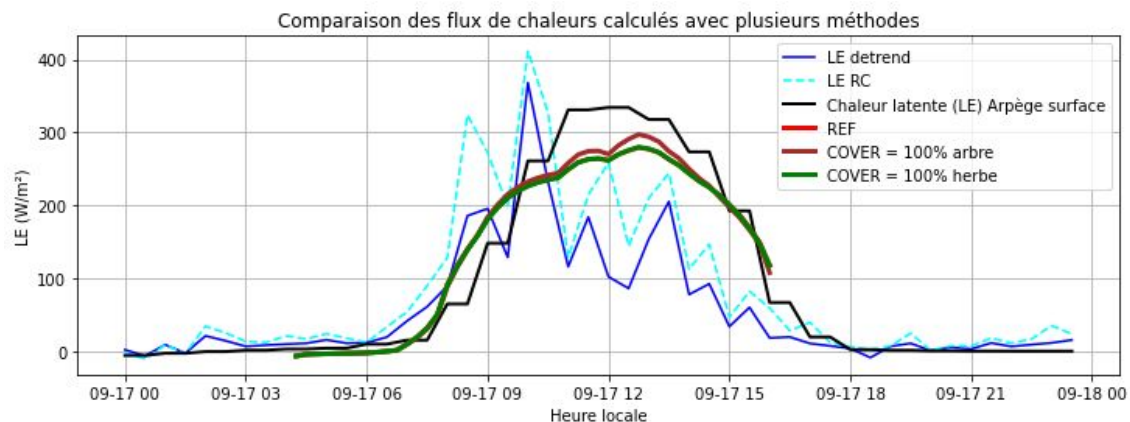
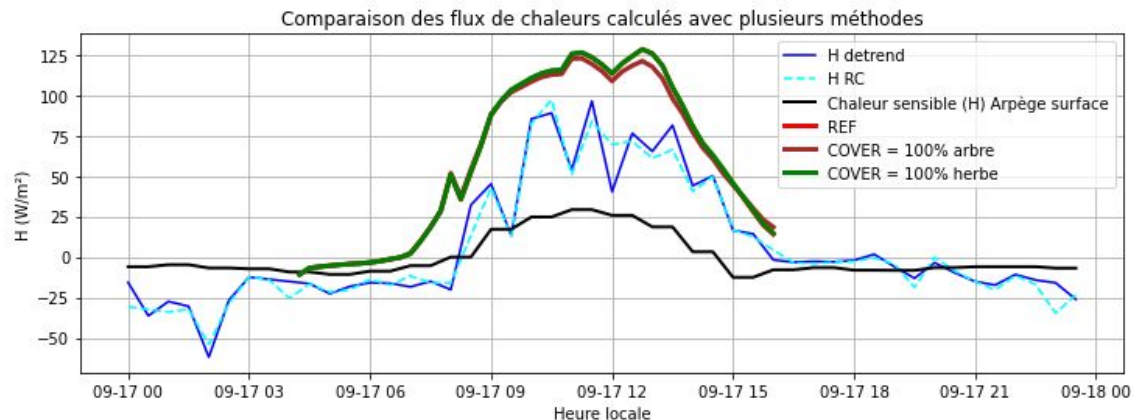
Étude : humidité du sol (référence 27.7%)



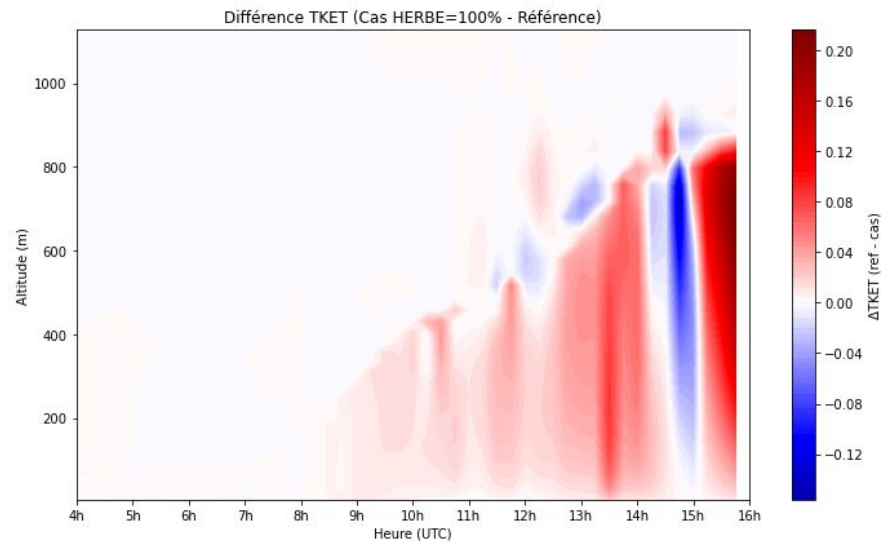
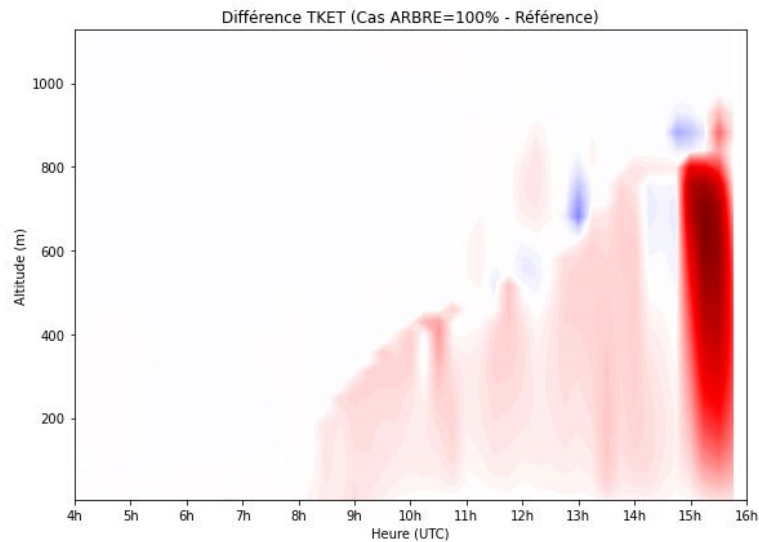
Étude : humidité du sol (référence 27.7%)



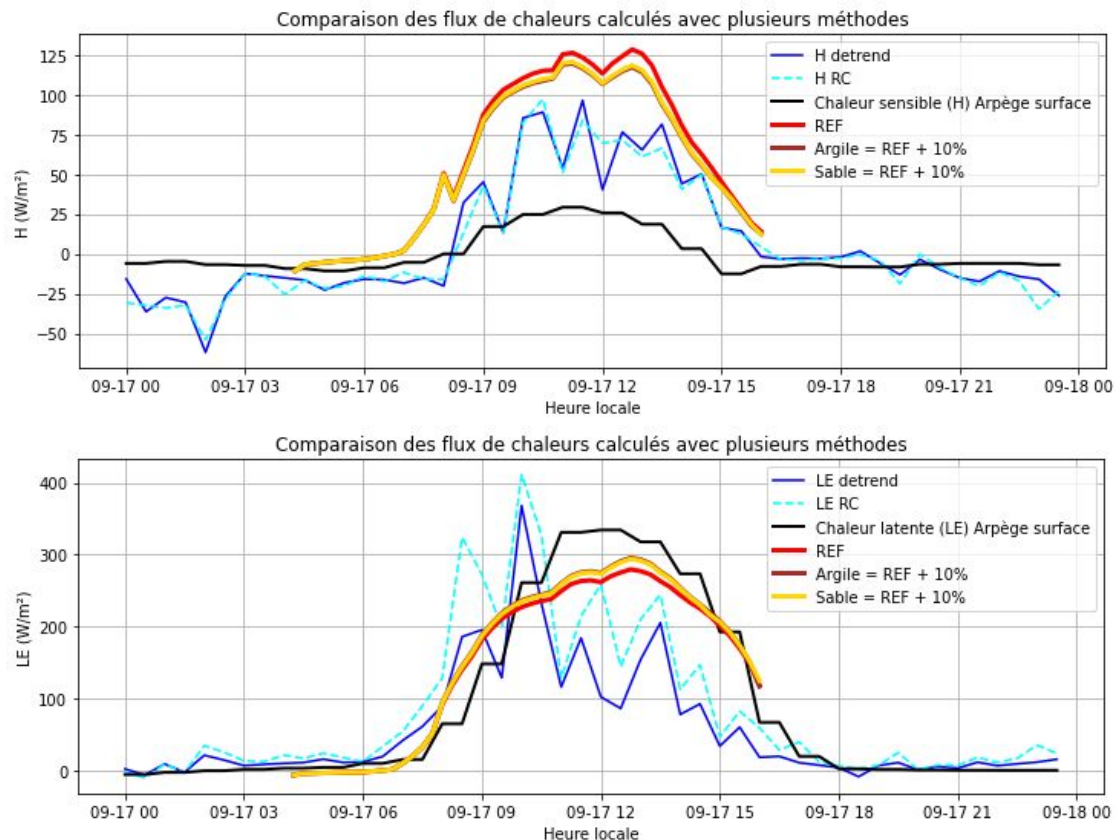
Étude : couverture du sol



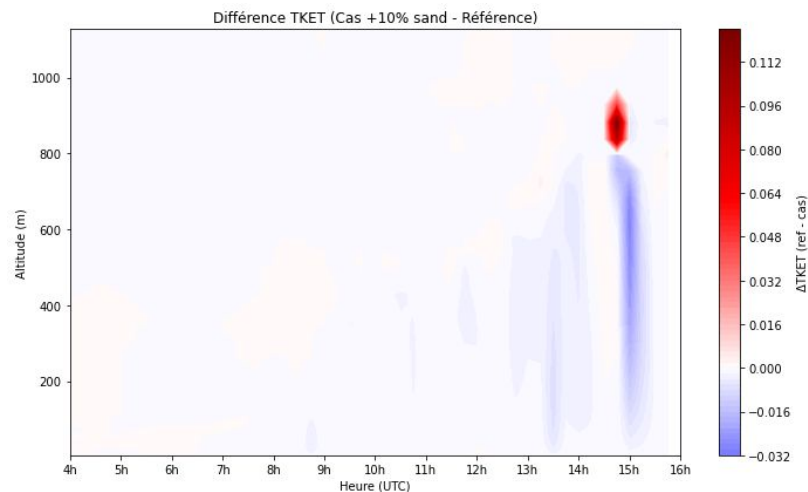
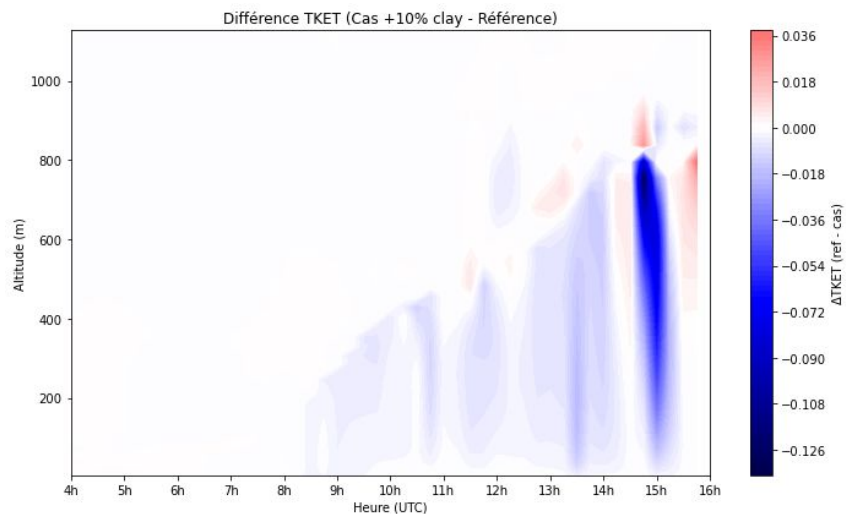
Étude : couverture du sol



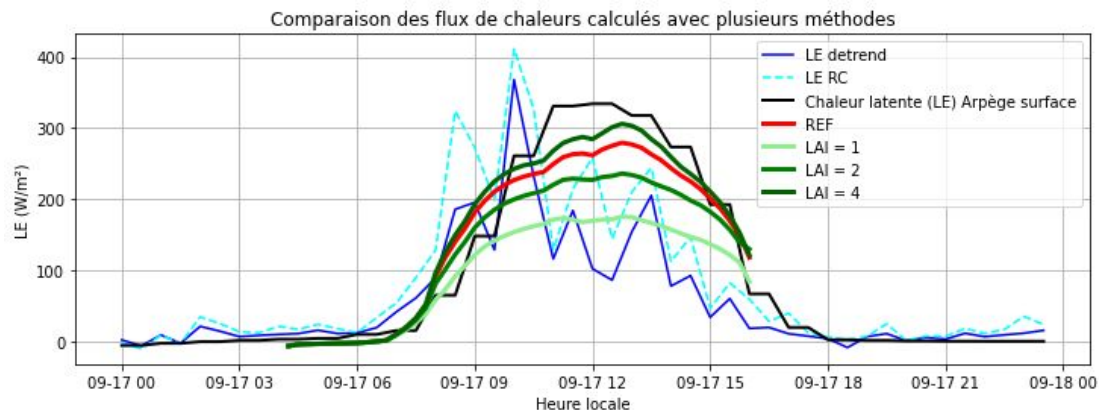
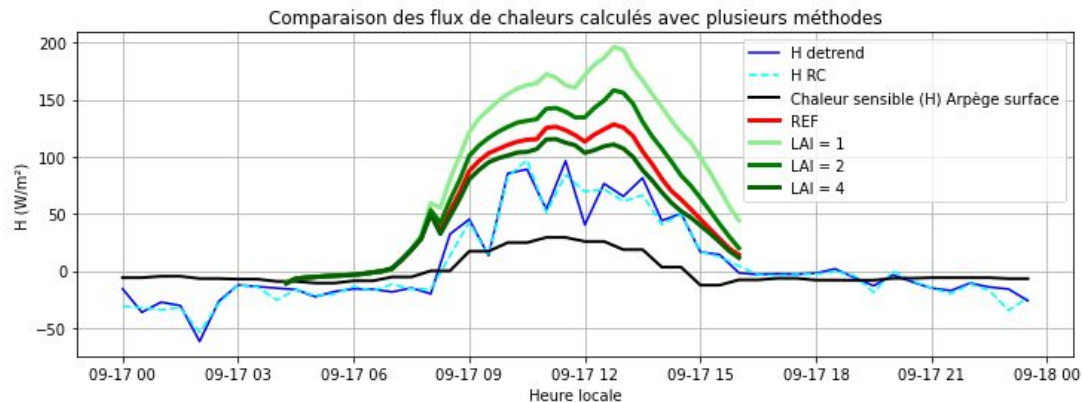
Étude : composition sol



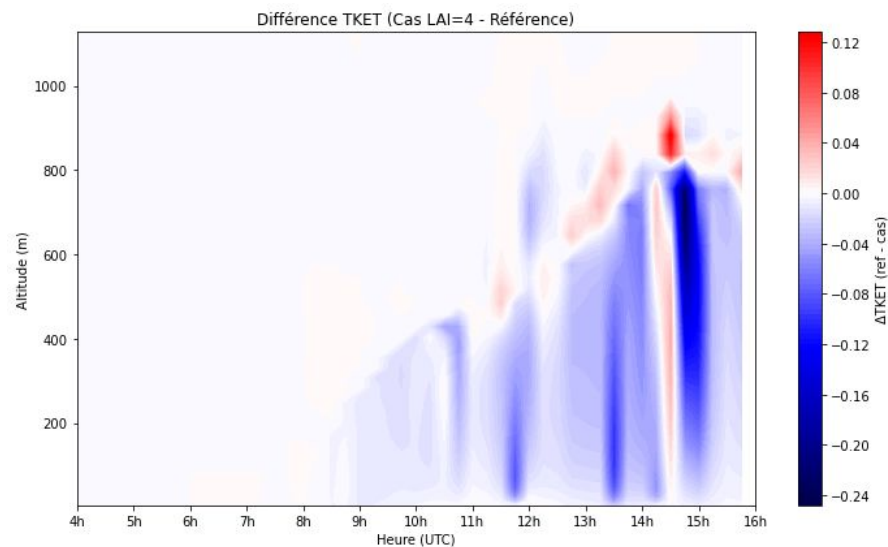
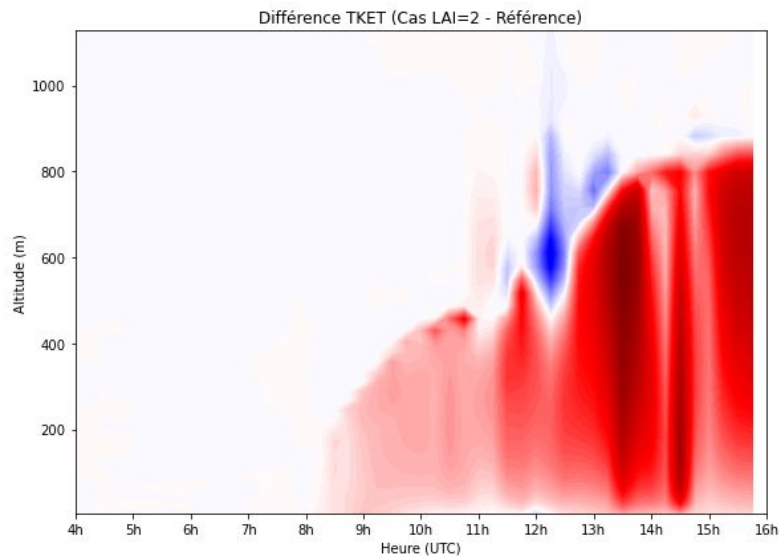
Étude : composition sol



Étude : Indice de surface foliaire (LAI)



Étude : Indice de surface foliaire (LAI)



Plan

1. Contexte et objectifs
2. Analyse synoptique et contexte météorologique
3. Simulation de référence
4. Sensibilité au schéma de turbulence
5. Sensibilité aux forçages
6. Sensibilité aux conditions initiales
7. Sensibilité à la grille verticale
8. Sensibilité aux paramètres de la surface
9. Conclusion

Rappels des objectifs

Comment la variation des paramètres physiques et numériques influence-t-elle la CLA dans le modèle Mésoscale-NH ?

- Simulation de référence uni-colonne
- Étude de sensibilité aux paramètres du modèle :
conditions initiales, forçages externes, grille verticale, paramétrisation de la surface et turbulence
- Analyse de l'impact des choix de paramétrisation sur la couche limite

Conclusion : Sensibilités principales

- **Turbulence** : fort impact sur la hauteur et la structure de la CLA
- **Forçages** : la subsidence renforce la stabilité sans dissiper les nuages
- **Conditions initiales** : déterminantes pour la température et l'humidité des basses couches
- **Grille verticale** : résolution fine nécessaire (mais pas trop) pour bien capter les gradients
- **Surface** : L'indice de surface foliaire et la rugosité modifient le bilan d'énergie

MERCI POUR VOTRE ATTENTION

Observation data were collected at the P2OA (Pyrenean Platform for Observation of the Atmosphere, <http://p2oa.aeris-data.fr>). P2OA facilities and staff are supported by the University Toulouse 3 Paul Sabatier, France, and CNRS. P2OA is part of the national research infrastructure ACTRIS-France.

