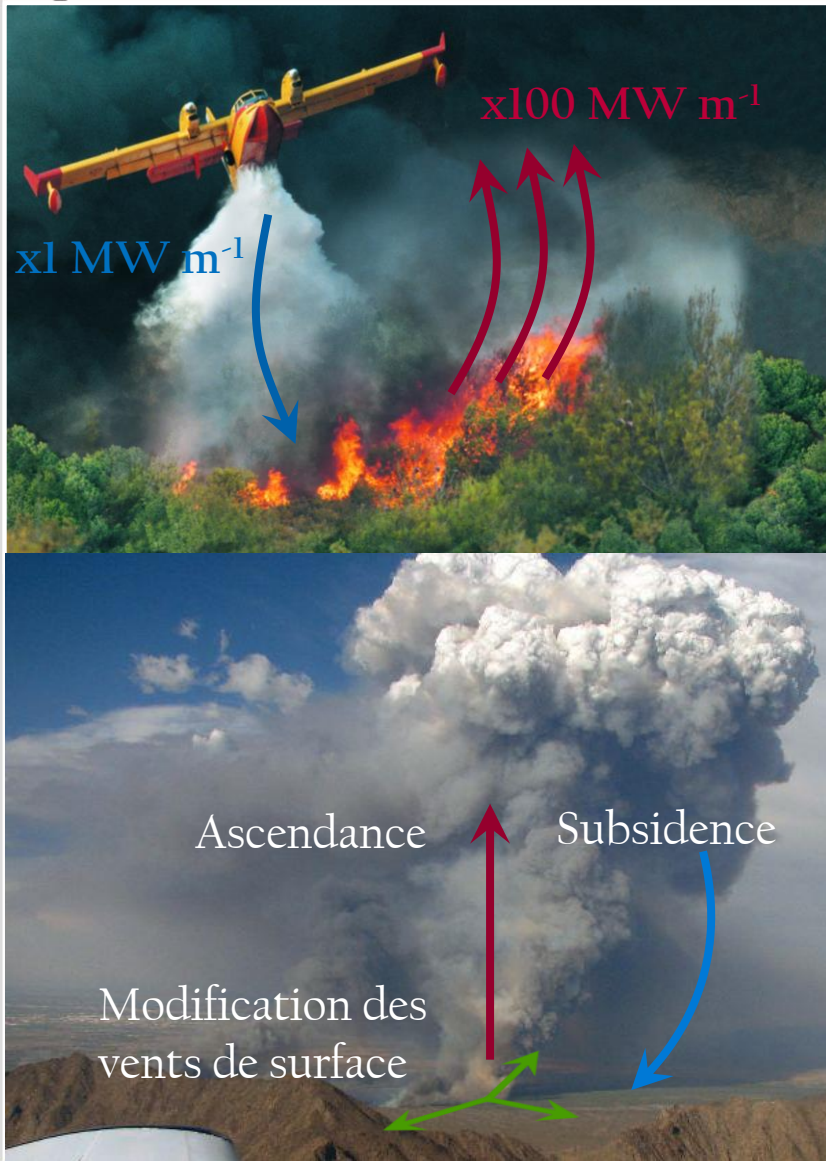


Validité de l'hypothèse anélastique pour la simulation du comportement d'un incendie de forêt dans un modèle couplé feu/atmosphère

Aurélien Costes^{1,2}, Mélanie C. Rochoux¹,
Christine Lac² et Valéry Masson²

1) CECI/CERFACS
2) CNRM/Météo-France

Évènements extrêmes d'incendies



Les traits caractéristiques d'évènements extrêmes incendies [Tedim et al., 2018] :

- Vitesses de propagation élevées
- Fortes intensités le long du front de feu
- Hauteurs de flammes élevées
- Plusieurs foyers de combustion simultanément
- Pyroconvection

Pour mieux comprendre/anticiper les processus en jeu → outils de modélisation

Différentes approches de modélisation

- FIRETEC [Linn et al., 2002]
- WFDS [Mell et al., 2007]
- FIRESTAR3D [Morvan et al., 2018]
- WRF-FIRE [Patton et Coen, 2004]
- MESONH-FOREFIRE [Filippi et al., 2011]
- WRF-SFIRE [Mandel et al., 2011]
- MESONH-Blaze [Costes et al., en révision]
- FARSITE [Finney, 1994]
- FOREFIRE [Filippi et al., 2010]



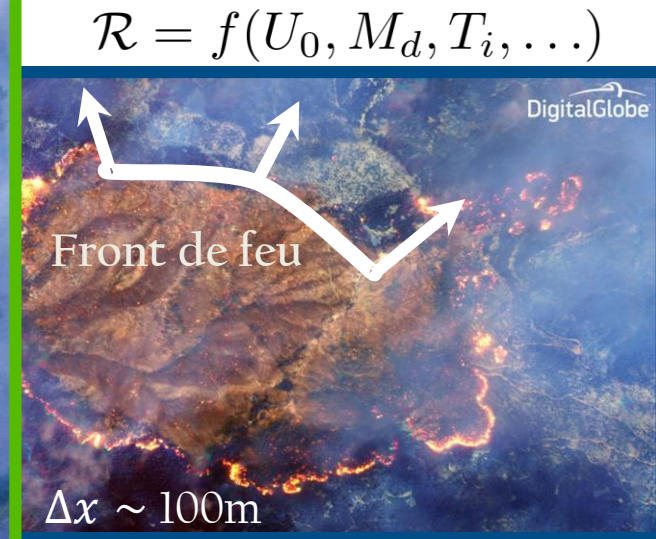
$\Delta x \sim 10\text{cm} - 1\text{m}$

Modèle physique de
la flamme



$\Delta x \sim 1\text{m} - 10\text{m}$

Modèle couplé feu-atmosphère



$\Delta x \sim 100\text{m}$

Modèle de propagation
de front de feu

Le système couplé Més0-NH/Blaze

[Lac et al., 2018]

Meso-NH
mesoscale non-hydrostatic model

[Masson et al., 2013]

SURFEX

Modèle atmosphérique

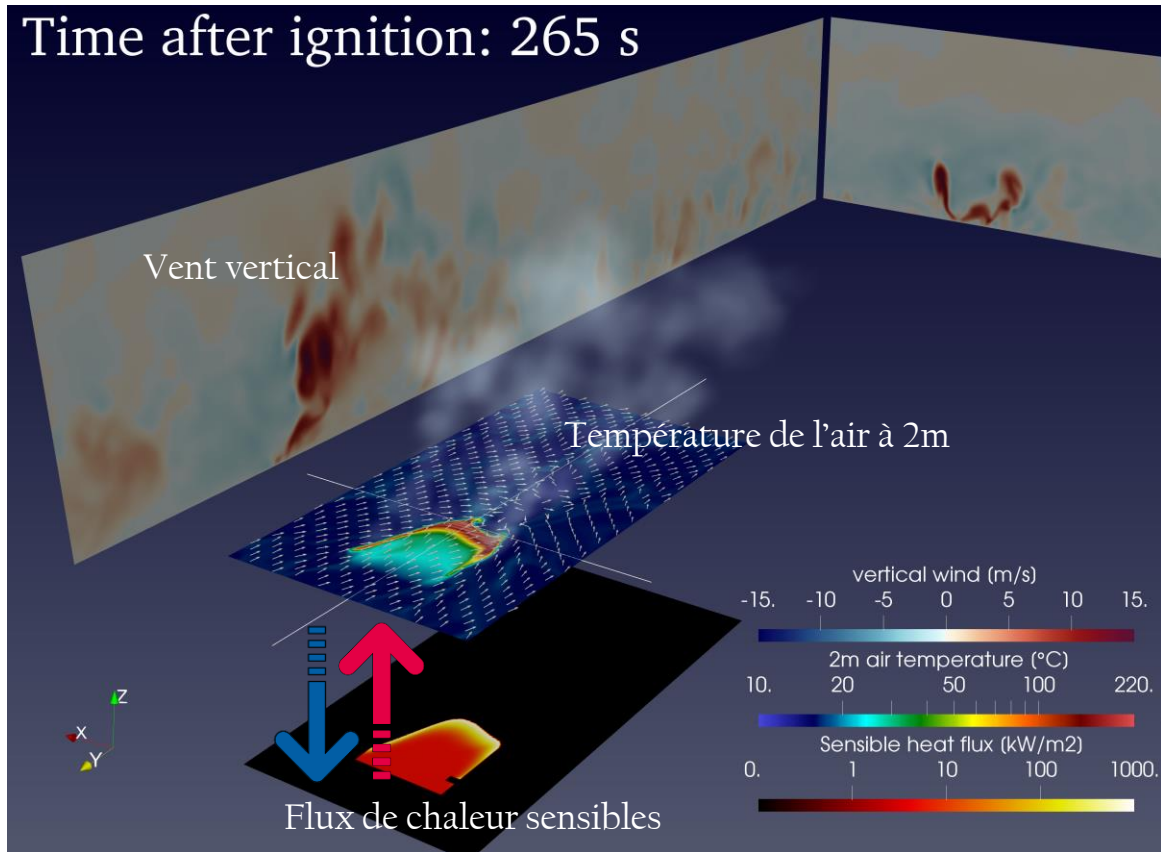
Vent de surface

Flux de chaleur

Modèle de propagation de feu

BLAZE
fire model

Time after ignition: 265 s



▲ Visualisation des champs instantanés du couplage Més0-NH/Blaze sur l'expérience FireFlux I, en mode anélastique à 10 m de résolution horizontale

Hypothèse de compressibilité de l'air

Forts dégagements de chaleur



Variations horizontales locales de densité



Anélastique

Compressible



Variation de densité uniquement dans le terme de flottabilité



Prise en compte des effets 3D de variation de densité



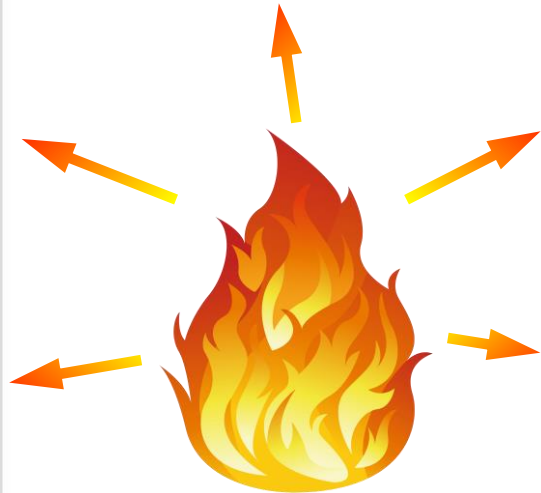
Grand pas de temps

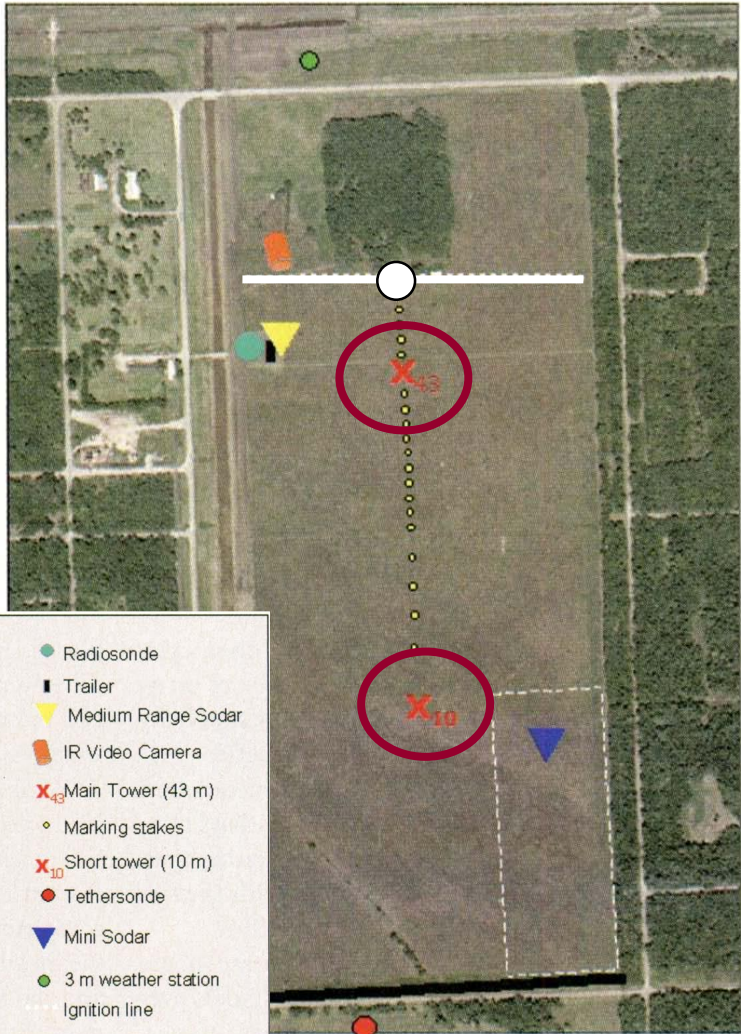


Petit pas de temps



Une meilleure prise en compte des gradients horizontaux de densité a-t-elle une influence sur la propagation et l'écoulement induit ?





FireFlux

- Feu expérimental de 30 ha d'herbe haute réalisé en février 2006 [Clements et al., 2007]
- 2 mâts instrumentés avec anémomètres et thermocouples
- Utilisé pour valider Méso-NH/ForeFire [Filippi et al., 2013], WRF-SFIRE [Kochanski et al., 2013], Méso-NH/Blaze [Costes et al., en révision]

Etude réalisée avec Méso-NH/Blaze :

- Comparaison anélastique/compressible à 10 m de résolution atmosphérique, 5m de résolution du maillage de feu

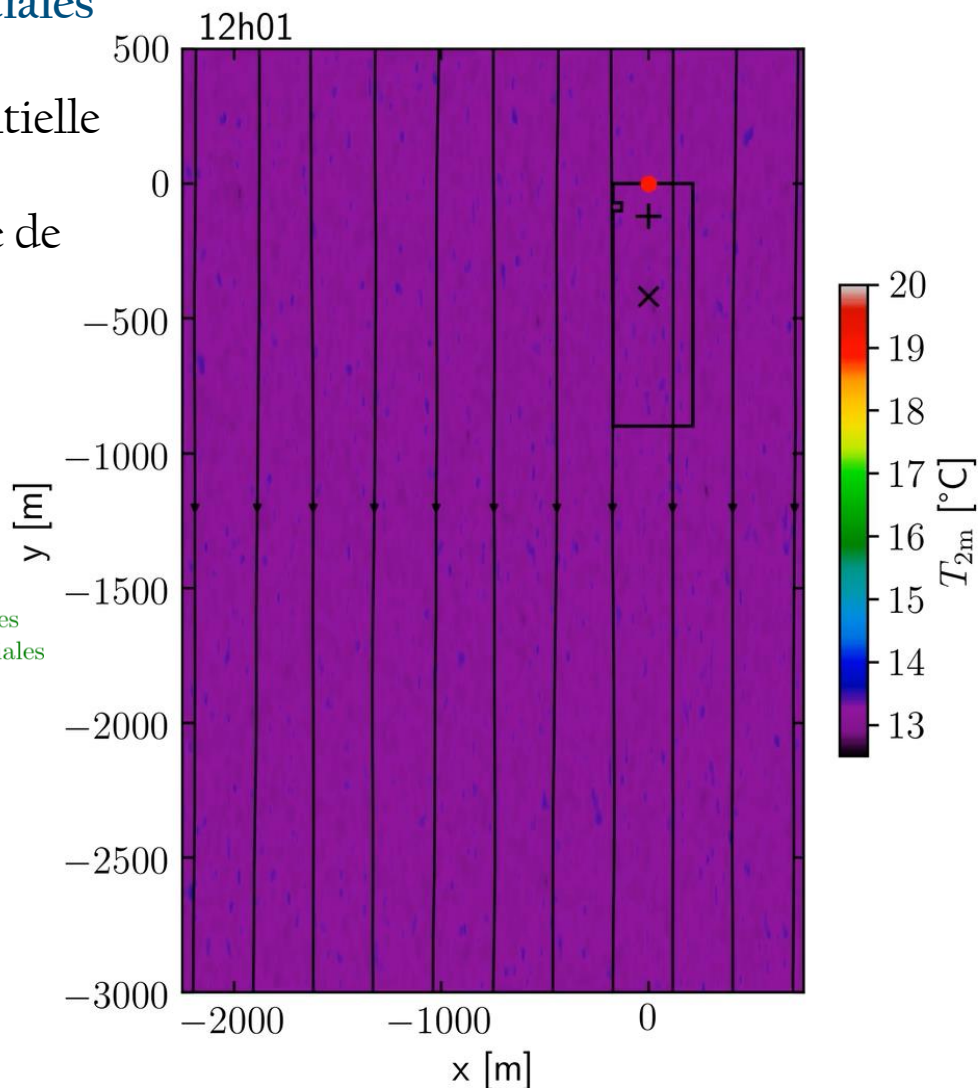
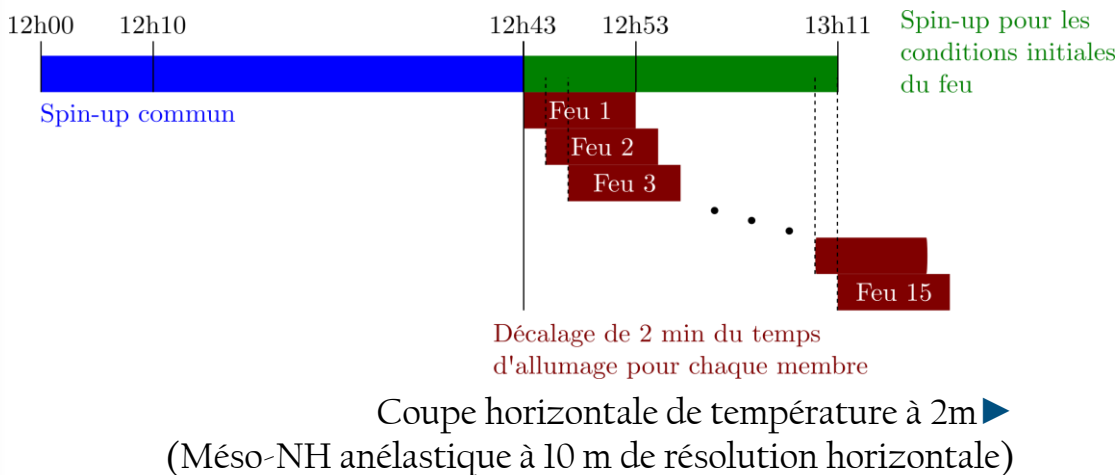
◀ ? Brûlage dirigé FireFlux I
[Clements et al., 2007]

Initialisation de la turbulence atmosphérique

Méthode pour générer l'ensemble de conditions initiales de turbulence

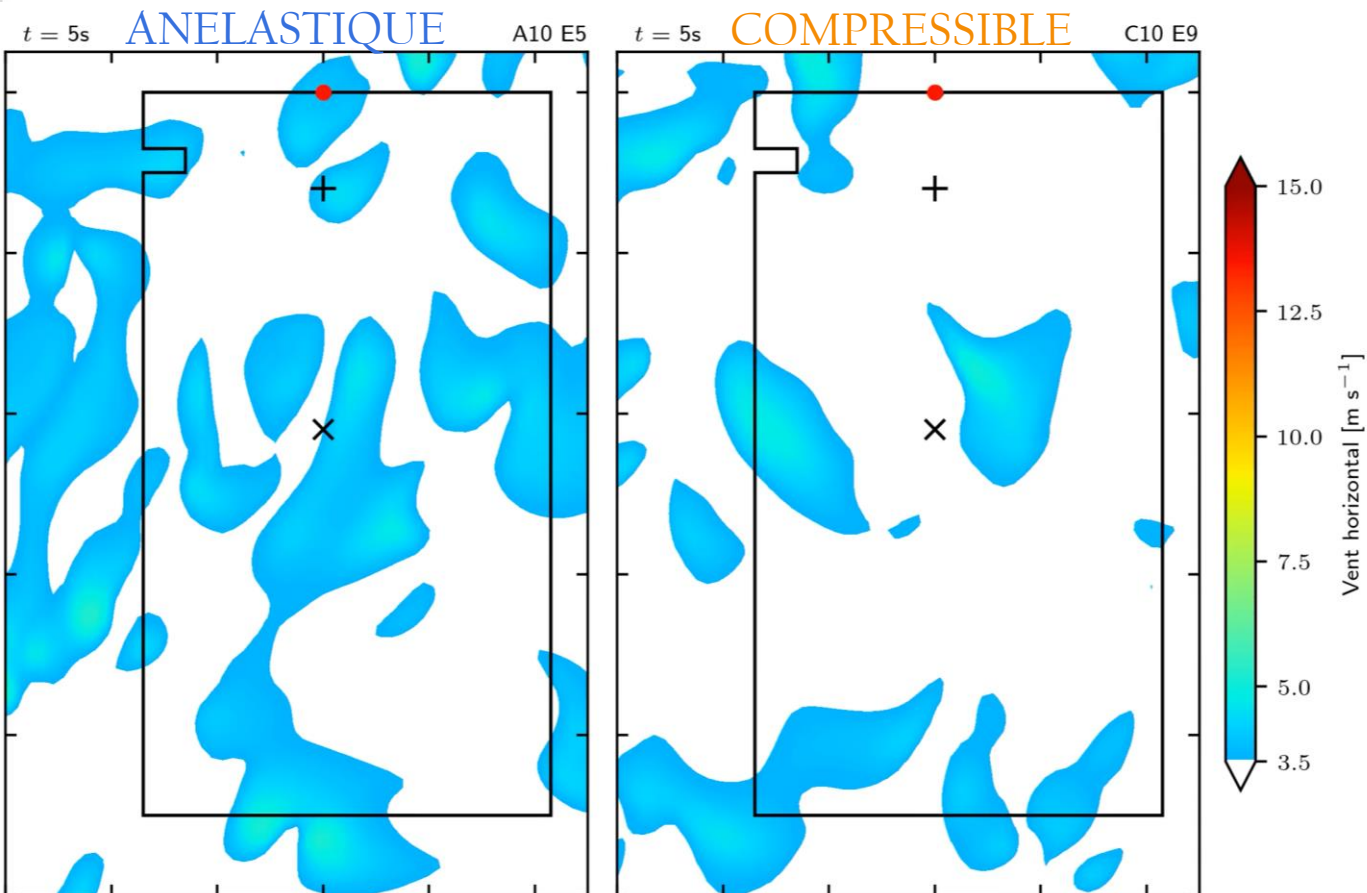
- Initialisation d'un bruit blanc de température potentielle au début du spin-up de 43 minutes
- Développement de la turbulence pendant la période de spin-up (avec le modèle Mésos-NH sans feu)

Quel est l'impact de la variabilité atmosphérique sur la propagation ?



Anélastique vs Compressible : dynamique du feu

Coupe horizontale à 2 m de vent horizontal $\Delta x = 10\text{m}$

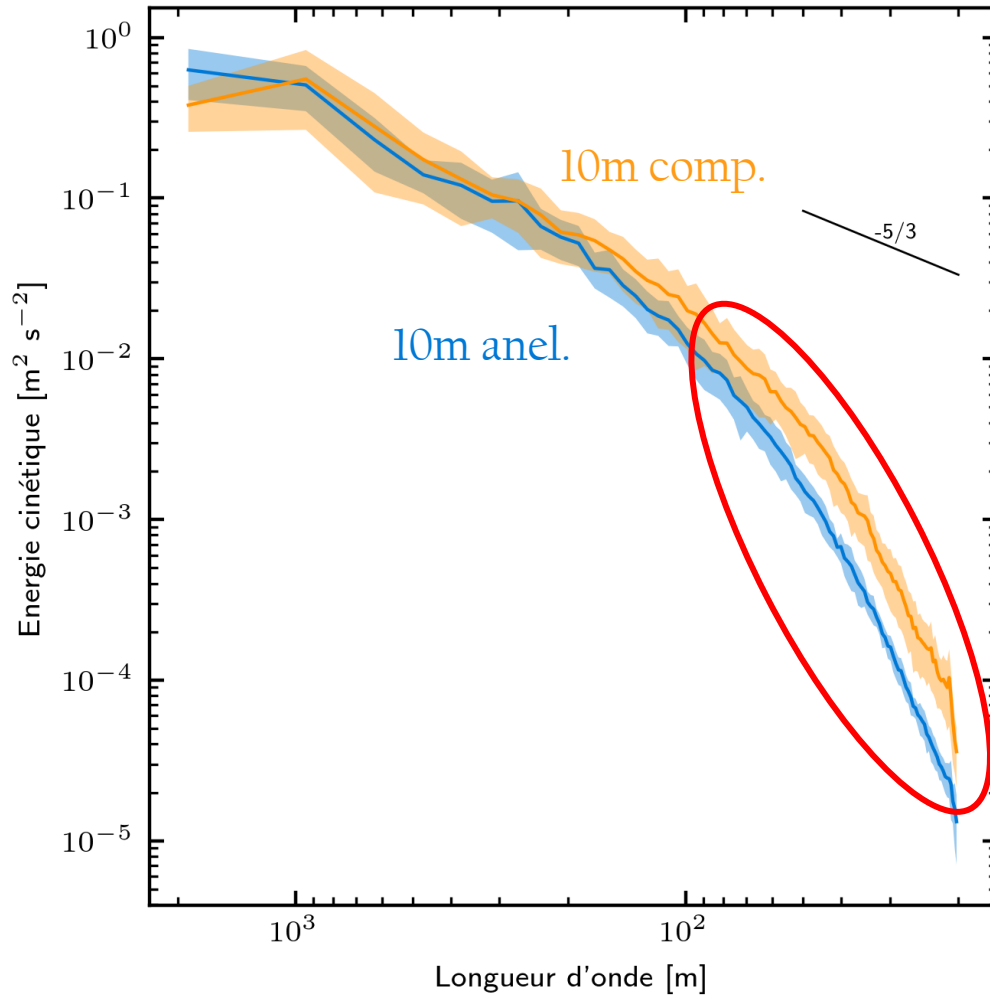


Compressible :

- ✓ Vent plus fort
- ✓ Ondes de gravité
- ✓ Forme du front différente

Anélastique vs Compressible : dynamique du feu

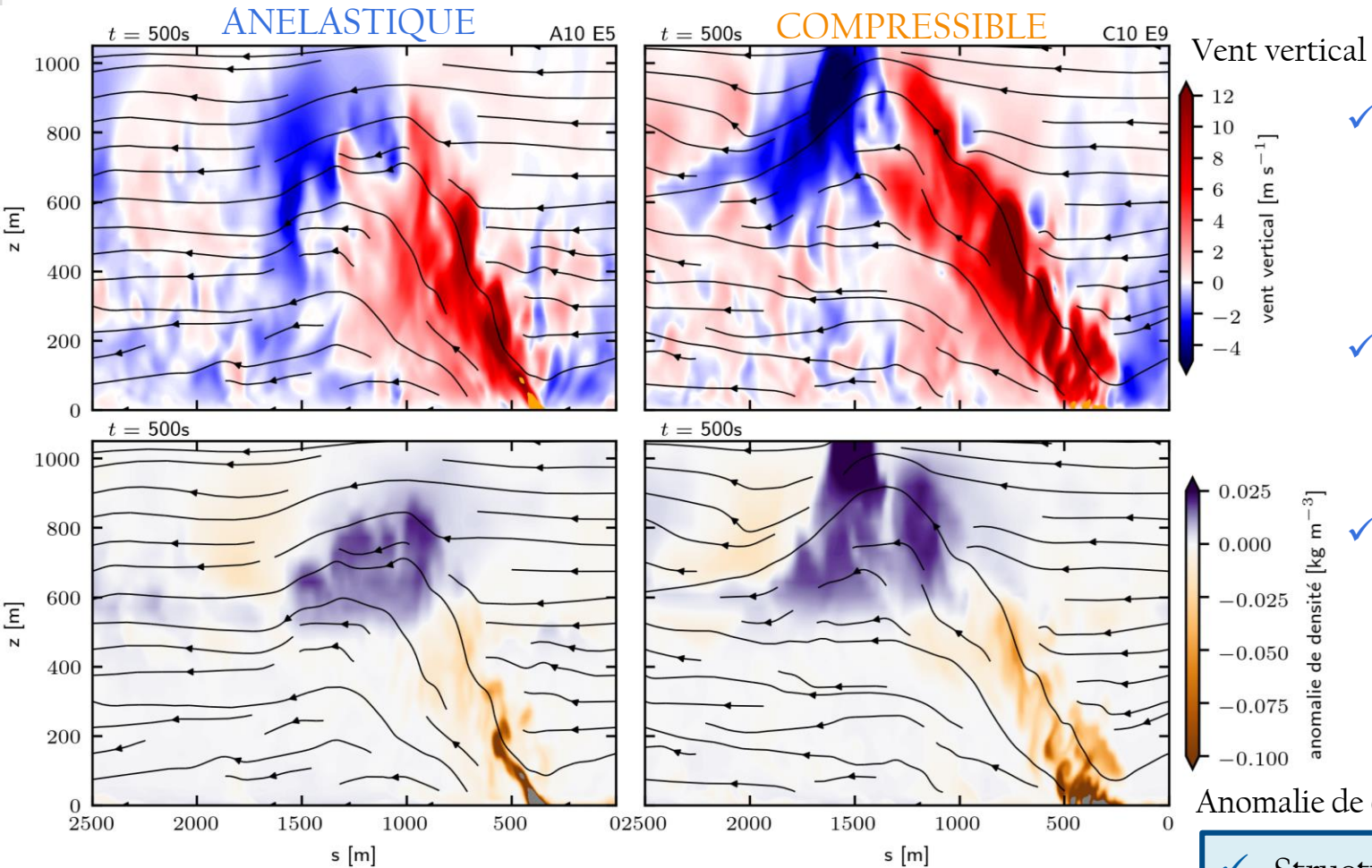
Spectre d'énergie cinétique du vent méridien



Compressible

- ✓ Plus d'énergie aux petites échelles à $\Delta x = 10\text{m}$

Anélastique vs Compressible : structures verticales

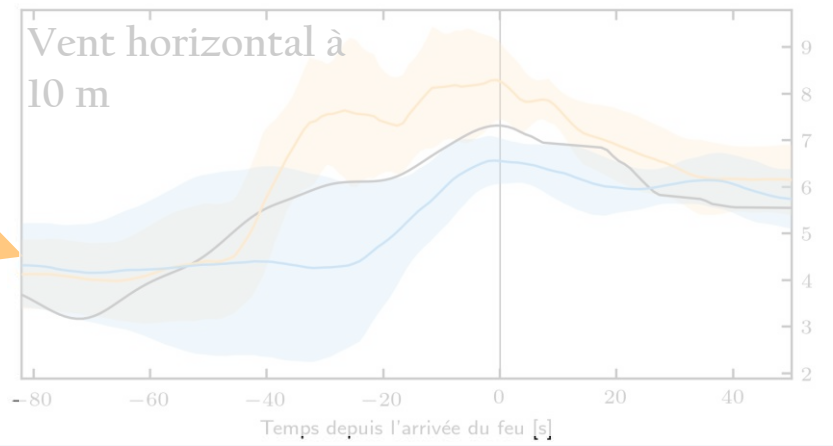
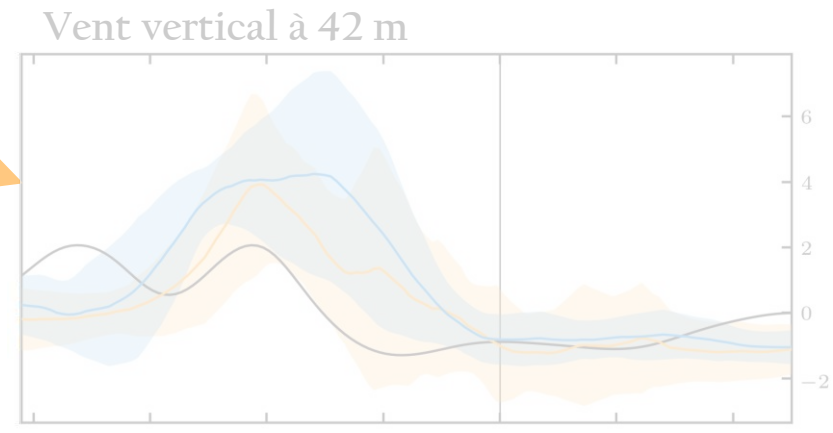
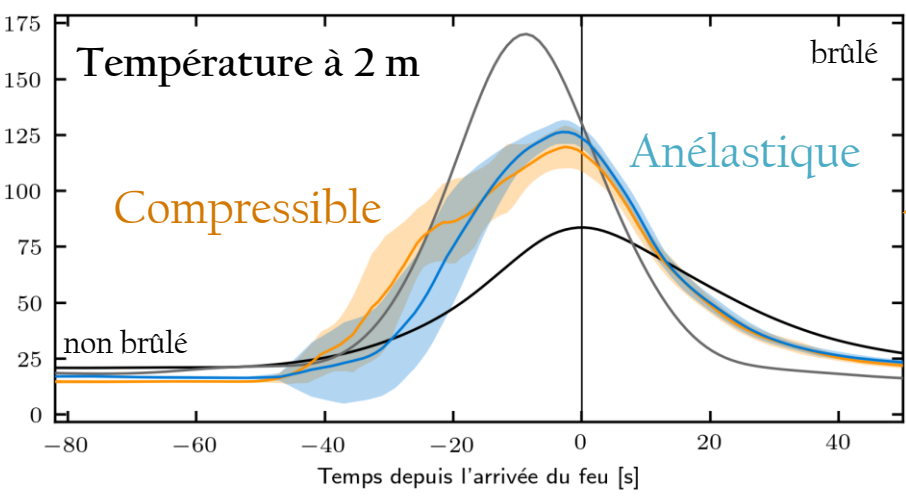
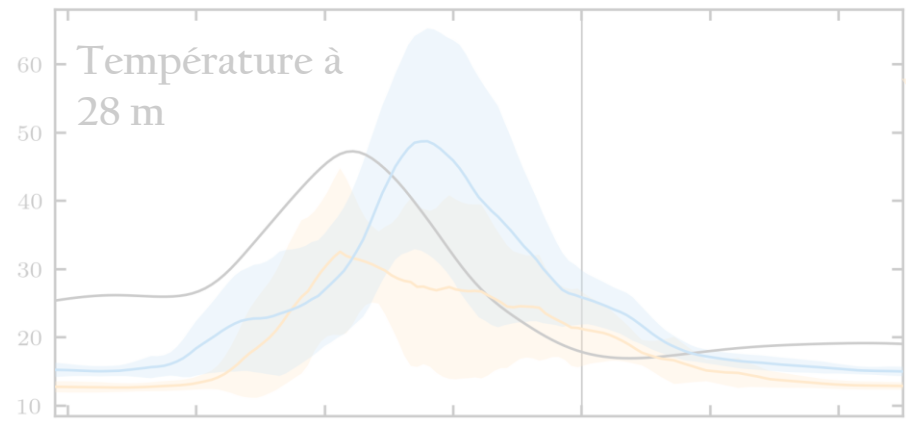
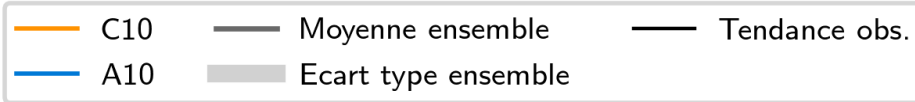


COMPRESSIBLE

- ✓ Convection plus développée
- ✓ Intensités plus fortes
- ✓ Structures de fine échelle
- ✓ Extension horizontale de l'anomalie de densité en surface plus importante
- ✓ Anomalie au sommet du panache thermo-convectif plus marquée

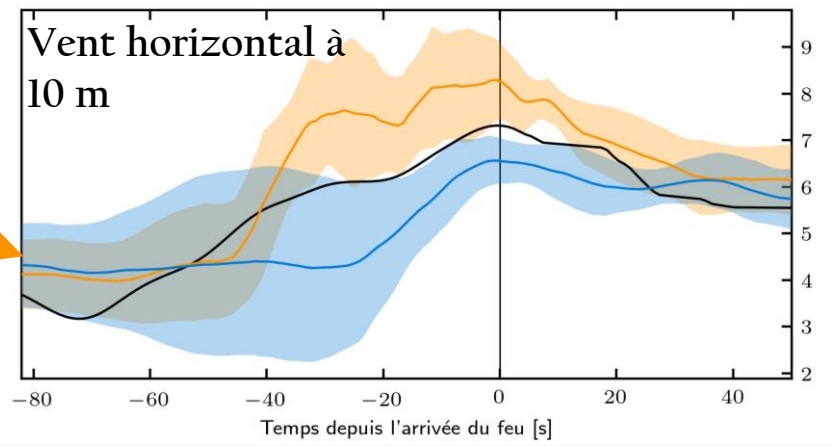
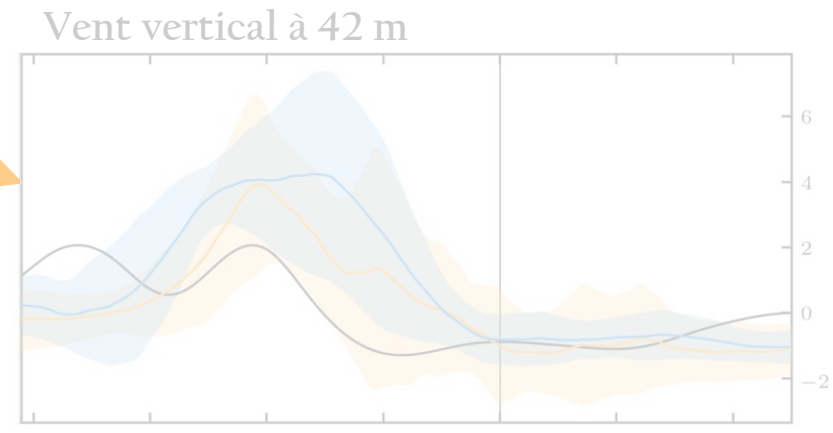
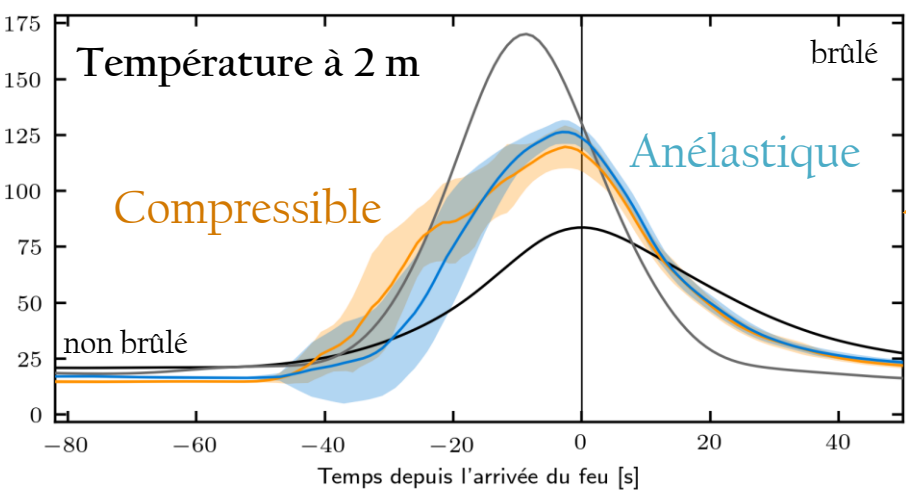
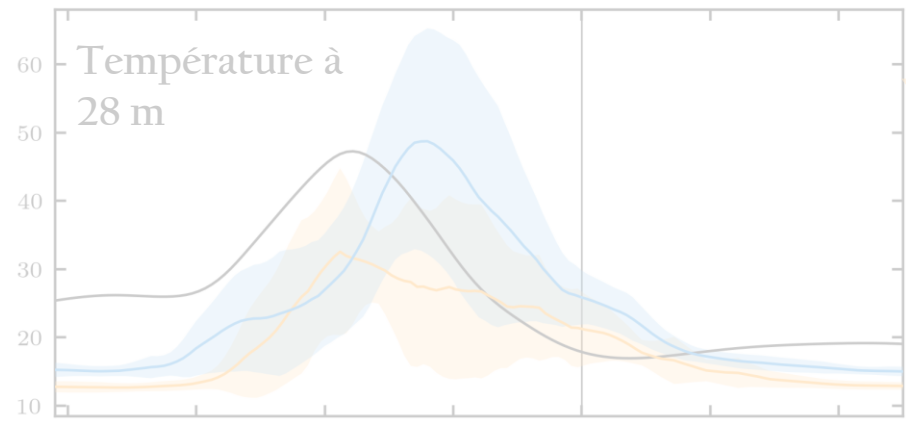
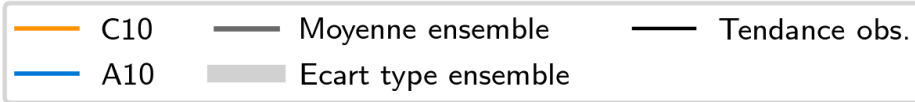
✓ Structure ondulatoire
→ mouvements convectifs intenses

Anélastique vs Compressible : écoulement induit



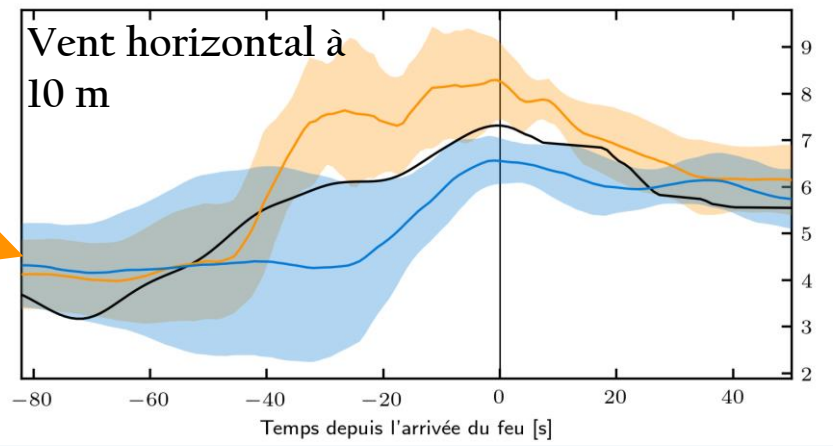
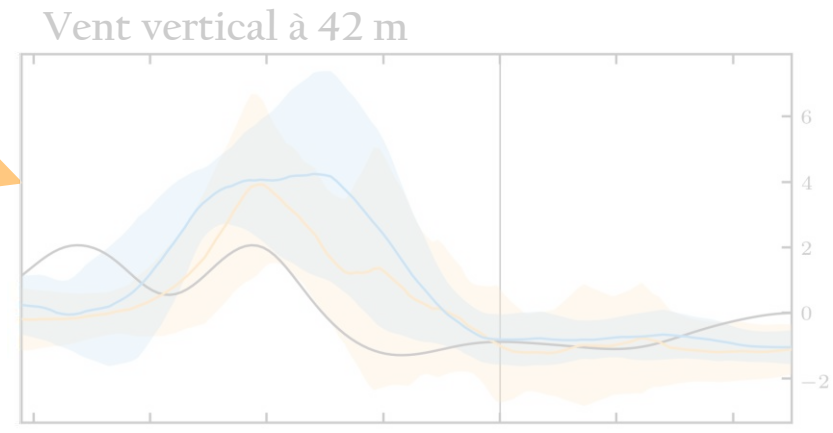
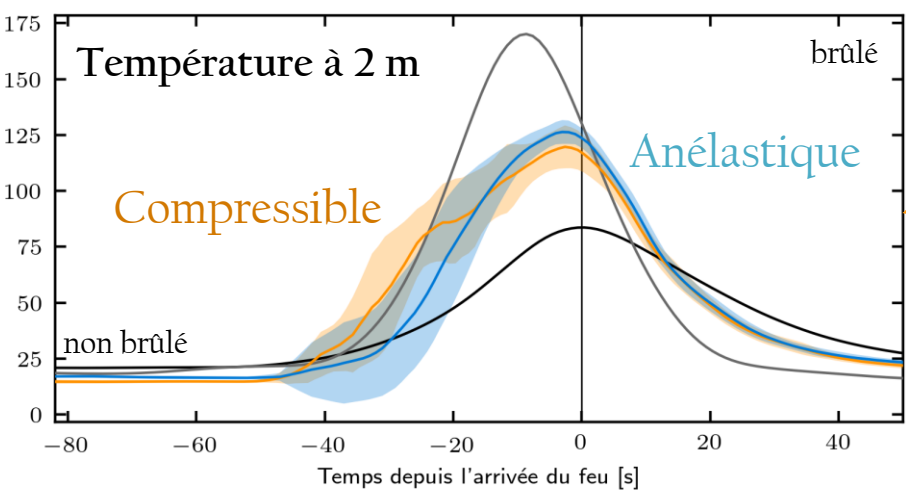
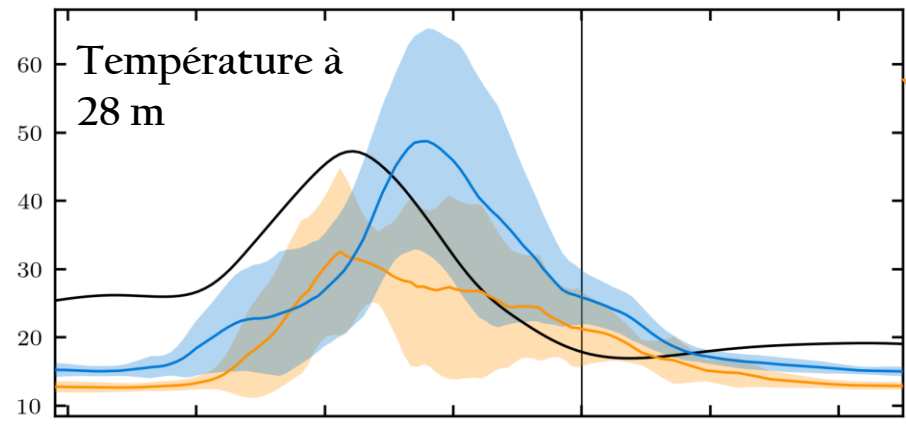
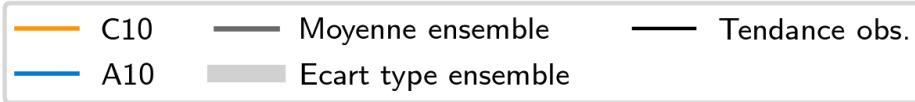
- ✓ Accélération du vent horizontal en compressible
- ✓ Différence anélastique/compressible > variabilité atmosphérique

Anélastique vs Compressible : écoulement induit



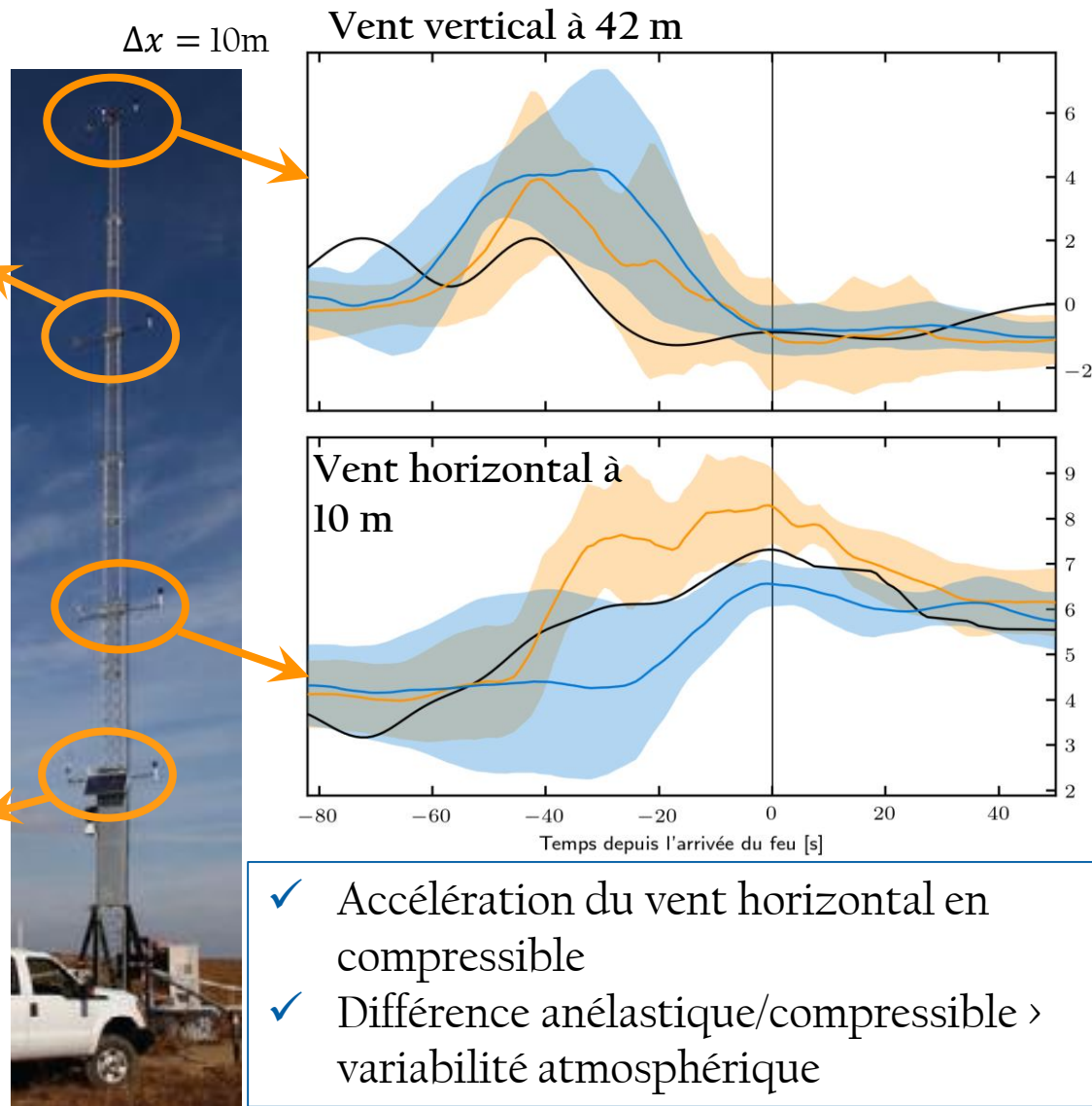
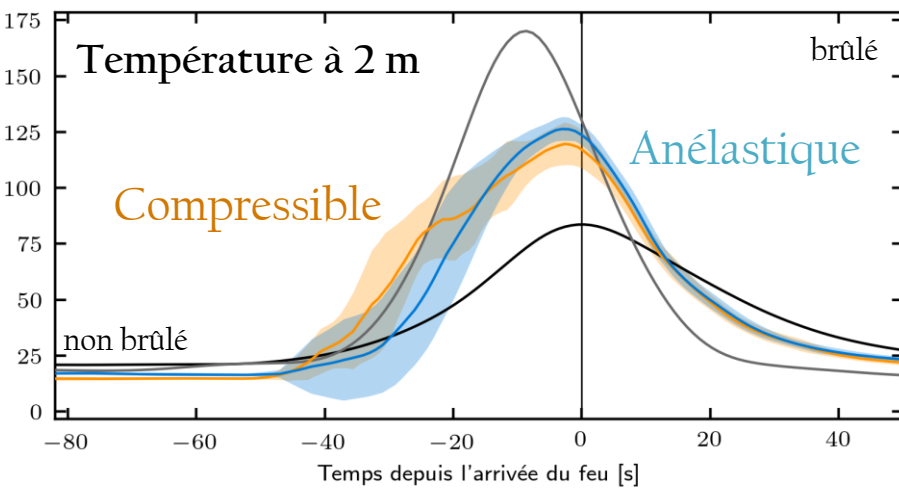
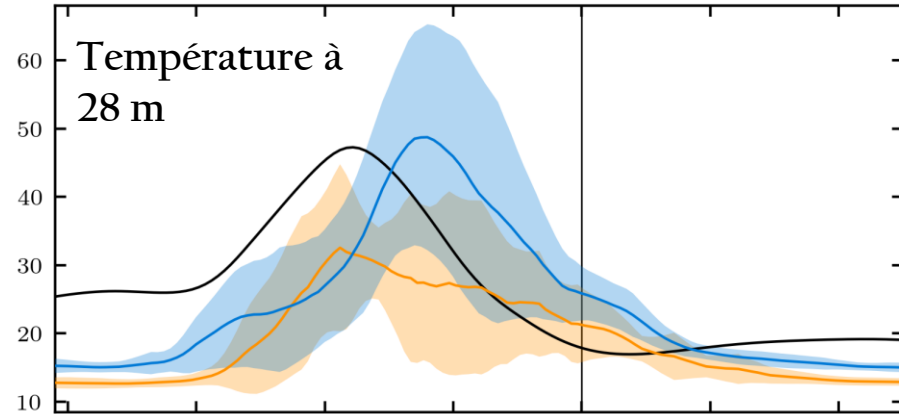
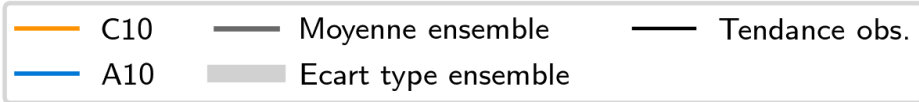
- ✓ Accélération du vent horizontal en compressible
- ✓ Différence anélastique/compressible > variabilité atmosphérique

Anélastique vs Compressible : écoulement induit

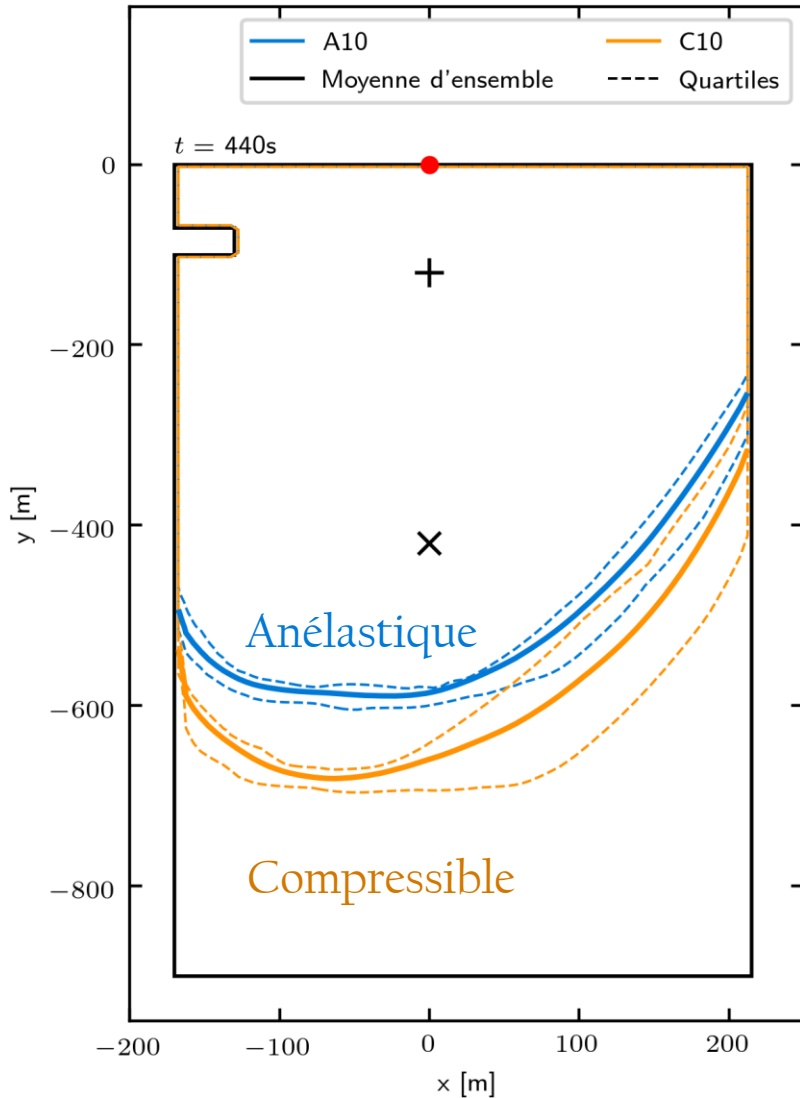


- ✓ Accélération du vent horizontal en compressible
- ✓ Différence anélastique/compressible > variabilité atmosphérique

Anélastique vs Compressible : écoulement induit



Anélastique vs Compressible : vitesse de propagation



- ✓ Vitesse de propagation moyenne entre les deux tours

$$\mathcal{R}^o = 1.61 \text{ m s}^{-1}$$

$$\mathcal{R}_A = 1.41 \pm 0.08 \text{ m s}^{-1}$$

$$\mathcal{R}_C = 1.77 \pm 0.17 \text{ m s}^{-1}$$

- ✓ Version compressible vs anélastique:
 - Front de feu plus rapide
 - Plus de variabilité entre les membres
- ✓ L'écart entre compressible et anélastique plus grand que la variabilité due à la turbulence.

Couplage bidirectionnel feu-atmosphère pour la propagation des incendies de forêt : modélisation, incertitudes et sensibilités (Costes, Thèse de doctorat 2021)

➤ Focus ici sur l'hypothèse anélastique du modèle Mésos-NH

Conclusions

- ✓ Différence anélastique/compressible > variabilité atmosphérique pour écoulement induit et propagation
- ✓ Plus d'énergie aux petites échelles à 10m
- ✓ Ondes de gravité à fine résolution
- ✓ Propagation plus rapide (+25%)
- ✓ A 25m de résolution
 - Pas d'ondes de gravité mais accélération du vent
 - Propagation plus rapide (+13%)
- ✓ Coût x30 – x50 par rapport à l'anélastique (sans time-splitting)
 - Perspectives d'amélioration avec Burgot (2017)

Perspectives

- ❑ Poursuivre la comparaison sur un cas avec plus de mesures disponibles
- ❑ Aller vers des cas plus complexe (topographie, prise en compte de la traînée des arbres)



Merci pour votre
attention

Contact : aurelien.costes@cerfacs.fr

 CERFACS

CENTRE EUROPÉEN DE RECHERCHE ET DE FORMATION AVANCÉE EN CALCUL SCIENTIFIQUE

