



Avalanches et Changement Climatique : Modélisation nivo-météorologique

Diego Monteiro, Pascal Hagenmuller, Marie Dumont

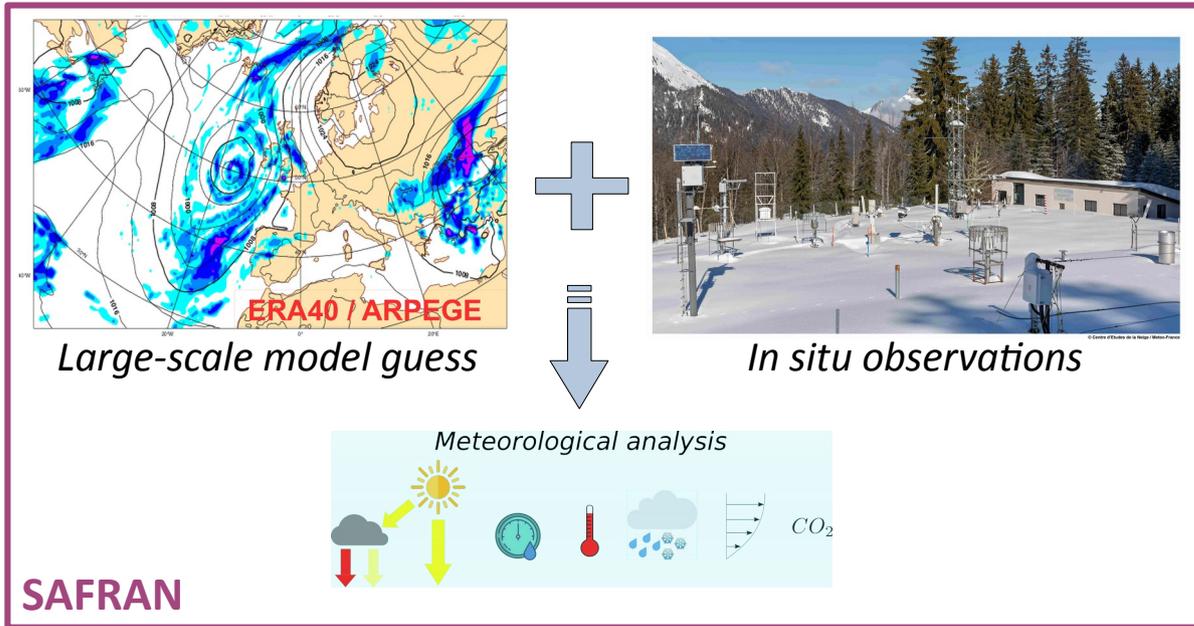
Séminaire Kick-off QUAAACC



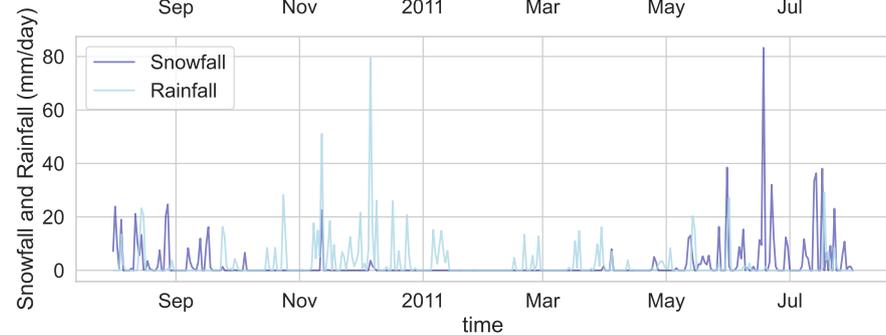
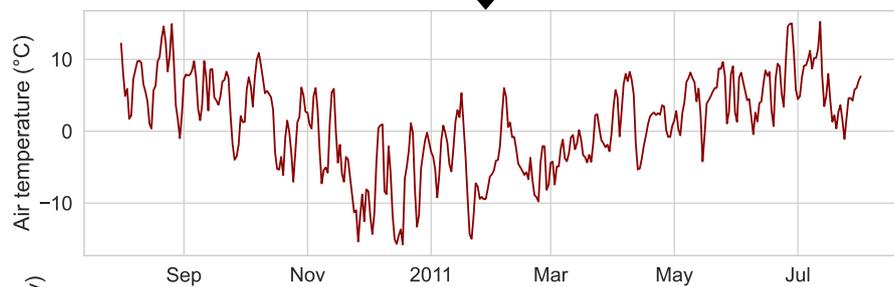
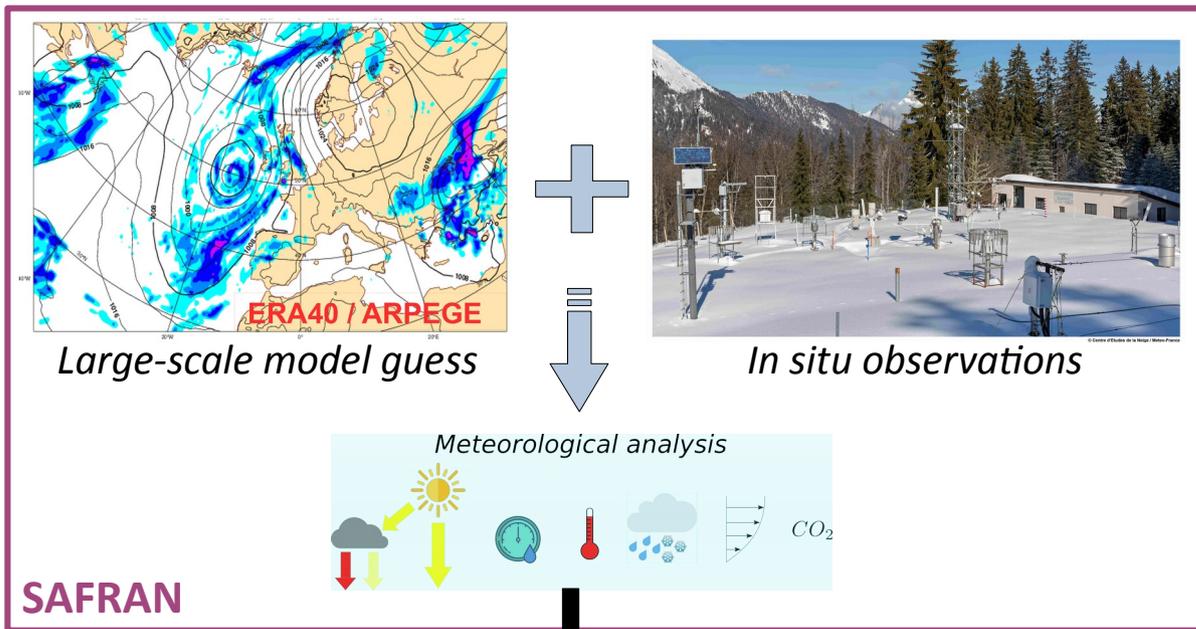
Cofinancé par
l'Union européenne



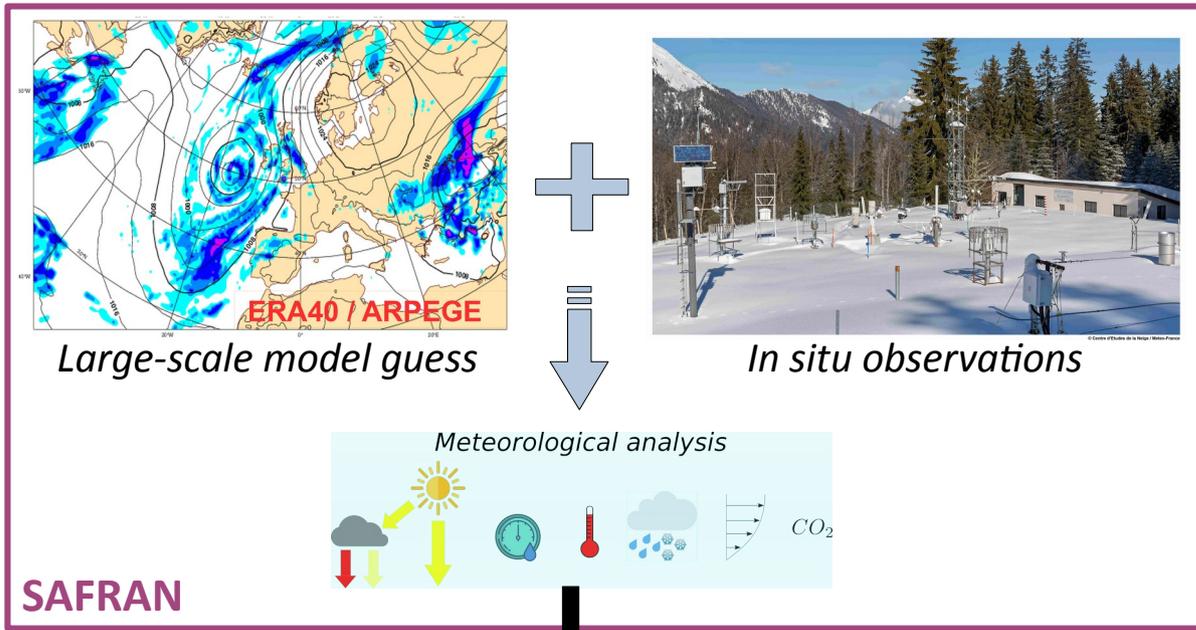
La réanalyse S2M



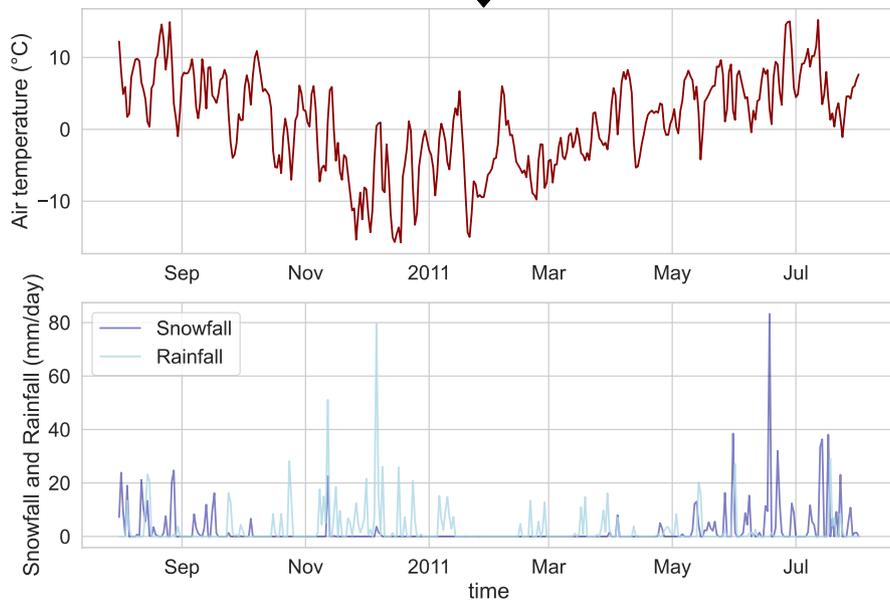
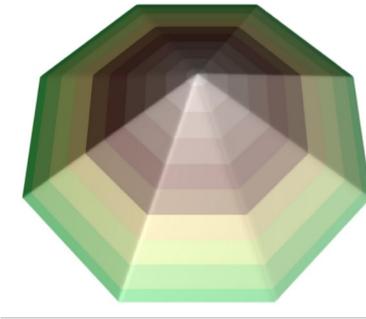
La réanalyse S2M



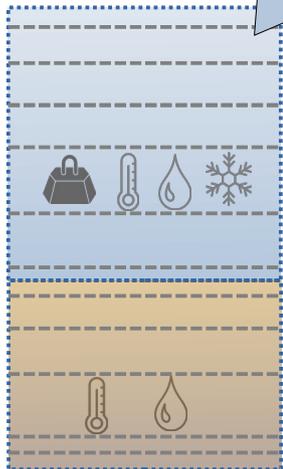
La réanalyse S2M



- **Modélisation à échelle du massif (e.g. Chartreuse)**
⇒ Conditions météorologiques de surface dépendent uniquement de l'altitude, l'orientation et la pente
- **Période passée 1958-2024**

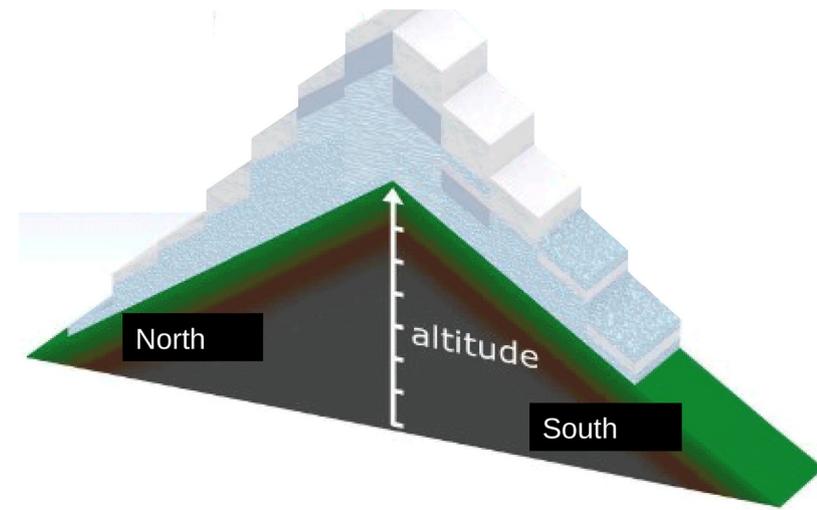
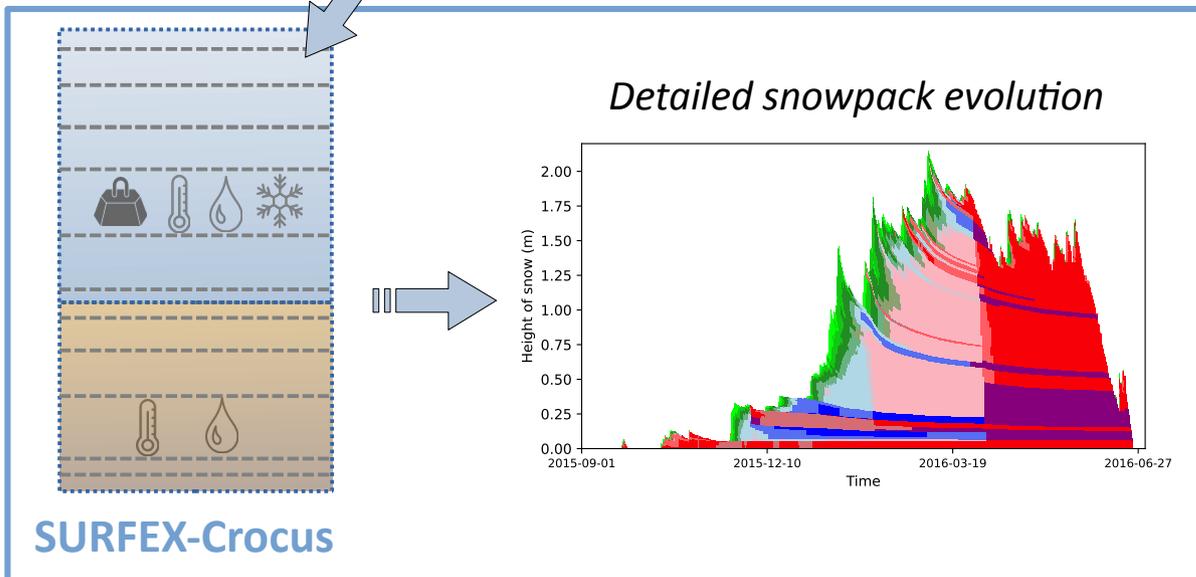


La réanalyse S2M



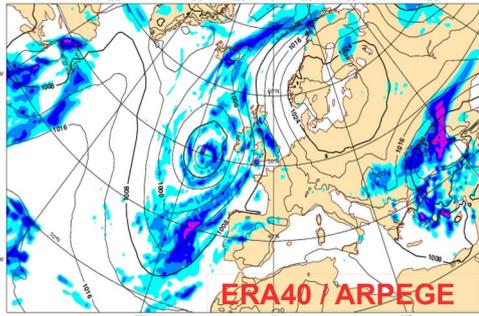
SURFEX-Crocus

La réanalyse S2M



La réanalyse S2M

S2M



Large-scale model guess

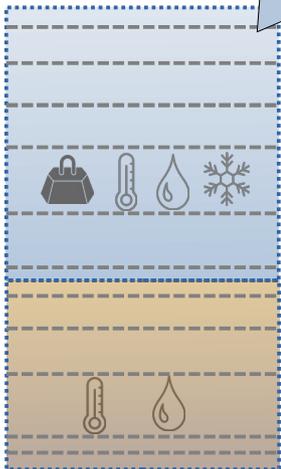


In situ observations

Meteorological analysis

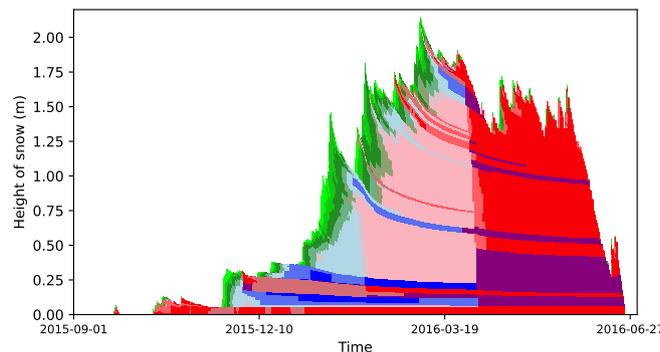


SAFRAN



SURFEX-Crocus

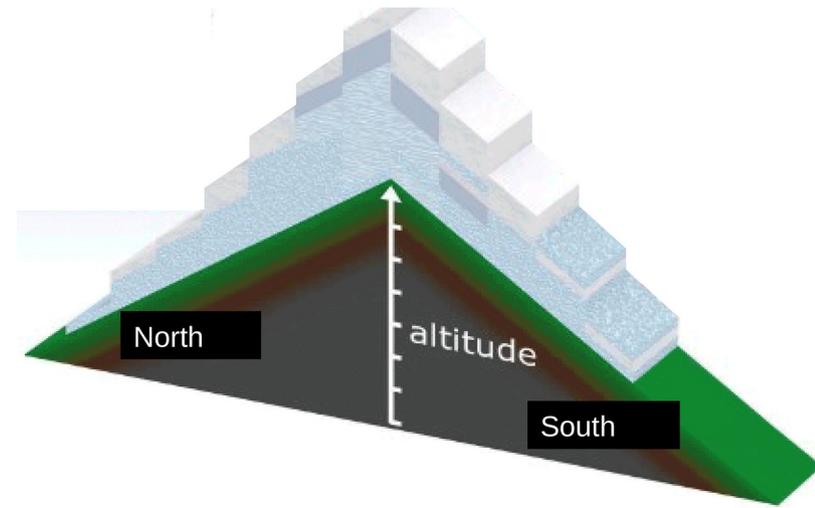
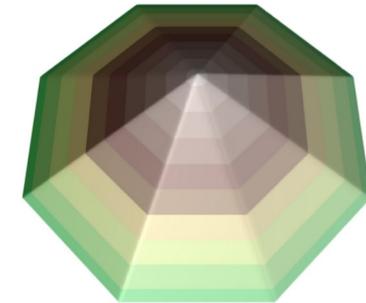
Detailed snowpack evolution



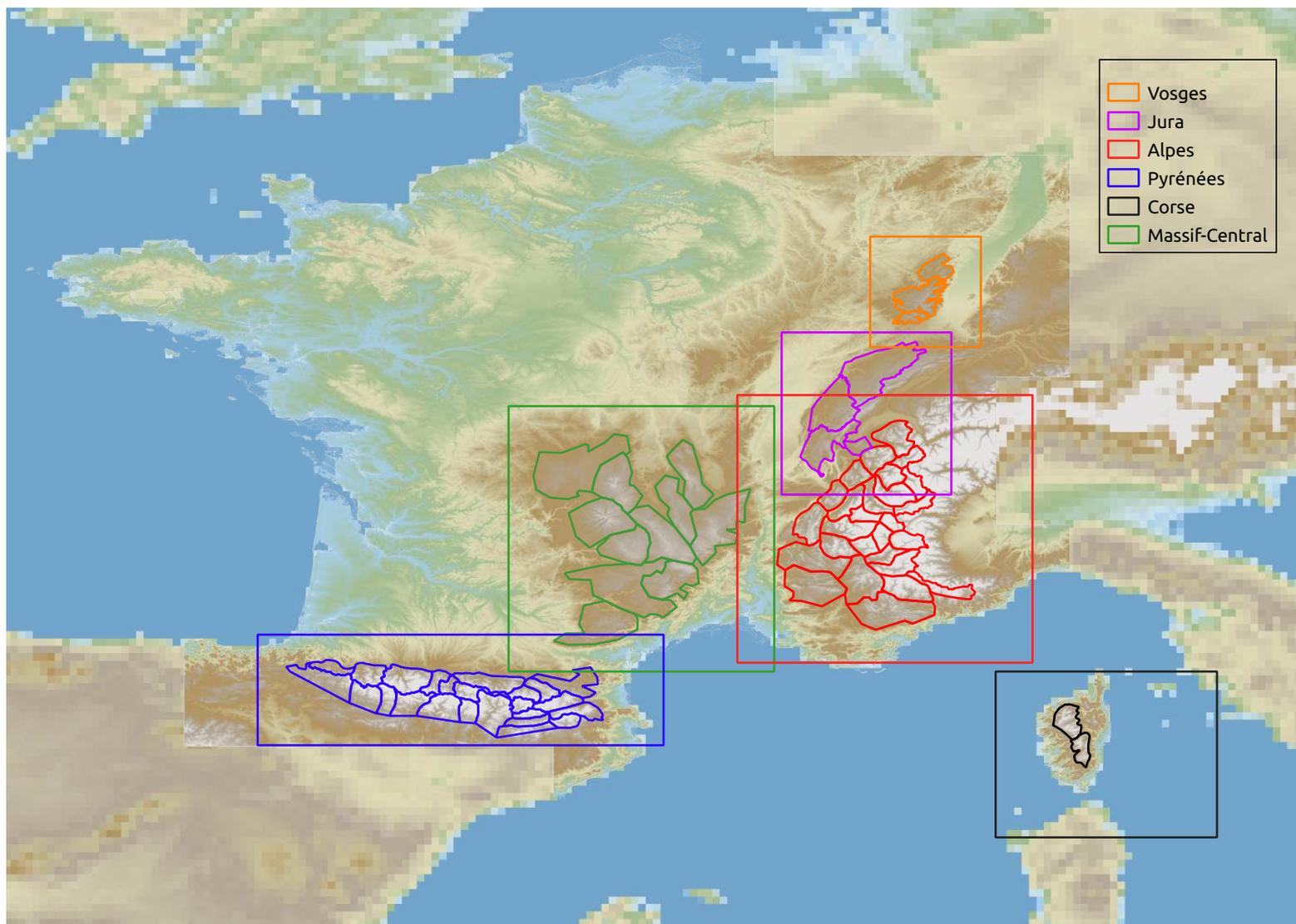
- **Modélisation à échelle du massif (e.g. Chartreuse)**

⇒ Conditions météorologiques de surface dépendent uniquement de l'altitude, l'orientation et la pente

- **Période passée 1958-2024**

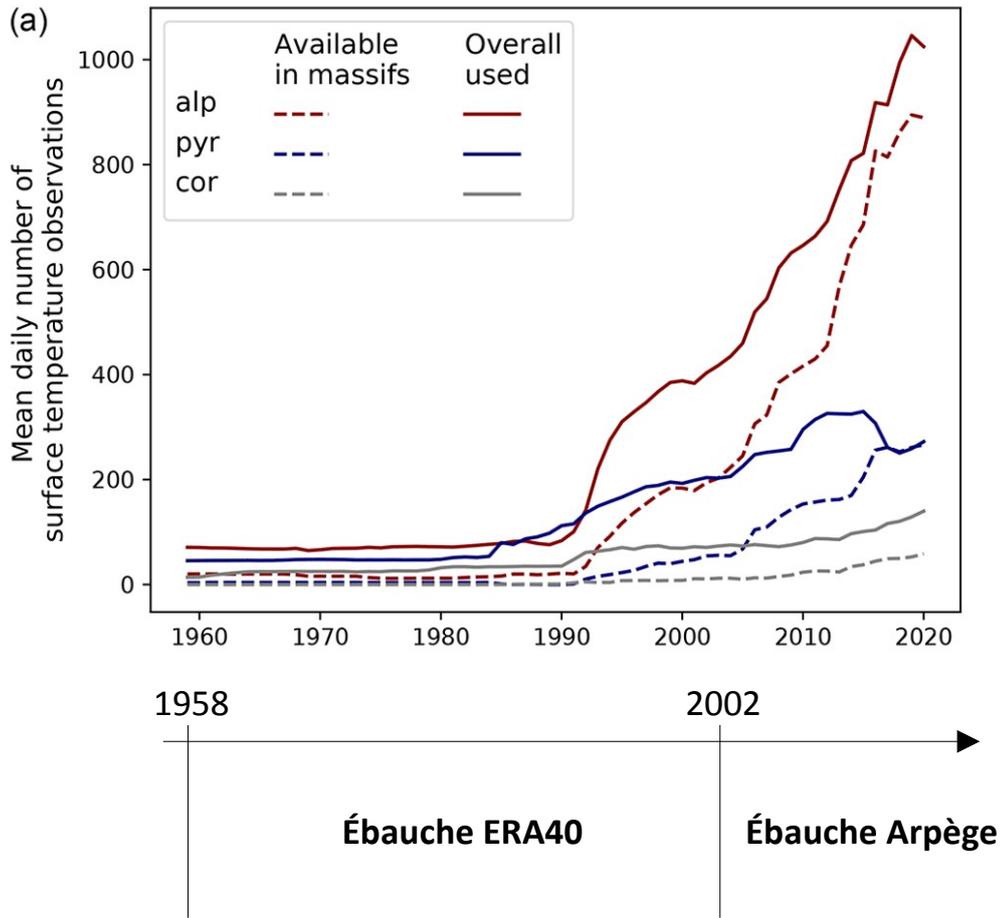


La réanalyse S2M



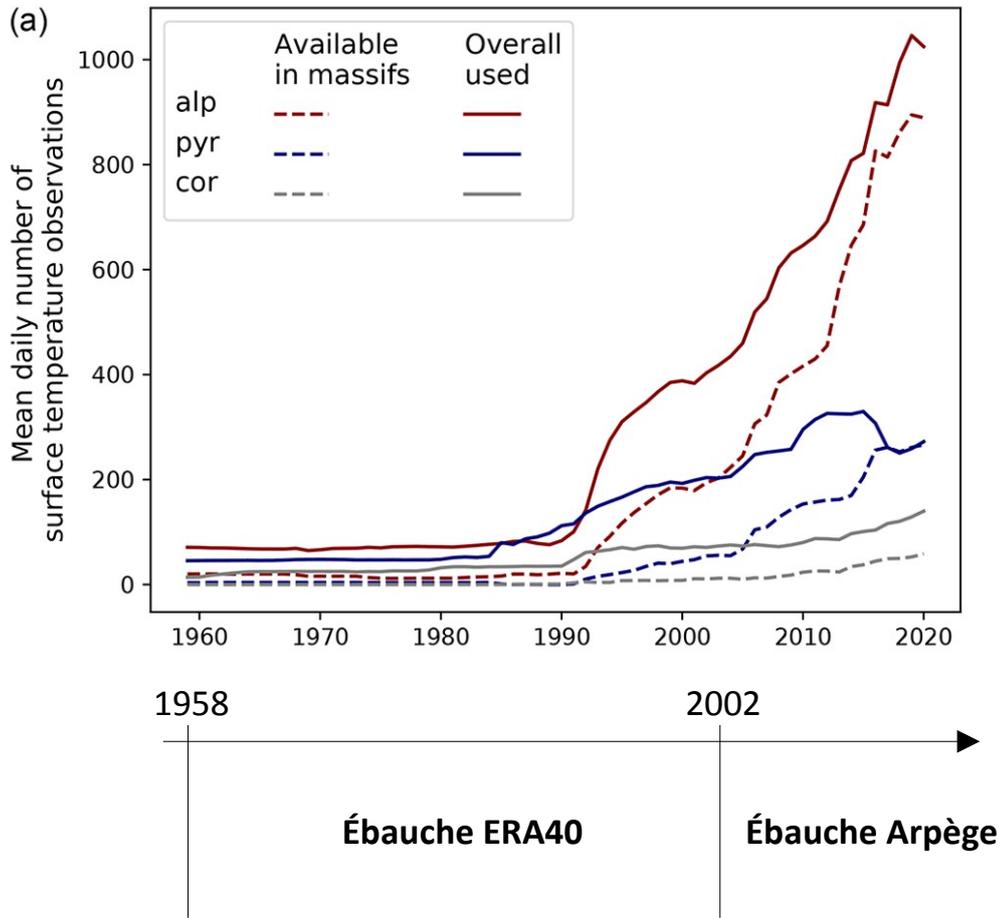
From Matthieu Vernay

La réanalyse S2M : ébauches et observations



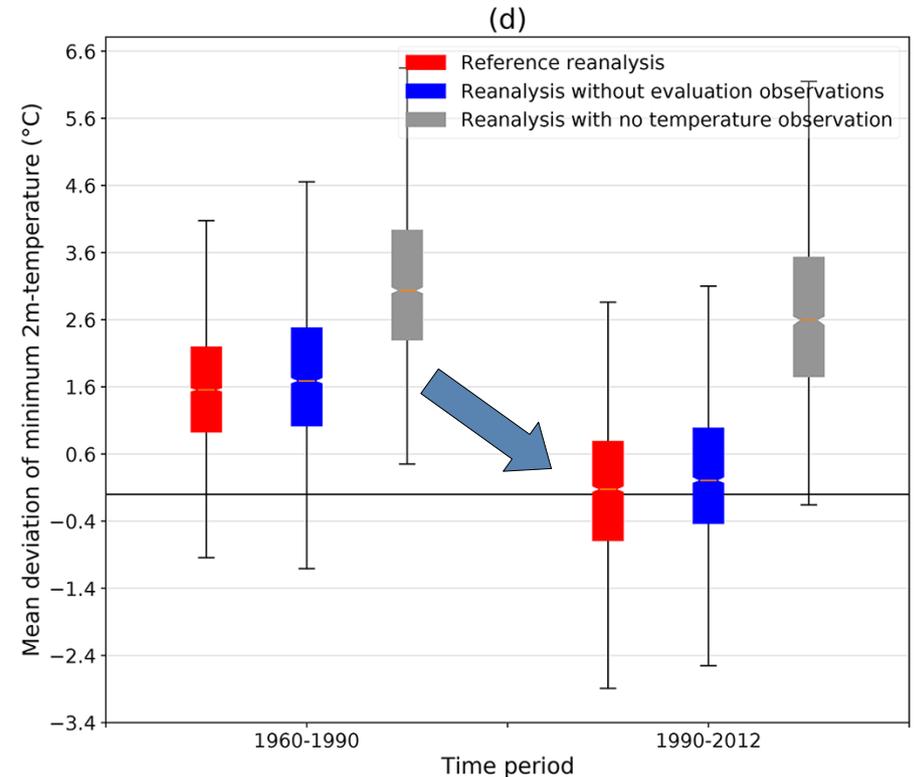
- Forte augmentation du nombre d'observations (notamment de température) assimilées à partir des années 1990
- Changement d'ébauche à partir de 2002

La réanalyse S2M : ébauches et observations



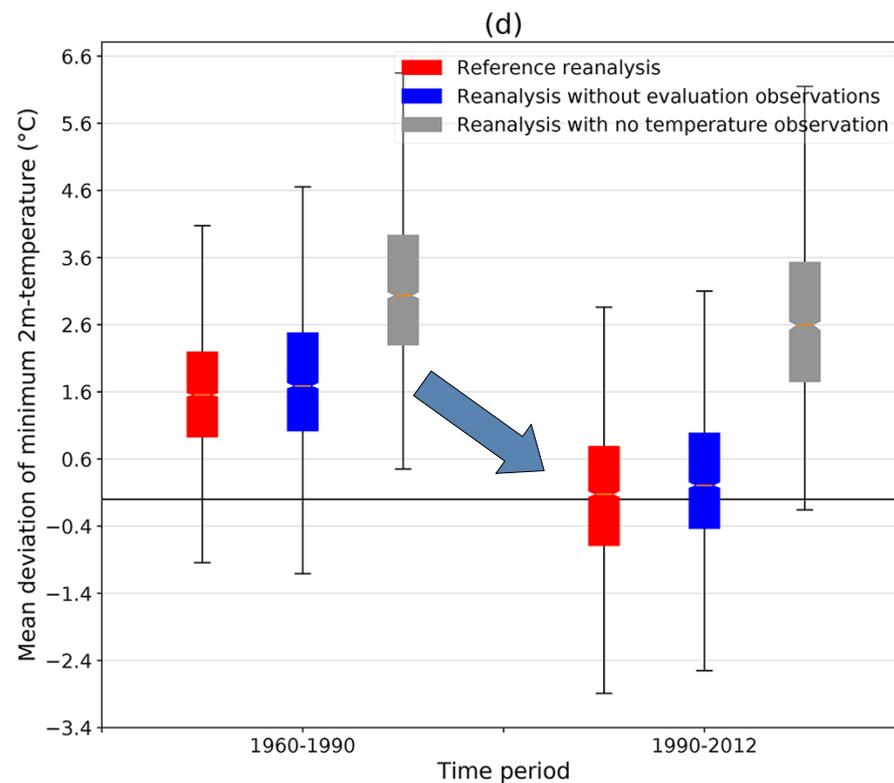
- Forte augmentation du nombre d'observations (notamment de température) assimilées à partir des années 1990
- Changement d'ébauche à partir de 2002

⇒ Variabilité temporelle des erreurs de la réanalyse S2M

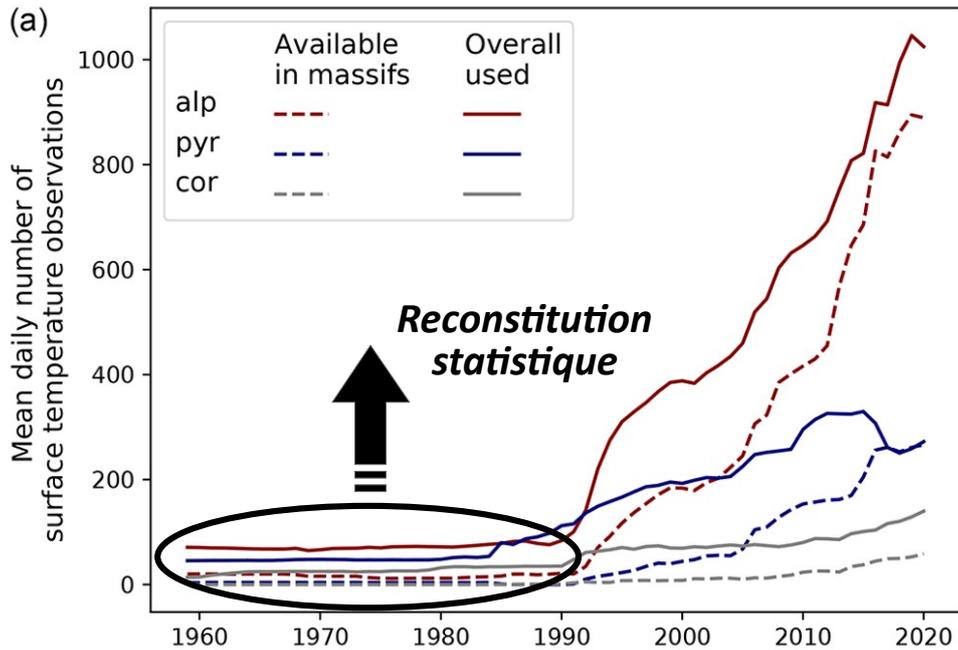


La réanalyse S2M : ébauches et observations

- Réduit le signal d'augmentation de la température lié au changement climatique
- L'évolution temporelle des erreurs sur l'enneigement est faible
⇒ Les tendances d'enneigement sont cohérentes avec la littérature



La réanalyse S2M : ébauches et observations



- Remplacer les deux ébauches par une unique tout au long de la période et de meilleure qualité : ERA5

⇒ Légère amélioration de l'enneigement, quelques améliorations sur les tendances mais des écarts persistent

- Reconstitution de séries temporelles d'observations passées pour augmenter le pool d'observations disponible sur la période 1950 - 1990

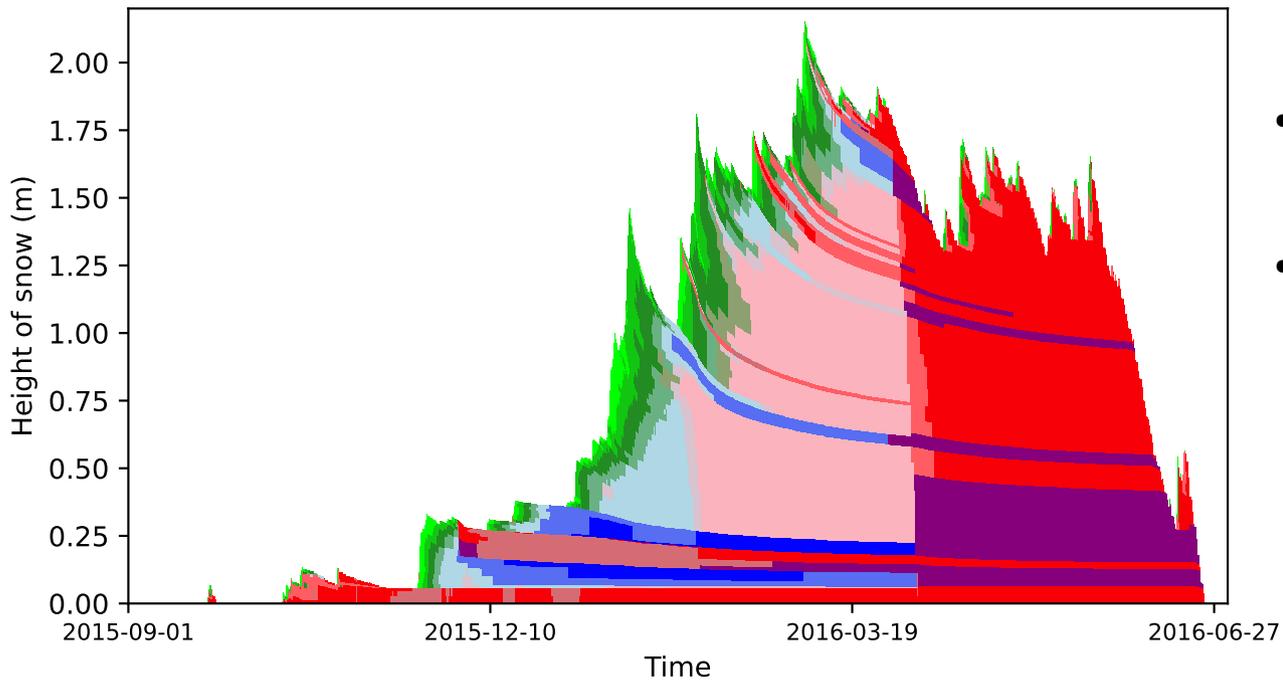
⇒ Stage de Léo Catteau (début mars 2025)

1950

Ébauche ERA5

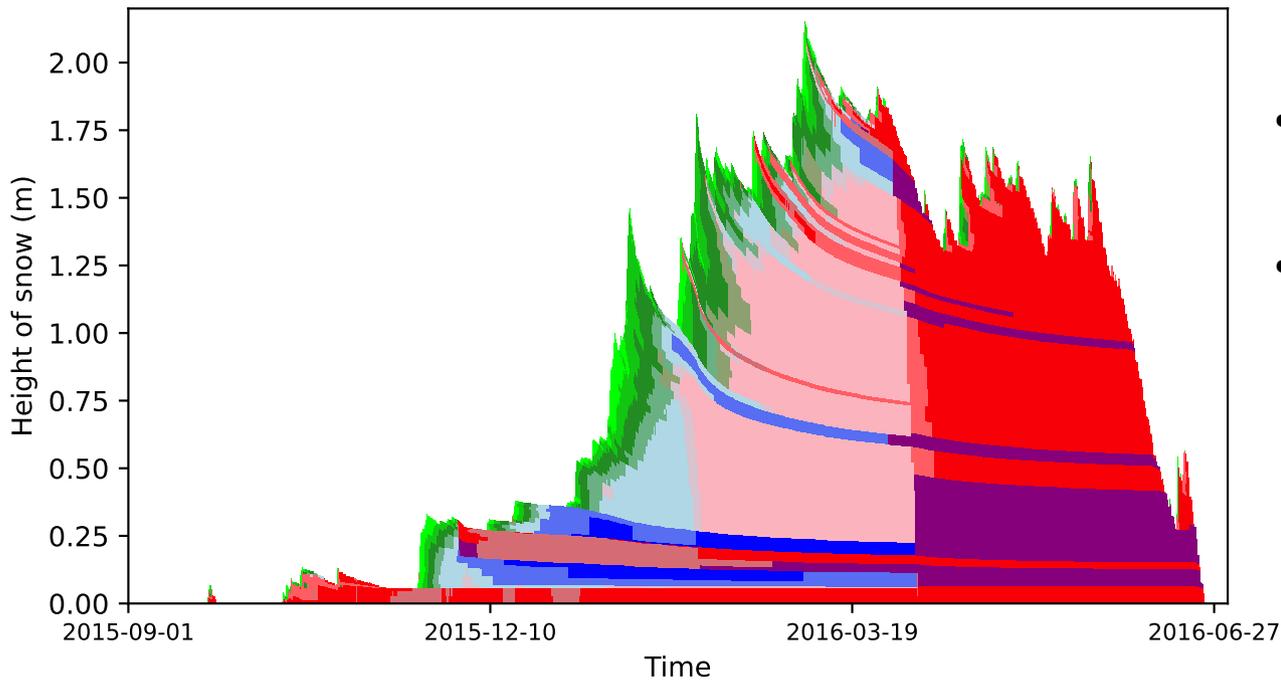
+ Extension à la moyenne-montagne

Estimer l'aléa avalancheux : approche physique



- Description des propriétés physiques de chacune des couches
- Suivi de leurs évolutions au cours de la saison

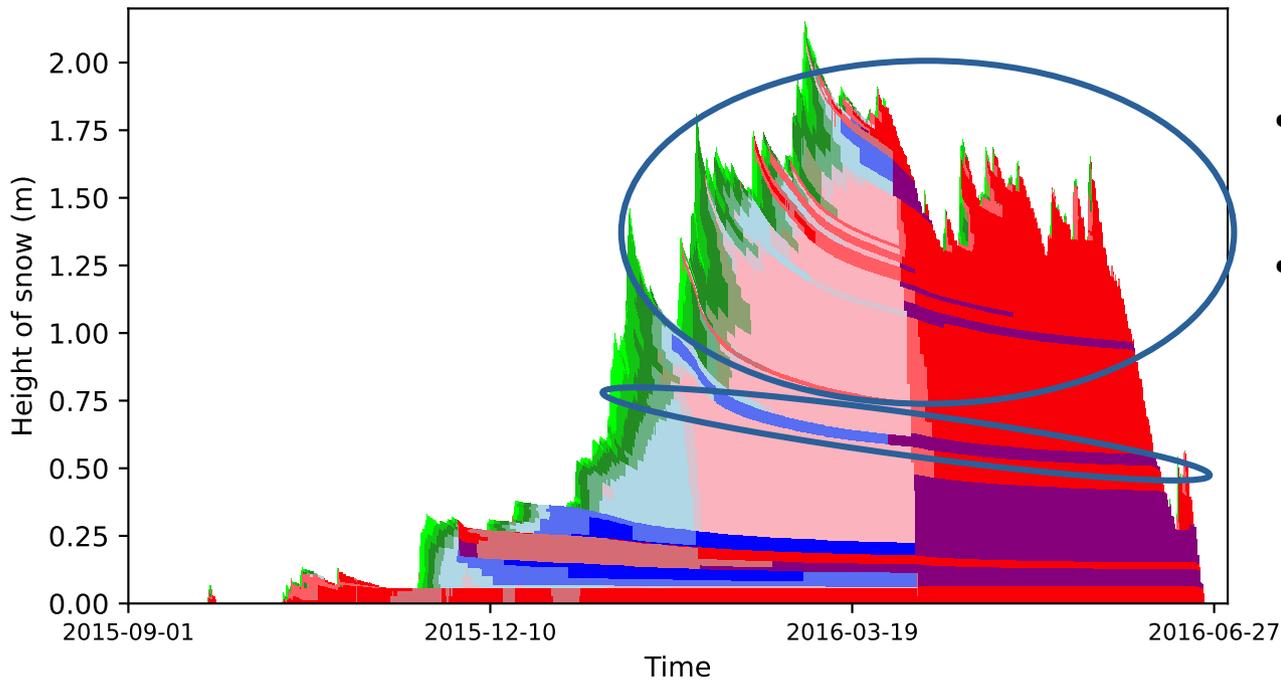
Estimer l'aléa avalancheux : approche physique



- Description des propriétés physiques de chacune des couches
- Suivi de leurs évolutions au cours de la saison

Quelle stabilité mécanique ?

Estimer l'aléa avalancheux : approche physique

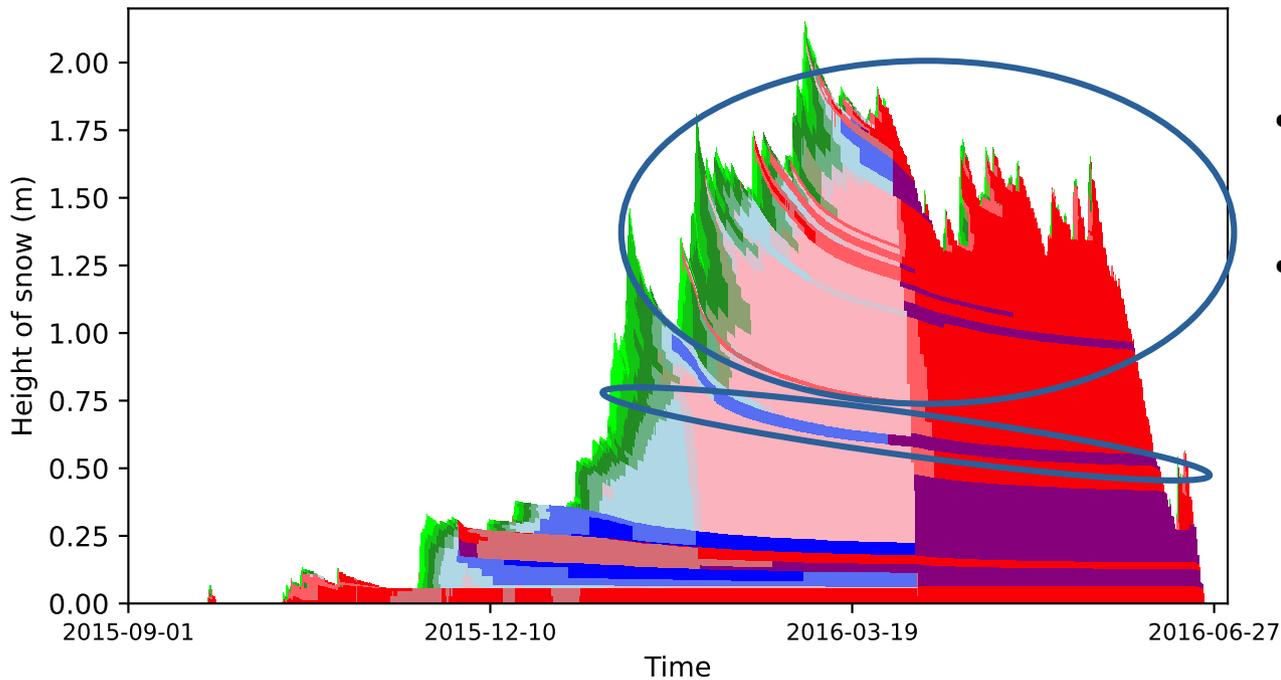


- Description des propriétés physiques de chacune des couches
- Suivi de leurs évolutions au cours de la saison

Quelle stabilité mécanique ?

$$S_n = \frac{Poids_{plaque}}{Résistance_{couche\ fragile}}$$

Estimer l'aléa avalancheux : approche physique



- Description des propriétés physiques de chacune des couches
- Suivi de leurs évolutions au cours de la saison

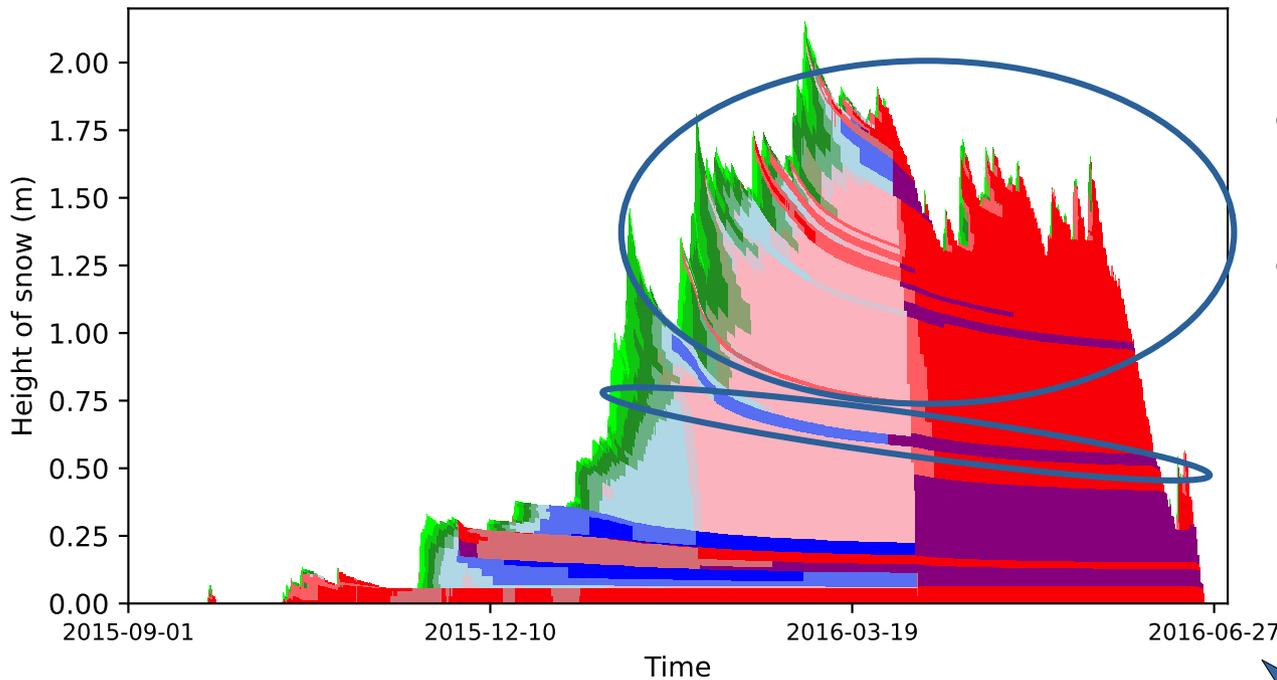
Quelle stabilité mécanique ?

$$S_n = \frac{Poids_{plaque}}{Résistance_{couche\ fragile}}$$

- Travail en cours sur d'autres indicateurs plus complexes (propagation d'avalanche)

⇒ Permet de résumer la grande quantité d'informations contenue dans les stratigraphies

Estimer l'aléa avalancheux : approche physique

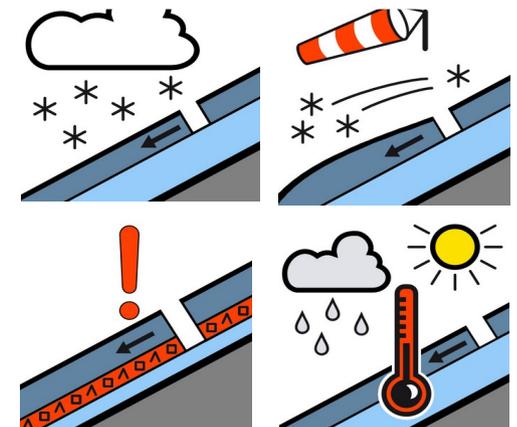


- Description des propriétés physiques de chacune des couches
- Suivi de leurs évolutions au cours de la saison

Quelle stabilité mécanique ?

$$S_n = \frac{\text{Poids}_{\text{plaque}}}{\text{Résistance}_{\text{couche fragile}}}$$

Algorithme de détermination des SAT's (Reuter et al., 2022)



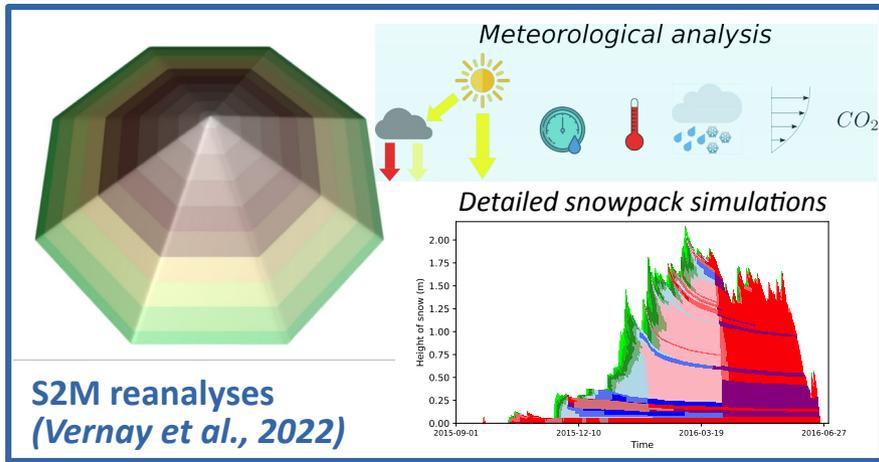
Avalanche problems, EAWS, (2019)

- Travail en cours sur d'autres indicateurs plus complexes (propagation d'avalanche)

⇒ Permet de résumer la grande quantité d'informations contenue dans les stratigraphies

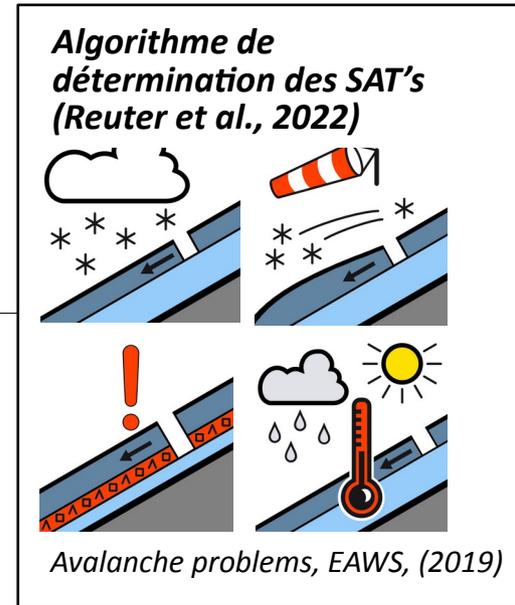
Estimer l'aléa avalancheux : approche physique

Estimer l'évolution climatique passée et futur de l'aléa avalancheux dans les montagnes françaises



Past/Present

Future projections

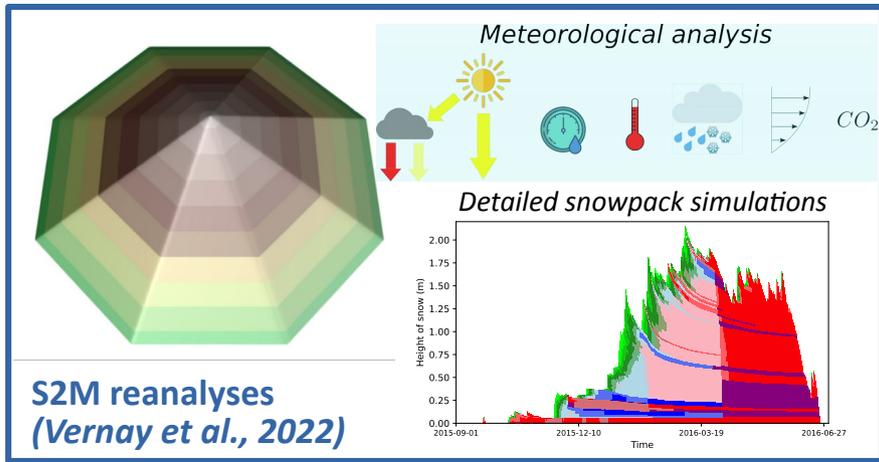


Reuter et al., (2025)

Evolution ?

Estimer l'aléa avalancheux : approche physique

Estimer l'évolution climatique passée et futur de l'aléa avalancheux dans les montagnes françaises



Past/Present

Future projections

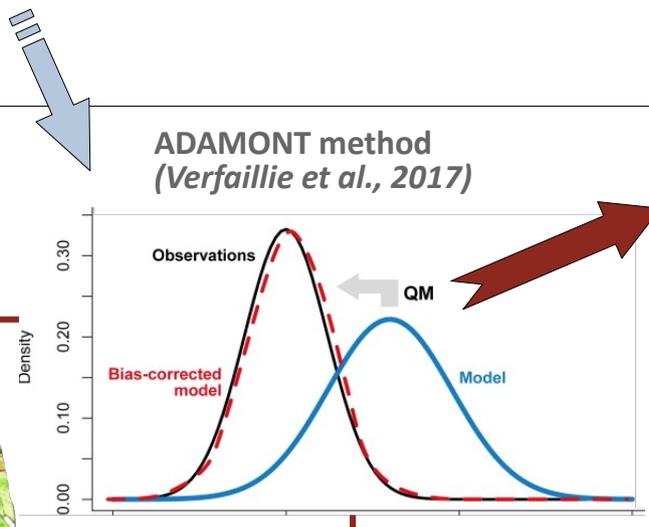
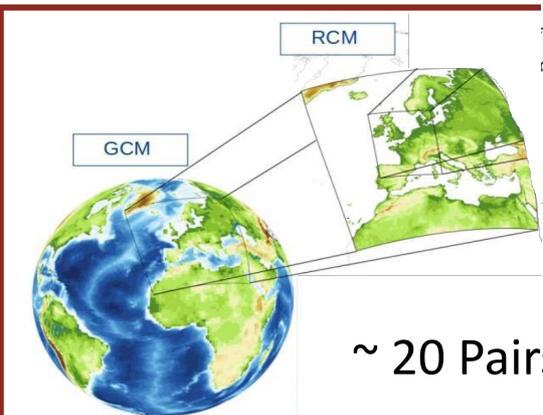
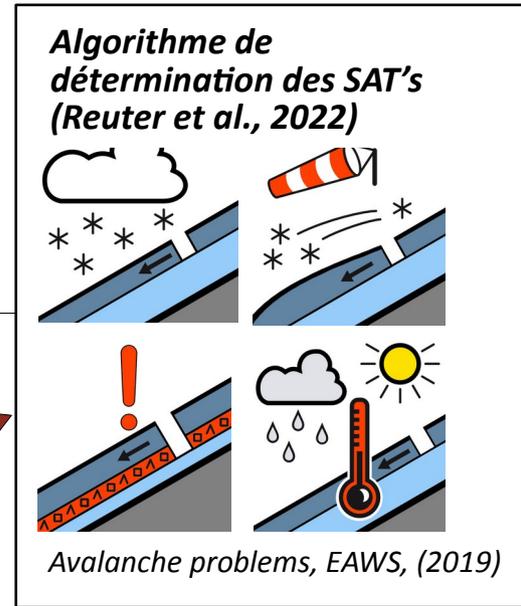


Figure from Feigenwinter et al, (2018)



Reuter et al., (2025)

Evolution ?

To be done