



Cofinancé par
l'Union européenne

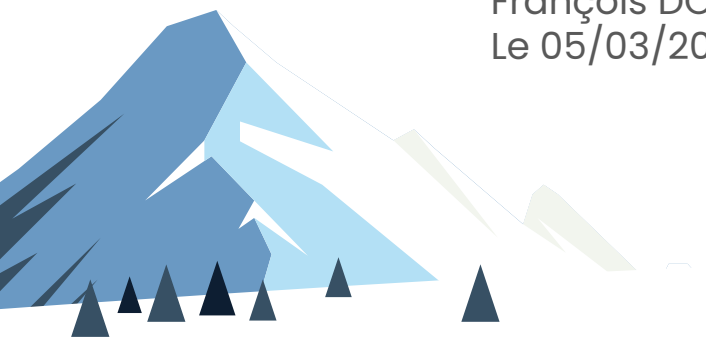
RÉGION
SUD
PROVENCE
ALPES
CÔTE D'AZUR



Climatologie de l'aléa avalancheux dans les Alpes

Application en Haute-Maurienne et dans le Queyras

François DOUSSOT
Le 05/03/2026

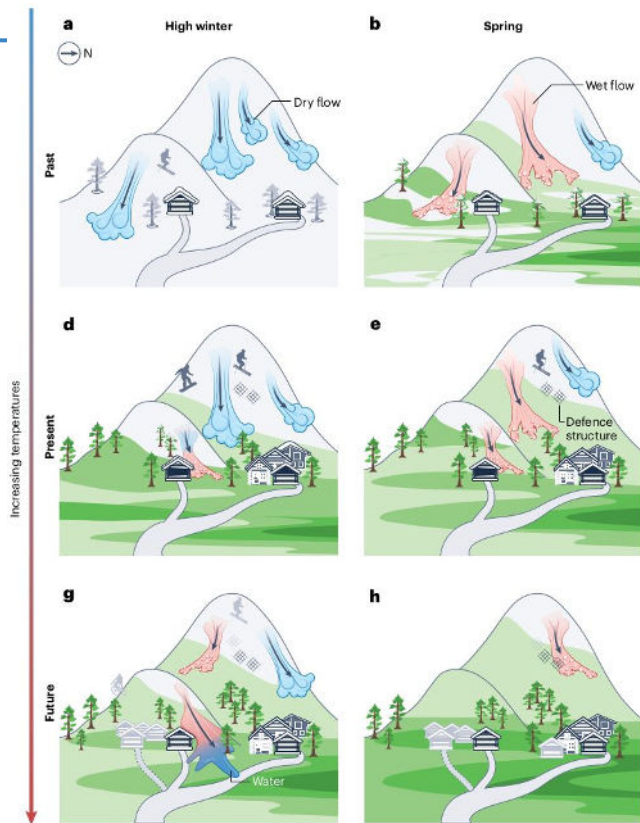


Quelle évolution pour l'activité avalancheuse ?

- Observations du passé :
 - Observations directes insuffisantes (recul temporel, hétérogénéités, ...)
 - Diminution de l'activité dans les Alpes française⁽¹⁾ depuis les années 80
- Projections climatiques (jusqu'en 2100) :
 - Relations complexes entre des projections climatiques (météo) et avalanches
 - Diminution attendue de l'activité avalancheuse ⁽²⁾⁽³⁾

→ Manque de données quantitatives

- (1) Eckert et al., 2013
 (2) Castebrunet et al., 2014
 (3) Mayer et al., 2024



Eckert et. al, 2024

Projet QUAAACC

Qualification de l'**Aléa** **Avalancheux** dans les **Alpes** en **Climat** **Changeant**

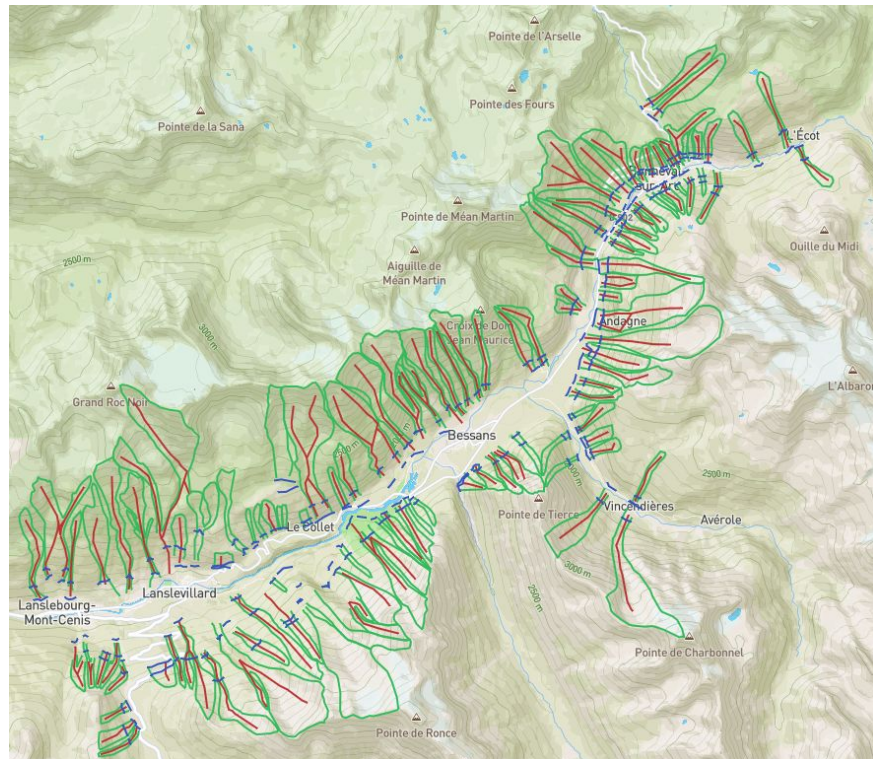
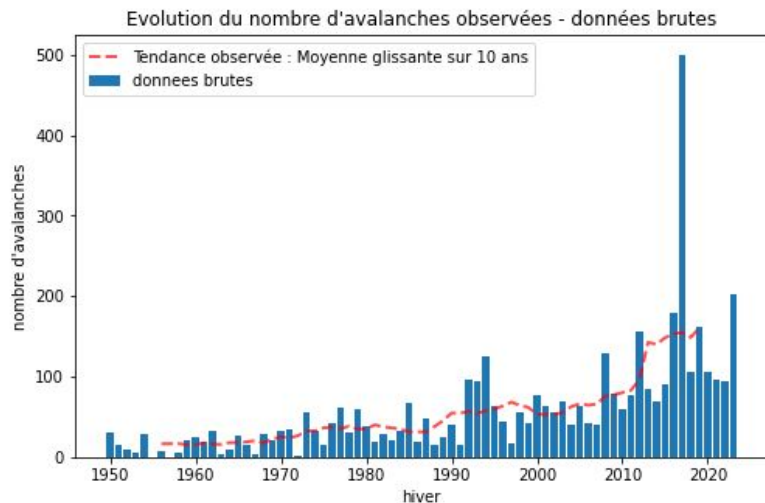
- Echelle temporelle :
 - 1950-2100
- Territoires cibles :
 - Haute-Maurienne
 - Queyras
 - Briançonnais
- Avalanches en terrain contrôlé



1- L'exemple de la Haute-Maurienne :

Enquête Permanente sur les Avalanches :

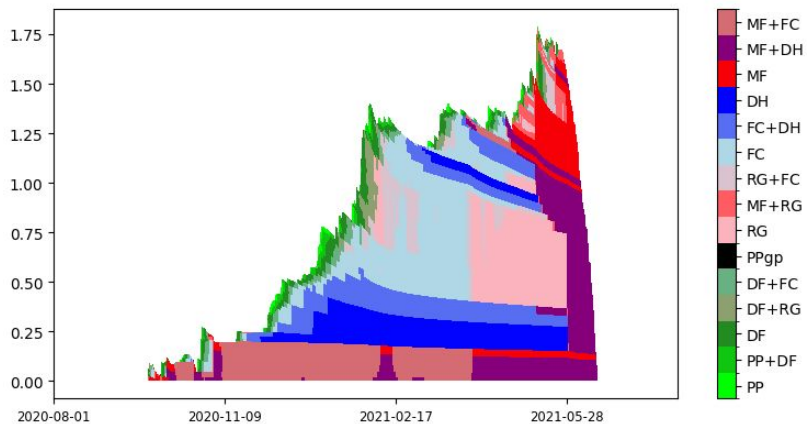
- Grand nombre de couloirs et d'avalanches
- Biais dans la tendance climatique



Méthodologie

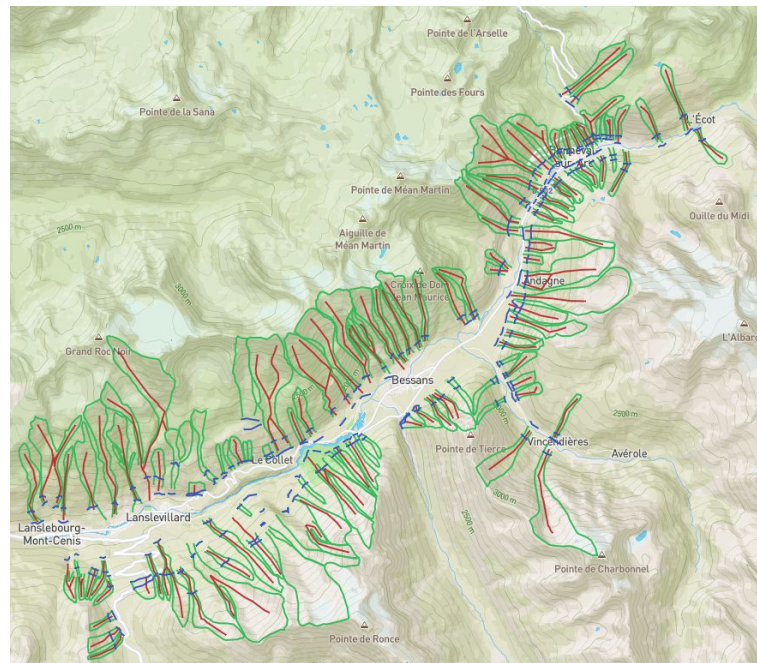
Simulation du manteau neigeux

- Réanalyse⁽¹⁾: 1958 à aujourd'hui
- Projections climatiques⁽²⁾: 1950-2100



- (1) S2M reanalysis: Vernay et al. (2022)
- (2) ADAMONT: Verfaillie et al. (2017)

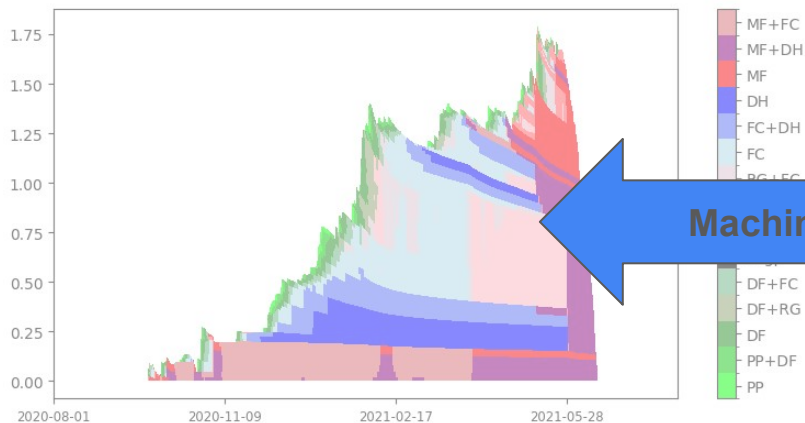
EPA



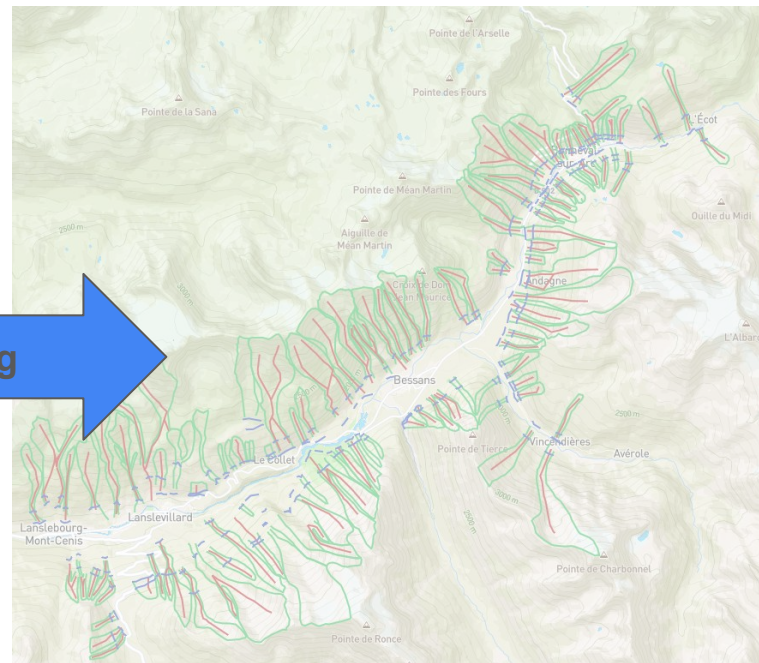
Méthodologie

Simulation du manteau neigeux

- Reanalyse⁽¹⁾: 1958 à aujourd'hui
- Projections climatiques⁽²⁾: 1950-2100

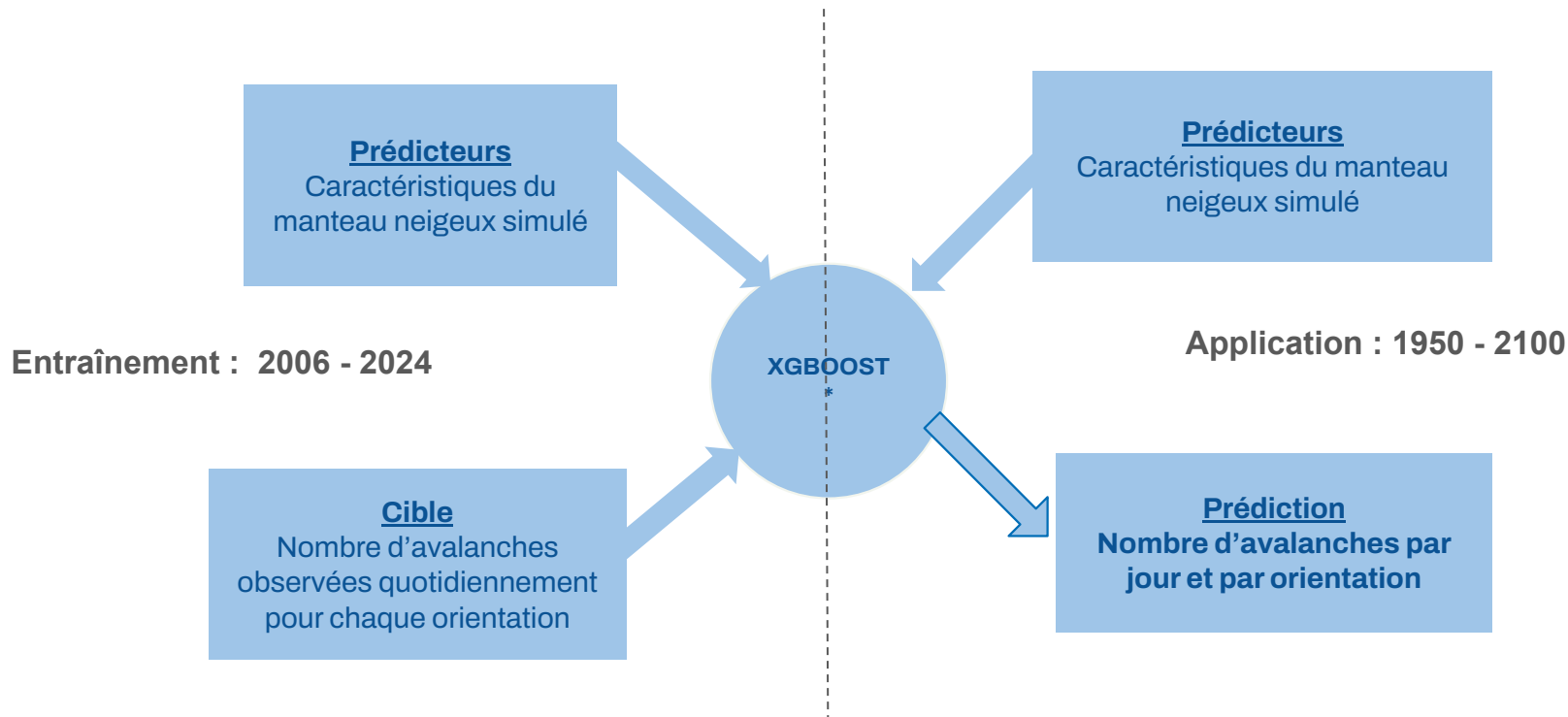


EPA



- (1) S2M reanalysis: Vernay et al. (2022)
- (2) ADAMONT: Verfaillie et al. (2017)

Modèle de machine learning

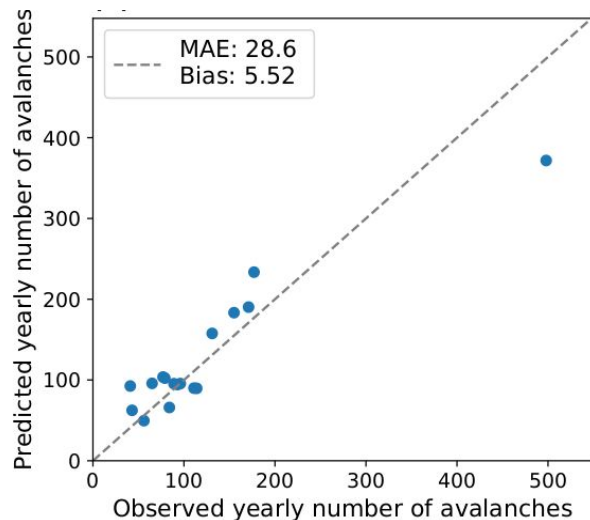
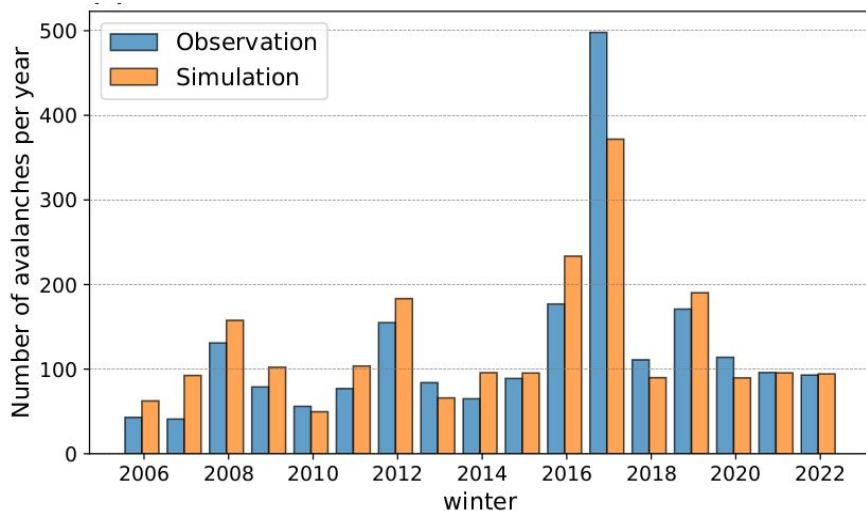


* Chen and Guestrin (2016)

Evaluation du modèle

“Leave-one-year out” : entraînement sur 16 hivers, évaluation sur 1 hiver

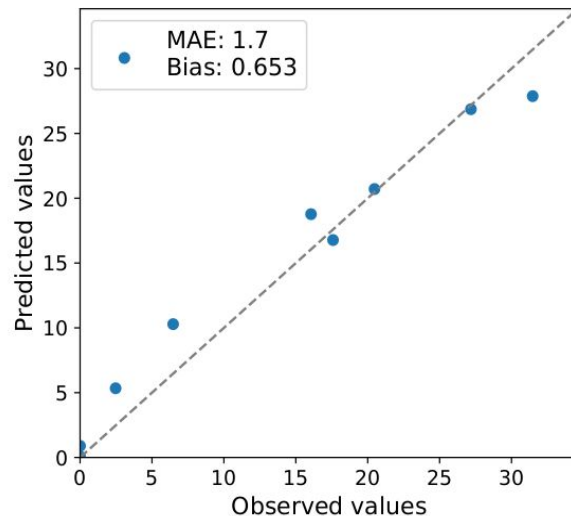
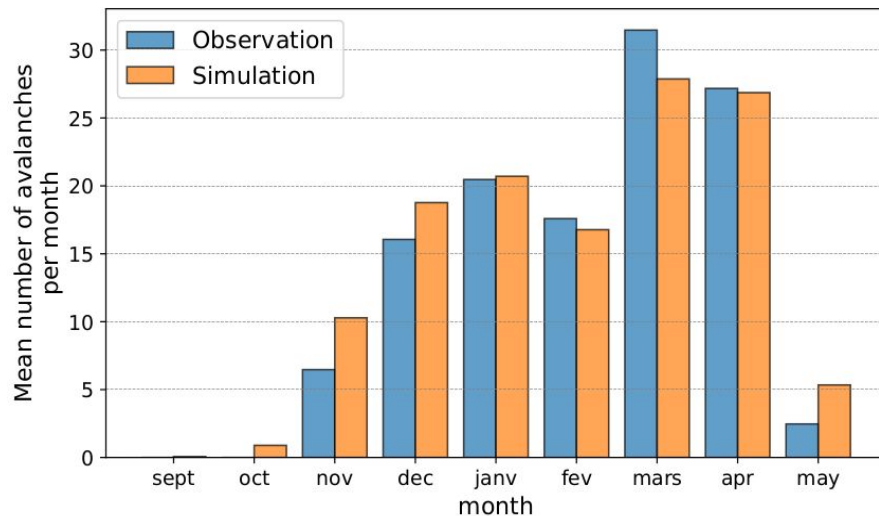
✓ Nombre d’avalanches par an



Evaluation du modèle

“Leave-one-year out” : entraînement sur 16 hivers, évaluation sur 1 hiver

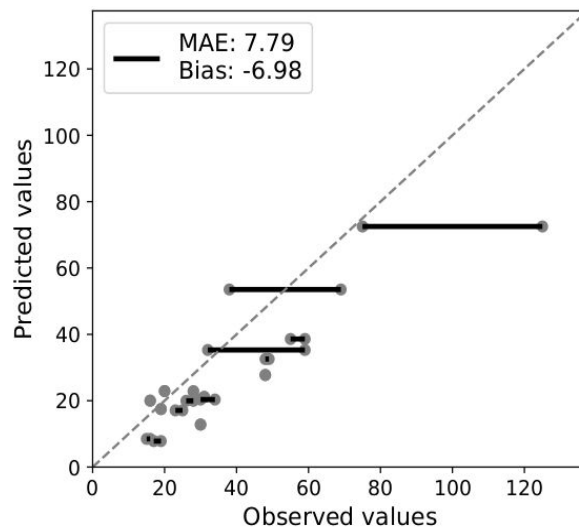
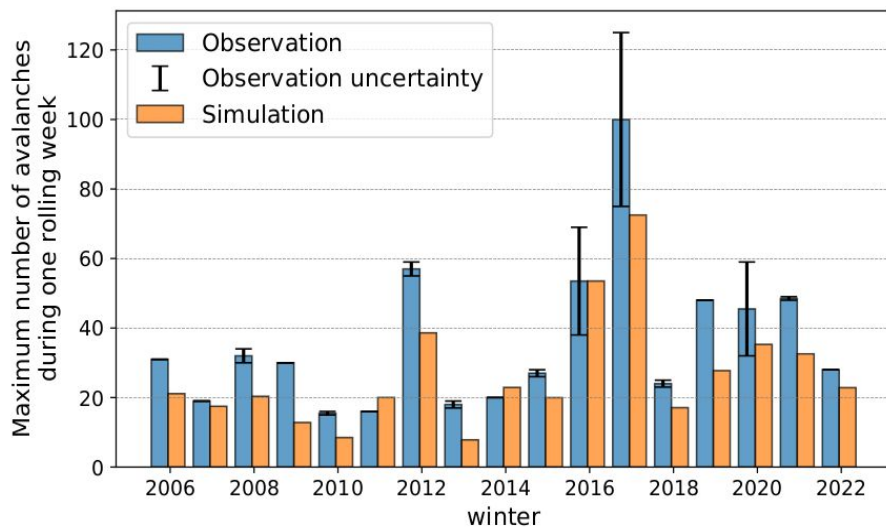
- ✓ Nombre d’avalanches par an
- ✓ Saisonnalité



Evaluation du modèle

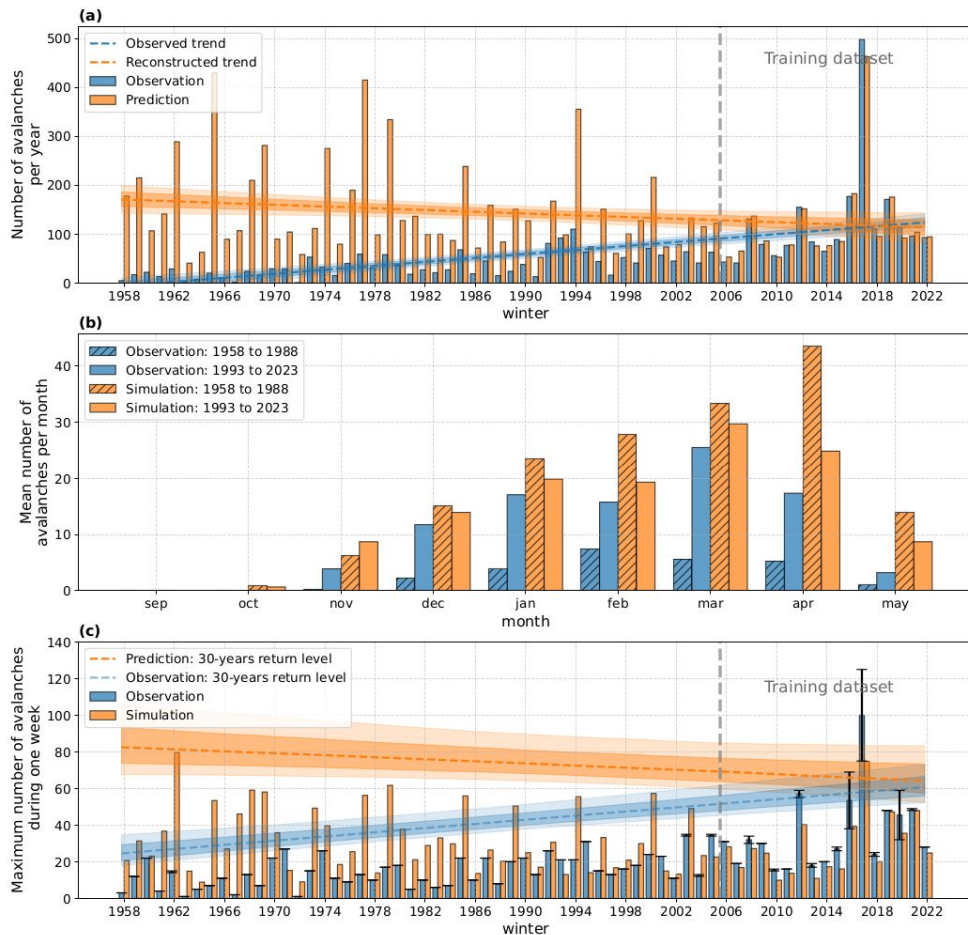
“Leave-one-year out” : entraînement sur 16 hivers, évaluation sur 1 hiver

- ✓ Nombre d’avalanches par an
- ✓ Saisonnalité
- ✓ Semaine la plus active de la saison



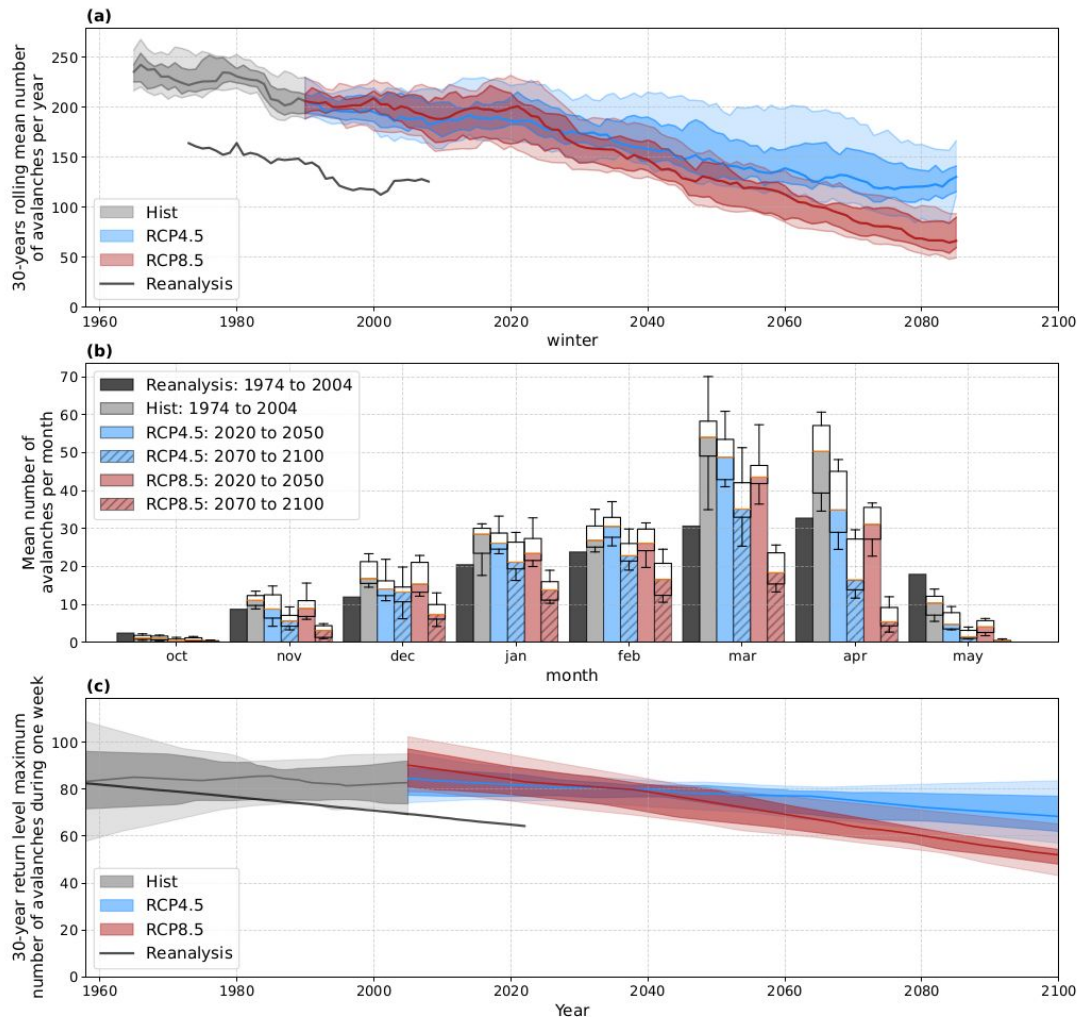
Application à la réanalyse

- Nombre d'avalanches par an : -6% par décade
- Diminution de l'activité avalancheuse au printemps
- La semaine la plus active (niveau de retour 30 ans) : -3.5% par décade



Application aux projections climatiques

- Nombre d'avalanches par an :
-4.6% (-8.8%) par décade
→ -37% (-65%) d'ici 2100
- Diminution / disparition de l'activité avalancheuse au printemps
Impact plus faible sur l'activité en hiver
- La semaine la plus active (niveau de retour 30 ans) :
-1.8% (-4.6%) par décade



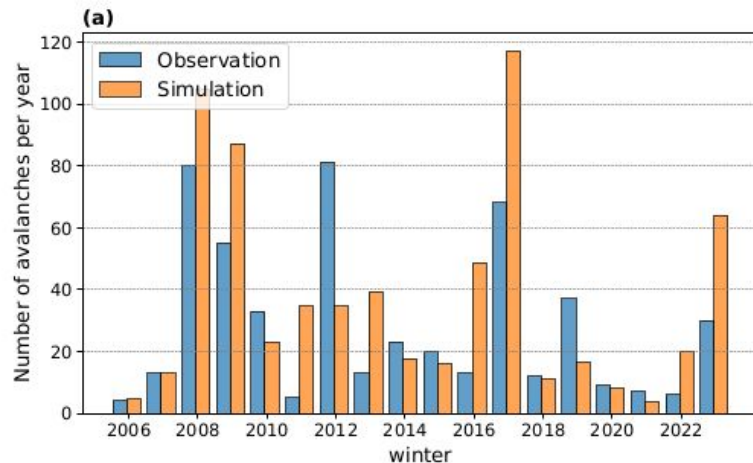
2- Même approche dans le Queyras ?

Comparaison à la Haute-Maurienne :

- Moins d'avalanches (Queyras : 30 / an, Hte-Maurienne : 135 / an)
- Altitude et nombre de couloirs similaires

Évaluation du modèle :

- Modèle peu prédictif



2- Même approche dans le Queyras ?

Comparaison à la Haute-Maurienne :

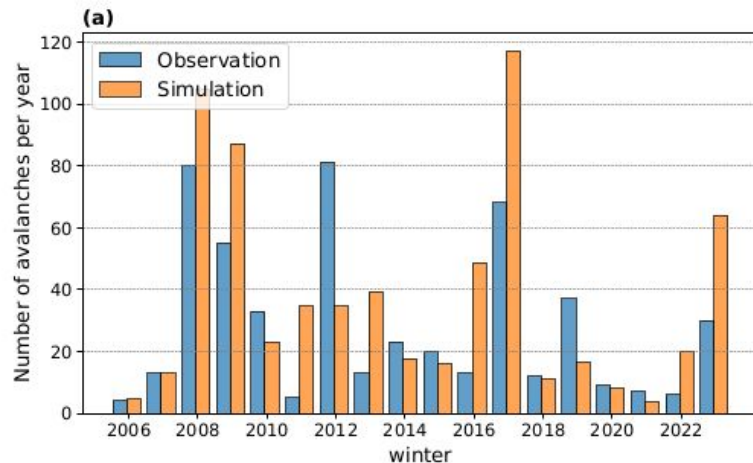
- Moins d'avalanches (Queyras : 30 / an, Hte-Maurienne : 135 / an)
- Altitude et nombre de couloirs similaires

Évaluation du modèle :

- Modèle peu prédictif

Manque d'avalanches dans l'entraînement ?

- Modèle unique dans toutes les Alpes



Généralisation : un modèle unique pour toute les Alpes

Pour chaque {jour, massif, orientation}, sorties S2M → nombre d'avalanches EPA

Prédicteurs à 2 altitudes, variables selon les massifs (haut des couloirs et seuils EPA)

- Données propres aux **caractéristiques géographiques / topologiques** :
 - Identification du massif
 - Nombre d'avalanches moyen par an (2006-2024)
 - Nombre de couloirs EPA
- Nombreuses données nivologiques et météorologiques comme prédicteurs



Evaluation de la nouvelle approche

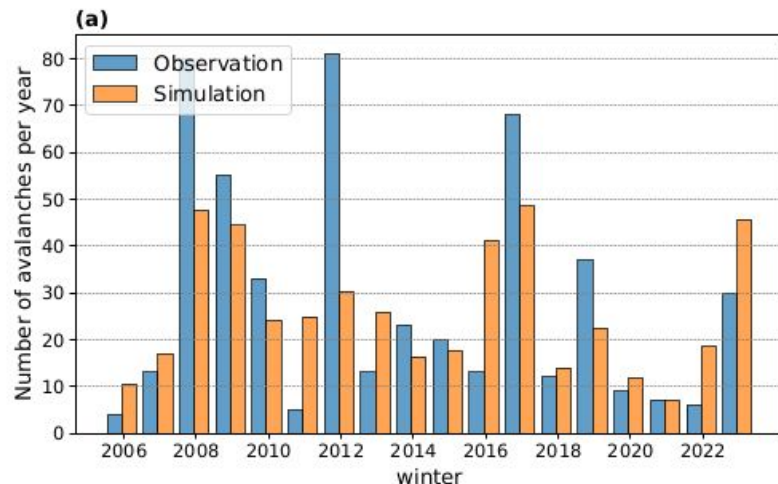
Entraîné sur tous les massifs des les Alpes, appliqué au Queyras :

Evaluation du modèle :

→ toujours peu satisfaisante

Nombre d'avalanches trop faible pour cette méthode statistique ?

→ Application à plus grande échelle

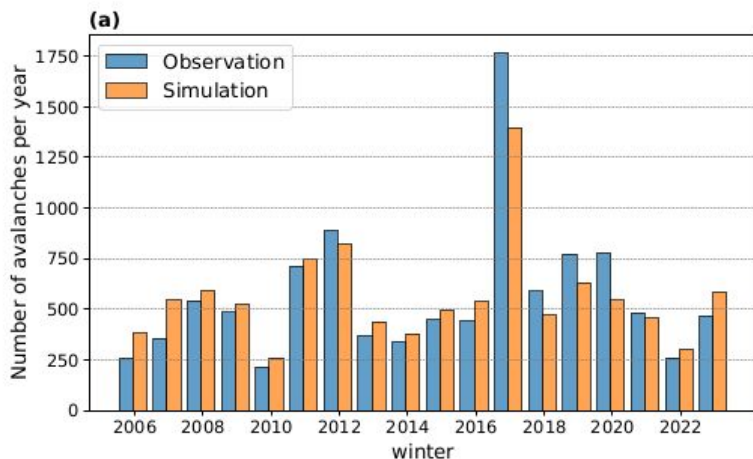


A l'échelle des Alpes du Nord / Sud

Prédictions concaténées à l'échelle Alpes du Nord et Sud

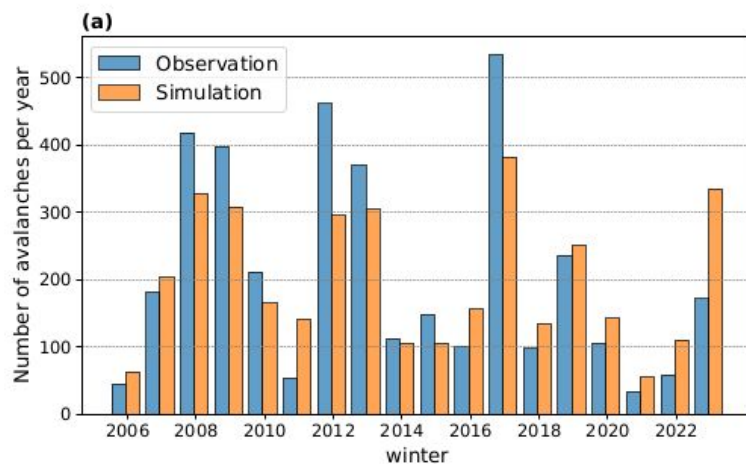
Alpes du Nord :

→ très satisfaisant



Alpes du Sud :

→ assez satisfaisant



Perspectives

- Etude de la climatologie à cette échelle :
 - ◆ Réanalyse “débiaisée” (Diego)
- Interprétabilité des résultats :
 - ◆ Relier les prédictions à des SATs
 - ◆ Evolution climatique des SATs
- Prédiction du niveau de risque du BERA



Merci de votre attention



Cofinancé par
l'Union européenne

**RÉGION
SUD**
PROVENCE
ALPES
CÔTE D'AZUR

