

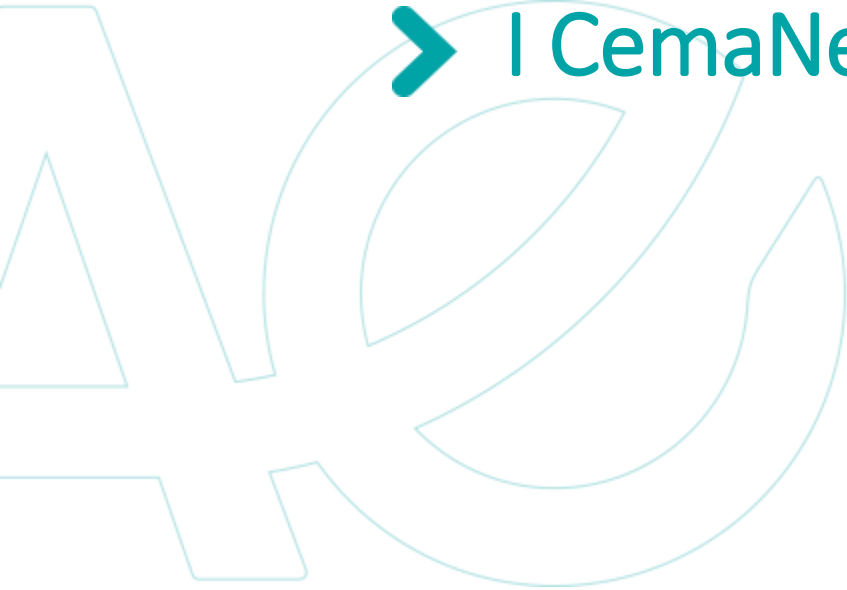


## ➤ Modélisation et prévision en montagne avec les modèles GR et CemaNeige

Contributeurs-rices : Guillaume Thirel, François Tilmant, Julie Viatgé, Philippe Riboust, Gaia Piazzì, Charles Perrin (INRAE Antony, UR HYCAR)

**INRAE**

➤ **I CemaNeige : genèse et principes**

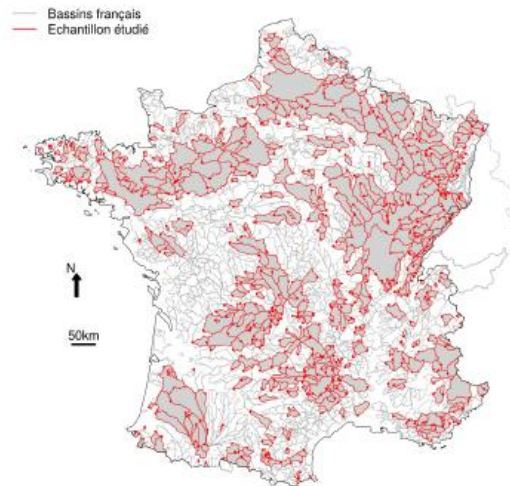


# ➤ Genèse de CemaNeige

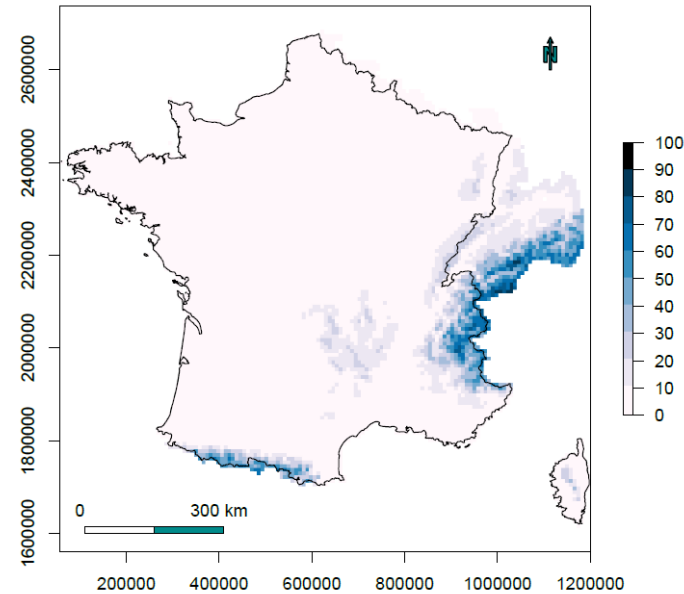
Thèse d'Audrey Valéry (2006-2010)

Modèles conceptuels GR développés à Irstea Antony depuis les années 90 :

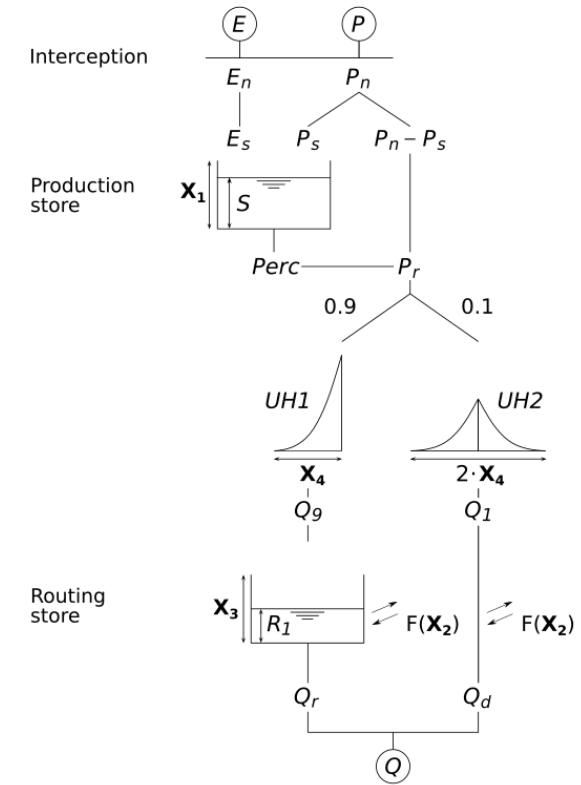
- modèles pluie-débit globaux à réservoir
- appliqués sur de nombreux bassins versants



Exemple d'application de GR  
(Poncelet, 2016)



Pourcentage de précipitation solide  
(Thirel, 202X?)



GR4J (Perrin et al., 2003)

➤ **Nécessité de disposer d'un modèle d'accumulation et de fonte de la neige**



INRAE

CemaNeige

22/01/2020, G. Thirel, Journées prévisions en montagne

## ➤ Genèse de CemaNeige

Thèse d'Audrey Valéry (2006-2010)

Dans la même philosophie que les modèles GR, développement d'un modèle de neige :

- simple
- parcimonieux
- efficace
- généralisable (testé en France, Suède, Canada, Suisse)

CemaNeige a été développé dans le but de prendre en compte

- les couverts neigeux saisonniers (régime nival)
- les couverts neigeux plus épisodiques (régime pluvio-nival)

CemaNeige a montré des performances comparables à d'autres modèles plus complexes



# ➤ Principes de CemaNeige

Thèse d'Audrey Valéry (2006-2010)

## CemaNeige

Degré-jour

Appliqué par bandes d'altitude d'égale surface

Couplé aux modèles hydrologiques GR (mais peut aussi l'être à d'autres)

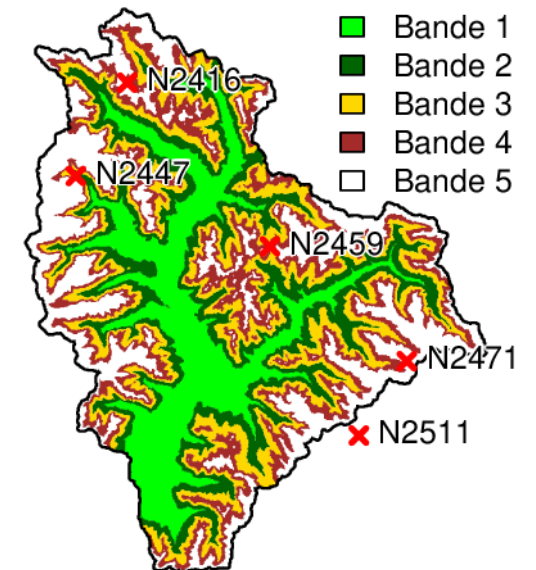
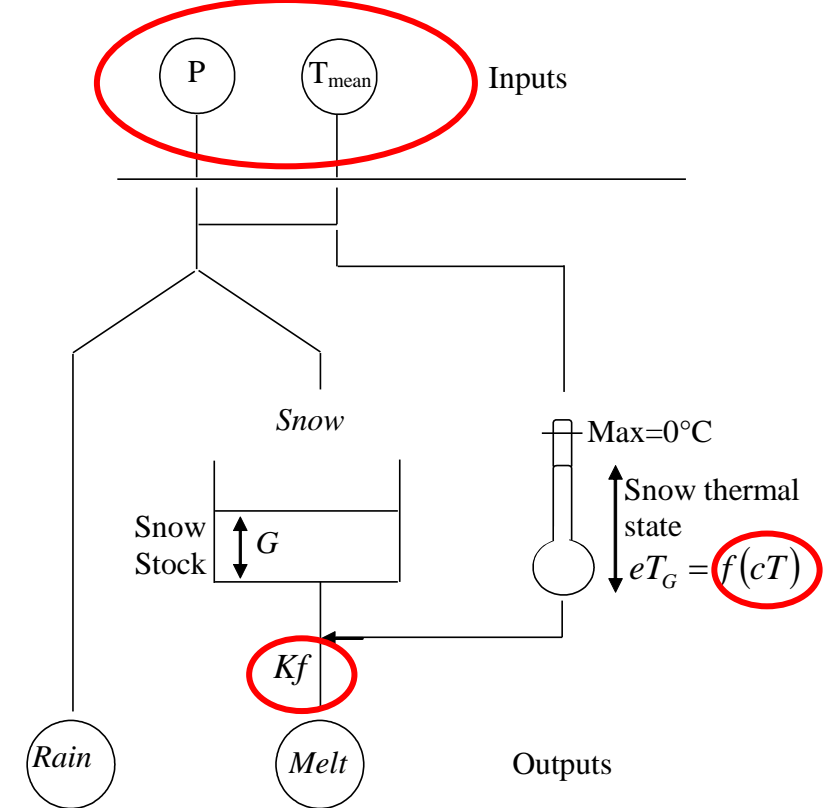
## Variables de forçage

Température moyenne de l'air

Précipitations

## Paramètres

2 paramètres à caler



# ➤ Principes de CemaNeige

Thèse d'Audrey Valéry (2006-2010)

Extrapolation des données d'entrée

1. Découpage du bassin en cinq bandes d'altitude de même superficie (utilisation de la courbe hypsométrique)
2. Extrapolation des données d'entrée de précipitation et température par bandes d'altitude en utilisant un gradient orographique :

$$T_m(t, bande) = T_{bassin}(t) + \Theta_T * (z_{bande} - z_{bassin})$$

$$P(t, bande) = P_{bassin}(t) \cdot \exp(\Theta_P \cdot (z_{bande} - z_{bassin}))$$

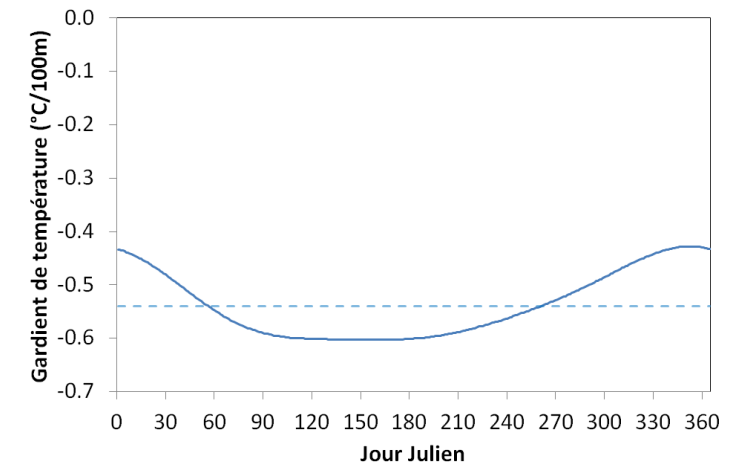
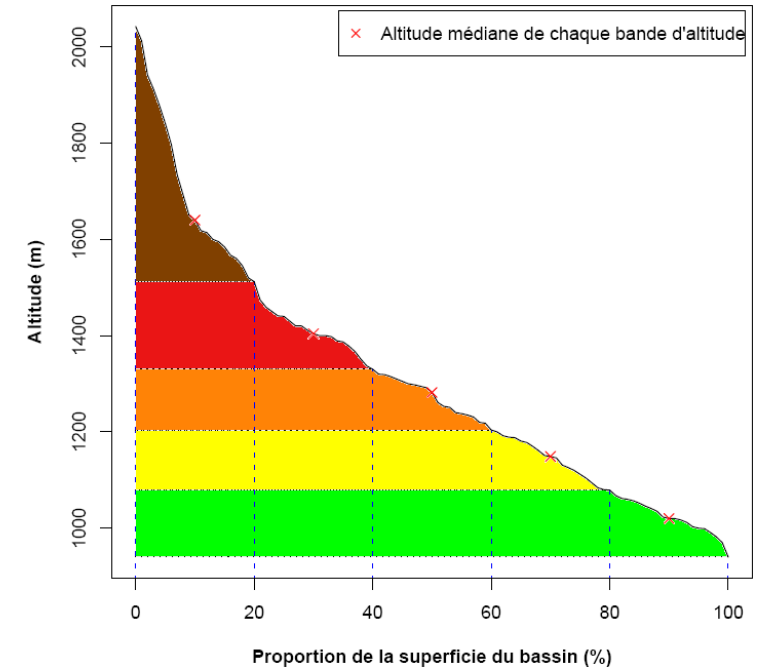
avec  $T_m(t, bande)$ ,  $P(t, bande)$  : température, précipitation de la bande considérée au temps  $t$

$T_{bassin}(t)$ ,  $P_{bassin}(t)$  : température, précipitation moyenne de bassin au temps  $t$

$\Theta_T$  (K/m) : gradient de température (variable ou fixé)

$\Theta_p$  ( $m^{-1}$ ) : facteur de correction de la pluie (fixé à  $4 \cdot 10^{-4} m^{-1}$ )

$z_{bande}$ ,  $z_{bassin}$  : altitudes médianes de la bande considérée et du bassin



# ➤ Principes de CemaNeige

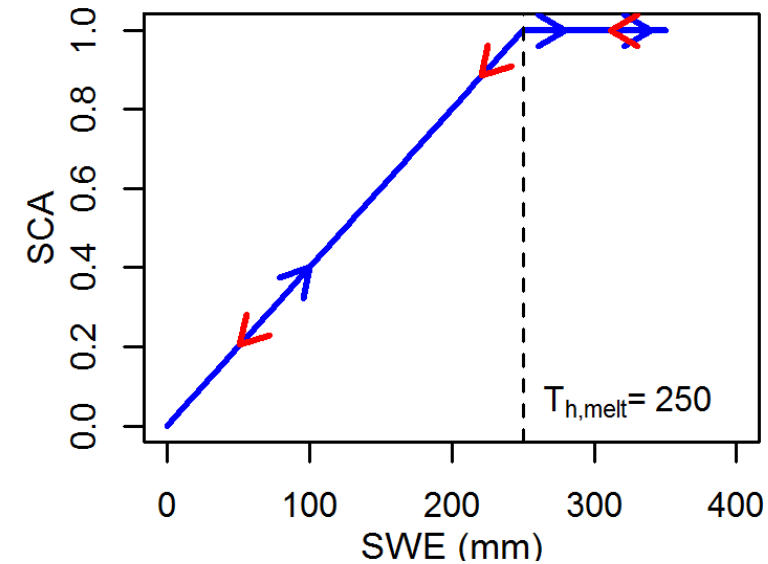
Thèse d'Audrey Valéry (2006-2010)

## Formulation de la surface enneigée (SCA)

Calculée à partir de l'équivalent en eau de la neige (SWE)  
Prise en compte l'hétérogénéité spatiale de la fonte

$$Fonte_{potentielle} = Kf T_{mean}$$

$$Fonte = (0.9 SCA + 0.1) Fonte_{potentielle}$$



*Hétérogénéité de l'enneigement lors de la fonte à Edelbodenalm, Autriche (Parajka et al., 2012)*

INRAE

CemaNeige

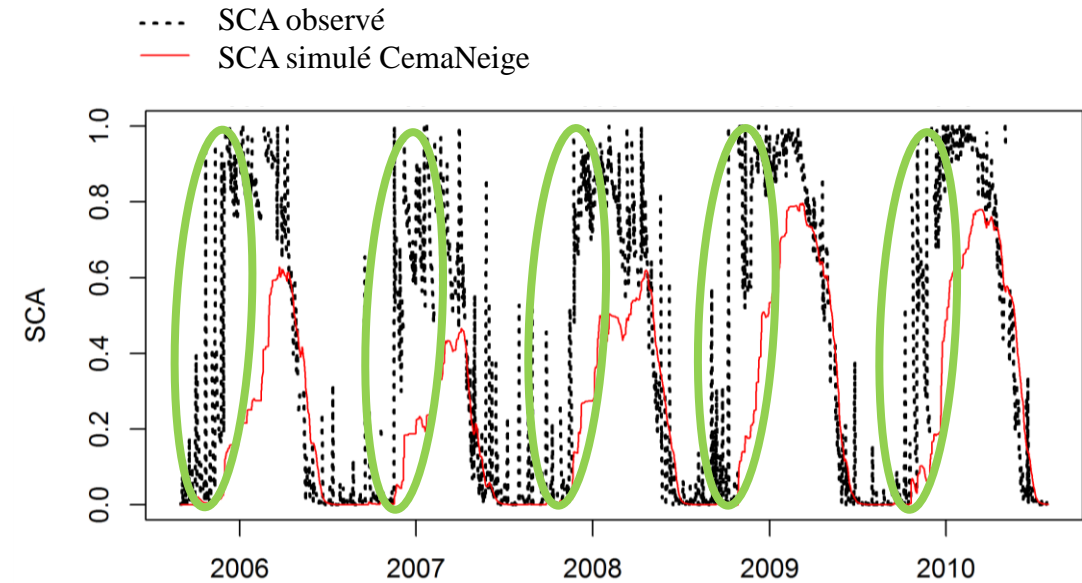
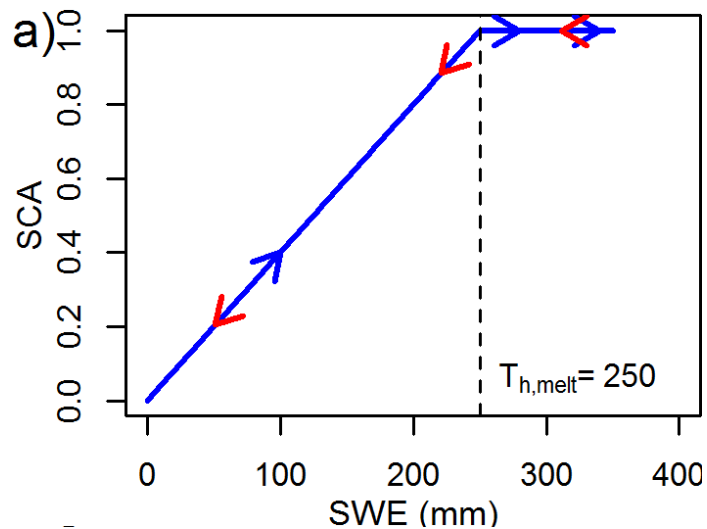
22/01/2020, G. Thirel, Journées prévisions en montagne

## ➤ Principes de CemaNeige

Thèse de Philippe Riboust (2014-2018)

Une simulation du manteau neigeux qui reste imparfaite

Exemple de la Durance à Embrun



Idées :

- Utiliser des données satellite d'enneigement (SCA MODIS) pour caler CemaNeige
- Améliorer la représentation de la surface enneigée dans CemaNeige

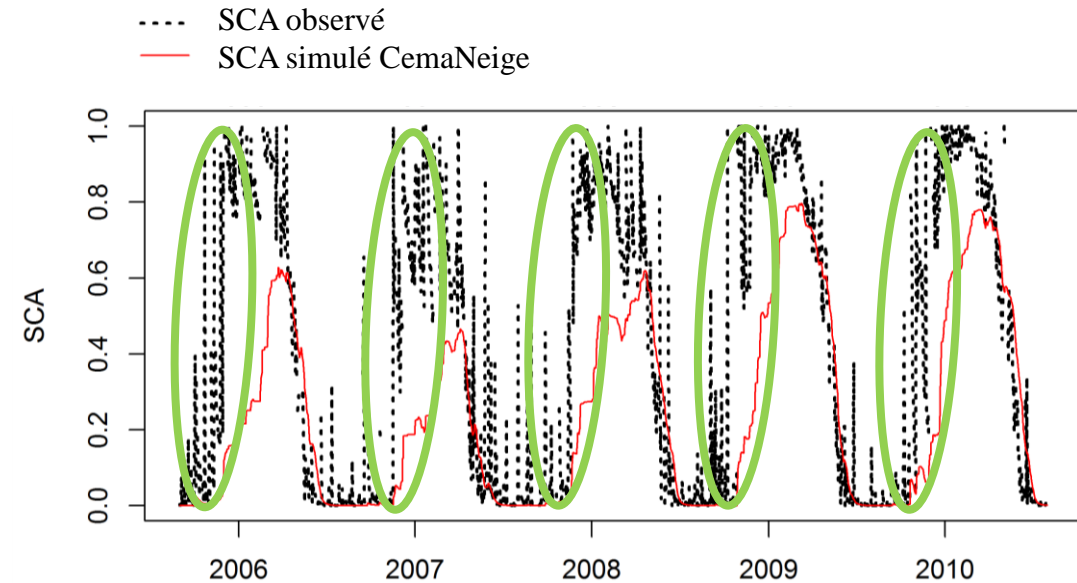
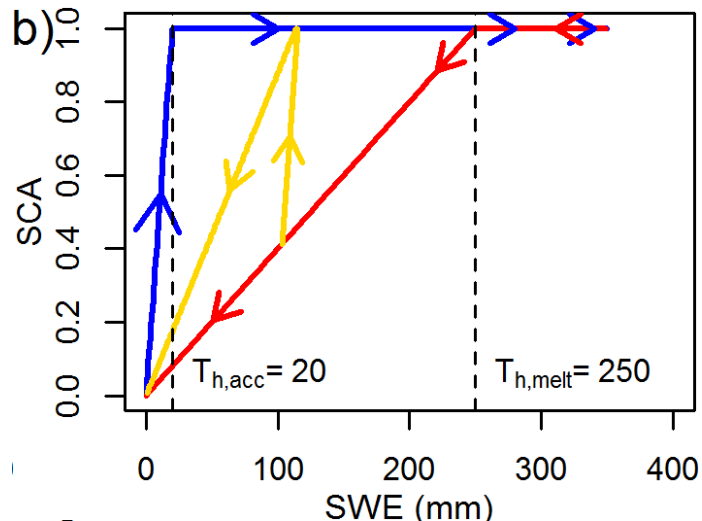


## ➤ Principes de CemaNeige

Thèse de Philippe Riboust (2014-2018)

Une simulation du manteau neigeux qui reste imparfaite

Exemple de la Durance à Embrun



- Relation d'hystérésis entre le SCA et le SWE (Luce and Tarboton, 2004; Magand et al., 2014)
  - **Augmentation rapide du SCA lors de l'accumulation**
  - **Diminution lente du SCA lors de la fonte**
- 2 paramètres supplémentaires à caler

**INRAE**

➤ **Il CemaNeige : performances**



# ➤ Performances de CemaNeige version Valéry et version Riboust

Base de données (thèse de Riboust, 2018)

277 bassins ont été sélectionnés

Peu influencés

Enneigement suffisant

Période

2000-2010

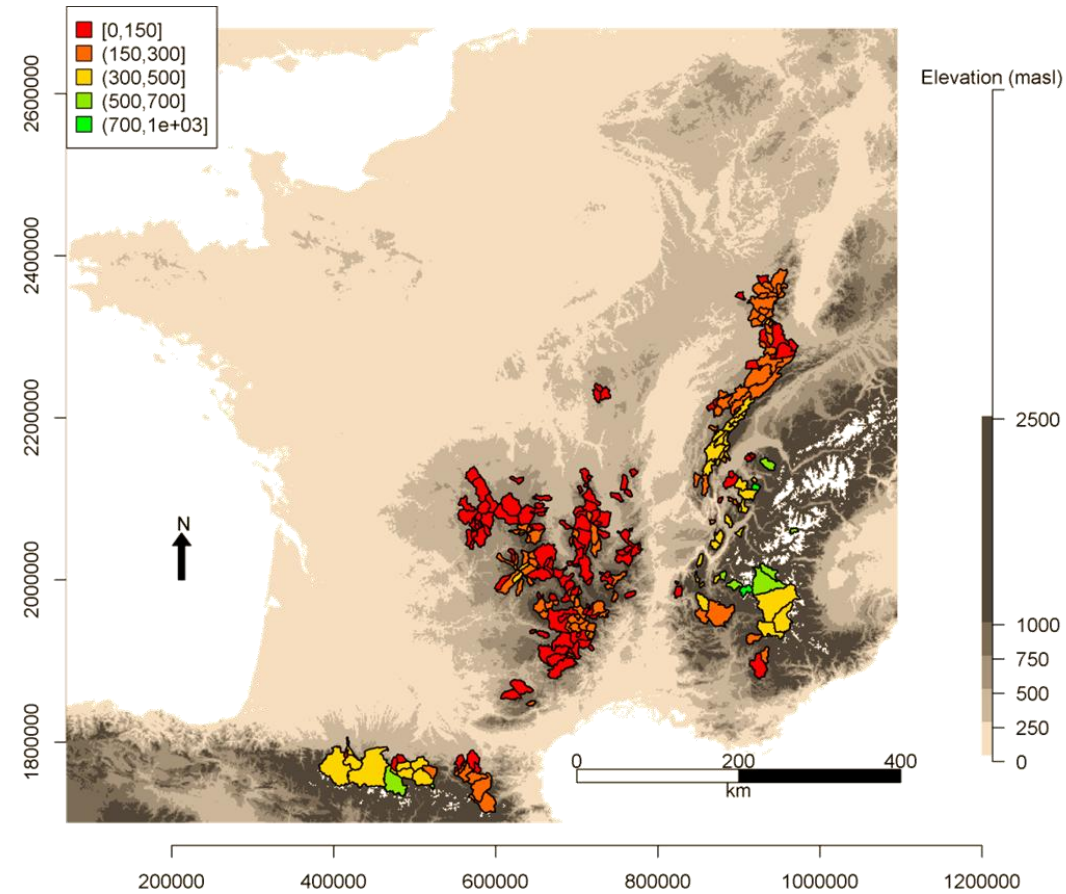
Observations

Données SAFRAN

Données MODIS

Données HYDRO2

Précipitations solides annuelles (mm)



## ➤ Performances de CemaNeige version Valéry et version Riboust

Critère de performance utilisé

Critère de performance :  $KGE'$  (Kling et al., 2012)

Intervalle  $]-\infty; 1]$

$$KGE' = 1 - \sqrt{(1 - r)^2 + (1 - \beta)^2 + (1 - \gamma)^2}$$

Prend en compte la corrélation

Le ratio des moyennes (biais relatif)

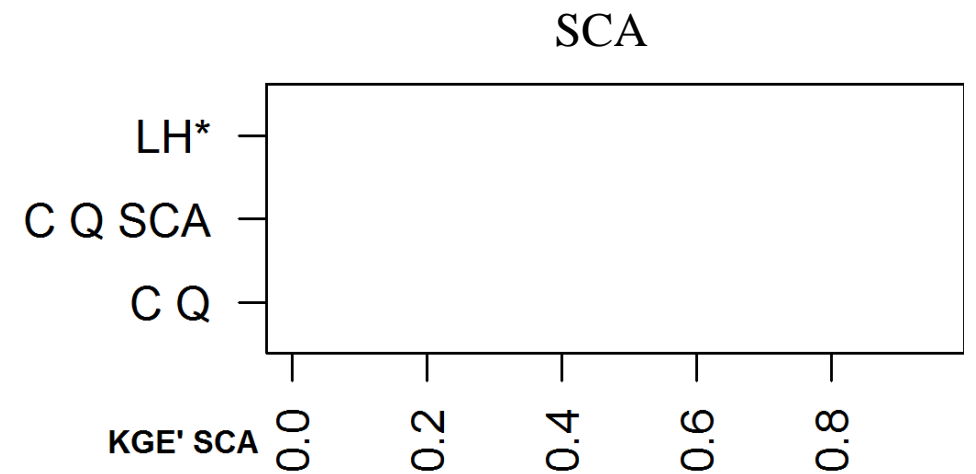
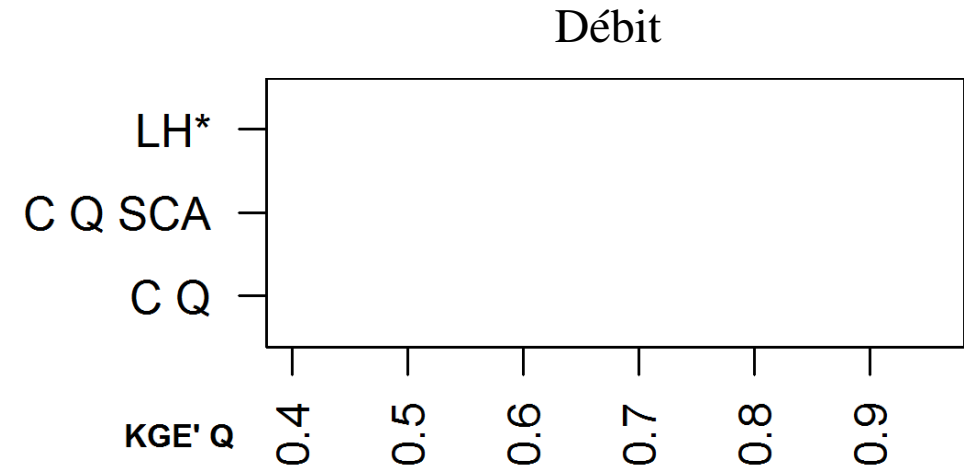
Le ratio des coefficients de variation

Méthode de calage/validation

Split-sample test

# ➤ Performances de CemaNeige version Valéry et version Riboust

Analyse des performances des modules neige



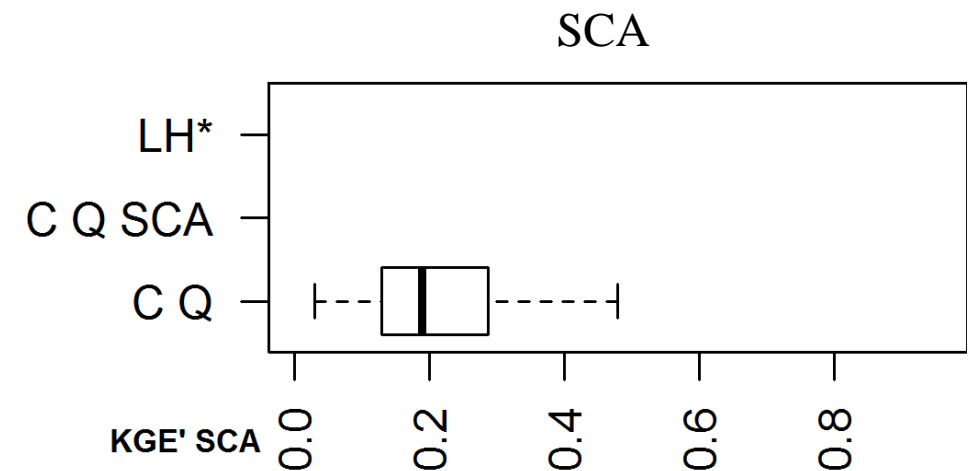
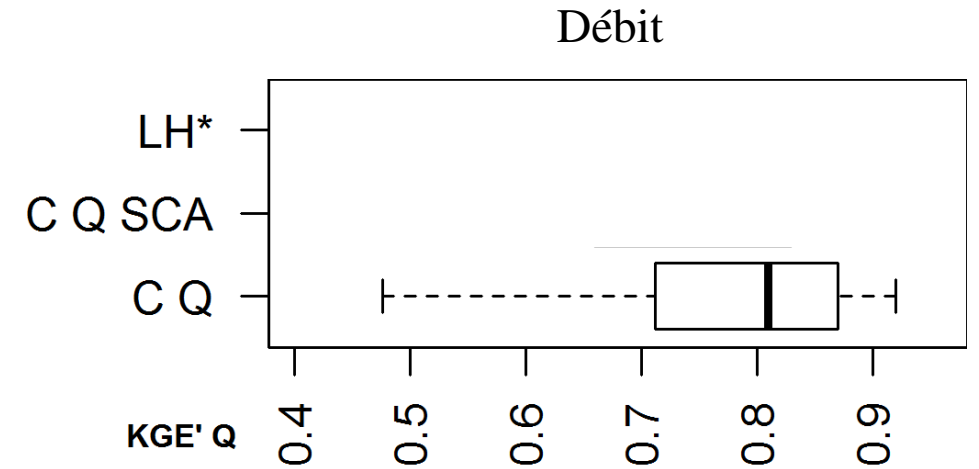
# ➤ Performances de CemaNeige version Valéry et version Riboust

Analyse des performances des modules neige

Modèle original calé sur le débit

Bonnes performances en débit

Mauvaises performances en SCA



# ➤ Performances de CemaNeige version Valéry et version Riboust

Analyse des performances des modules neige

## Modèle original calé sur le débit

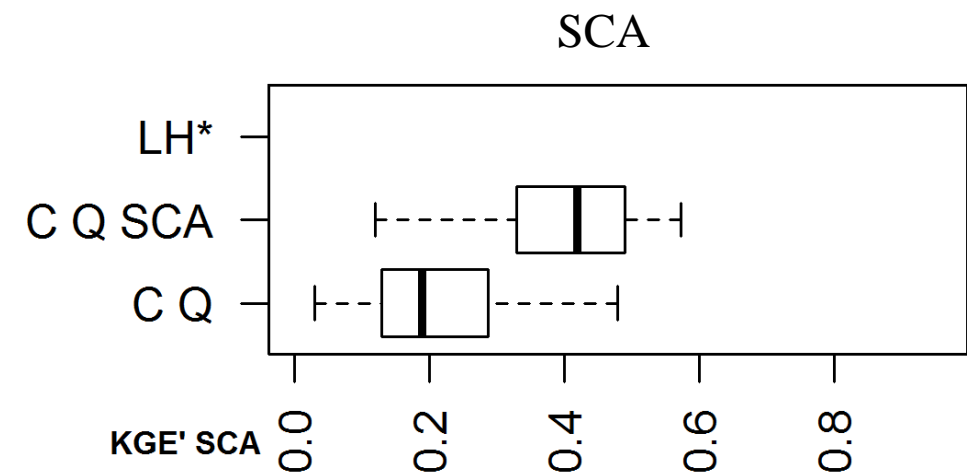
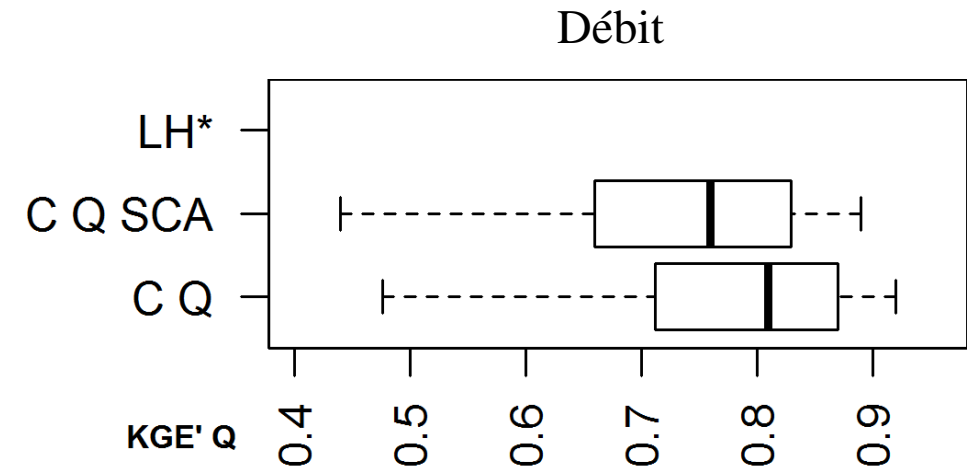
Bonnes performances en débit

Mauvaises performances en SCA

## Modèle original calé sur le débit (75%) et le SCA (5\*5%)

Dégradation des performances en débit

Faible amélioration en SCA



# ➤ Performances de CemaNeige version Valéry et version Riboust

Analyse des performances des modules neige

## Modèle original calé sur le débit

Bonnes performances en débit

Mauvaises performances en SCA

## Modèle original calé sur le débit (75%) et le SCA (5\*5%)

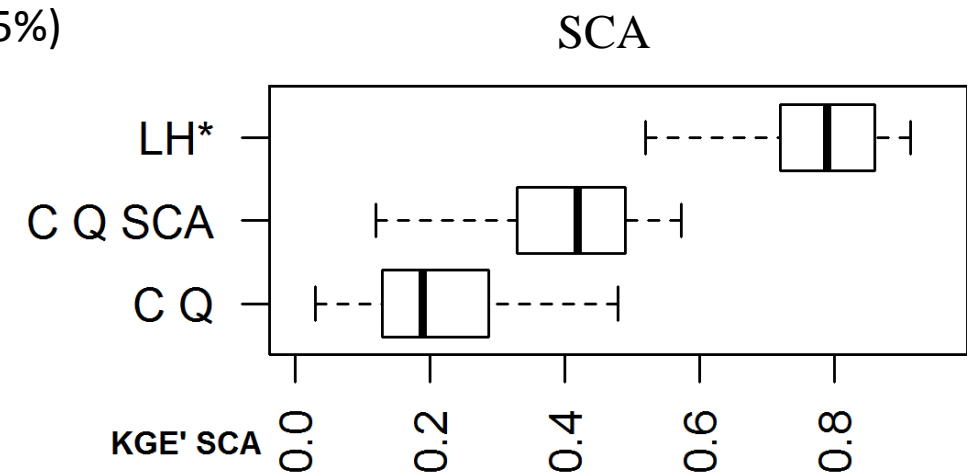
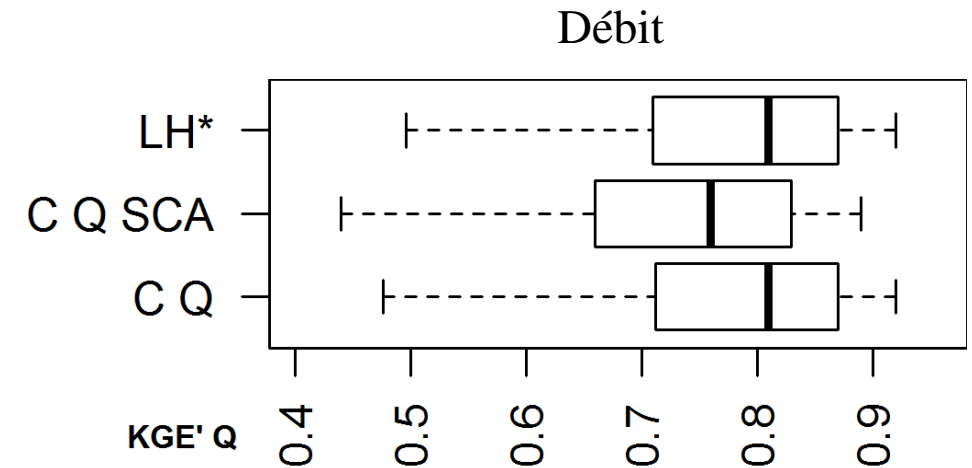
Dégradation des performances en débit

Faible amélioration en SCA

## Modèle avec hystérésis calé sur le débit (75%) et le SCA (5\*5%)

Performances en débit similaire au modèle d'origine

Nette amélioration des performances en SCA

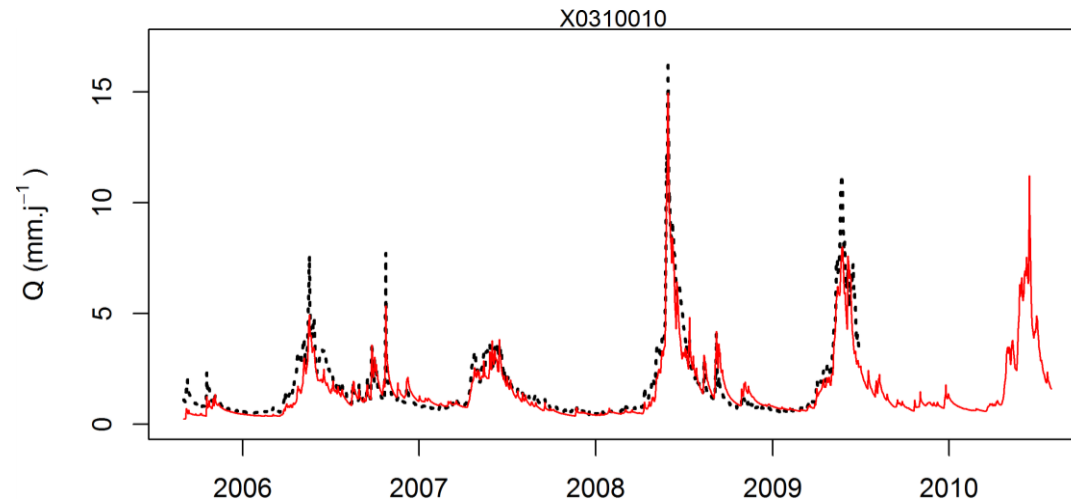




# ➤ Performances de CemaNeige version Valéry et version Riboust

## Exemple de la Durance à Embrun

- .... Débit observé
- Débit simulé CemaNeige-GR4J

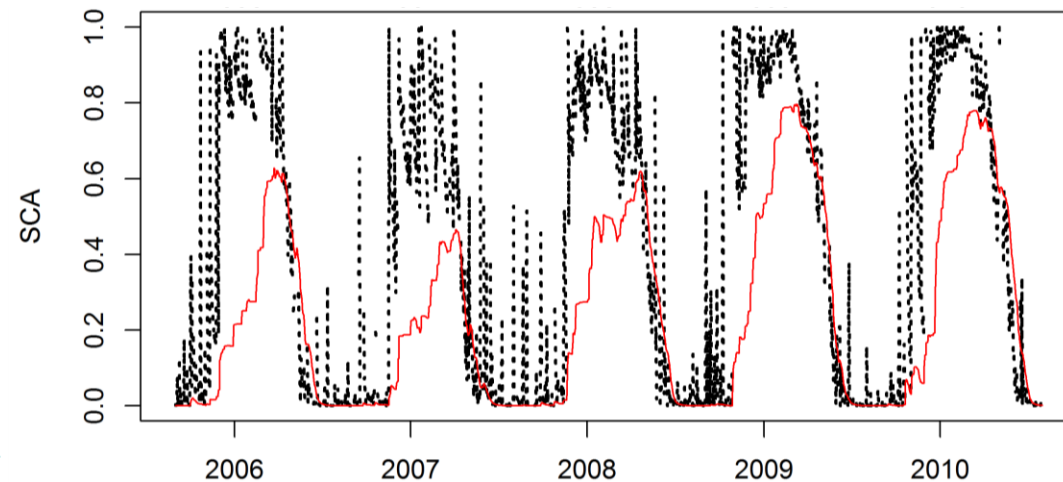


Performances CemaNeige en validation

KGE' Q = 0.86

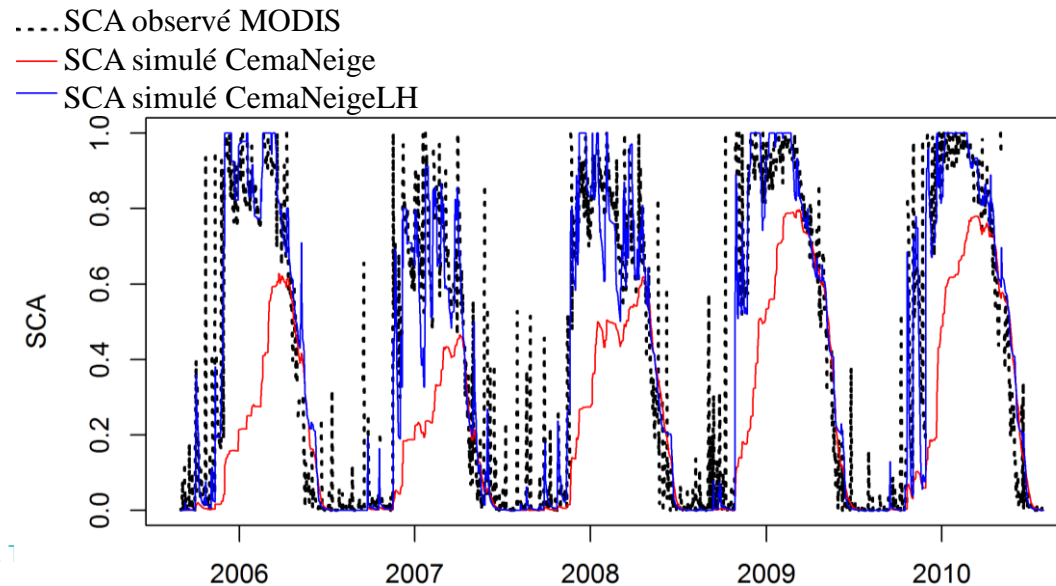
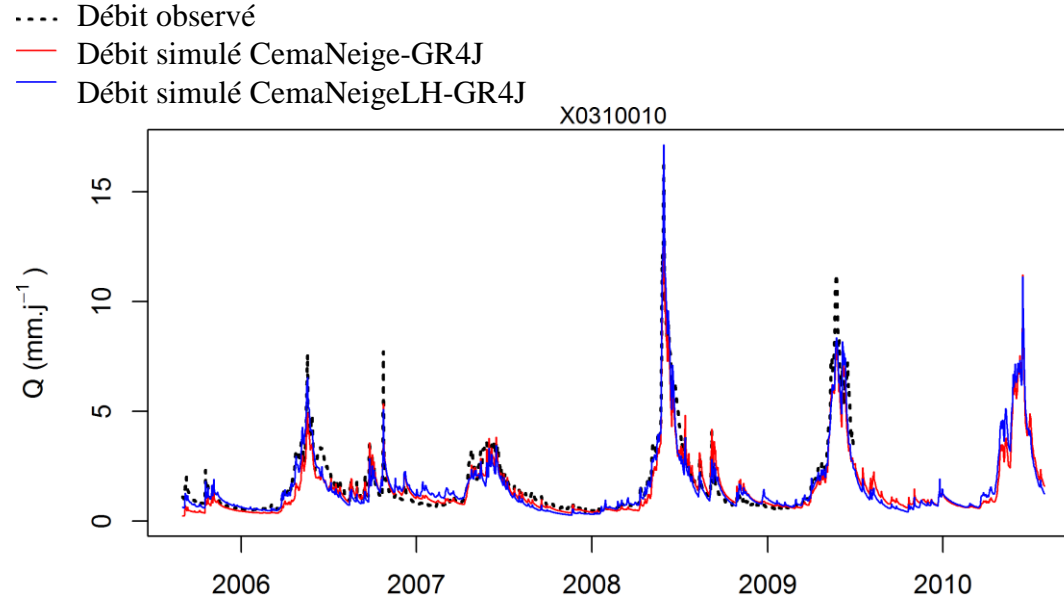
KGE' SCA = 0.53

- .... SCA observé MODIS
- SCA simulé CemaNeige



# ➤ Performances de CemaNeige version Valéry et version Riboust

## Exemple de la Durance à Embrun



Performances CemaNeige en validation

$KGE' Q = 0.86$

$KGE' SCA = 0.53$



Performances CemaNeige Hystérésis en validation

$KGE' Q = 0.92$

$KGE' SCA = 0.97$

**INRAE**

➤ **III CemaNeige : mise à disposition dans airGR et GRP**



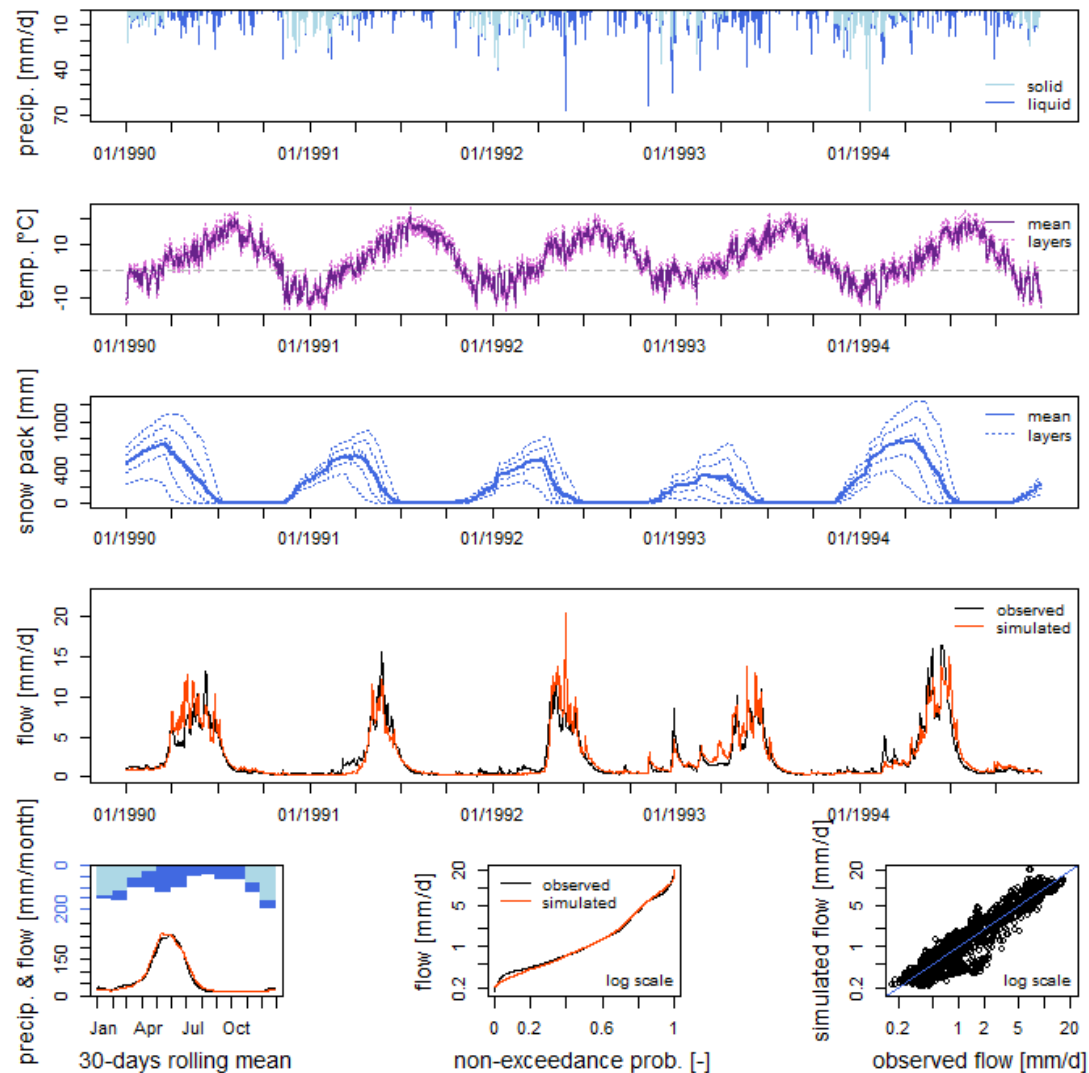
# ➤ Disponibilité en accès libre dans airGR



airGR : suite des modèles GR programmés sous R : <https://hydrogr.github.io/airGR/>

Versions disponibles :

- Version A. Valéry
- Version P. Riboust
- Pas de temps journalier
- Pas de temps horaire
- Couplé ou non avec un modèle GR



INRAE

CemaNeige

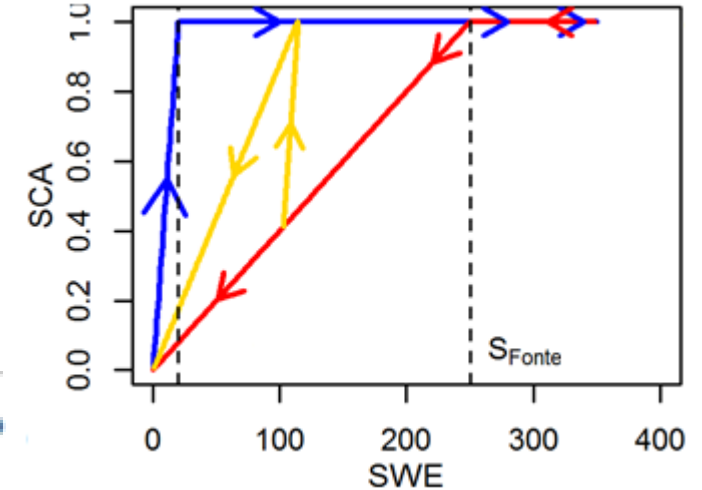
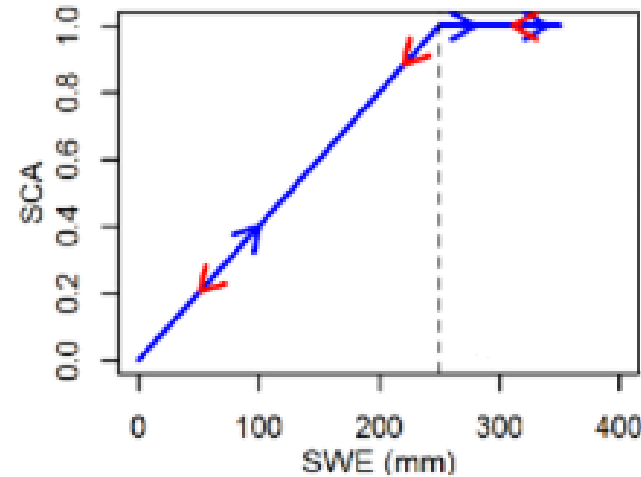
22/01/2020, G. Thirel, Journées prévisions en montagne

# ➤ Bilan action SCHAPI 2019 (GRP)

## B. Opérationnels

### B.3. Intégration des améliorations du module CemaNeige dans l'outil opérationnel (poursuite de l'action A4 2017)

- Adapté de la thèse de P. Riboust (2017)
- Intégration de l'hystérésis
- Paramètres du module neige
  - **$C_{TG}$**  : le coefficient de pondération (adimensionnel) de l'état thermique du manteau, entre 0 et 1,
  - **$K_f$**  : le facteur degré jour (en  $\text{mm} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \cdot \text{pas de temps}^{-1}$ ), généralement compris entre 2 et 6  $\text{mm} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$ ,
  - **$G_{acc}$**  : seuil d'enneigement lors de l'accumulation (en mm) pour lequel l'enneigement est total,
  - **$K_{Gseuil}$**  : Ratio du seuil de fonte (adimensionnel), entre 0 et 1.



# ➤ Bilan action SCHAPI 2019 (GRP)

## B. Opérationnels

### B.3. Intégration des améliorations du module CemaNeige dans l'outil opérationnel

(poursuite de l'action A4 2017)

- Choix des paramètres
  - Paramètres codés « en dur » : valeur médiane des paramètres calculés sur 277 bassins versants métropolitains
  - Calculés à partir des données MODIS de taux de couverture neigeuse

	Minute				Horaire				Jour
	5 min	6 min	15 min	30 min	1 h	3 h	6 h	12 h	1 j
$C_{TG}$ (-)	0.52								
$K_f$ (mm/°C/pas de temps)	0.0111	0.0133	0.0333	0.0667	0.133	0.4	0.8	1.6	3.2
$G_{acc}$ (mm)	10								
$K_{Gseuil}$ (-)	0.34								

- Etude en cours pour déterminer l'influence des paramètres du module neige sur la modélisation

## ➤ Bilan action SCHAPI 2019 (GRP)

### B. Opérationnels

#### B.3. Intégration des améliorations du module CemaNeige dans l'outil opérationnel (poursuite de l'action A4 2017)

- Prise en compte de la sous-captation de la neige
  - Ajout d'un paramètre dans les fichiers configurations

```
!-----!  
! AAAAAAA NNNNNN.NN NNNN.NN ! Format ecriture code et ponderation temperature (1 ligne par station, commençant par T) !  
T 90035001      1.00  401.00 ! Code, ponderation et altitude du poste Température 1 !  
T 90052002      1.00  473.00 ! Code, ponderation et altitude du poste Température 1 !  
T 90065003      1.00 1153.00 ! Code, ponderation et altitude du poste Température 1 !  
!-----!  
! NNNNNN.NN ! Format ecriture facteur correctif de la sous-captation de la neige !  
N      1.20 !  
!-----!
```

*00\_Donnees\Bassins\RS2023xx\_00J00H05M.DAT*

- Facteur multiplicatif appliqué aux précipitations solides uniquement

## ➤ Retours d'expériences sur les résultats de GRP en opérationnel

- CemaNeige testé comme option de calage par les SPC sur les bassins impactés par la neige
- Retour pour l'instant essentiellement sur l'ancienne version du module (version A. Valéry)
  - Souvent faible amélioration des performances constatée
  - Tendance à la sous-estimation des événements de fonte
- Causes possibles identifiées des apports limités du module
  - Paramètres fixes trop limitants
  - Pas de coefficient de prise en compte de la sous-captation (=> sous-estimation des volumes stockés)
  - Effets du module en partie « masqués » par la mise à jour sur les débits
  - Critères d'évaluation en continu (sur toute l'année) peu sensibles aux améliorations ponctuelles sur certains événements
- Nouvelle version du module (version P. Riboust) devrait en partie répondre à ces difficultés



**INRAE**

➤ **IV CemaNeige : perspectives de développements**



## ➤ Action SCHAPI 2020 (et plus)

### B. Opérationnels

B.3. Paramétrage du module CemaNeige de l'outil opérationnel (*poursuite de l'action B3 2019*)

En 2020, il est proposé de développer des outils et bases de données (MODIS) permettant à l'utilisateur d'assurer un calage du module neige sur ses bassins.

A plus long terme:

- Assimilation de données MODIS (ou autre)
- Portabilité de CemaNeige à différents pas de temps (e.g. infra-horaires)
- Liens avec les travaux d'Aix en grillé

## ➤ Prise en compte des glaciers

Collaboration CIMA Research Foundation et EDF DTG

Ambition de développer un module de glacier joint à CemaNeige dans airGR :

- Simple, parcimonieux, efficace
- Tests sur des glaciers français (Rabatel et al., 2016) et italiens (val d'Aosta)
- Comparaison avec des modèles existants

But : meilleure représentation des débits (notamment de base) et des processus menant à la formation des débits

A terme : inclusion dans GRP ?

ANNONCE : toujours à la recherche de la candidature idéale pour le stage proposé



INRAE

CemaNeige

22/01/2020, G. Thirel, Journées prévisions en montagne