

Crocus



Modélisation de la neige

GT Neige-OSUG – 09/10/09

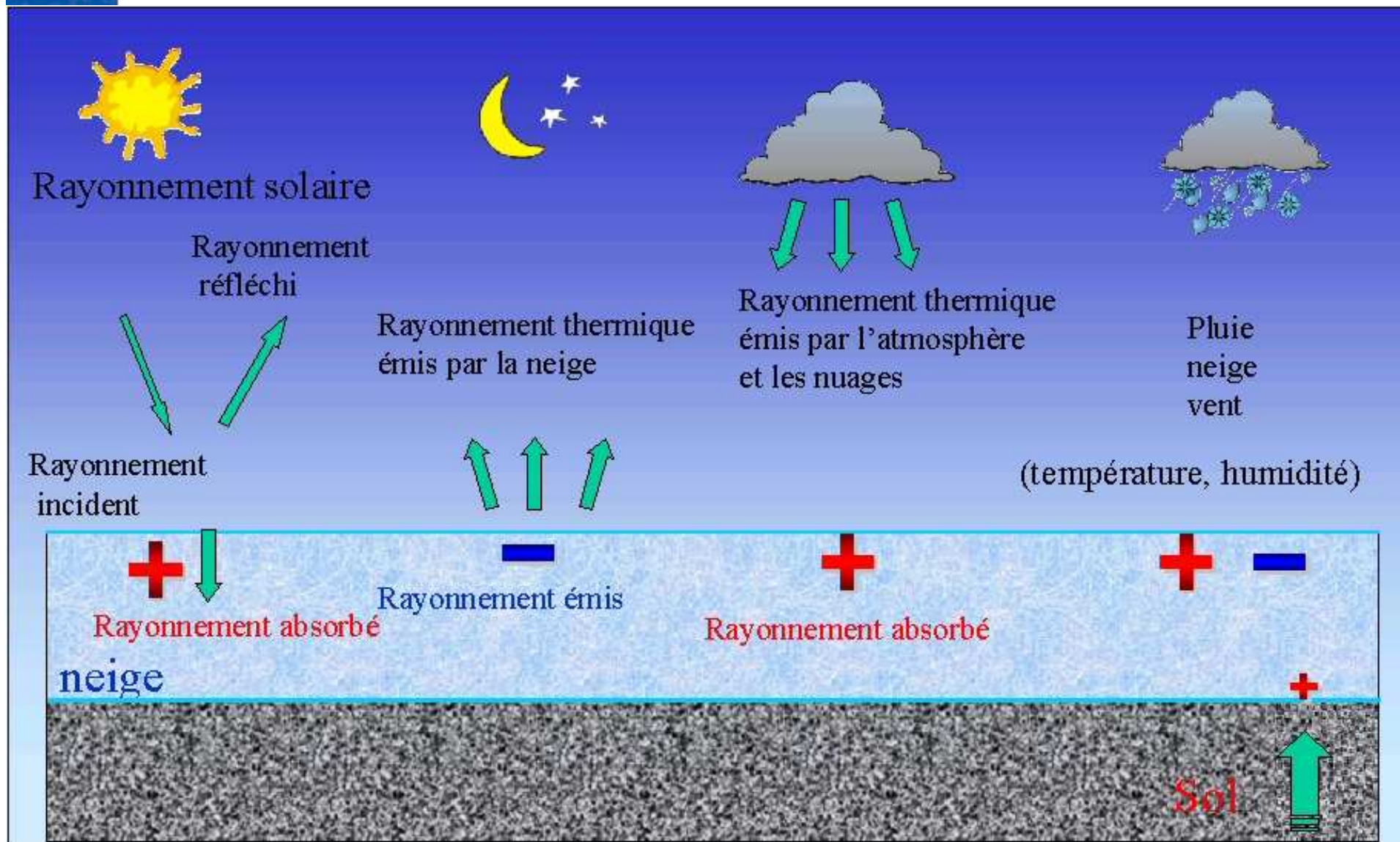
(docs d'après C. Coléou *et al.*)



Plan

- Généralités
- Les étapes de la simulation
 - Principe
 - Données en entrée et en sortie
 - Formalisme grains
- Étapes préalables (**PROPHY, INIPAS**)
- Voir les résultats et leur gestion par Crocus
 - Tempé de surface : (**RESOLT**)
 - Variation htn / Épaisseur neige récente (**METAMO, MASLAT, BRUTE, NEIGE**)
 - Profondeur d'humidification / épaisseur regel ... : (**EAU**)
 - Hauteur de neige / Équivalent en eau : (**MODPRO**)
- Enregistrement des résultats (**RESULT**)

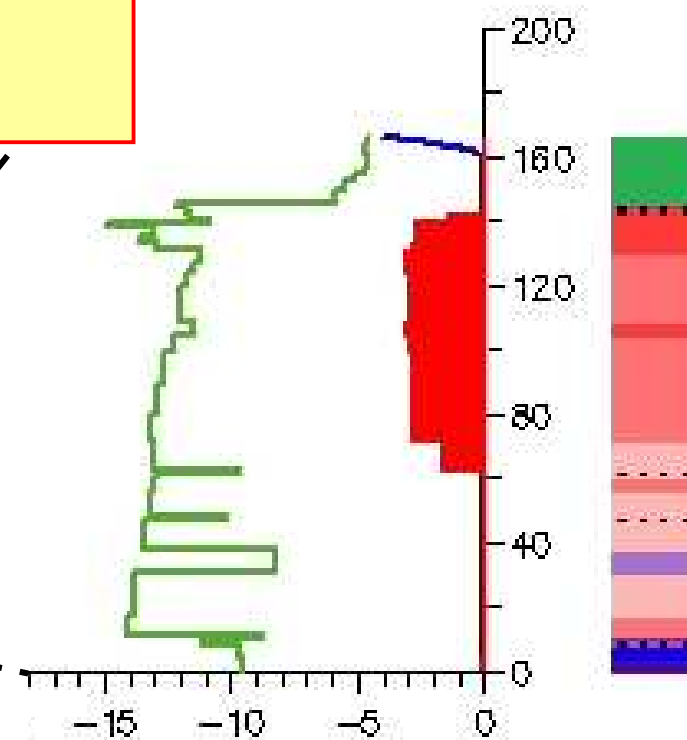
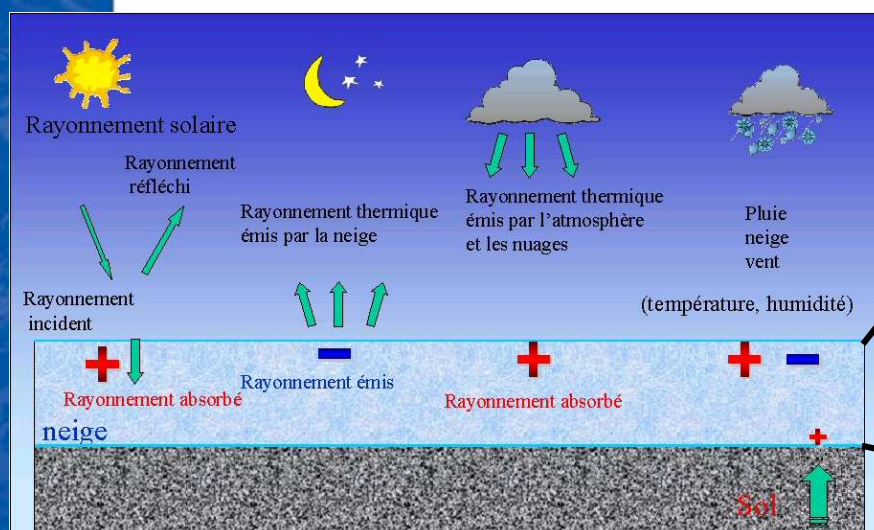
▲ Généralités



▲ Généralités

CROCUS

- Conduction
- Changement de phases
- Percolation
- Métamorphoses
- Tassement



Initialisation de la simulation

PARAM : Paramétrisation de la simulation

- Lecture des données géographiques du massif (latitude, longitude, altitude, exposition, inclinaison, masques solaires)
- Lecture des constantes (Fichier PARAM_CROCUS)
- Lecture de la date initiale JJMMAA06 et de la durée de la simulation 24h

INICRO : Initialisation de la simulation

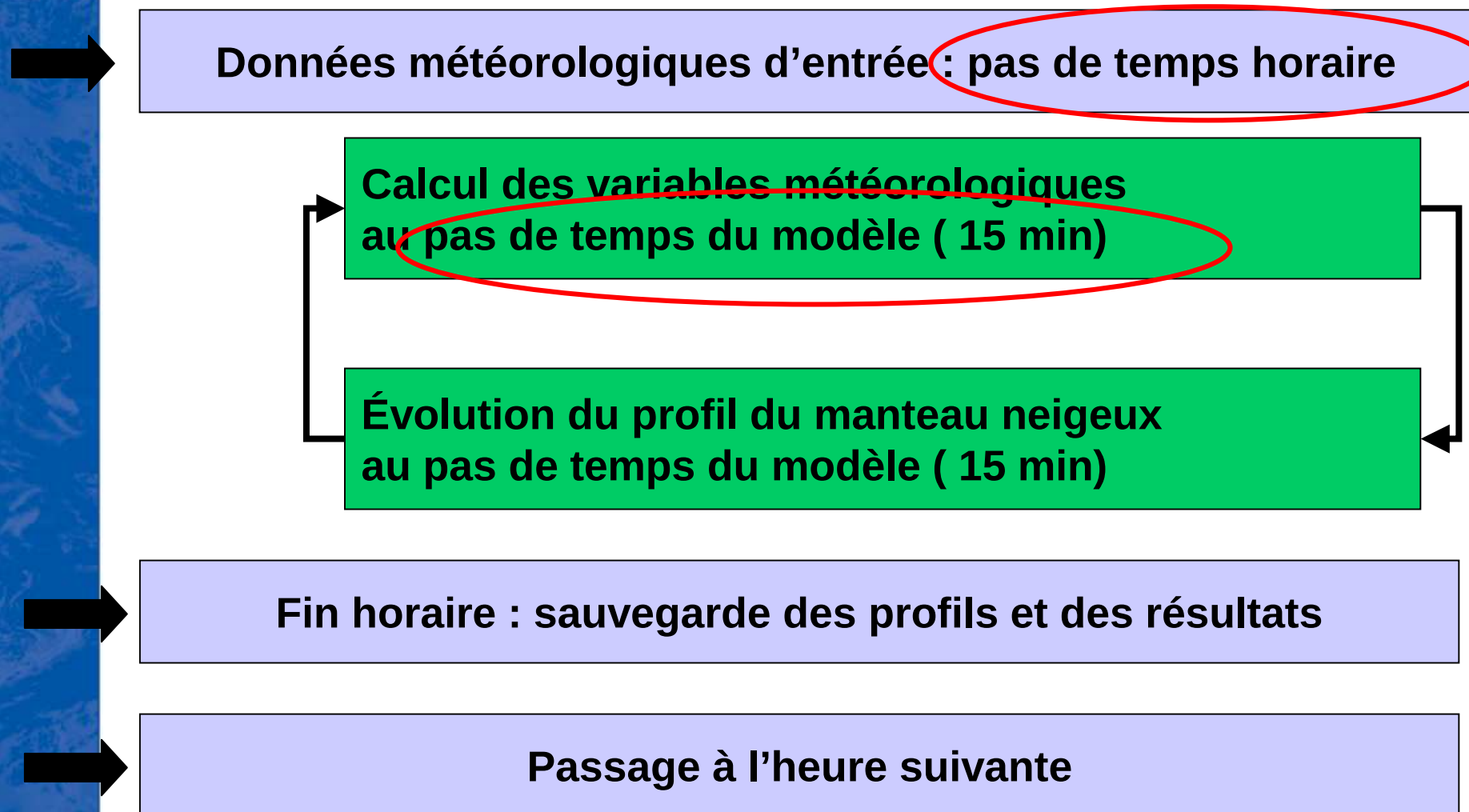
- Lecture du profil initial du manteau neigeux
- Vérification cohérence dates (profil initial / début de simulation); Diagnostic dans Journal de Bord (Fichier ERREUR)

Simulation
ponctuelle



DEBUT DE LA SIMULATION

Principe de la simulation



Entrée CROCUS (Sortie
SAFRAN)

Extrait des fichiers **MET** sur la
plage de simulation :

Au pas horaire :

- ✓ Tempé
- ✓ Vent
- ✓ Humidité
- ✓ Nébulosité
- ✓ Ray. solaire (direct et diffus)
- ✓ RIR atmosphérique
- ✓ Précipitations:
quantité et phase

Sortie CROCUS

Insère dans les fichiers **PRO** :
les profils simulés par Crocus
toutes les 3 heures (J/09h à
J+1/06h)

date, HTN, Ecou..

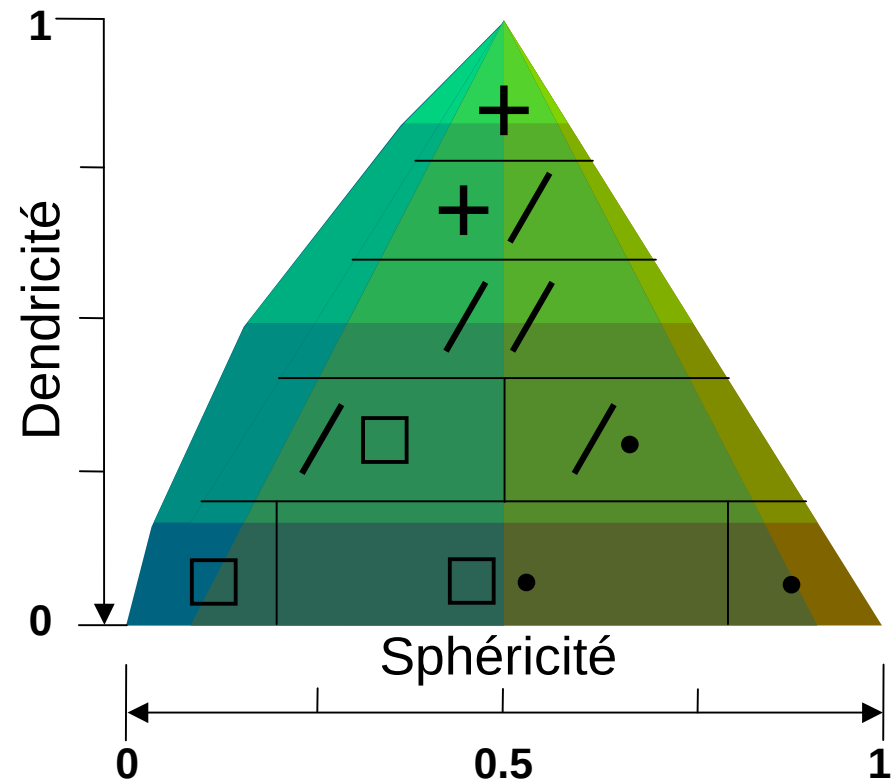
pour chaque couche :

- ✓ **DZ: Épaisseur**
- ✓ **T: Tempé**
- ✓ **ρ : densité**
- ✓ **tel: teneur en eau liquide**
- ✓ **grain1, grain2 et histo:**
Type de grain
- ✓ **datecouche:**

Ecrit des données quotidiennes dans
les fichiers REFxx:
Date, HTN, EQUI, ECOU

Formalisme des grains dans Crocus

- Neige récente
- Dentricité non nulle
 - Grain1 = - denticité
 - Grain2 = sphéricité
 - Histo = 0



Pas de neige roulée ni de givre de surface

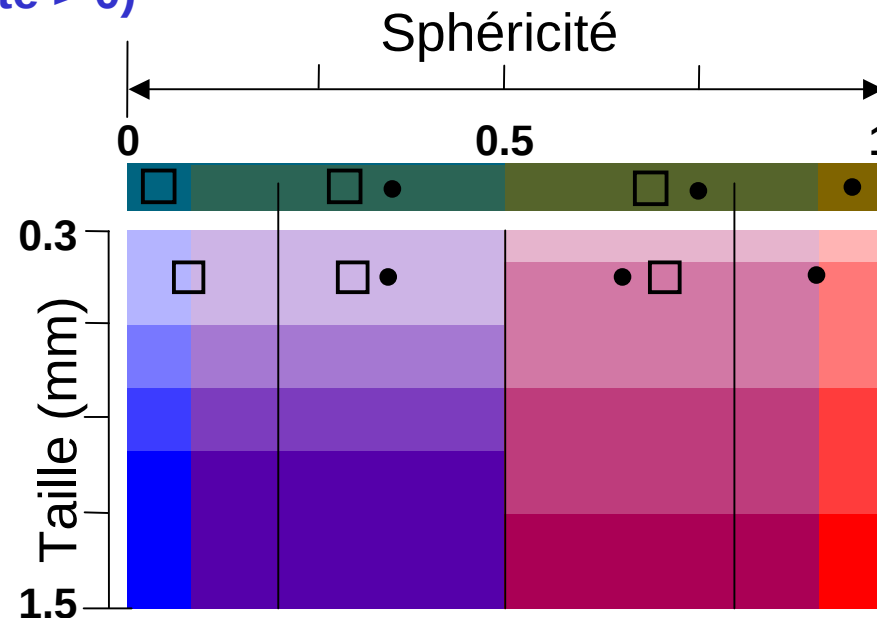
Formalisme des grains dans Crocus

○ Neige évoluée

- Grain1 = sphéricité
- Grain2 = taille ($d_{\min}=0.3\text{mm}$)
- Histo = de 0 à 3

○ Histo = 0

- Couche n'ayant jamais subi d'humidification ni de fort gradient (sphéricité > 0)



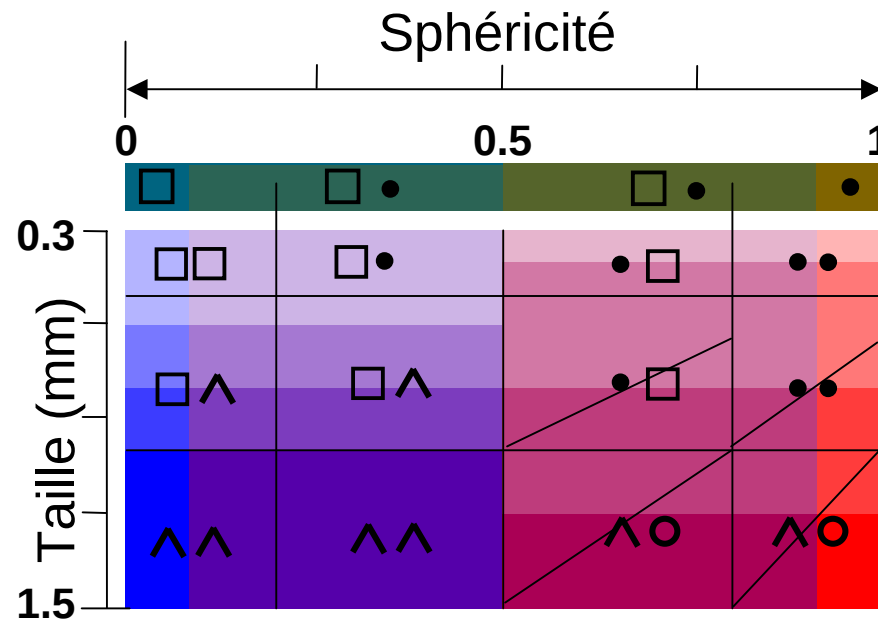
Histo = 0 → petits grains

○ Neige évoluée

- Grain1 = sphéricité
- Grain2 = taille ($d_{\min}=0.3\text{mm}$)
- Histo = de 0 à 3

Histo = 1

- **Couche ayant subi du fort gradient, jamais d'humidification**



Faces planes - gobelets, pas de retour possible vers des grains arrondis par faible gradient

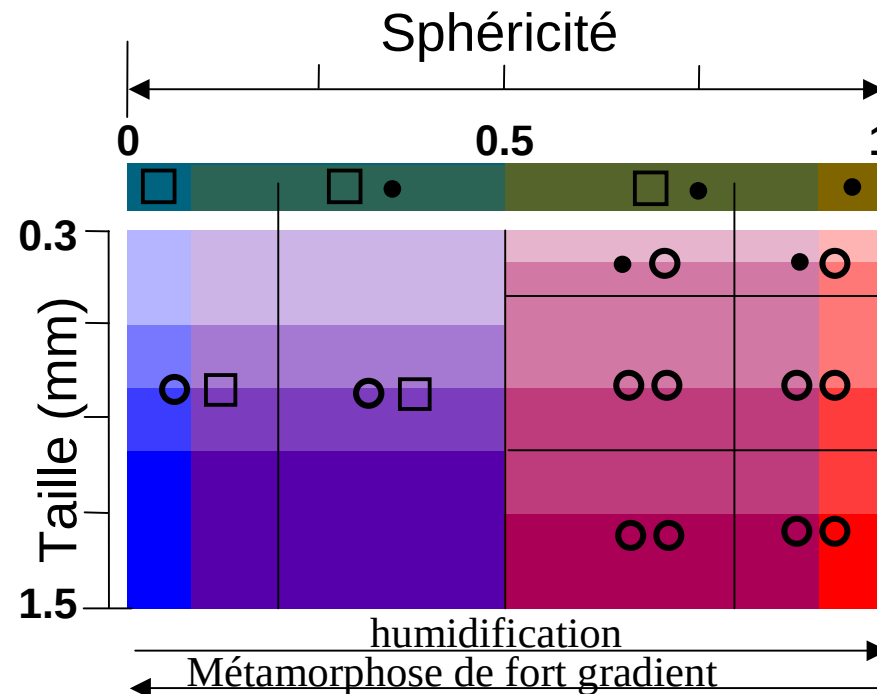
Formalisme des grains dans Crocus

○ Neige évoluée

- Grain1 = sphéricité
- Grain2 = taille ($d_{\min}=0.3\text{mm}$)
- Histo = de 0 à 3

○ Histo = 2

- Couche ayant subi au moins une humidification, jamais de fort gradient



Histo = 2 et TEL = 0 → hachurage de la couche

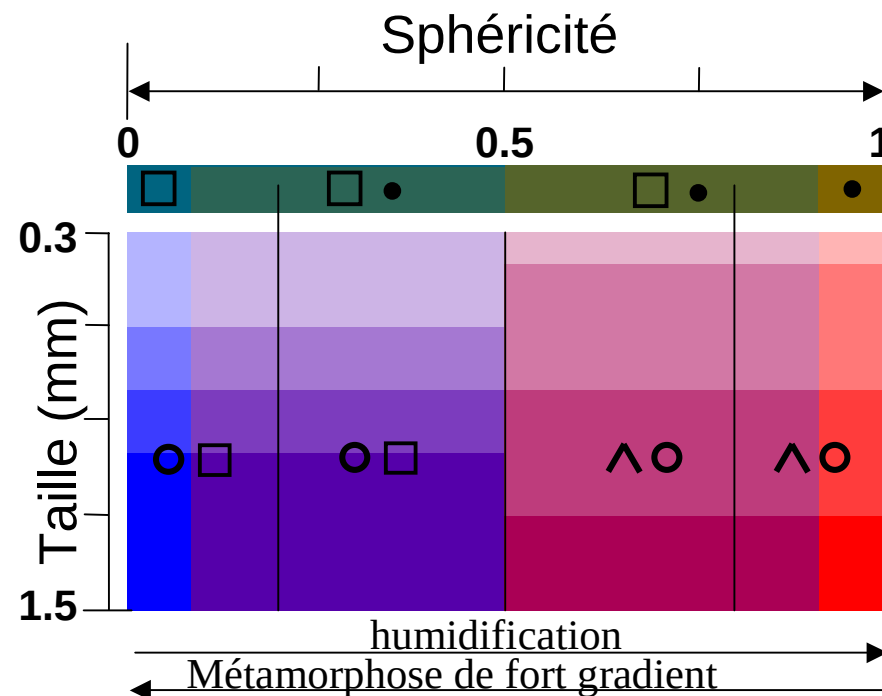
Formalisme des grains dans Crocus

○ Neige évoluée

- Grain1 = sphéricité
- Grain2 = taille ($d_{\min}=0.3\text{mm}$)
- Histo = de 0 à 3

○ Histo = 3

- Couche ayant subi du fort gradient puis une humidification



Histo = 3 et TEL = 0 → hachurage de la couche

Simulation : 2 étapes préalables

METEO : Lecture des données horaires du fichier MET
Calcul des flux atmosphériques et du flux de conduction au pas de temps horaire



INIPAS : Calcul des variables météorologiques au pas de temps du modèle (15 minutes)

- **Température, vent, humidité** : interpolation des valeurs instantanées horaires
- **Flux de conduction du sol, rayonnement infrarouge et visible** : constants sur l'heure
- **Précipitations (pluie et neige)** : répartition sur le pas de temps les précipitations horaires

Simulation : 2 étapes préalables



PROPHY : Calcul des propriétés physiques du pas de temps

- Prise en compte des **effets de la pluie** sur le manteau neigeux
- Calcul de la **conductivité thermique** des différentes couches de neige constituant le manteau en fonction de la densité de chaque couche
- Calcul de la **capacité calorifique** des différentes couches en fonction de leur température
- Calcul de l'**albédo** de la surface du manteau neigeux, reparti en 3 bandes spectrales ($0.3 - 0.8 \mu\text{m}$; $0.8 - 1.5 \mu\text{m}$; $1.5 - 2.8 \mu\text{m}$), en fonction du type et de l'âge des grains en surface
- Calcul des **propriétés optiques** des couches interne (pour la pénétration du rayonnement solaire visible dans le manteau)

Comment voir les résultats Crocus

○ Type de visualisations

- **Cartes** (dans la V2.0)
- Profils (V2.1 + justification V2.2)
- Camemberts (V2.2)
- Htn sur graphe poste

○ (Sélection du modèle)

- Safran
- **Crocus**
- Mepra

○ Liste des paramètres

- **Tempé de surface**
- Variation hauteur de neige (Tassement / Accroissement)
- Épaisseur de neige récente
- Profondeur d'humidification
- Épaisseur de regel
- Écoulement à la base
- Hauteur de neige
- Équivalent en eau



RESOLT : Détermination du profil de température pour le pas de temps suivant

- **Résolution du bilan énergétique de surface** :
 - Rayonnement infrarouge net
 - Rayonnement visible absorbé en surface
 - Flux de chaleur turbulents en fonction de la stabilité des basses couches de l'atmosphère
- **Conduction thermique** au sein du manteau neigeux
- **Rayonnement solaire visible** pénétrant dans le manteau neigeux
- **Apport énergétique du sol** à la base du manteau neigeux

Bonne estimation des températures

Comment voir les résultats Crocus

○ Type de visualisations

- **Cartes** (dans la V2.0)
- Profils (V2.1 + justification V2.2)
- Camemberts (V2.2)

○ (Sélection du modèle)

- Safran
- **Crocus**
- Mepra

○ Liste des paramètres

- Tempé de surface
- *Variation hauteur de neige (Tassement / Accroissement)*
- *Épaisseur de neige récente*
- Profondeur d'humidification
- Épaisseur de regel
- Écoulement à la base
- Hauteur de neige
- Équivalent en eau

Gestion par Crocus

- Tassement
- Épaisseur de neige récente

METAMO : Métamorphose et tassement de la neige pour chaque couche **pas de temps horaire**

- **Neige humide** :
 - Cas dendritique : Dentricité $\searrow$ et sphéricité $\nearrow$
 - Cas non dendritique : Sphéricité $\nearrow$ jusqu'à 1 puis taille $\nearrow$
- **Neige sèche - Faible gradient** (de 0 à 5°C/m)
 - Cas dendritique : Dentricité $\searrow$ et sphéricité $\nearrow$
 - Cas non dendritique : Sphéricité $\nearrow$ et taille fixe
(Si Histo = 2 ou 3 et Gros grains : Sphéricité limitée à 0.5)
- **Neige sèche - Moyen gradient** (de 5 à 15°C/m)
 - Cas dendritique : Dentricité $\searrow$ et sphéricité $\searrow$
 - Cas non dendritique : Sphéricité $\searrow$ et taille fixe
- **Neige sèche - Fort gradient** ($> 15^\circ\text{C/cm}$)
 - Cas dendritique : Dentricité $\searrow$ et sphéricité $\searrow$
 - Cas non dendritique : Sphéricité $\searrow$ jusqu'à 0 puis taille $\nearrow$

« Neige récente » = « dendriticité > 25 »

Gestion par Crocus

- Tassement
- Épaisseur de neige récente

METAMO : Métamorphose et tassement de la neige
pour chaque couche **pas de temps horaire**

- **Tassement** :

- tassement uniquement mécanique
(poids des couches supérieures)

$$\frac{\delta e}{e} = - \frac{\sigma}{\varepsilon} \delta t$$

- **e** : épaisseur de la couche

S : contrainte verticale (masse des couches
supérieures)

ε : viscosité dépend de température, densité, type de
grain et TEL

t : temps

- Mise à jour de la **nouvelle épaisseur** de la couche

Très peu de tassement pour les
neiges anguleuses



MASLAT : Variation de masse due au flux de chaleur latente

- **Condensation** et **sublimation** en surface
- Mais **pas de gestion du givre de surface** dans le modèle



BRUTE : Correction des états thermodynamiques impossibles

NEIGE : Ajout de la neige fraîche

- **Température** : $T_{\text{neige fraîche}} = \begin{cases} T_{\text{air}} & \text{si } T_{\text{air}} < 0^{\circ}\text{C} \\ 0^{\circ}\text{C} & \text{si } T_{\text{air}} \geq 0^{\circ}\text{C} \end{cases}$
- **Densité** : fonction de la température de l'air et du vent
- **Type de grains** (dendricité et sphéricité) : fonction du vent
- **Agrégation** éventuelle de couches en cas de dépassement du nombre de couches maximum (50 couches)

Agrégation de 2 couches de neige : propriétés de la couche résultante

- Somme des épaisseurs et de l'eau liquide des 2 couches
- Moyenne pondérée de la densité (conservation de la masse)
- Tempé de la nouvelle couche (conservation de l'énergie)
- Type de grains dépendant de l'historique et du type de grains des 2 couches initiales (fonction de la couche prépondérante)

**Vent pendant la chute : modif densité, dendricité, sphéricité
pas d'érosion ni d'accumulation en dehors d'une chute**

Comment voir les résultats Crocus

○ Type de visualisations

- **Cartes** (dans la V2.0)
- Profils (V2.1 + justification V2.2)
- Camemberts (V2.2)

○ (Sélection du modèle)

- Safran
- **Crocus**
- Mepra

○ Liste des paramètres

- Tempé de surface
- Variation hauteur de neige (Tassement / Accroissement)
- Épaisseur de neige récente
- *Profondeur d'humidification*
- *Épaisseur de regel*
- *Écoulement à la base*
- Hauteur de neige
- Équivalent en eau

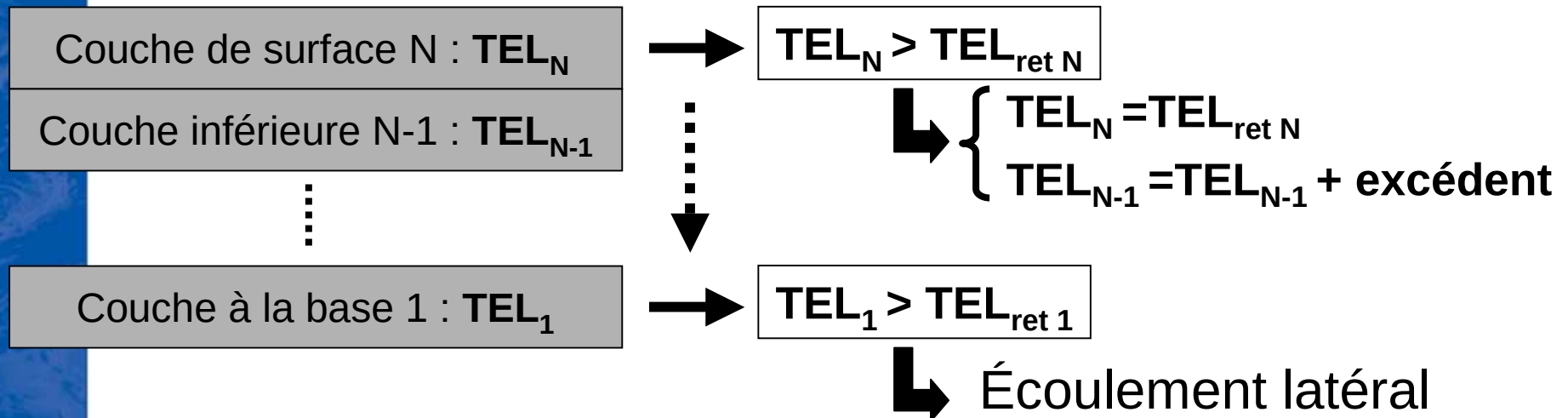
▲ Gestion par Crocus

- Profondeur d'humidification
- Épaisseur de regel
- Écoulement à la base



EAU : Gestion de l'eau liquide dans le manteau neigeux

- Introduction de l'eau liquide due à la **fonte** : $TEL = TEL_{init} + \text{fonte}$
- **Percolation** au sein du manteau neigeux
 - Écoulement vers la couche sous-jacente si $TEL > TEL_{retention}$
 - $TEL_{retention} = 5\%$ du volume des pores



Pas de cheminées de percolation

Comment voir les résultats Crocus

○ Type de visualisations

- **Cartes** (dans la V2.0)
- Profils (V2.1 + justification V2.2)
- Camemberts (V2.2)

○ (Sélection du modèle)

- Safran
- **Crocus**
- Mepra

○ Liste des paramètres

- Tempé de surface
- Variation hauteur de neige (Tassement / Accroissement)
- Épaisseur de neige récente
- Profondeur d'humidification
- Épaisseur de regel
- Écoulement à la base
- *Hauteur de neige*
- *Équivalent en eau*

Gestion par Crocus

Hauteur de neige / Équivalent en eau : Paramètres globaux du profil

- Calculés à partir des données de chaque couche en fonction de l'épaisseur de neige, de la densité et de la teneur en eau liquide

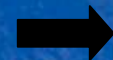


MODPRO : Réorganisation du profil du manteau neigeux

- **Dédoubléments** et **agrégations** éventuelles de couches
 - permet d'éviter le dépassement du nombre de couches maximum
 - permet d'éviter des couches d'épaisseur trop faible ou trop importante
 - permet une discrétisation plus fine en surface où le gradient de température est plus important



FIN DU PAS DE TEMPS DU MODELE



FIN DU PAS DE TEMPS HORAIRE

Enregistrement des résultats

 **RESULT** : Sauvegarde des résultats et profils horaires

- Écriture des résultats dans les fichiers PRO
Fichiers annuels de profils pour chaque point de simulation

Résumé situation actuelle:

- **Simulation ponctuelle**
- **Modélisation unidimensionnelle**
- **Prise en compte des métamorphoses**
- **Pas de givre de surface ni de neige roulée**
- **Le vent**
 - **Pas de transport de neige (érosion/accumulation)**
 - **Densité et dendricité de la neige fraîche fonction du vent**
- **Gestion de l'eau liquide**
 - **Chaque couche est un réservoir, écoulement si la quantité d'eau dépasse la capacité de rétention. Pas de gestion des couches saturées**
 - **Modélisation simple donne pourtant une bonne estimation de la première humidification des couches profondes**

Pbs actuels identifiés pour la PRA

- **Pas de givre de surface ni de neige roulée**
- **Pb de tassement des faces planes**
- **Pb de la précip liquide en surfusion (non pris en compte dans Crocus)**