

# La neige et le risque avalanche

## Préparer – Observer – Décider



## **1<sup>ère</sup> Partie : Nivologie pratique**

Conditions de formation

Métamorphoses

Structure du manteau neigeux

Le modèle de plaque

## **2<sup>nde</sup> Partie : Gestion du risque avalanche en randonnée hivernale**

La méthodologie 3 x 3

La méthode de réduction du risque

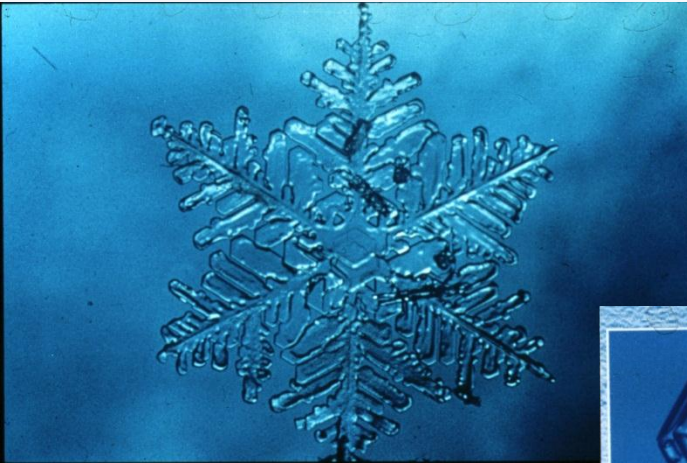
Analyse locale du risque

Les situations à risque

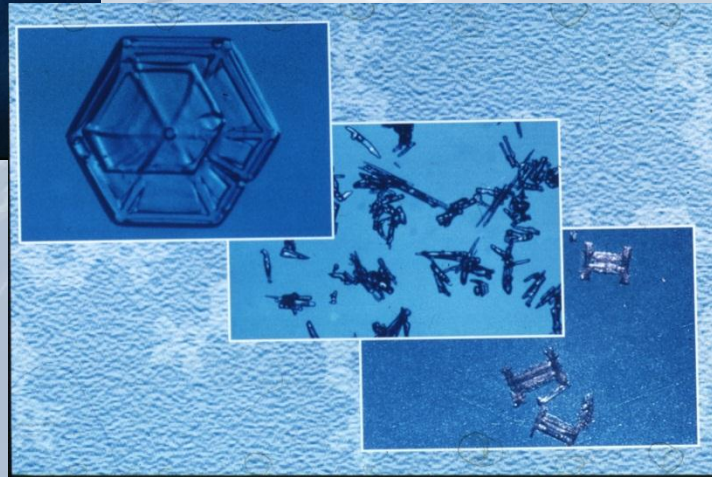
Illustration à base d'exemples

### Formation des cristaux

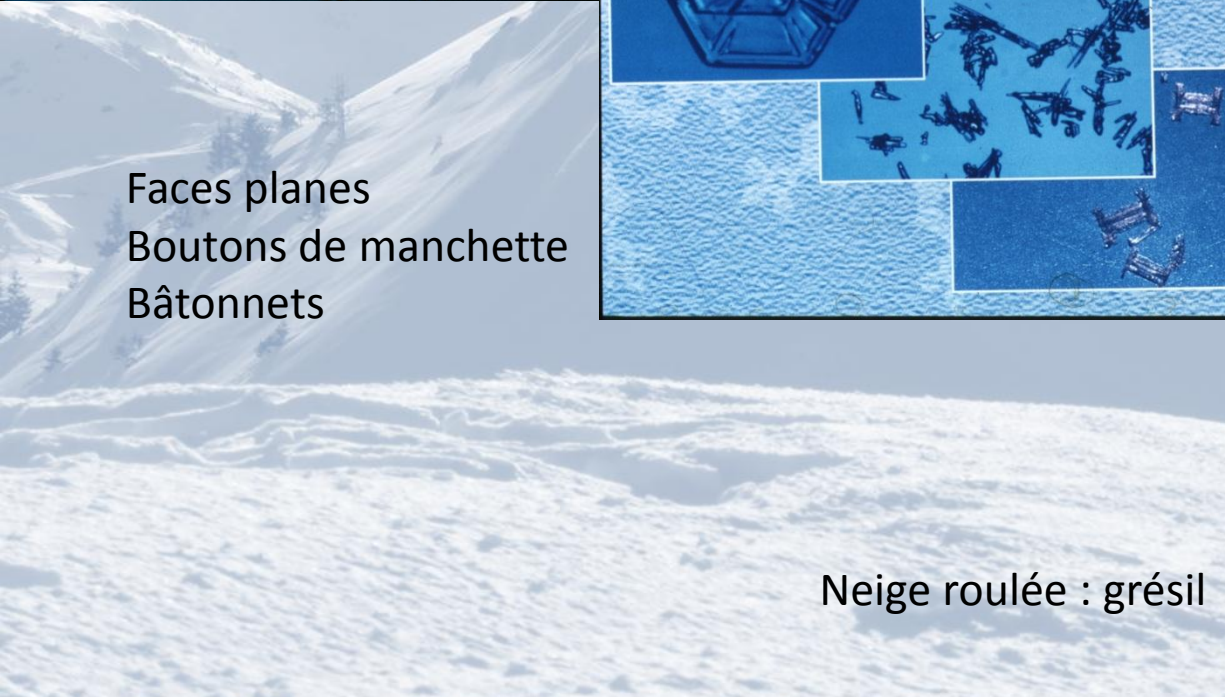
- Existence d'un noyau de congélation (particules salines, poussières, ...)
- Phase de coalescence : des conditions thermodynamiques favorables sont nécessaires pour permettre la croissance d'un cristal de glace autour du noyau
- Chute gravitaire du cristal vers le sol
- Transformations physico-chimiques au cours du déplacement : sous l'effet de la température, de l'humidité, du vent, le cristal se transforme (il existe des dizaines de milliers de cristaux de neige différents !)
- Parfois, lorsque les conditions le permettent, des cristaux s'agglomèrent pour constituer des flocons
- Lorsque les couches atmosphériques traversées sont trop chaudes, les cristaux (ou les flocons) se transforment en gouttes de pluie



Cristal dendritique :  
le modèle parfait !



Faces planes  
Boutons de manchette  
Bâtonnets



Neige roulée : grésil



## La limite pluie-neige

La température décroît avec l'altitude :

1 ° C / 100 m (air sec)

0.5 ° C / 100 m (air saturé)

Limite pluie/neige : 300 m en dessous de l'isotherme 'zéro'

**Ex.** Grenoble (200 m) :

$t^{\circ} = +4^{\circ} \text{ C}$

Météo = pluie

Au col du Barioz (1050 m) :

$(1050 - 200) \times 0.5 \sim 4^{\circ} \text{ C}$

$t^{\circ} = 0^{\circ} \text{ C}$

Limite pluie/neige : vers 750 m d'altitude

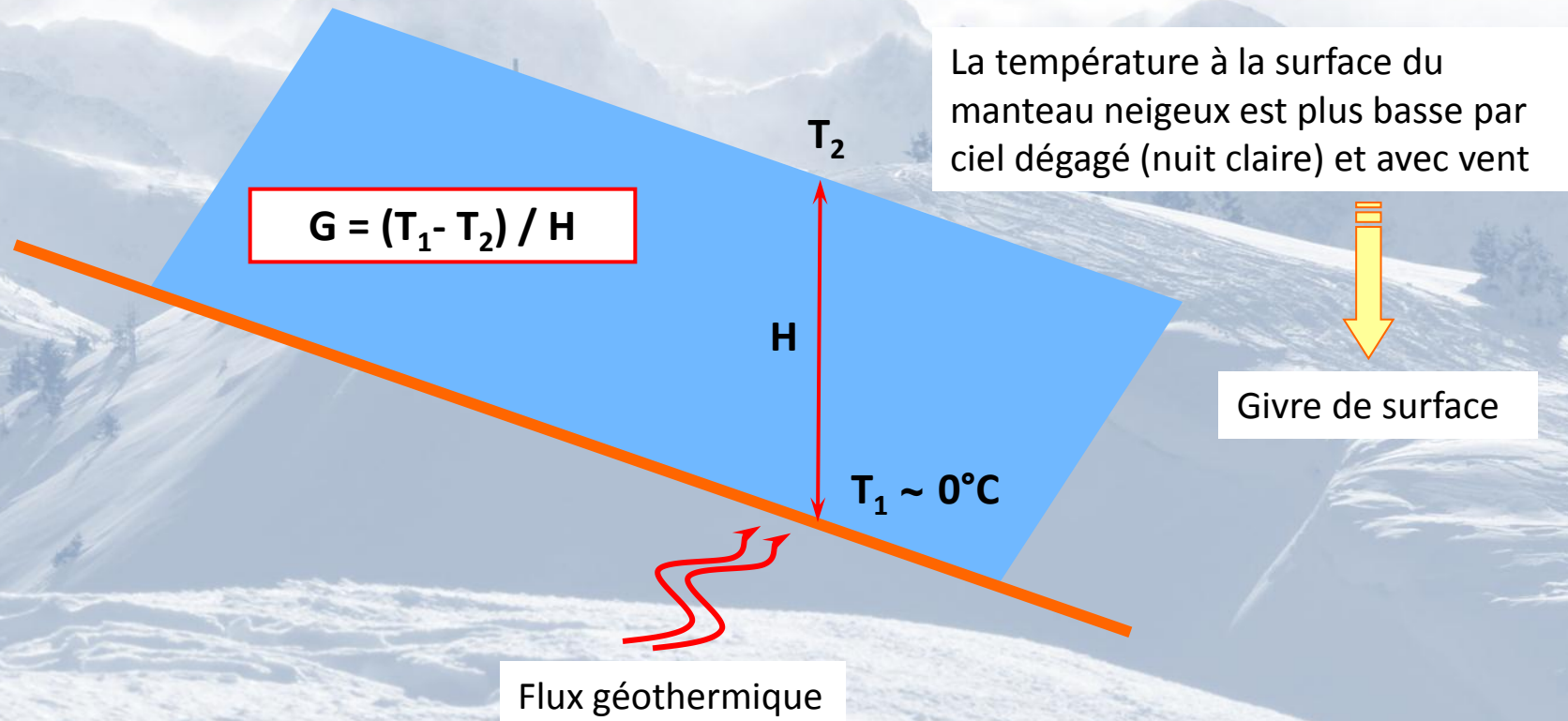
Météo sur le col du Barioz = neige

## Métamorphose de la neige

- La neige au sol est constituée d'eau sous ses trois phases (solide, liquide, vapeur)
- La densité de la couche fraîche au sol varie entre 50 et 150 kg/m<sup>3</sup>
- Rapidement, sous l'effet d'agents atmosphériques (température, précipitations, vent), topographiques (pente, orientation, altitude) et mécaniques (surcharges, ...), la neige au sol se transforme
- Ces transformations (métamorphoses) vont induire un tassement de la couche de neige, et donc une augmentation de la densité ; elles s'accompagnent ou non d'une augmentation du nombre et de la taille des ponts reliant les grains en contact



## Gradient de température (G : en °C / m)



La surface du manteau neigeux se refroidit par rayonnement la nuit par ciel clair et avec vent

**Givre de surface**



## Exemples:

T1 = 0 °C  
T2 = -20 °C  
H = 2 m



$$G = 20 / 2 = 10 \text{ °C/m}$$

T1 = 0 °C  
T2 = -10 °C  
H = 20 cm



$$G = 10 / 0.2 = 50 \text{ °C/m}$$

Faible gradient :	$G < 5 \text{ °C/m}$
Moyen gradient :	$5 \text{ °C/m} < G < 20 \text{ °C/m}$
Fort gradient :	$G > 20 \text{ °C/m}$



## Effet de rayon de courbure

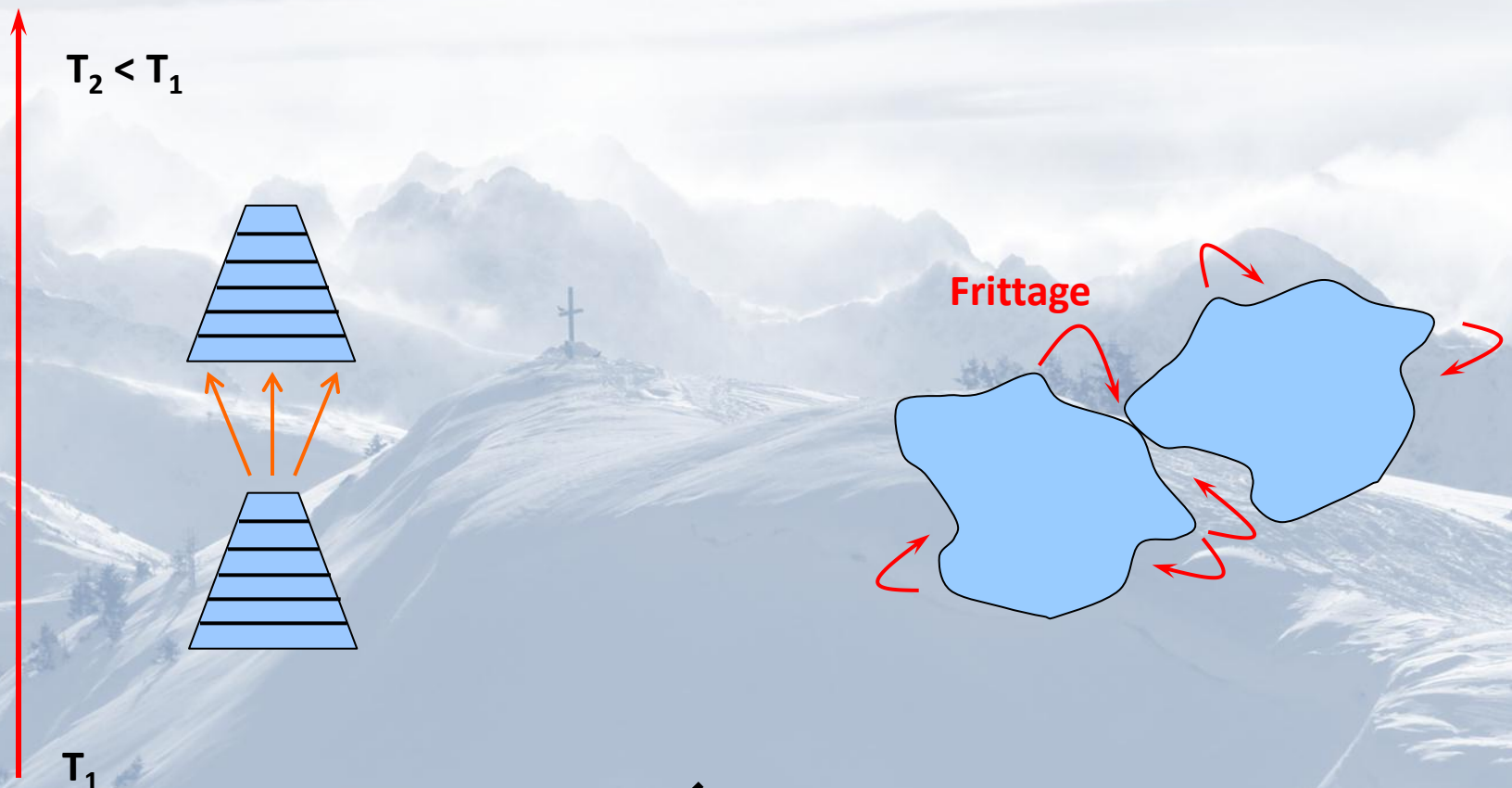
- Transfert de masse (par sublimation puis condensation solide) depuis les zones convexes vers les zones concaves
- Les grains s'émousent, les formes s'arrondissent
- Formation de grains fins

## Mécanisme de frittage

- Transfert de masse (par sublimation puis condensation solide) vers les zones de contact entre grains (zones concaves)
- Création de ponts de glace

## Mécanisme de givrage

- Transfert de masse (par sublimation puis condensation solide) depuis les zones « chaudes » vers les zones « froides »
- Forte angularité des grains, par cristallisation dans le système hexagonal
- Formation de grains à faces planes, et de gobelets (givre de profondeur)



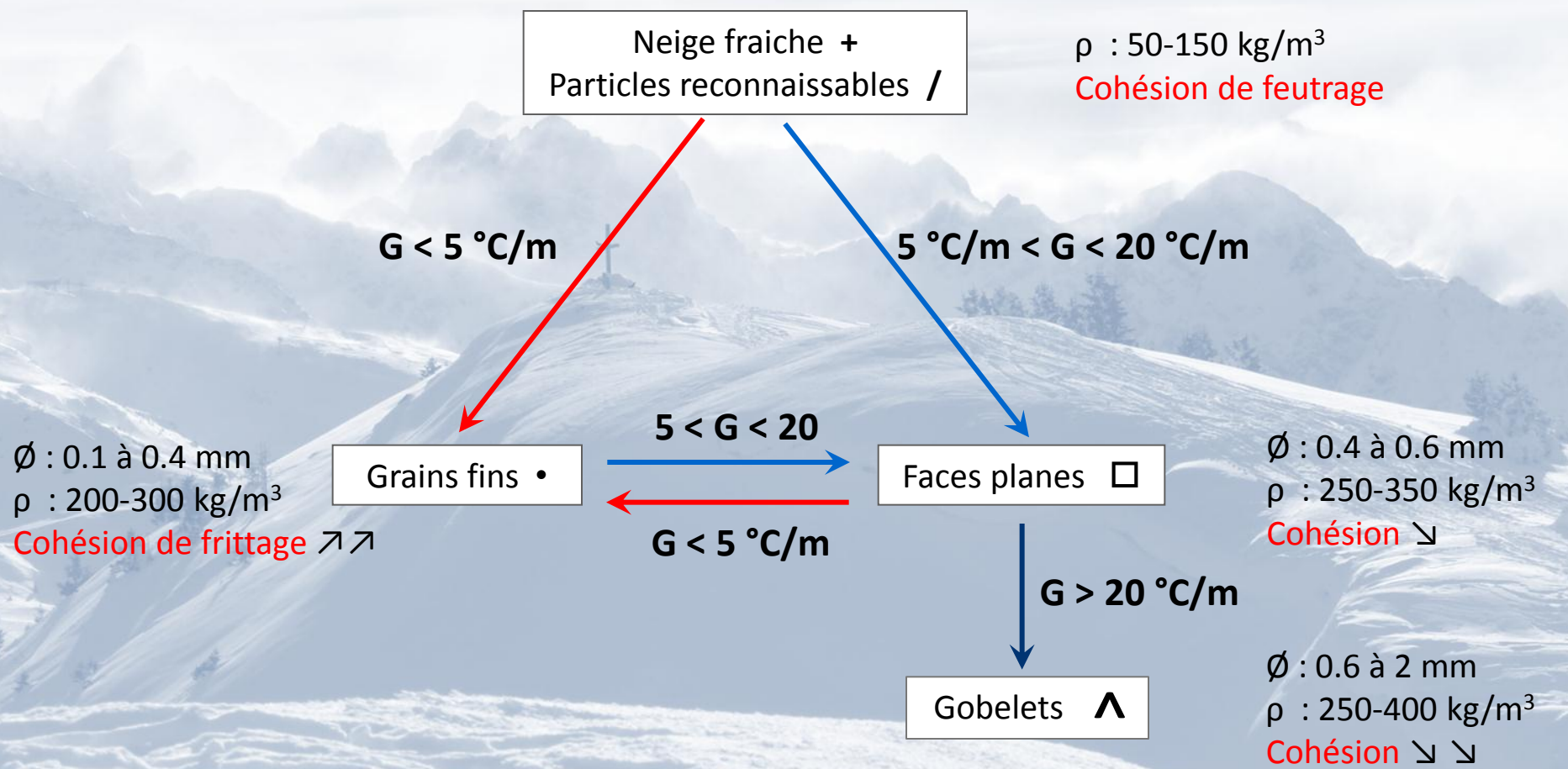
**Givrage**

exige de forts gradients

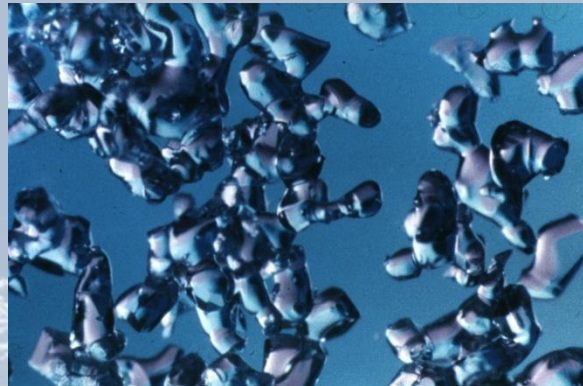
**Frittage**

**Effet de rayon de courbure**

d'autant plus marqué que la température est élevée



- Lorsque le gradient de température entre la base et le sommet de la couche de neige est faible ( $< 5\text{ °C}$ ), des grains fins se forment par **effet de rayon de courbure**.
- Lorsque le gradient de température augmente ( $> 5\text{ °C}$ ), l'effet de rayon de courbure est concurrencé par le phénomène de **givrage**. Des grains à face plane ou des gobelets se forment.
- Phénomène de **frittage** : des ponts de glace apparaissent entre les grains, d'autant plus facilement que les grains sont petits.

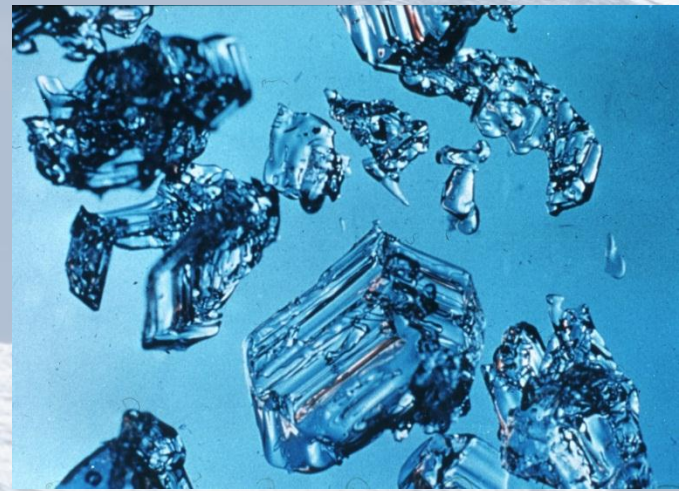


**Grains fins**

- Au cours de l'hiver, les périodes froides vont favoriser le développement de grains faiblement liés les uns aux autres (faces planes, gobelets : givre de profondeur)
- Ceci d'autant plus facilement que la hauteur du manteau est faible (début d'hiver, hiver faiblement enneigé)
- Ce givre se forme par échange vertical de matière sous l'effet du gradient de température entre le sol et la surface de la couche de neige
- Faible connexion entre les grains, faible cohésion



**Givre de surface**



**Givre de profondeur**

### La teneur en eau liquide (TEL) : % eau liquide (en masse)

Neige sèche : TEL = 0 %

Augmentation de la TEL : par apport de chaleur (fonte de la neige en surface) ou de pluie

La TEL n'est pas la même en tout point du manteau  
(hétérogénéité du manteau : l'eau s'infiltré le long de chemins de percolation)

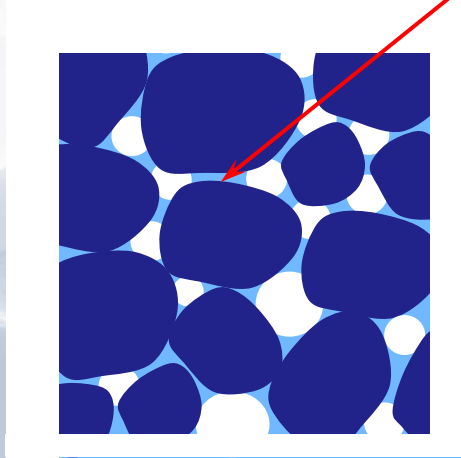
On distingue 2 régimes :

- Faibles TEL (TEL < 2 %)
- Fortes TEL (TEL > 7 %)
- Capacité de rétention du manteau (saturation en eau liquide) : TEL ~ 12 %

Lorsqu'en un point du manteau la TEL > 0 %, la température en ce point est nulle  
(température de fusion de la glace)



Pont capillaire



TEL = 2 %

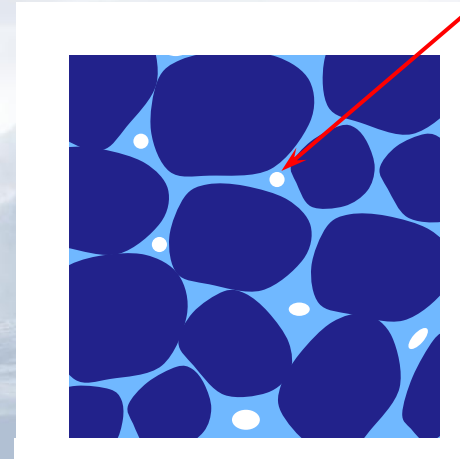
Régime non saturé

Présence : de ponts capillaires  
de forces capillaires



Cohésion

Bulle de vapeur d'eau



TEL = 10 %

Vers la saturation

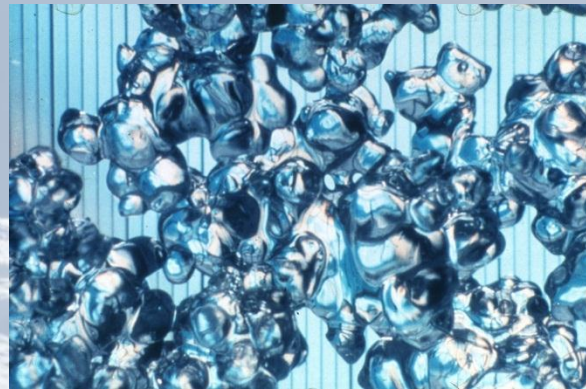
Disparition : des ponts capillaires  
des forces capillaires



Perte de cohésion



- Au cours du printemps, l'alternance de périodes chaudes (journées), et froides (nuits), va favoriser la circulation d'eau liquide et les cycles de gel – dégel
- L'eau liquide peut circuler entre les grains, favorisant les échanges de masse et de chaleur
- Une neige à grains ronds se forme (névé), d'autant plus rapidement que la TEL est élevée
- Le nombre de contacts par grain croît, les espaces vides se combent, la densité résultante augmente : jusqu'à celle de la glace ! ( $915 \text{ kg/m}^3$ )



**Grains ronds**

TEL > 2 %

Neige fraîche +  
Particules reconnaissables /

Grains fins •

Faces planes □

Gobelets ^

Grains ronds ●

- Les couches de neige au sol constituent le manteau
- Le manteau représente une « mémoire » de l'hiver
- Il apparaît comme un empilement de strates
- Chaque strate peut être reliée à un événement climatique de l'hiver (chutes de neige, redoux, période ventée, période froide, etc)



- Chaque strate est homogène, et possède une cohésion propre
- Les faiblesses mécaniques du manteau se situent au niveau des interfaces entre les strates
- D'un point de vue pratique, sur le terrain, on ne peut examiner que la stabilité des strates supérieures du manteau
- Plus le nombre de strates est important (chutes de neige fréquentes), plus la stabilité du manteau est compromise

## Méthode pratique :

**La strate supérieure est-elle cohérente** (a-t-elle une cohésion) ?

**Non** : Faible danger de plaque  
(situation survenant immédiatement après une chute de neige par températures basses et sans vent)

**Oui** : La stabilité de la strate est liée à la résistance de son interface avec la strate inférieure

## Cohésion de la neige

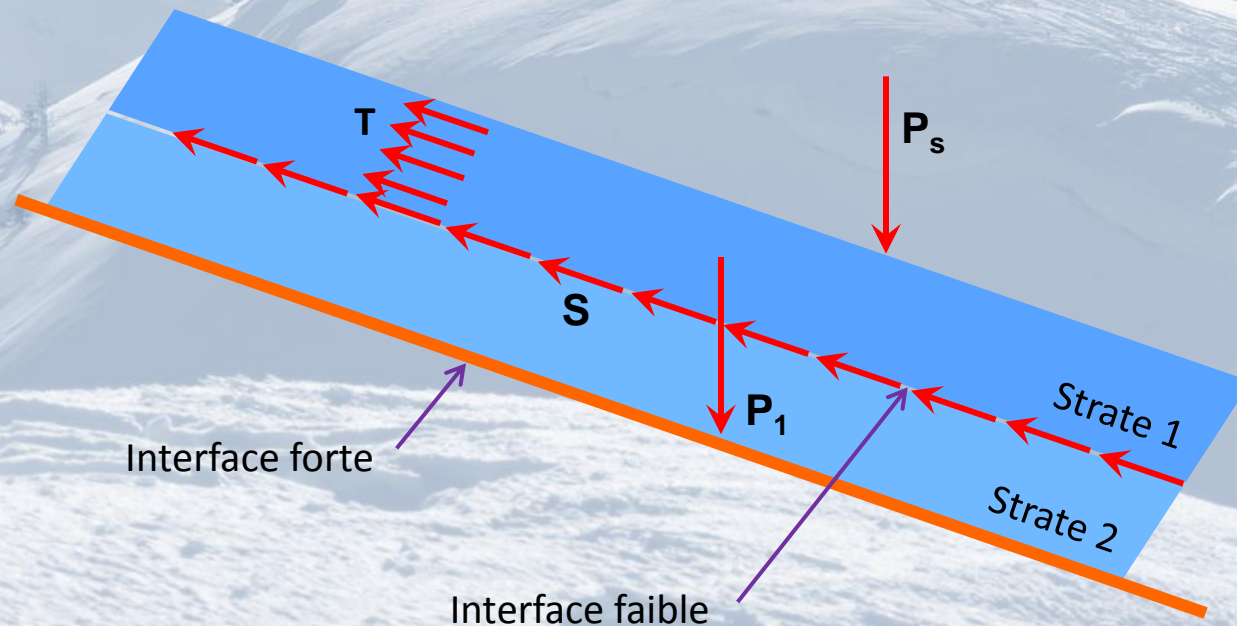
- **Neige fraîche** : cohésion de **feutrage**  
fonction de la forme des particules (présence de dendrites), de l'action du vent
- **Neige sèche transformée** : cohésion de **frittage**  
fonction de la taille des particules, de la température, du gradient de  $t^\circ$
- **Neige humide** : cohésion par **ponts de glace** / **ponts capillaires**  
fonction du nombre et de la taille des ponts / fonction de la TEL



- Surcharge ( $P_s$ )
- Faible résistance au cisaillement ( $S$ ) à la base de la strate
- Des efforts de traction ( $T$ ) se développent dans la strate
- Rupture dans la zone de faible résistance en traction

(1) La résistance au cisaillement ( $S$ ) ne suffit plus à équilibrer les efforts ( $P_s + P_1$ )

(2) Des efforts de traction ( $T$ ) apparaissent



## Equilibre mécanique de la strate

$$T = (P_s + P_1) \sin(\alpha) - S$$

Surcharge

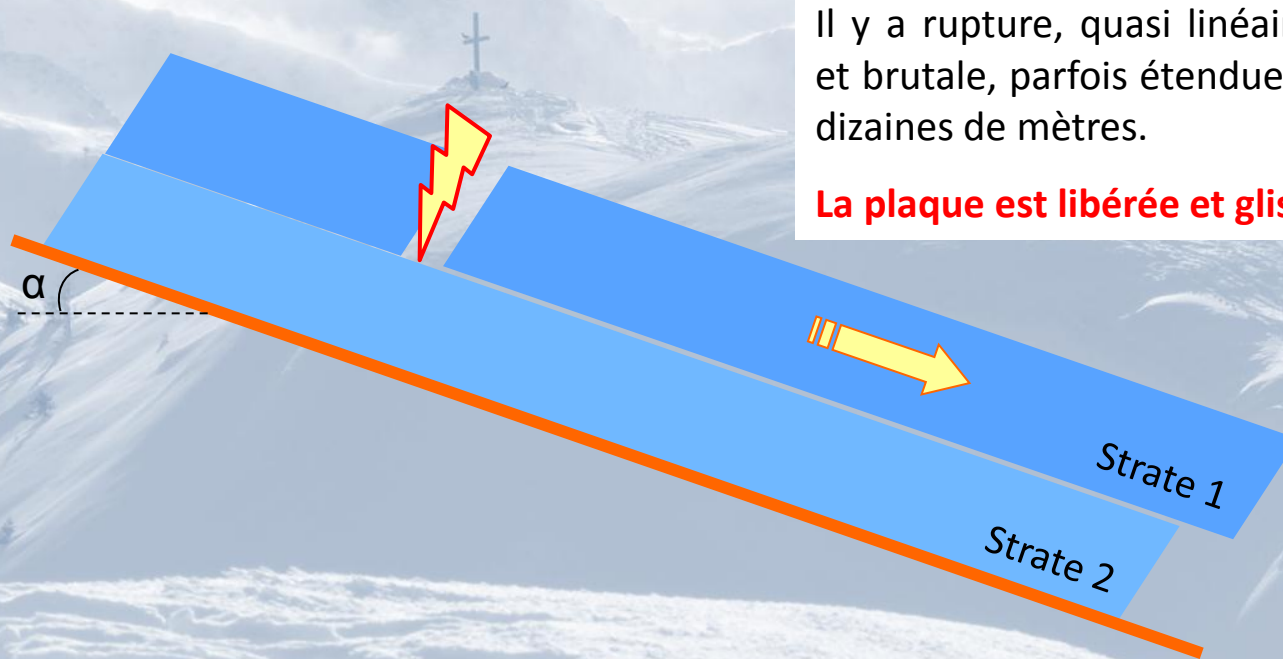
Poids de la strate

Résistance  
au cisaillement

T est élevée lorsque :

- La pente ( $\alpha$ ) est forte
- La strate est épaisse ( $P_1$  élevé)
- La surcharge est importante ( $P_s$  élevé)
- La résistance au cisaillement  $S$  est faible

Que se passe-t-il lorsque  $T$  dépasse la résistance en traction de la strate ?



Il y a rupture, quasi linéaire, très nette et brutale, parfois étendue sur plusieurs dizaines de mètres.

**La plaque est libérée et glisse vers l'aval**



## Facteur favorisant la rupture en traction

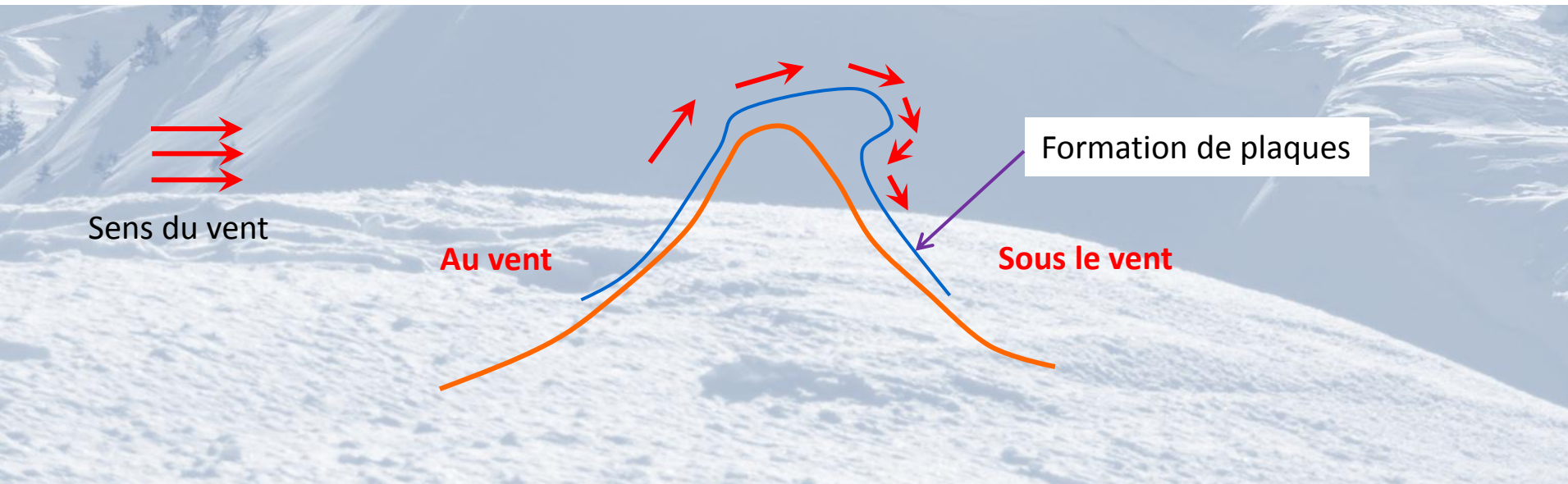
- Pente ( $\alpha$ ) importante  
Attention aux pentes raides
- Strate épaisse ( $P_1$ )
- Surcharge importante ( $P_s$ )  
Mise en place de distances de délestage  
Moins la strate est épaisse, plus l'effet de la surcharge est critique
- Faible résistance en traction de la strate  
Nature de la neige (neige poudreuse / gains fins)  
Profil de pente convexe (induit des tractions élevées)  $\neq$  Profil de pente concave  
Présence d'une falaise
- Faible résistance au cisaillement ( $S$ )  
Présence d'une couche fragile constituant l'interface  
(givre de profondeur, neige roulée)  
Présence d'une croute de regel

## Facteur favorisant la formation d'une plaque

### Définition d'une plaque

Strate cohésive ayant un faible ancrage avec le manteau

- Effet du vent : accélère le phénomène de frittage
- Proximité de cols : accélération du vent (effet Venturi)
- Proximité des crêtes : formation de corniche avec différenciation des versants « **au vent** » et « **sous le vent** »
- Reprise de la neige sur le versant au vent
- Dépôt de la neige transportée sur le versant sous le vent

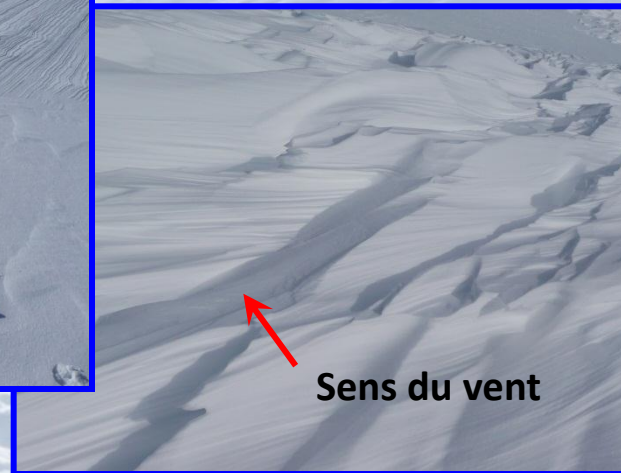


## Signes d'activité éolienne

- Présence de corniches
- Phénomène de chasse neige sur sommets et crêtes
- Surface du manteau neigeux : vaguelettes, rides, zastrugis
- Présence de givre opaque sur les aspérités (branches, poteaux, etc.)



**Vagues, rides**



**Zastrugis**



**Corniches**