



**HAL**  
open science

## Attention radar ! L'avalanche de neige dans tous ses états...

Thierry Faug

► **To cite this version:**

Thierry Faug. Attention radar ! L'avalanche de neige dans tous ses états... Neige et Avalanches, 2018.  
hal-02018006

**HAL Id: hal-02018006**

**<https://hal.science/hal-02018006>**

Submitted on 8 May 2019

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## Attention radar ! L'avalanche de neige dans tous ses états...

Thierry Faug

Irstea, Unité de Recherche ETNA, 2 rue de la Papeterie BP 76, 38 402 St Martin d'Hères, France

[thierry.faug@irstea.fr](mailto:thierry.faug@irstea.fr)

Avalanche de neige... coulante (dense), poudreuse (aérosol), lourde, légère, sèche, humide, pulvérulente, mouillée, froide, de printemps (de fonte), granulaire, pâteuse, visqueuse, etc. Les mots ne manquent pas pour évoquer la diversité des perceptions du commun des mortels ayant côtoyé les pentes enneigées, du guide de haute montagne, du gestionnaire de station de ski, du pisteur-secouriste, ou encore du chercheur nivologue, etc.

Le scientifique expert en avalanches propose des modèles pour prédire les vitesses, les distances d'arrêt, les volumes déposés et les forces d'impact, en se basant souvent sur la distinction entre aérosol (quelques  $\text{kg/m}^3$ ) et écoulement dense (150 à 350  $\text{kg/m}^3$ ) [1]. Alors que l'aérosol définit de manière précise l'écoulement turbulent d'un mélange d'air et de fines particules de neige, l'avalanche dense revêt différentes réalités de terrain... Les conditions environnementales (température notamment) modifient la consistance de la neige qui coule : elle est pulvérulente, sèche/froide, ou alors plus lourde, humide/chaude. Dans le premier cas, les dépôts sont uniformes avec une granulométrie resserrée (**Figure 1a**) alors que dans le second cas, ils sont très chahutés, de granulométrie plus étendue, et ressemblent aux tentacules d'une pieuvre, avec plusieurs levées et plans de glissement (**Figure 1b**). Les scientifiques ont très tôt dressé une typologie détaillée des avalanches [2] [3].

L'essor des technologies d'imagerie, notamment les radars, a permis de *voir à l'intérieur des avalanches* ! Le système GEODAR<sup>1</sup> [4] a été mis en œuvre sur le site de la Vallée de la Sionne (Suisse) depuis l'hiver 2010-2011 pour imager à hautes résolutions spatiale et temporelle les écoulements denses sur toute la pente (**Figure 2**). Une étude [5] vient d'exploiter des mesures GEODAR, combiné à d'autres techniques, pour extraire des informations détaillées sur la dynamique de 77 avalanches déclenchées à la Sionne. A partir de l'évolution des vitesses sur toute la pente pendant la durée totale de chaque avalanche, pas moins de sept régimes d'écoulement ont été identifiés en dehors de l'aérosol<sup>2</sup>. Quatre régimes sont denses et contrôlés par les interactions entre les agrégats de neige et avec la base de l'écoulement. Deux régimes sont plus dilués avec les interactions entre les particules de neige et l'air qui dominent. Un septième régime se caractérise par les boules de neige qui roulent sans interagir. Parmi les écoulements denses, l'étude distingue deux types d'écoulement cisailé<sup>3</sup> (l'un « froid », l'autre « chaud ») se comportant comme des écoulements granulaires non-cohésifs avec des différences de vitesse au sein de l'écoulement, et deux types d'écoulement en plug<sup>4</sup> (l'un « en plaque qui glisse », l'autre « chaud ») quand la cohésion domine et conduit à ce que la neige s'écoule comme un solide au-dessus d'une couche fine et très cisailée. Des structures solides de plus de 100 m de long ont été détectées dans les écoulements chauds en plug ! Un régime intermittent (cinquième régime), siège de fluctuations de masse volumique importantes et se caractérisant par la présence de fronts déferlants, connecte l'écoulement dense à celui de particules en suspension (sixième régime). Le GEODAR permet de localiser en temps et espace les transitions entre ces

---

<sup>1</sup> GEOphysical flow dynamics using pulsed Doppler radar:

<sup>2</sup> Ce dernier ne peut pas être détecté par le GEODAR car la taille critique des particules mises en jeu dans l'aérosol est trop petite pour la technologie de radar utilisée.

<sup>3</sup> Un écoulement cisailé est un écoulement dont la vitesse varie lorsque l'on se déplace d'un point à un autre dans l'épaisseur de l'écoulement (le gradient de vitesse est non nul)

<sup>4</sup> Un écoulement en plug est un écoulement dont la vitesse est constante sur toute l'épaisseur de l'écoulement (le gradient de vitesse est nul, contrairement à l'écoulement cisailé)

régimes [5]. L'étude traite notamment le cas d'une avalanche durant laquelle cinq de ces sept régimes sont visibles !

Il faut donc dépasser la dichotomie classique entre avalanche coulante et poudreuse [6]. Les nombreuses mesures et celles à venir offrent une base de données très riche concernant la diversité des avalanches denses. En contexte de réchauffement climatique, on risque d'observer plus fréquemment des avalanches partant à haute altitude en régime dense et froid (avec le développement éventuel d'un aérosol au-dessus) puis se transformant le long de la pente en un écoulement chaud, ce dernier se propageant alors en vallée sous forme de plug avec un glissement important à la base<sup>5</sup> (Figure 2). Développer de nouveaux modèles pour capturer cette complexité devient un enjeu majeur.

### *Pour en savoir plus*

[1] Naaim-Bouvet, F., Naaim, M., Faug, T. (2015). Une avalanche de neige peut en cacher une autre, dans « Risques naturels en montagne », 2015, Editions Quae, coordonné par F. Naaim-Bouvet et D. Richard, p. 111-118.

[2] Coaz, J. W. F. (1881). Die Lawinen der Schweizeralpen (p. 147). Bern: Dalp.

[3] Paulcke, W. (1938). Praktische Schnee- und Lawinenkunde. Berlin: Julius Springer Verlag.  
<https://doi.org/10.1007/978-3-642-99146-2>

[4] Keylock, C. J., Ash, M., Vriend, N., Brennan, P. V., McEwaine, J. N., & Sovilla, B. (2014). Looking inside an avalanche using a novel radar system. *Geology Today*, **30**(1), 21–25.  
<https://doi.org/10.1111/gto.12033>

[5] Köhler, A., McElwaine, J. N., & Sovilla, B. (2018). GEODAR Data and the Flow Regimes of Snow Avalanches. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, **123**.  
<https://doi.org/10.1002/2017JF004375>

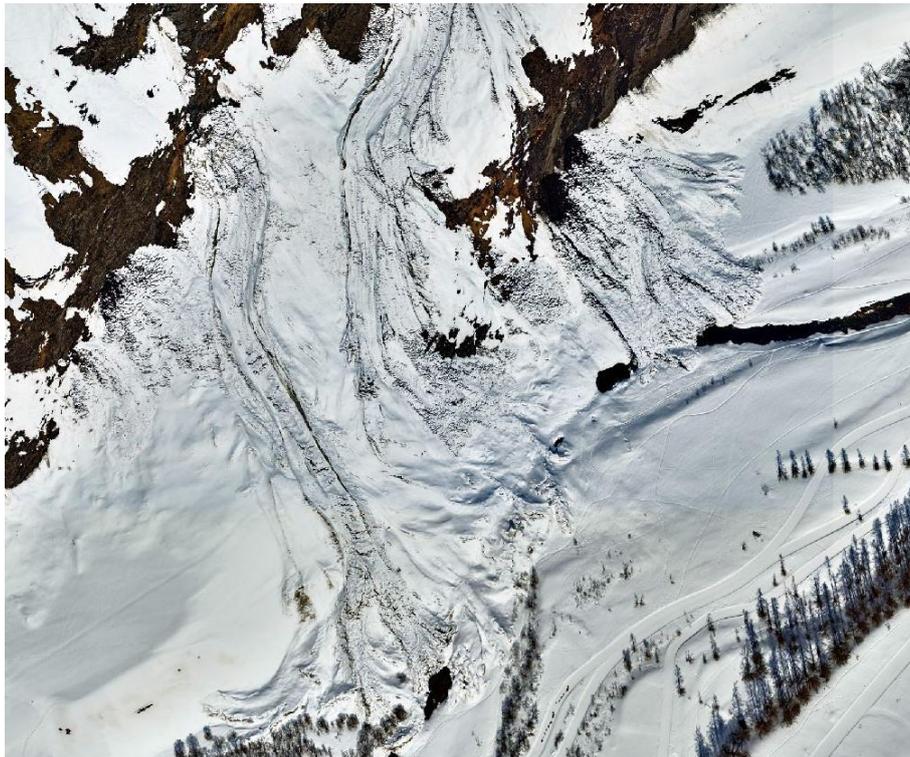
[6] Faug, T., Turnbull, B., & Gauer, P. (2018). Looking beyond the powder/dense flow avalanche dichotomy. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, **123**.  
<https://doi.org/10.1002/2018JF004665>

---

<sup>5</sup> cf., une vidéo montrant ce type d'avalanche : <https://www.youtube.com/watch?v=f5waSw2mMfY>

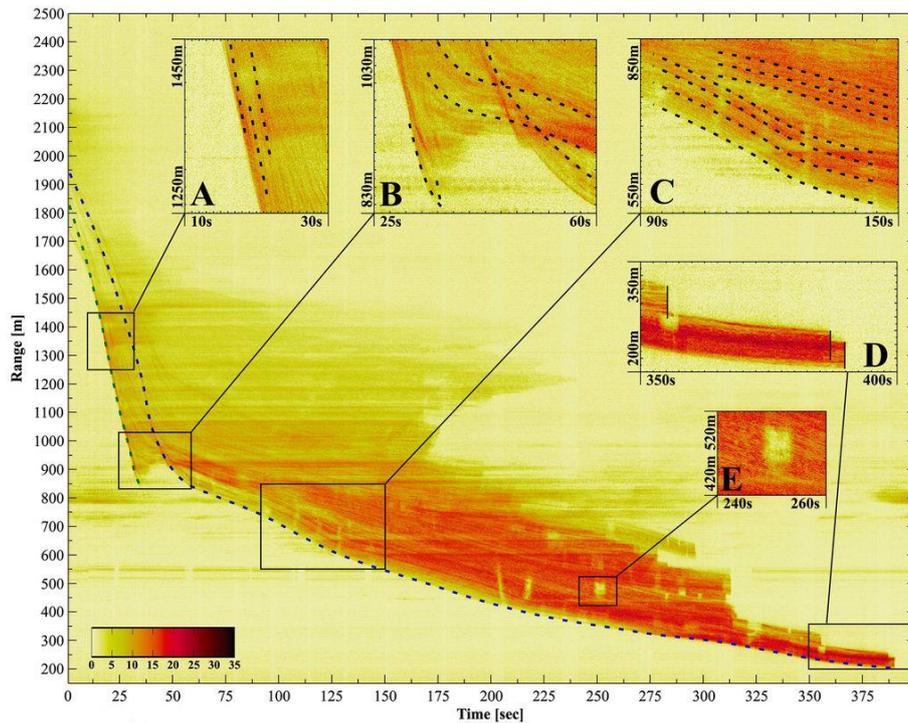


(a)



(b)

**Figure 1.** (a) Exemple d'un dépôt relativement uniforme et lisse laissé par une avalanche de neige dense et sèche/froide (Valmeinier ; ©Franck Toussaint). (b) Exemple d'un dépôt chahuté et rugueux, laissé par une avalanche de neige dense et plus humide/chaude, avec la formation de plusieurs levées et surfaces dures de glissement, (Bessans ; ©Irstea).



**Figure 2.** Exemple d'une signature du radar GEODAR due à une avalanche déclenchée à la Vallée de la Sionne (1<sup>er</sup> février 2013). L'échelle spatiale est environ 2 km (en ordonnée) pour une durée de mesure de pratiquement 7 min (en abscisse). La résolution spatiale est 0.75 m à une fréquence temporelle de 111 Hz. Les couleurs jaunes claires signifient qu'il n'y pas de mouvement et l'apparition de couleurs plus foncées indiquent l'arrivée d'un front d'écoulement (la variation au cours du temps de la frontière entre les couleurs claires et plus foncées donne la vitesse d'écoulement). Ce graphe peut apparaître « barbare » pour les non avertis mais on peut en extraire une foule d'informations qualitatives et quantitatives. En particulier, cette avalanche présente un comportement complexe car, après son départ en régime froid à haute altitude, elle entraîne de la neige plus chaude et humide le long de la pente [5]. ©Anselm Köhler (SLF, Suisse).