

L'expertise avalanche en 2021

Christophe Ancey

EPFL

Web' I-RISK



Ce projet est cofinancé par la région Auvergne-Rhône-Alpes



Qu'est-ce-que l'expertise avalanche ?

- Deux points de vue, deux approches :
 - ▶ Prévision au sens *temporel* : prévoir l'activité avalanche à J + 1 (ou J + n). Travail des services de prévision de Météo-France, services des pistes, gestionnaires de routes et infrastructures sensibles, collectivités locales, guides de montagne
 - ▶ Prédiction au sens *spatial*: quelles sont les zones soumises à des avalanches ? Avec quelle fréquence et quelle intensité se produisent les avalanches ? Zonage et gestion du risque : aménagement du territoire, construction d'ouvrages en zone exposée. Une vision sur le long terme (le siècle).

Deux problématiques, deux approches, deux métiers...

Ici on parlera de la gestion du risque.

Une longue histoire

XVIIIe-XIXe

- Petit Âge Glaciaire : avalanches de grande ampleur. Les habitants cherchent à se prémunir. Exemple de Vallorcine



Une longue histoire

XXe

- Implication des services forestiers à la fin du XIX^e. Naissance de la nivologie : Johann Coaz (1822-1918) et Paul Mougin (1866-1939)



- 1922 : création du 1^{er} modèle d'avalanche par Mougin
- 1936 : création du SLF à Davos. Rôle-clé de Robert Haefeli (géotechnicien)
- 1955 : série d'articles par Adolf Voellmy (ing. structures) qui propose une méthode de calcul des avalanches
- 1966 : Bruno Salm (SLF) envisage les premiers modèles « hydrauliques »

Une longue histoire

Vers la nivologie moderne : les années 1960 et 1970

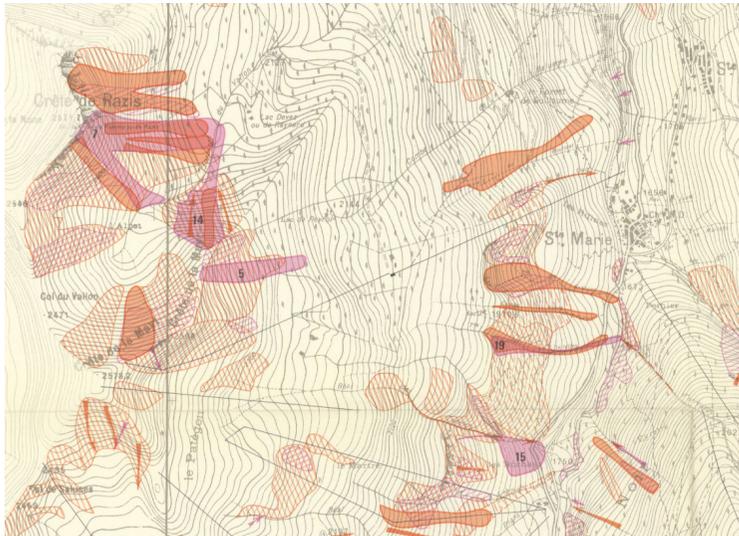
- 1951, 1954, 1968, 1970 : avalanches catastrophiques dans les Alpes
- Création de l'institut fédéral forestier (Autriche), division nivologie du CTGREF et ANENA (France), CREEL (USA) : impulsion donnée à la recherche et réflexion sur l'urbanisme
 - ▶ Approche théorique : travaux des Soviétiques (Eglit, Grigorian, Kulikovskiy, etc.)
 - ▶ Approche empirique : vers une méthode de calcul des avalanches (Bruno Salm, Hansueli Gubler, André Burkard au SLF)
 - ▶ Approche numérique : embryon de développement numérique en France (Rémi Pochat, Gérard Brugnot)
 - ▶ Approche de terrain : le rôle des forestiers (Louis de Crécy et Claude Charlier en France, Michel Heimgartner en Suisse, etc.)
- Intégration du risque dans les documents d'urbanisme : Code de l'urbanisme, PER (1982), PPR (1995) en France, LAT et LFo en Suisse

Une longue histoire

Les années 1980-90 : l'âge de la maturité ?

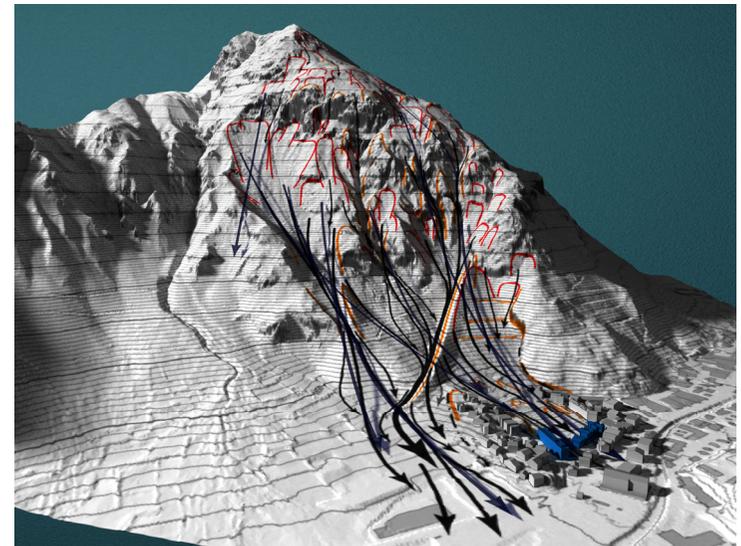
- Des approches multiples, mais prédominance de l'approche hydraulique
 - ▶ Modèle de Saint-Venant + résolution volumes finis : Jean-Paul Vila (1984), le père des modèles actuels
 - ▶ Approche statistique : Lied & Bakkehøi (1980). Un échec pour les Alpes (Adjel 1996)
 - ▶ Prémices de l'intelligence artificielle : imiter le raisonnement expert, Laurent Buisson (1992), un premier essai sans lendemain. SIG : Urs Gruber (1998) et Yannick Manche (2000)
 - ▶ Approche intégrée : modèle SBG (1990) au cœur des modèles actuels. Relation intensité/fréquence
 - ▶ Couplage de méthodes statistiques et déterministes (Keylock, 1999 ; Meunier 2001 ; Ancey 2004 ; Eckert 2009 ; Fischer 2015)
- Sites expérimentaux : Lautaret, La Sionne, Ryggfonn
- Hiver 1999 : environ 60 morts dans des habitations, mais un succès pour la procédure de zonage (W. Ammann, 2000) avec 97 % des avalanches correctement prédites

- Expertise avalanche : une activité en pleine évolution
 - ▶ Jusqu'aux années 1990 : archives (RTM, INRAE, archives départementales, enquête de terrain), expérience de terrain, règles empiriques, photo-interprétation
 - ▶ Directives suisses : ouvrages de soutien (de Haefeli à Margreth), Directives pour la prise en considération du danger d'avalanches (1984)



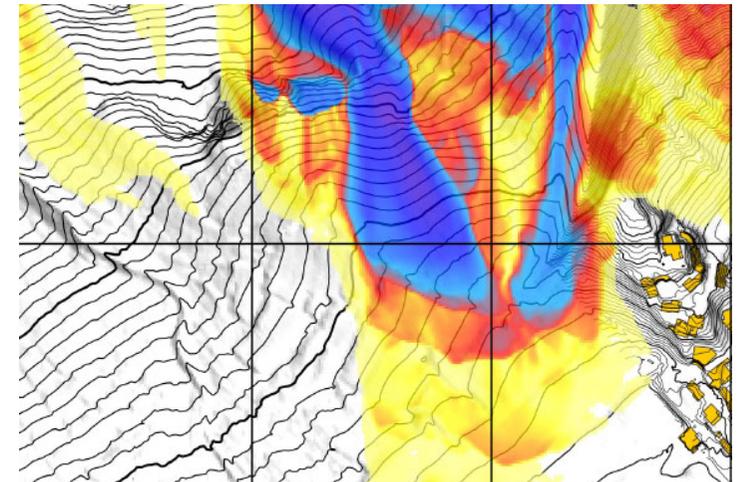
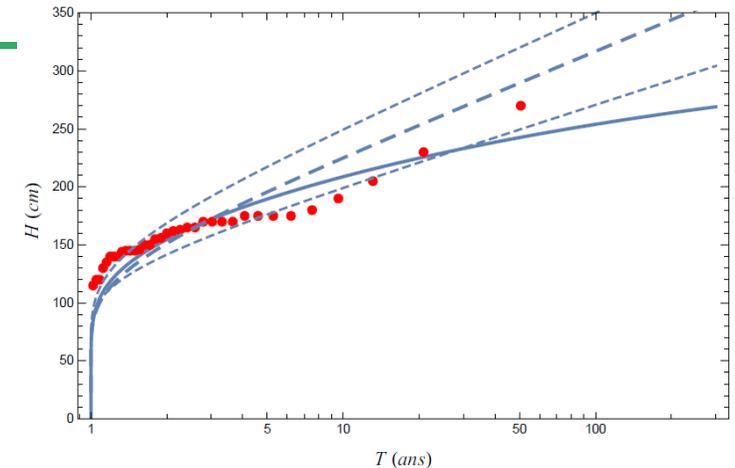
<- CLPA Vars, 1972, ©
CTGREF & IGN

-> Photo-interprétation en
3D, 2020, © V. Bain



- ▶ Années 1990 : développement des modèles empiriques : méthode Voellmy-Salm + extension par Gubler et Burkard, modèle de Perla
- ▶ Études nivométriques (étude statistique de l'enneigement)
- ▶ Multiplication des modèles académiques (Barbolini et al. 2000)
- ▶ 2002 : Commercialisation du 1^{er} modèle (AVAL1D, puis RAMMS) dans le sillage des travaux de Vila
- ▶ Changement considérable dans les intervenants (formation, bagage) et poids croissant du numérique au détriment de l'expérience
- ▶ Réflexion sur le zonage : rapport Le Gallou & Guignard (2011) et genèse difficile du guide méthodologique PPR avalanches (2002-2015)

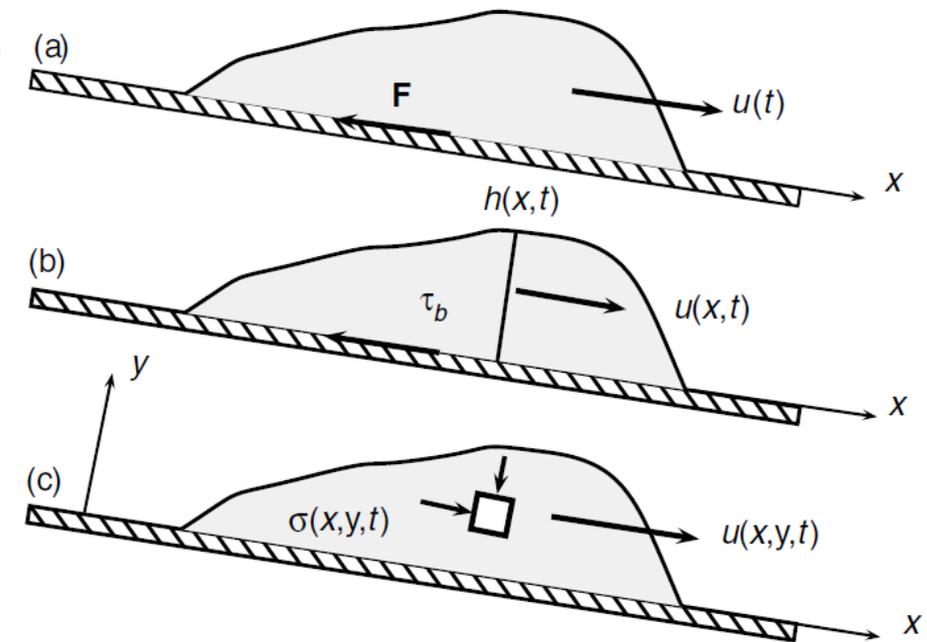
- Enquête sur l'historique : archives RTM, EPA, etc.
- Analyse des conditions nivo-météorologiques
- Analyse « experte » : visite de terrain, photo-interprétation
- Simulations numériques : prédominance de l'approche hydraulique (Saint-Venant)
- Utilisation de scénarios (types d'avalanche) et calcul de la relation $P = f(T)$ et $E = f(T)$, avec P pression, E extension, T période de retour



Outil numérique

Des échelles d'approximation

- **Modèle de bloc glissant**
 - ▶ 1922 : analogie du bloc (Mougin)
 - ▶ 1970-1990 : calcul manuel (Voellmy-Salm, Perla)
 - ▶ Années 1990 : lawsim (Gubler)
- **Modèles hydrauliques 1D et 2D**
 - ▶ 1966 : analogie avec les crues (Salm)
 - ▶ 1978 : résolution par différences finies (Pochat)
 - ▶ 1984 : résolution par volumes finis (Vila)
- **Modèles 3D (en cours de développement)**
 - ▶ Approche SPH, MPM, et MPS
 - ▶ Simulations pour les aérosols



Outil numérique

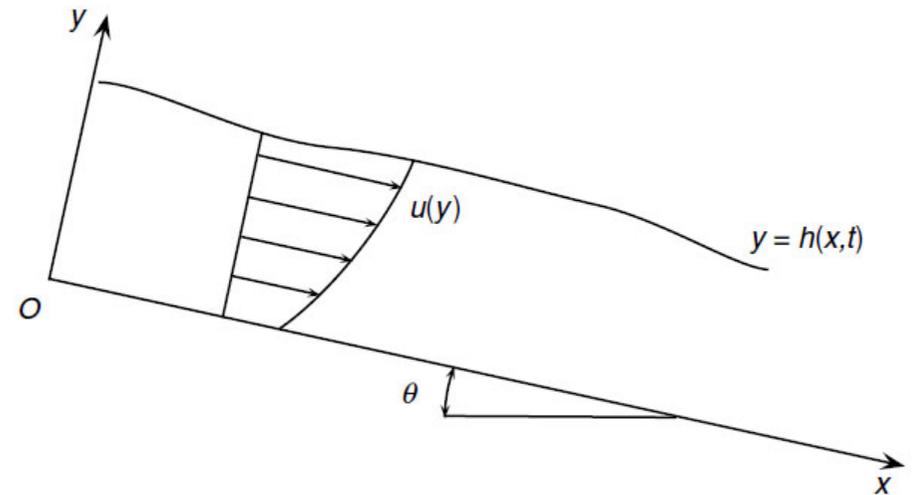
Approche hydraulique

- Une analogie entre écoulements de neige et d'eau
- On calcule vitesse moyenne \bar{u} et hauteur h
- Jeu d'équation du mouvement : principe de conservation
- Masse et quantité de mouvement

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}}{\partial x} = 0,$$

$$\rho \left(\frac{\partial h\bar{u}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}^2}{\partial x} \right) = \rho gh \sin \theta - \frac{\partial h\bar{p}}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{\sigma}_{xx}}{\partial x} - \tau_b,$$

- Inconnue : contrainte τ_b



- Le modèle usuel : loi rhéologique dite de Voellmy (1955)

$$\tau_b = \mu\sigma_{yy} + \frac{\rho g}{\xi} \bar{u}^2$$

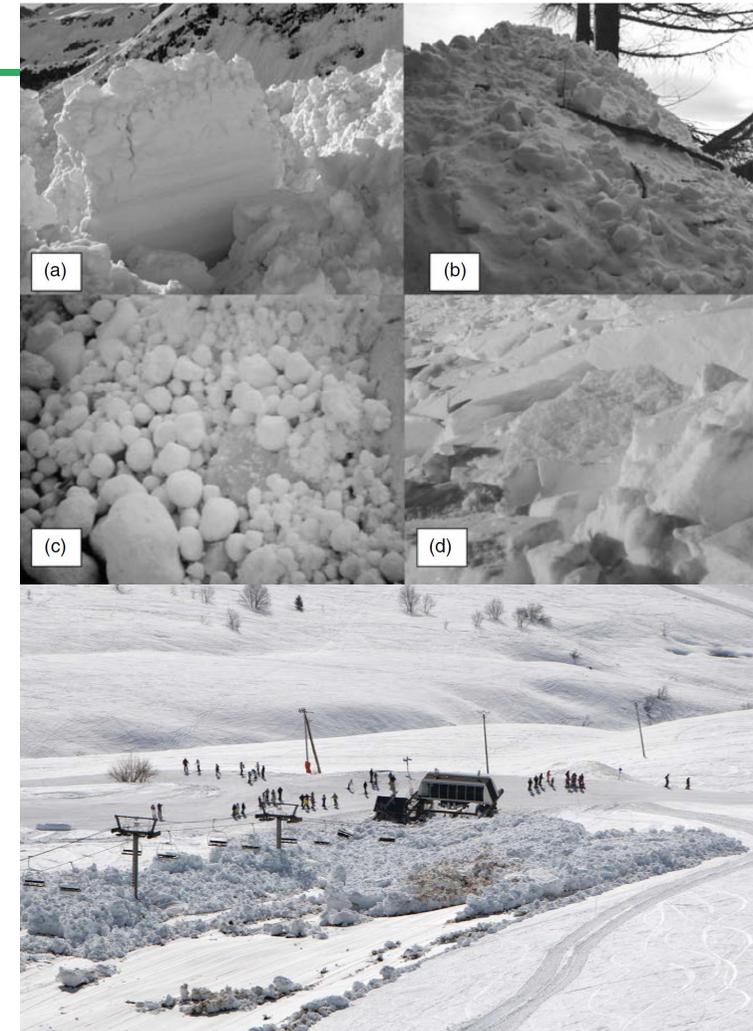
avec $\sigma_{yy} = \rho g h \cos \theta$, μ et ξ les coefficients de Voellmy qui sont calés à partir de données de terrain. Ce sont des coefficients empiriques

- Conditions de départ : type « rupture de barrage » (départ soudain d'une couche). Il faut fournir le volume de neige (et son extension)
- Topographie : en général modèle numérique de terrain (MNT) tiré de la topographie d'été
- Pas d'effet du micro-relief (bloc, arbre, etc.). Les macro-obstacles (p. ex. digue) peuvent éventuellement pris en compte

Outil numérique

Les problèmes actuels

- Les paramètres de frottement sont empiriques
- Lien difficile à établir avec le type de neige et la nature du site
- Le volume de neige mobilisé est généralement le volume initial
- Le problème d'érosion du manteau neigeux/déposition de neige est ouvert
- La forme de l'écoulement est supposée (scénario)
- Loi rhéologie constante durant l'écoulement alors que la neige est un matériau qui évolue beaucoup
- Difficulté des modèles numériques à traiter les limites d'écoulement (notamment le front) et la phase d'arrêt
- Calcul des efforts sur obstacles : un problème partiellement résolu
- Effet du réchauffement climatique

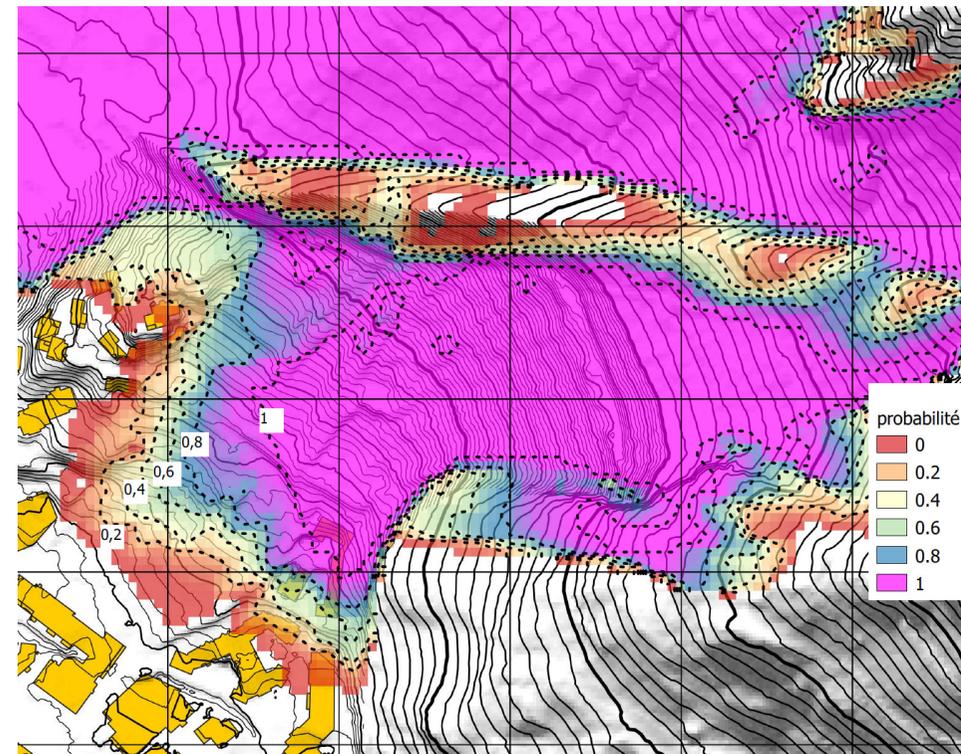


- Un bilan en demie teinte dans l'utilisation des codes en ingénierie :
 - ▶ Augmentation de la puissance de calcul des PC, mais l'architecture des modèles n'a pas changé depuis 40 ans
 - ▶ Pas d'augmentation de la précision dans l'estimation des avalanches extrêmes
 - ▶ Plus-value certaine des modèles pour décrire la phase d'écoulement, mais plus-value incertaine pour déterminer ce qui se passe dans la phase d'arrêt
 - ▶ Depuis 2010, augmentation significative des erreurs due à une méconnaissance de l'état de l'art ou une confiance excessive dans le numérique
 - ▶ Prise en compte insuffisante des incertitudes de calcul
- Des progrès
 - ▶ Interface graphique, rapidité, puissance des nouveaux codes, couplage avec les SIG
 - ▶ Accumulation de données de terrain (La Sionne, Lautaret) et labo : connaissance plus fine de la dynamique des écoulements (thèses Sovilla, Kern, Steinkogler, Köhler, Kyburz au SLF)

Outil numérique

Synthèse et perspectives

- Évolution de l'outil de calcul : plusieurs pistes
 - ▶ Raffinement : vers le 3D ? Complexité et coût de calcul...
 - ▶ Simulations stochastiques (Monte Carlo). Complexité et coût de calcul...
 - ▶ Modèles rhéologiques plus complexes (Ramms extended) : capacité accrue de description, mais pas de prédiction...
 - ▶ Utilisation de méthodes couplant IA et données (p. ex. « réseau de neurones »). Très gourmandes en données précises



- Des progrès lents mais continus depuis le début du XX^e s
- Nécessité d'acquérir des données fines : sites expérimentaux (Lautaret, La Sionne) et couloirs sensibles (EPA, CLPA, bases des stations de ski, fiches RTM) en dépit des menaces sur les financements
- Les limites des modèles : « *garbage in, garbage out* ». Nécessité de maintenir les approches classiques et problème de formation des intervenants
- Réchauffement climatique : impact sur l'enneigement, pertinence de la notion de période de retour, fréquence accrue des avalanches de glissement, quelle modification apporter aux lois empiriques et directives?