Les avalanches de neige

Auteur :
ANCEY Christophe, Professeur de mécanique des fluides, EPFL, Lausanne

30-10-2018

Les avalanches sont des écoulements rapides de neige sur une pente de montagne. Par extension, cela peut être des écoulements d'autres matériaux ; on parle parfois d'avalanche sous-marine ou d'avalanches de pierre. Le moteur de l'écoulement est la gravité. Les vitesses atteintes par une avalanche couvrent une large plage allant des faibles vitesses (quelques m/s) à des vitesses approchant celle d'un corps en chute libre (plus de 30 m/s). Les hauteurs d'écoulement sont également très variables : de quelques mètres pour des écoulements denses à plus de 100 m pour un écoulement dilué. Les distances parcourues sont également très variables : de quelques dizaines de mètres pour une petite coulée à plusieurs kilomètres pour les grosses avalanches mobilisant des volumes de plusieurs centaines de milliers de m^3.

1. Danger d'avalanches dans le monde

Les avalanches sont des écoulements typiques des régions montagneuses. Elles sont observées dès que la pente du terrain est suffisante (plus de 30° en général) et que le manteau neigeux est suffisamment épais pour former un volume de neige mobilisable. Les avalanches représentent une menace qui peut sembler bien plus faible que les autres risques naturels tels que les crues ou les séismes (de l'ordre de 0,1 % des dommages générés à l'échelle de la planète ou des pays occidentaux). Toutefois, compte tenu de leur fréquence et de leur omniprésence dans les massifs montagneux, elles constituent une menace forte pour

toutes les activités humaines (transport, tourisme, industrie), les infrastructures et les zones urbanisées. En France, les avalanches tuent en moyenne chaque année 31 personnes. La plupart des victimes sont emportées lors d'activités touristiques (principalement du ski) ; à de rares reprises au cours des trois dernières décennies, des avalanches ont causé des victimes sur les routes ou dans des maisons. La dernière catastrophe date de 1999, avec 12 morts à Chamonix. Dans les pays peu développés comme l'Afghanistan ou le Pakistan, le nombre de victimes peut dépasser la centaine lorsque des villages d'altitude sont balayés par des avalanches.

2. Problématique dans l'étude des avalanches

L'étude des avalanches comporte principalement deux problèmes :

Le premier concerne **le déclenchement des avalanches**. On cherche à déterminer quelles zones peuvent être le siège d'un départ d'avalanches pour des conditions nivo-météorologiques données. Le déclenchement résulte le plus souvent d'une instabilité du manteau neigeux (par exemple à la suite de fortes chutes de neige). Il peut également être provoqué accidentellement par le passage d'un skieur ou volontairement par une explosion (dans les stations de ski pour sécuriser leur domaine skiable) lorsque le manteau neigeux est particulièrement instable. La problématique scientifique tourne donc principalement autour de la prévision de phénomènes dans le futur proche. La plupart des pays occidentaux concernés par les avalanches ont mis en place des services qui délivrent des bulletins d'information quotidiens du risque d'avalanche durant la saison hivernale (c'est une des missions de Météo-France).

Le second problème concerne **la propagation et l'arrêt des avalanches**. On cherche à déterminer jusqu'où des avalanches peuvent aller dans un secteur donné, à quelle fréquence des avalanches de grande ampleur sont à redouter, et quels efforts elles peuvent exercer sur des obstacles. C'est un problème d'une grande importance pour l'urbanisation des communes de montagne et le dimensionnement de structures sous la menace des avalanches. La plupart des pays occidentaux sont désormais dotés d'une législation qui réglemente la construction en fonction du risque encouru. En France, c'est l'objet des plans de prévention des risques. Si la cartographie du risque est un élément important de prévention, il n'est pas suffisant car des structures peuvent être établies dans des zones à risque modéré et il convient, dans ce cas-là, d'en assurer la protection par des ouvrages de génie civil (renforcement des structures, digues d'arrêt ou de déviation, etc.). C'est l'objet du génie paravalanche.

3. Cause des avalanches

Les avalanches sont souvent étudiées et classifiées selon leur mode de déclenchement. Mieux comprendre les mécanismes de déclenchement est capital pour la prévision du risque d'avalanche ou pour la formation des pratiquants de la montagne.

Le scénario le plus fréquemment observé dans le départ des avalanches est le suivant : la succession de chutes de neige forme un manteau neigeux dont la structure s'apparente à un gros millefeuille, dont chaque strate constitue potentiellement un plan de glissement. Lors de chutes de neige, il arrive que le poids de la neige récente excède la résistance des strates inférieures. La surface du manteau neigeux se rompt sous la forme d'une plaque, d'où le nom d'avalanches en plaque. Les mécanismes exacts de déclenchement sont complexes. La plupart des théories actuelles mettent l'accent sur le rôle joué par l'interface entre la plaque de neige et le manteau neigeux sous-jacent : une couche fragile y prend souvent place et cela serait son effondrement qui serait la cause première du déclenchement. C'est ce type d'avalanche qui est particulièrement redouté par les skieurs car le poids d'une seule personne peut suffire à amorcer la rupture au sein de la couche fragile et à mettre en mouvement une grande quantité de neige en quelques secondes. Pratiquants et média parlent souvent de plaque à vent, mais c'est une appellation impropre : certes, le vent favorise le transport de neige et la cohésion de la neige, donc c'est généralement plutôt un facteur d'instabilité du manteau neigeux sur le court terme (sur une échelle de temps allant de quelques heures à quelques jours) ; toutefois, sur le plus long terme (au-delà de deux à trois jours), l'accumulation de neige et la forte cohésion jouent plutôt en faveur d'une stabilisation accrue du manteau neigeux. Le vent n'est donc pas systématiquement un facteur d'instabilité, et il ne peut expliquer à lui seul les instabilités des manteaux neigeux composés de neige sèche.

Tous les départs d'avalanche ne se produisent pas nécessairement sous la forme d'une plaque de neige. Lorsque la neige présente une faible cohésion, on observe des départs ponctuels : une petite masse de neige se met en mouvement et entraîne d'autres masses de neige à l'aval. Au fur et à mesure de sa progression, l'avalanche croît en largeur et en volume. C'est l'effet boule de neige (des récits de voyageurs au Moyen Âge jusqu'à Tintin au Tibet, les livres sont riches des descriptions savoureuses assimilant l'avalanche à une immense pelote de neige).

Certaines avalanches se produisent longtemps après une chute de neige. C'est le cas par exemple lorsqu'un manteau neigeux s'humidifie brutalement sous l'effet de la pluie ou d'une augmentation de la température de l'air. Il y a alors apparition d'eau liquide. Comme elle se concentre principalement au niveau des contacts entre cristaux de neige, elle confère une certaine cohésion à la neige sous l'effet des forces de tension de surface. Tôt en saison, le refroidissement nocturne du manteau neigeux conduit au regel de cette eau liquide. Le cycle gel/dégel contribue donc à un accroissement sensible de la cohésion de la neige. Le faible regel (voire son absence) conduit à une augmentation de la teneur en eau liquide. Celle-ci se trouvant en excès, elle

devient un facteur défavorable, permettant ainsi la formation d'avalanches de fonte ou de printemps en fin de saison.

Dans certains cas, l'eau liquide parvient jusqu'au sol et lubrifie l'interface avec le manteau neigeux, ce qui accroît très sensiblement la vitesse de glissement du manteau neigeux dans certains secteurs. Le manteau neigeux peut alors se fissurer localement jusqu'au sol. Si ces fissures ne permettent pas de ramener un équilibre statique des forces, une avalanche de glissement peut se produire : c'est tout le manteau neigeux jusqu'au sol qui se met à glisser et à se disloquer. On parle d'avalanche de glissement.

4. Propagation des avalanches

Figure 1. Avalanche coulante (avalanche des Lanches à Peisey-Nancroix, Savoie, 25 février 1995). La photographie montre une multitude de langues d'avalanche, dont certaines sont venues contre les chalets des Lanches, ce qui aide à avoir une échelle de grandeur du dépôt. Ces langues témoignent du caractère continu du flot de neige : ce n'est pas une masse compacte qui est descendue, mais une succession de « vagues » qui se sont frayé un chemin à travers les dépôts antérieurs. Ce type d'écoulement rappelle les épanchements de laves volcaniques : des écoulements lents (quelques m/s), épais (quelques m), et très pâteux. [source : PGHM Bourg-Saint-Maurice.]

La forme des écoulements de neige est extraordinairement variée. Elle est conditionnée en partie par la topographie. La pente du terrain naturel joue un rôle-clé puisque la gravité est le moteur de l'écoulement : plus la pente est forte, plus la vitesse sera potentiellement grande. Des facteurs variables tels que la consistance de la neige ou la structure du manteau neigeux influent grandement sur la dynamique des écoulements. Une fois partie, l'avalanche peut continuer à entraîner de la neige et cela d'autant plus facilement que les pentes sont fortes et que le manteau neigeux est peu résistant. Elle peut aussi entraîner de l'air ambiant, ce qui a pour effet de favoriser la mise en suspension de la neige et la formation de nuages de neige appelés aérosols.

Figure 2. Avalanche en aérosol (Roux d'Abriès, Hautes-Alpes, janvier 2004). L'avalanche a été déclenchée artificiellement après de fortes chutes de neige. La neige froide et sèche a rapidement acquis de la vitesse (quelques dizaines de m/s). Elle a massivement entraîné de l'air pour former un aérosol, dont la hauteur fait quelques dizaines de mètres. Compte tenu de sa vitesse importante à l'arrivée dans le fond de vallée, l'avalanche ne s'étale, mais remonte la pente opposée. En dépit de cette vitesse, elle occasionne peu de dommages aux arbres car la neige en suspension dans l'air a une faible masse volumique (quelques kg/m3), et donc la pression d'impact reste faible (moins de 2 kPa). Caché à notre vue, se trouve également un écoulement plus dense qui suit la ligne de plus grande pente, puis vient mourir dans le lit du torrent.[source : Maurice Chave.]

Compte tenu de la grande diversité des écoulements, il est commode de considérer deux formes idéales :

l'avalanche coulante, un écoulement dense de neige dont la trajectoire épouse assez fidèlement le relief (voir figure 1) ;

l'avalanche en aérosol, un écoulement dilué et à grande vitesse, dont la trajectoire a tendance à suivre la ligne de plus grande pente (voir figure 2).

La plupart des avalanches tombent dans l'une ou l'autre de ces deux catégories. Dans certains cas, elles présentent des caractéristiques propres à chacune des deux catégories (on parle parfois d'avalanche mixte).

L'avalanche coulante a une vitesse qui se situe généralement dans une fourchette large de 5 à 25 m/s, parfois 50 m/s. La masse volumique est élevée, comprise entre 150 et 500 kg/m3. Les hauteurs d'écoulement sont généralement de quelques mètres. Comme elles suivent le relief, il est assez simple de prédire leur trajectoire. Ce qui est plus compliqué, c'est de déterminer leur cote d'arrêt et leur étalement durant leur arrêt. La plupart des avalanches coulantes s'arrêtent sur des pentes supérieures à 10°, mais certaines d'entre elles ont parcouru de grandes distances sur des pentes faibles (entre 5° et 10°).

L'avalanche en aérosol a une vitesse importante, souvent comprise entre 60 et 100 m/s. Un pur aérosol est constitué d'un nuage de neige en suspension, avec des masses volumiques moyennes faibles (quelques dizaines de kg/m3). La masse volumique est très variable dans l'aérosol. En effet, sous l'effet de la pesanteur, on observe une plus grande concentration de particules vers la base de l'écoulement. En raison de ses grandes vitesses, l'aérosol aspire massivement de l'air ambiant, ce qui lui permet d'accroître sa hauteur de façon spectaculaire puisque des hauteurs de 10 à 100 m sont couramment observées. Pour contrebalancer la dilution de l'aérosol sous l'effet de cette incorporation d'air, l'aérosol doit également entraîner de la neige du manteau neigeux. En l'absence d'entraînement, l'aérosol continue de se dilater jusqu'à perdre toute force.

L'Encyclopédie de l'environnement est publiée par l'Université Grenoble Alpes - www.univ-grenoble-alpes.fr

Pour citer cet article: **Auteur :** ANCEY Christophe (2018), Les avalanches de neige, Encyclopédie de l'Environnement, [en ligne ISSN 2555-0950] url : http://www.encyclopedie-environnement.org/?p=618

Les articles de l'Encyclopédie de l'environnement sont mis à disposition selon les termes de la licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.