

LA STEREOPHOTOGRAMMETRIE
A C A D E N C E R A P I D E D' A V A L A N C H E S

G. B R U G N O T

Depuis sa création, la Division Nivologie s'est intéressée à l'étude d'avalanches déclenchées artificiellement. En effet, qu'il s'agisse de problèmes de localisation du risque (extension maximale possible d'une avalanche donnée) ou de calculs d'ouvrages destinés à résister aux efforts développés par l'avalanche, il est indispensable de reconstituer la dynamique de celle-ci. A cette fin, un programme de mesures sur avalanches déclenchées par explosif fonctionne depuis 1972 au Col du Lautaret. Il associe la Division Nivologie du C.E.M.A.G.R.E.F., le Centre d'Etude Nucléaire de Grenoble et le Centre d'Etude de la Neige. Ce programme a déjà permis d'acquiesrir un certain nombre de données intéressantes concernant les profils de vitesse et de pression dans une section donnée de trois couloirs d'avalanche équipés à cette fin.

Le succès rencontré par la Division Hydrologie-Hydraulique fluviale dans l'adaptation à l'avalanche de neige d'un programme numérique d'hydraulique à surface libre nous a conduit à réorienter nos mesures. Il s'avère en effet que pour caler ce modèle numérique, les deux paramètres essentiels sont le débit massique dans une section donnée, mesuré en fonction du temps et les caractéristiques de front, vitesse, hauteur, surface mouillée, etc. mesurées également en fonction du temps.

Nous ne traiterons pas des mesures de débit massique, qui nous ont amené à faire face à de grandes difficultés puisqu'elles nous ont obligés à mesurer, outre les vitesses, les masses spécifiques (nous ne sommes pas en présence d'eau, mais d'un écoulement compressible). Des mesures de m.s. ont été tentées par gammamétrie, avec des résultats difficiles à interpréter.

En ce qui concerne la mesure des caractéristiques du front, nous nous sommes orientés vers la stéréophotogrammétrie. Nos travaux expérimentaux se sont inspirés des méthodes de stéréophotogrammétrie décrites dès 1967 par Briukhanov. Ces méthodes ont été appliquées aux avalanches en Asie Centrale et dans les Khibines, presqu'île de Kola (Briukhanov 1967 et Samoïlov 1976).

Nous avons donc utilisé la stéréophotogrammétrie pour mesure de vitesses d'avalanches en 1979. Nous voulions confirmer la validité de ce procédé mais surtout obtenir des résultats numériques pour tester les coefficients du programme de calcul numérique mis au point par Carry et Pochat (1978).

Nous avons retrouvé un résultat (fig. 3) assez curieux concernant le comportement d'un front d'avalanche après un élargissement brutal faisant suite à un parcours canalisé.

Stéréophotogrammétrie et étude des avalanches

Briukhanov a montré que la stéréophotogrammétrie terrestre s'appliquait parfaitement à la mesure de la vitesse d'un front d'avalanche. Nous avons repris ses calculs et montré que, dans le cas de trois avalanches facilement déclenchables au-dessus du Col du Lautaret, on pouvait espérer, avec des appareils photo distants de 100 m environ, que la précision sur la vitesse de front d'une avalanche serait de 1 m/s (Gallois, 1977).

Ces calculs ont montré qu'il n'était pas indispensable d'utiliser une chambre métrique, mais que la précision de l'appareil photo 6 x 6 Hasselblad 500 EL/M muni de l'objectif Planar de 100 mm était suffisante. Cet appareil possède un magasin de 70 vues et la cadence de prise de vue est théoriquement comprise entre 1 et 2 secondes, avec un pas de 0,10. En fait, nous avons constaté que, pour ne pas avoir de surprise avec la synchronisation, il était préférable de ne pas descendre au-dessous de 1,5 s. La seule modification notable apportée à ces appareils a consisté à les placer dans des boîtes isolantes, avec une résistance chauffante alimentée par pile.

Le plus délicat a été la synchronisation des appareils. Il est en effet nécessaire, pour que la restitution d'un couple de photos soit possible, que les deux clichés soient absolument simultanés, avec une tolérance de l'ordre de 5 millisecondes. Or, les moteurs de Hasselblad 500 EL/M ne sont pas prévus pour la prise de vue scientifique et le délai entre l'envoi de l'impulsion électrique et la prise de vue est à la fois aléatoire pour un appareil donné et variable selon le type d'appareil. Après essai, nous avons choisi la solution du rattrapage sur les inerties. Ceci est justifié par l'observation que la différence d'inertie des appareils est une variable aléatoire qui représente un faible coefficient de variation (Picco, 1977).

Prise de vue et résultats

Nous prendrons l'exemple de l'avalanche déclenchée le 21 mars 1979 sur le site n° 2 du Col du Lautaret. Le déclenchement a été effectué au moyen d'une charge d'explosif aérien transportée par un petit téléphérique. Les éléments du déclenchement et de la prise de vue sont reportés sur la fig. 1.

On a également représenté sur la fig. 1 l'emplacement du front d'avalanche toutes les 1,5 s. On peut remarquer que le premier enregistrement n'a été fait qu'alors que l'avalanche a déjà une vitesse notable : cela provient de ce que la synchronisation des appareils n'est pas suffisante sur les premières prises de vues, ainsi les couples correspondants ne peuvent pas être restitués du fait d'un décalage trop important. Nous envisageons de surmonter cette difficulté en incorporant dans le circuit de mise à feu un détonateur muni d'un retard. Les appareils photo pourront ainsi être mis en marche avant l'explosion principale et le départ de l'avalanche.

En gros, le site se présente comme un Venturi, c'est à dire que la zone de départ est large dans sa partie supérieure ; ensuite elle se rétrécit pour devenir un chenal de largeur à peu près constante ; enfin, on assiste à un élargissement brutal.

Les résultats apparaissent sur la fig. 2. Pour bien les interpréter, il faut se reporter à la topographie, c'est à dire à la fig. 1. La vitesse de front de l'avalanche semble atteindre une limite de l'ordre de 20 m/s dans la zone de départ où elle est canalisée, soit une pente de l'ordre de 70 %.

Quand le front d'avalanche sort de la zone canalisée, il subit naturellement un certain élargissement, mais celui-ci est très modéré il correspond à un angle d'ouverture de 30° environ. Ensuite, l'avalanche retrouve une largeur constante.

Mais un phénomène très surprenant témoigne bien du caractère non stationnaire de l'avalanche. Sortant de la zone canalisée, le front subit un certain ralentissement, ce qui est conforme à ce que l'on pouvait espérer. Mais, rapidement, le front se remet à accélérer à tel point qu'il atteint sa vitesse maximale là où la pente n'est plus que de 50 % environ.

Adaptation du programme "Avalanche"

Le but de cette délicate opération de terrain est, nous l'avons vu, de tester le programme de calcul numérique mis au point par le C.E.M.A.G.R.E. F. d'Antony. Nous ne décrivons pas ce programme qui a fait l'objet de plusieurs publications, notamment dans les comptes rendus de la 2ème rencontre internationale sur la neige et les avalanches (publication de l'A.N.E.N.A.)

Nous avons essayé de retrouver avec ce programme les résultats expérimentaux décrits ci-dessous. L'ajustement est excellent dans la zone de départ (fig. 2) à condition de prendre le coefficient de frottement turbulent égal à 0,0040. Dès la sortie de la zone canalisée et dans toute la zone d'arrêt, on note un écart non négligeable entre la progression observée et la progression calculée du front de l'avalanche. On rencontre ici une des limites du modèle de base, qui est unidimensionnel. Tant que l'écoulement est canalisé, il est assez facile, évidemment en jouant sur un certain nombre de coefficients, de reproduire la cinématique de l'écoulement réel au moyen du modèle. Malheureusement, dans la nature, à la zone canalisée fait souvent suite une zone de dépôt ayant un profil de cône de déjection. L'extension de l'avalanche n'est pas limitée latéralement par le relief mais par des considérations propres à l'écoulement (viscosité, etc.). Cette phase ultime de l'écoulement ne peut être reproduite que par un modèle bidimensionnel et un tel modèle est actuellement dans sa phase de mise au point.

L'avalanche calculée s'arrête nettement plus loin que l'avalanche observée, mais ceci pourrait être facilement corrigé en adaptant le coefficient de frottement solide (Lang T.E. et alii).

Quels que soient les perfectionnements apportés au modèle numérique, il sera indispensable de poursuivre les expériences pour ajuster les divers coefficients utilisés. Ces coefficients seront d'ailleurs d'autant plus nombreux que l'on compliquera le modèle numérique pour qu'il serre de près la réalité physique.

Limite du modèle utilisé

Le modèle mis au point par la Division Hydrologie-Hydraulique fluviale s'applique en fait aux avalanches denses. Il existe un deuxième type d'avalanche, dite avalanche poudreuse qui regroupe en fait divers écoulements qui ont pour trait essentiel que le frottement écoulement-surface de glissement est négligeable devant le frottement écoulement-air.

Ce type d'avalanche est étudié par simulation numérique par la Division Nivologie et l'Université de Grenoble.

Résumé

L'objectif du programme stéréophotogrammétrique français est ambitieux, puisqu'il est associé à un programme de calcul numérique. Il s'agit donc d'une opération longue qui doit aboutir à la détermination par le calcul de la zone d'action de l'avalanche et des efforts qui s'exercent en un point donné de cette zone.

A la date de rédaction de cet article, le programme expérimental nous a permis la saisie de 2 avalanches complètes au Col du Lautaret, tandis que le modèle bidimensionnel de calcul est au point. Les prochains développements espérés consistent, sur le plan expérimental, à photographier des avalanches de plus grande dénivelée sur un site que nous avons équipé à la Plagne (Savoie) ; sur le plan du calcul, le modèle tridimensionnel est prêt et les premières mises au point ont commencé. Nous pensons que cette poursuite simultanée d'une action de calcul et d'une action d'expérimentation est indispensable pour aboutir à des résultats à la fois théoriques et pratiques.

Summary

Our project of stereophotogrammetric avalanche survey is ambitious, since it is connected with a numerical computation project. So it will last a long time before ending in calculation of the avalanche hazarded zone and of the loads in any given point of that zone.

When writing that paper we have got from stereophotogrammetry the whole description of two avalanches at Col du Lautaret ; on the other hand, the bidimensional calculation program works well. As next progress we expect for one thing to get shots of bigger avalanches from avalanche paths we have soon prepared therefore in la Plagne (Savoie) ; for an other thing we have the tridimensional program ready to be tested. We think simultaneously conducting a modelisation/calculation project and an experimentation project to be essential to get theoretical and practical results.

Bibliographie

- 1/ Briukhanov (A.V.) 1967 - Mécanisme du mouvement des avalanches de neige et leur étude dans diverses conditions géographiques par une méthode de stéréophotogrammétrie spéciale dans "Neige et avalanches dans les Khibines" pages 269 à 334 - Edité à Moscou (en russe).
- 2/ Carry et Pochat 1978 - Modélisation d'une avalanche dans "Compte rendu de la deuxième rencontre internationale sur la neige et les avalanches" 12, 13 et 14 avril 1978 à Grenoble - Publication de l'A.N.E.N.A.
- 3/ Gallois (E.) 1977 - Stéréophotogrammétrie de l'avalanche - Rapport de stage C.T.G.R.E.F.
- 4/ Lang (T.E.), Dawson (K.L.) and Martinelli (Jr) 1979 - Numerical simulation of avalanche flow - 51 pages. Research paper RM 205/Rocky Mountain Forest and Range Experimentation Station - Forest Service - U.S. A.

- 5/ Picco (A.) 1977 - Intervallomètre synchroniseur à usage photogrammétrique. Rapport de stage C.T.G.R.E.F.
- 6/ Samoïlov (V.A.) 1976 - Prise de vue stéréophotogrammétrique d'une avalanche en mouvement dans les Khibines dans "Matériaux de recherche glaciologique tome 28", pages 128 à 133 - Edité à Moscou par l'Académie des Sciences d'U.R.S.S. (en russe).
- 7/ Van Wijk (M.C.) 1967 - Photogrammetry applied to avalanche studies. Journal of glaciology - Vol. 6 n° 48 pages 917 à 933.

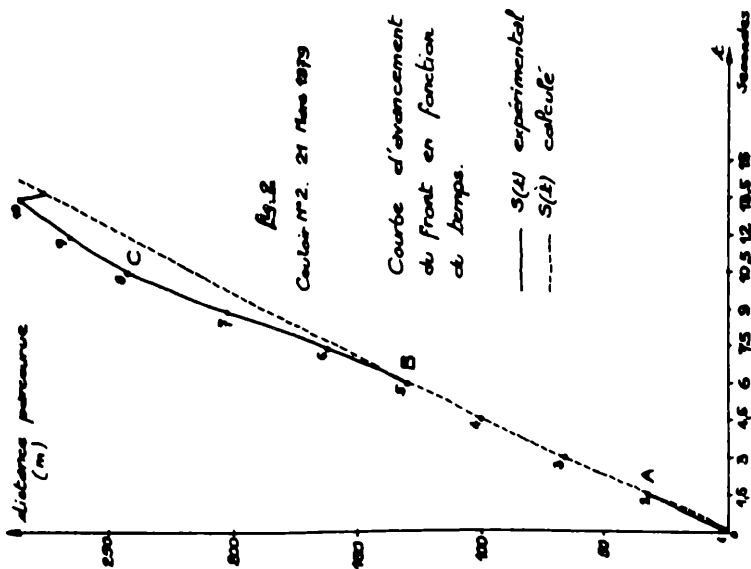
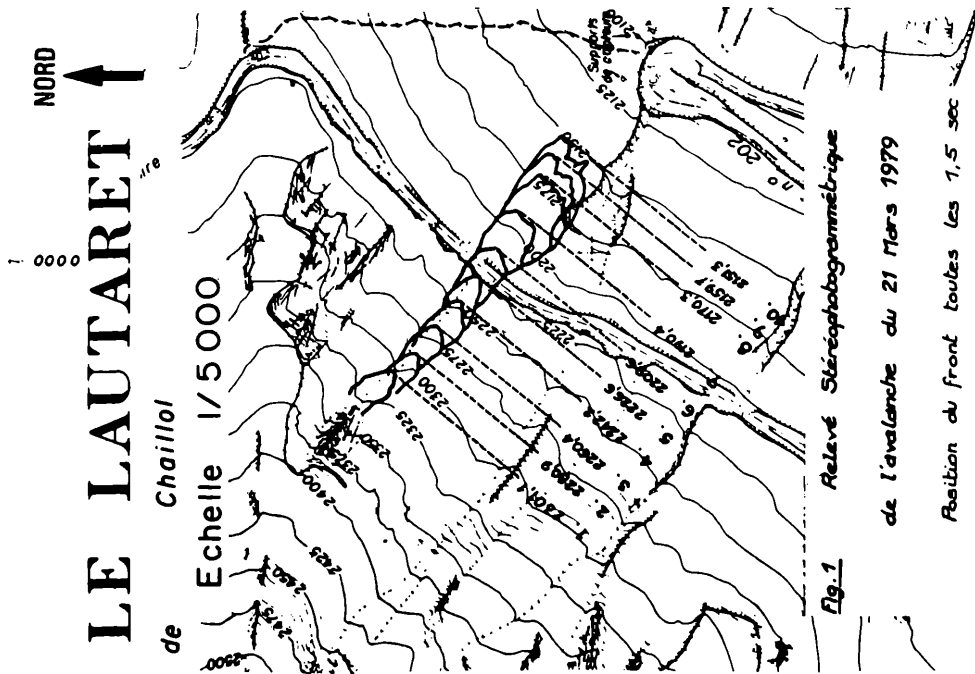


Fig. 3 Rapprochement des résultats stéréo photo obtenus en U.R.S.S et en FRANCE

