

Détection acoustique des avalanches Site La Sionne-Anzère, Valais, Suisse

V. CHRITIN¹, M. ROSSI¹

RÉSUMÉ

La connaissance de l'activité avalancheuse permet d'améliorer la prévision locale des risques d'avalanches. Actuellement, la seule méthode pratiquée est l'observation visuelle - impossible de nuit ou par mauvais temps. En vue de disposer dans le futur de systèmes opérationnels de mesure automatique de l'activité avalancheuse, les techniques de détection sismique et / ou acoustique sont envisagées. Pour évaluer la détection acoustique, un système expérimental a été installé sur le site de La Sionne afin d'enregistrer, durant tout l'hiver 94/95, les sons lors de déclenchements artificiels d'avalanches. L'expérience a permis de constater l'émission d'infrasons par les avalanches et démontré la possibilité d'utiliser ces signaux pour détecter et localiser automatiquement les avalanches se produisant dans un rayon de plusieurs kilomètres. Le système comportait quatre microphones identiques installés de manière permanente en extérieur - protégés par un dispositif spécialement mis au point - et reliés à une instrumentation de sorte à former un goniomètre acoustique. Un microphone extérieur supplémentaire - à très faible bruit - était utilisé exclusivement pour l'enregistrement des signatures acoustiques.

L'article décrit les résultats de la 1^{ère} campagne de mesures, les possibilités et limites de la méthode - localisation, portée, influence du vent -, et les perspectives d'évolution du système expérimental en un système opérationnel² - optimisation de la prise de son, reconnaissance automatique d'événements.

ABSTRACT

Improving local forecasting and warning systems requires the continuous real-time knowledge of avalanche activity. Automatic detection methods are necessary to overcome difficulties inherent to the practical state of the art human observation, which is conditioned by the presence of observers and has severe limitations due to weather, lack of visibility at night, masking relief's, avalanche types, etc. Seismic and acoustic techniques are considered. To test the acoustic detection method, an experimental system was installed in-situ during 94/95 winter in order to record acoustic events during periods of artificial release of avalanches. The experimentation has shown that the movement of avalanches produces acoustic signals suitable for automatic detection and localisation over extended areas. The present experimental system consists of four outside weatherproofed microphones combined in such a way as to constitute an acoustic goniometer. An additional very low noise microphone - dedicated to the record of the acoustic signatures of avalanches - completes the instrumentation.

The article describes the results of the first experimental campaign, the intrinsic limits of the method - range, wind effects - and the potential of the system² to evolve in an operational way - optimisation of sound detection, automatic identification of events.

¹ Laboratoire d'Electromagnétisme et d'Acoustique (LEMA), Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, CH-1015 Lausanne, Suisse - tél +41 21 693 46 26 fax + 41 21 693 26 73 email chritin@lema.de.epfl.ch

² Système ARFANG

1. INTRODUCTION

La connaissance de l'activité avalancheuse dans une région - fréquence des avalanches, type, ampleur, localisation - permet d'améliorer la prévision locale des risques d'avalanches (Bolognesi, 95). Actuellement, la seule méthode pratiquée est l'observation humaine, conditionnée par la présence d'observateurs attentifs (patrouilleurs) et sévèrement limitée par des problèmes de visibilité (mauvais temps, nuit). D'autre part, certaines avalanches ne laissent pratiquement aucune trace visible - en dépit de leur ampleur et de leur vitesse - et sont donc difficilement repérables après un épisode de mauvais temps.

Les techniques de détection automatique envisagées actuellement sont basées sur la captation et l'identification à distance de signaux physiques caractéristiques des avalanches (par exemple ondes sismiques, ondes acoustiques).

La détection acoustique repose sur l'hypothèse d'une émission sonore des avalanches - et en particulier d'une émission d'infrasons, dont la propriété est de se propager dans l'air sur des distances importantes.

2. DESCRIPTION DU SYSTÈME EXPÉRIMENTAL

Le système expérimental installé au Pas-de-Maimbré à Anzère, alt. 2360 m, était composé de cinq microphones extérieurs, reliés à une instrumentation abritée à proximité immédiate. Quatre d'entre eux étaient utilisés pour la localisation des avalanches par goniométrie (cf. §4). Le cinquième - à très faible bruit - a été employé pour la caractérisation des sons émis (cf. §3).

La disposition retenue pour les quatre microphones du goniomètre était la demi-croix de 50 m de côté, située dans un plan horizontal à quelques mètres au-dessus du manteau neigeux (mâts haubanés). Le microphone supplémentaire était posé au sol, enfoui dans le manteau neigeux. Chaque microphone était protégé par un système de bonnettes (cf. §6) mis au point pour répondre aux trois types d'exigences inhérentes à l'application: acoustiques, mécaniques et de maintenance. Le système a permis l'enregistrement d'un total de 151 avalanches déclenchées artificiellement durant l'hiver 94/95 sur le site.

3. ÉMISSION ACOUSTIQUE

Dans le but de déterminer l'existence et les caractéristiques de signatures acoustiques d'avalanches, 17 enregistrements obtenus au moyen du microphone à faible bruit ont été analysés; tous correspondent à des avalanches de neige récente ayant produit un aérosol. Ces 17 enregistrements ont été sélectionnés selon un critère de bonnes conditions de mesures (notamment vent faible); toutefois, dans la plupart des cas de nombreuses autres sources de bruit étaient présentes sur le site (hélicoptère, dameuse, remontées mécaniques). La majorité des avalanches traitées étaient inaudibles, bien que parfaitement visibles des personnes présentes. Dans 14 cas, les enregistrements révèlent une émergence nette d'infrasons (cf. fig. 2).

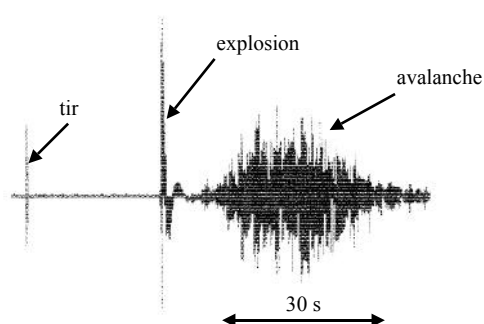


fig.1: forme d'onde (1-100 Hz)

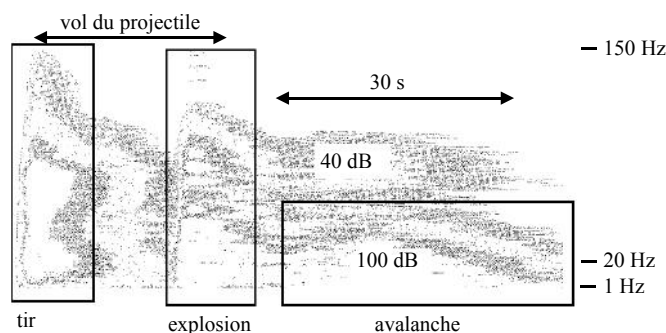


fig.2: sonogramme

Globalement, l'émission acoustique des avalanches poudreuses - telle que captée par le système - se caractérise comme suit:

- gamme de fréquences de 1* - 8 Hz (avalanche lointaine) à 1* - 60 Hz (proche); la fréquence limite supérieure a été fixée arbitrairement à - 36 dB du niveau maximum mesuré dans la gamme
- intensité dans la bande 1 - 5 Hz: 65 à 100 dB *re* 20 μ Pa
- durée d'émission de 10 à 60 s.

* limitation de la chaîne de mesure

4. LOCALISATION

Le goniomètre a été utilisé pendant plusieurs périodes de déclenchement, indiquant automatiquement et en temps réel la direction - azimut, élévation* - de provenance des infrasons. Sur 38 avalanches traitées, toutes de type neige poudreuse, 22 ont été localisées correctement par le système (c.-à-d. que l'azimut trouvé était conforme à la localisation géographique de l'avalanche), tandis que pour les 16 autres le goniomètre ne détectait aucune source acoustique. Dans la plupart des 22 cas de localisation réussie, les valeurs d'élévation calculées par le système - si elles étaient effectivement comprise dans le secteur délimité par la dénivellation parcourue par l'avalanche - ne sont pas aisément interprétables (cf. fig. 4).

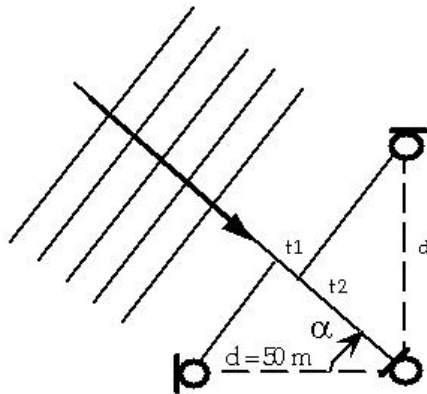
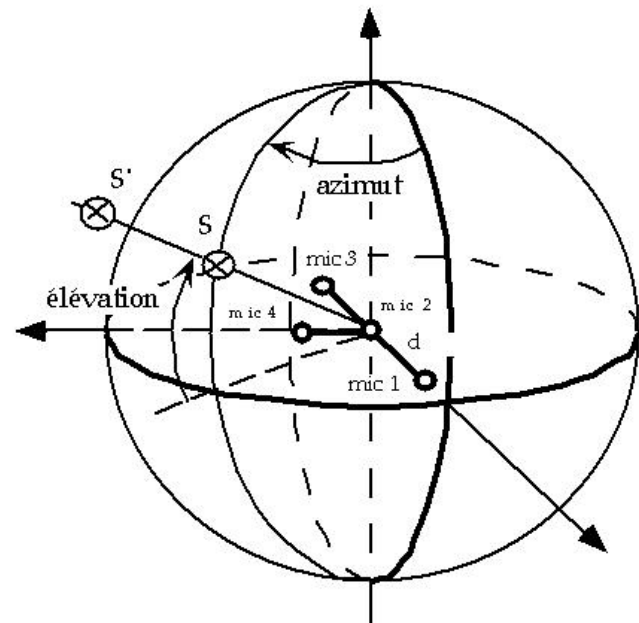


fig. 3: principe de localisation par goniométrie (en haut): le front d'onde incident parvient successivement à trois microphones; à partir de la mesure de t_1 et t_2 , on calcule l'angle d'incidence α . Disposition du système expérimental (à droite): un quatrième microphone permet de disposer d'un double goniomètre (2 systèmes indépendants de 3 microphones chacun)



S, S': sources de même azimut, même élévation

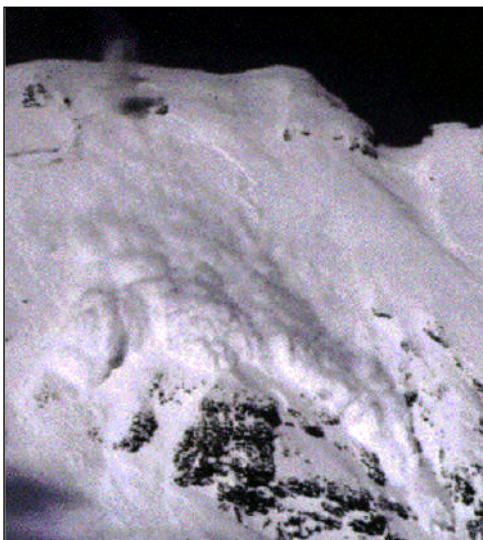
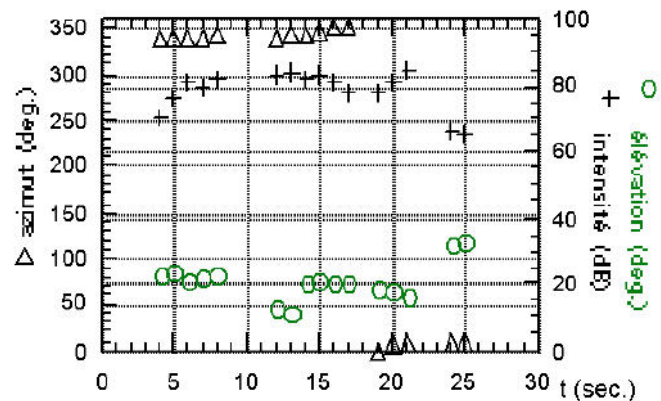


fig. 4: avalanche de Chamossaire déclenchement artificiel (en haut), résultat obtenu par goniométrie (à droite)



Le goniomètre détermine chaque seconde l'azimut, l'élévation et l'intensité des infrasons reçus dans une bande de fréquence comprise ici entre 1 et 5 Hz:

- intensité : entre 65 et 83 dBre $20\mu\text{Pa}$,
- azimut: première partie de la trajectoire à azimut constant - env. 340° / Nord -, puis augmentation progressive correspondant au trajet effectivement suivi par l'avalanche (déviation dans une combe)
- élévation: varie entre $\pm 31^\circ$.

* en valeur absolue

5. BILAN DE L'EXPÉRIENCE

La campagne expérimentale de l'hiver 94/95 a permis de vérifier l'émission d'infrasons par les avalanches de neige poudreuse, et démontré la faisabilité d'une détection automatique basée sur leur captation. La portée du système expérimental actuel est évaluée à plusieurs km (exemple: détection d'une avalanche poudreuse de grande ampleur s'étant produite à 8 km, sur un versant opposé - *Tubang 13.01.95*); toutefois, certaines avalanches plus proches n'ont pas été détectées.

On distingue deux types de limitations:

- celles intrinsèques à la méthode:
 - caractéristiques de l'émission acoustique des avalanches, en particulier avalanches de neige humide, petites avalanches, etc.
 - propagation des infrasons en montagne en conditions hivernales (réflexions, atténuations)
 - effets du vent et d'autres sources - naturelles ou artificielles - d'infrasons
- celles du système expérimental lui-même:
 - bruit de fond élevé des microphones en très basses fréquences
 - limite inférieure de la bande passante d'env. 1 Hz
 - exposition importante au vent (mâts haubanés).

Une base de données a été constituée, comprenant, outre l'enregistrement de l'émission acoustique d'environ 150 avalanches, les résultats continus obtenus par goniométrie (mesures 24h/24, sur une période de 6 mois) et les films vidéo et diapositives d'un tiers des avalanches. Parallèlement, dans le cas des zones de départ et d'arrêt de plusieurs avalanches de grande ampleur, des prises de vue aériennes photogrammétriques ont été réalisées juste avant et juste après. Ces vues permettent la détermination des volumes de neige (Castelle, 94).

6. PROBLÉMATIQUE DE LA PRISE DE SON

L'optimisation de la prise de son constitue un élément technique essentiel conditionnant la conception d'un système opérationnel. La figure suivante montre le dispositif de prise de son utilisé, alors que le graphique indique le bruit induit par le vent.

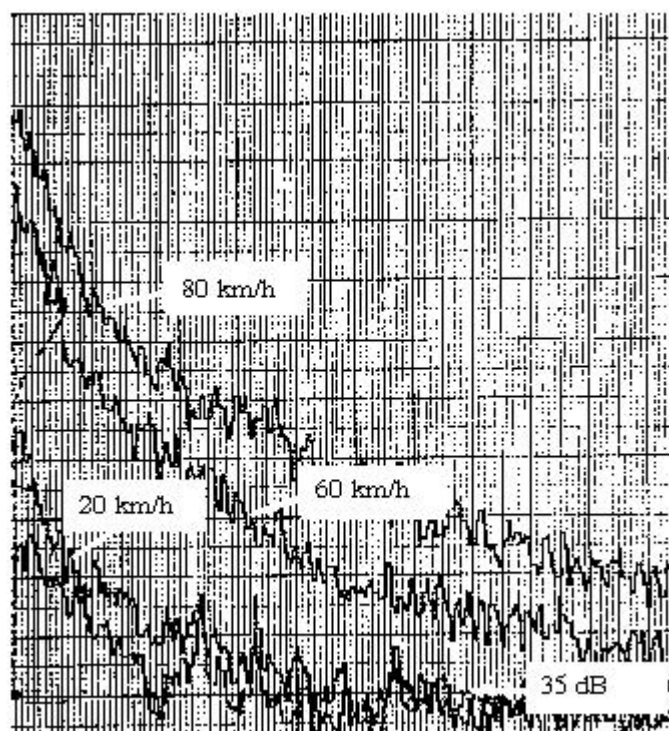


fig. 5: microphone, fixation et système de protection (à droite), efficacité du dispositif de protection contre le bruit induit par le vent (en haut)

- le microphone* a été fixé au moyen d'une pince conçue pour filtrer les vibrations mécaniques se produisant dans l'axe de sa membrane (oscillations du mât, vibrations sismiques).

- une première bonnette sphérique protège le microphone; elle est coiffée d'une membrane textile respirante afin d'éviter une éventuelle condensation due au chauffage du microphone par l'intermédiaire du préamplificateur (alimenté)

- un déshumidificateur assure le séchage de l'air à l'arrière de la membrane, à laquelle est appliquée la tension de polarisation

- la bonnette extérieure a été réalisée en mousse Polyéther S3070, matière dont la structure à pores ouverts assure une limitation très importante du flux d'air (vent), sans provoquer d'atténuation des ondes de pression acoustique dans la gamme de fréquences utiles

- une armature assure la tenue mécanique du dispositif extérieur, entièrement découplé du système primaire de bonnette et du microphone

- de couleur noire, la bonnette secondaire n'a jamais été recouverte de manière importante par de la glace; un effet de drainage de l'eau de fonte vers la base du système a été observé; en fin de saison, et après un hiver complet sans intervention, aucun dommage important n'a été observé, excepté une brélure superficielle de la surface extérieure

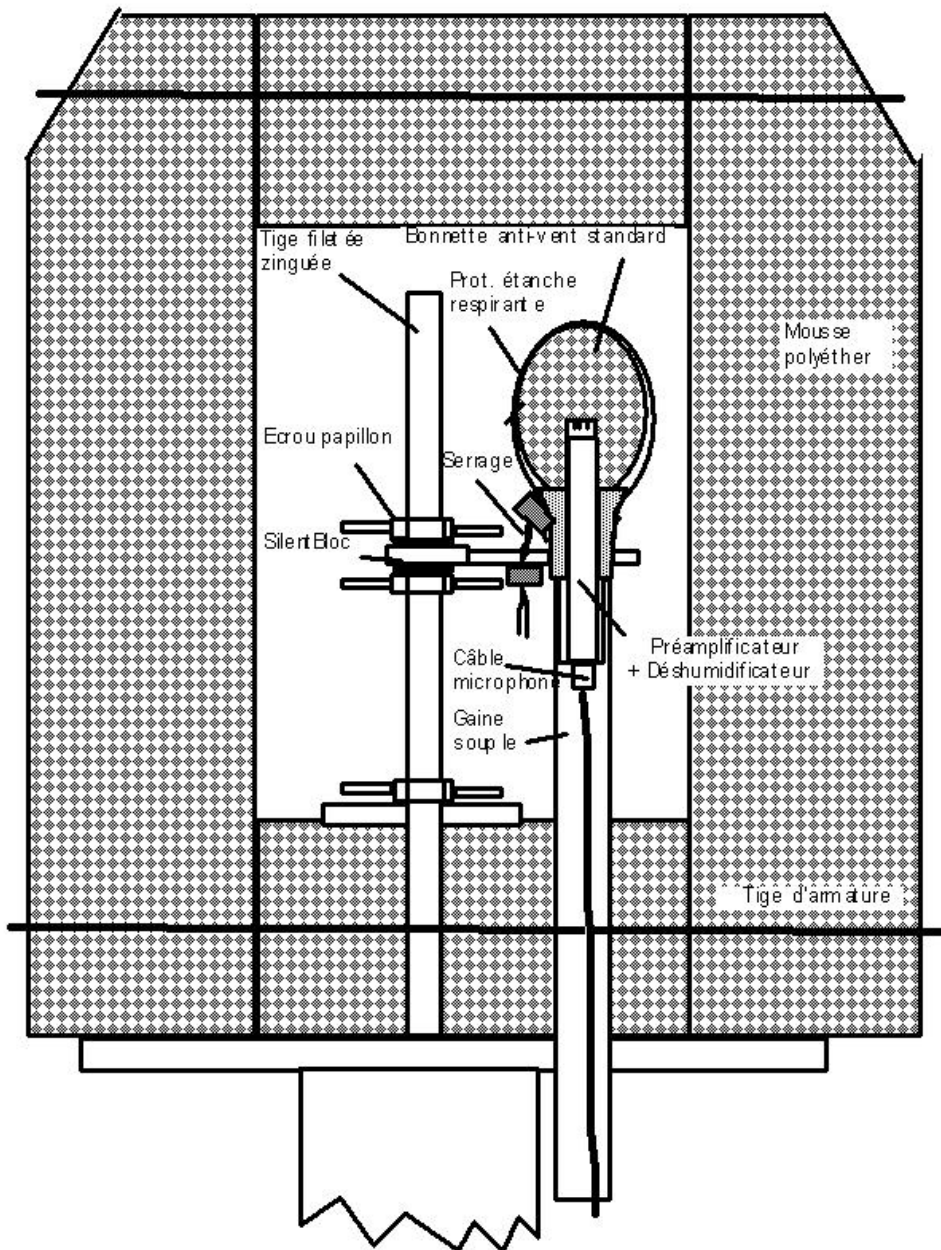


fig. 6: coupe schématique du dispositif de prise de son utilisé

* pour le goniomètre: Norsonic 1220 + préamplificateur Norsonic 1201,
pour l'étude des signatures acoustiques: B&K 4179 + préamplificateur B&K 2660

7. RECONNAISSANCE AUTOMATIQUE D'ÉVÉNEMENTS

Outre les avalanches, il existe de nombreuses autres sources d'infrasons - aussi bien naturelles (orages, etc.) qu'artificielles (avions, centrales, etc.). Se pose donc le problème de la reconnaissance automatique de ces événements.

Avec le système actuel, la reconnaissance est effectuée manuellement à partir de l'identification des signatures acoustiques: il est aisé de distinguer visuellement dans un sonogramme la signature du bruit de passage d'un hélicoptère de celle d'une avalanche ou encore d'une installation de remontée mécanique. Toutefois, comment ne pas risquer de confondre une avalanche avec par exemple la mise en marche momentanée d'une installation industrielle en vallée?

Par la possibilité qu'elle offre de déterminer la direction d'une source - ou sa position exacte (par triangulation) - la goniométrie apporte un critère supplémentaire de reconnaissance automatique. Le résultat présenté à la figure 4 montre que le goniomètre expérimental permet de "suivre" la trajectoire d'une avalanche, trajectoire qui ne pourrait par exemple pas être confondue avec celle d'un avion.

Aux critères de durée, de niveau et de fréquence s'ajoutent donc ceux liés à la localisation.

8. PERSPECTIVES POUR UN SYSTÈME OPÉRATIONNEL

Dans le but d'apporter à terme un système de mesure opérationnel adapté aux outils de prévision locale des risques d'avalanches, le LEMA étudie actuellement les aspects suivants:

- caractérisation de l'émission acoustique des différents types d'avalanches
- optimisation de la prise de son (Rossi, 95)
- propagation des infrasons en montagne en conditions hivernales
- compatibilité du système avec les réseaux existants de stations nivo-météo automatiques.

Pour les campagnes à venir, on envisage de placer des transducteurs à même le sol, sous le manteau neigeux, de manière à éviter la pose de mâts haubanés - souplesse dans le choix des emplacements - et réduire fortement l'exposition au vent.

On envisage également la mise en oeuvre de microphones à bruit de fond plus faible, de façon à augmenter la portée de détection.

9. REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier le Groupement de l'Armement pour la mise à disposition du goniomètre acoustique, le canton du Valais, en particulier le Service des Forêts et du Paysage, Section dangers naturels, ainsi que la SAREM pour leur constante aide logistique sur le site d'Anzère.

10. BIBLIOGRAPHIE

Bolognesi (R.), Böser (O.), 1995 - Merging data analysis and symbolic calculation into a diagnostic system for natural hazards, The Emergency Management and Engineering Conference, Nice

Rossi (M.), Chritin (V.), mai 1995, Microphones pour la détection d'infrasons en montagne, Journée d'étude sur les transducteurs en milieu hostile, Groupe ElectroAcoustique de la Société Française d'Acoustique, Paris

Castelle (T.), Sivardiere (F.), Guyomarc'h (G.), Merindol (L.), Buisson (L.) 1994 - Drifting snow phenomena and slab avalanches, International Symposium on Snow and Related Manifestations, Manali.