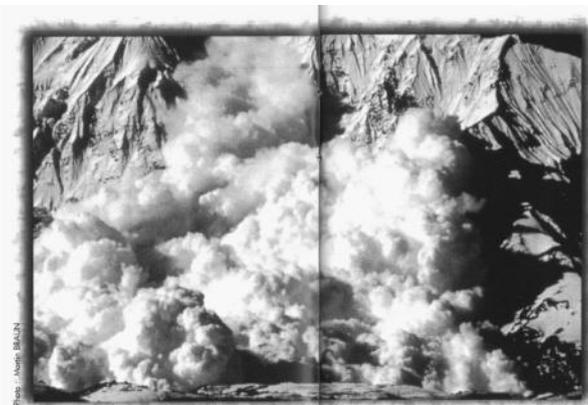


Des avalanches sous bonne surveillance

A Bonneval-sur-Arc, depuis trois ans, est testé Arfang, un système de détection automatique des avalanches. Lorsqu'une avalanche se produit sur un des 16 secteurs du site couverts par le système, Arfang envoie sans délai l'information aux responsables de la sécurité du site.

Par Eric VAN LANCKER et Vincent CHRITIN
IAV Engineering



La connaissance de l'activité avalancheuse est une information précieuse pour le prévisionniste, les responsables de sécurité... Elle repose actuellement sur des observations humaines, difficiles ou impossibles de nuit, par mauvais temps ou sur des secteurs masqués.

À Bonneval-sur-Arc, depuis trois ans, est testé Arfang, un système de détection automatique des avalanches. Il s'agit de la première version intégrée du système, installée à titre pilote dans une optique de validation opérationnelle. Lorsqu'une avalanche se produit sur un des couloirs du site, sur l'une des deux rives de l'Arc, Arfang envoie un message SMS sur les téléphones portables des personnes concernées par la sécurité du site (et un fax ou un mél). Pour arriver à un seuil de

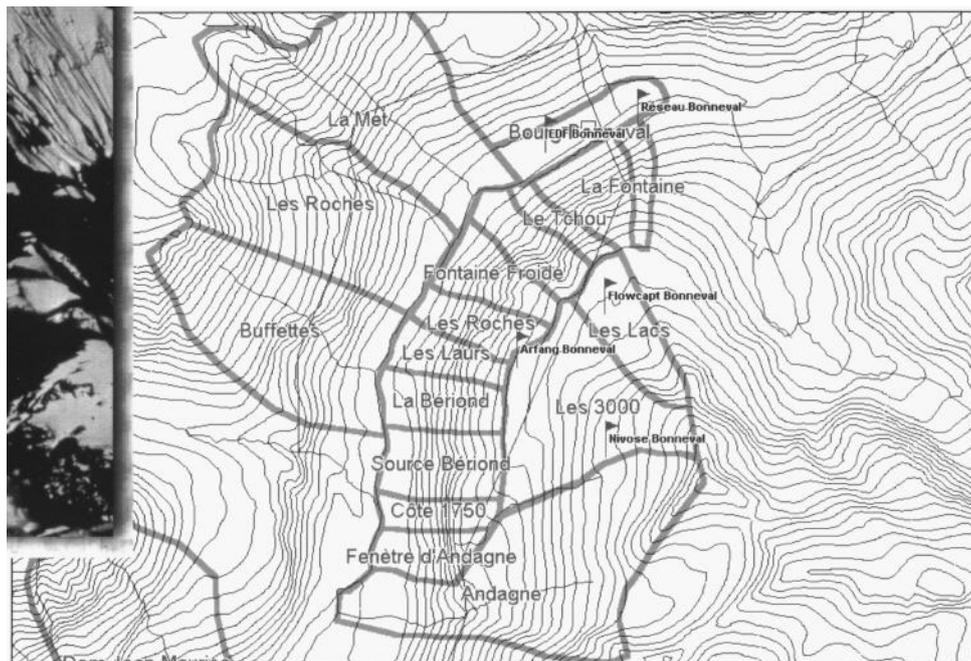
performance et de fiabilité suffisant pour les utilisateurs, de nombreuses améliorations ont été apportées au cours des trois dernières années. L'article rappelle le but du système, fait le point sur ses performances, et présente les utilisations potentielles à venir.

But du système

La fonction d'un système de détection des avalanches tel qu'Arfang est de produire automatiquement, lorsqu'une avalanche se produit, une information de type « date, heure, secteur, ampleur », et de la transmettre sans délai à des utilisateurs. Par rapport aux systèmes de détection équipant ponctuellement des couloirs, les systèmes « longue-portée » doivent permettre, à partir

d'un emplacement central, la couverture d'une multitude de couloirs. Concrètement, ces systèmes pourront être utiles:

- en signalant un début de crue avalancheuse lors de mauvaises conditions d'observation (annonce de plusieurs avalanches pendant un laps de quelques heures);
- en confirmant l'occurrence d'une avalanche particulière sur un secteur et en précisant l'heure exacte, par exemple pour une décision de réouverture d'une route dans des mauvaises conditions d'observation;
- pour confirmer ou infirmer le résultat d'un déclenchement artificiel;
- éventuellement pour diminuer le délai d'alerte sur un site dans le cas d'une fréquentation d'un secteur par mauvaise visibilité.



▲ Figure 1 : Secteurs avalanchements à Bonneval-sur-Arc.

D'autre part, la détection automatique des avalanches est un moyen d'améliorer à terme les réseaux d'observation, en complément des observations humaines. Avec l'évolution des moyens d'information, on peut même concevoir qu'une diffusion automatique de l'activité avalanchueuse puisse constituer un jour un service utile pour le public au même titre que par exemple les cartes d'orages diffusées par les services de météorologie. Actuellement, les seuls systèmes connus de détection automatique des avalanches à distance sont ceux basés respectivement sur la détection des ondes acoustiques (infrasons ou sons de fréquence inférieure à 16 Hz (1) environ et se propageant dans l'air), et ceux basés sur la détection des ondes sismiques, deux types d'ondes générées par les écoulements d'avalanches et qui se propagent sur plusieurs kilomètres.

Stade de développement du système Arfang

Plusieurs prototypes du système Arfang ont été développés et testés à Anzère en Valais entre 1994 et 1997 (cf. ANENA n° 78, juin 1997). En 1999, une première version intégrée a été installée à Bonneval-sur-Arc, pour la surveillance de 16 secteurs sur le site (cf. figure 1), en vue, à terme, de l'amélioration de la sécurisation de la route départementale 902 entre le village et Bessans.

La configuration du système à Bonneval-sur-Arc, avec ses quatre détecteurs (cf. figure 2) préfigure aujourd'hui fidèlement ce que sera la version industrialisée du système. •••

Notes

1. Hz : nombre d'oscillations par secondes.

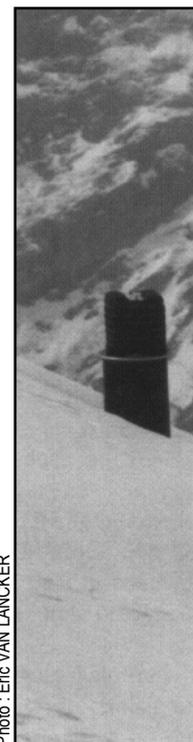
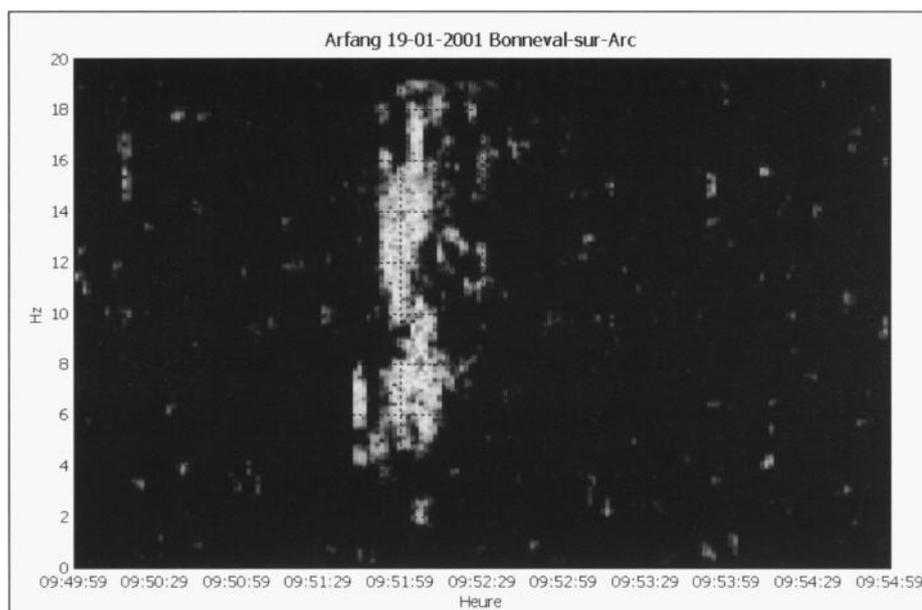


Photo : Eric VAN LANCKER

▲ Figure 2 : Détecteur Arfang à Bonneval-sur-Arc.



▲ Figure 3 : Signature acoustique d'une petite avalanche à une distance de 4 km (le 19/1/01 à 9h51 sur le secteur « Dom Jean Maurice », avec une hauteur de cassure estimée à 0.5 m, une largeur d'environ 200 m, et un dénivelé d'environ 400 m).



Photo : Vincent CHRITIN

▲ Figure 4 : Disposition des quatre détecteurs Arfang sur le terrain (colonnes noires), avec une distance de 30 m des trois détecteurs par rapport au détecteur central.

...Portée du système

La portée de détection d'Arfang dépend de deux facteurs :

- la puissance acoustique infrasonore de l'avalanche, qui dépend principalement du type et du volume de neige mobilisée par l'avalanche, de la vitesse d'écoulement, et des particularités de la topographie;
- les conditions de propagation entre l'avalanche et le système et le bruit infrasonore ambiant, qui dépendent du relief entre l'avalanche et le système, des conditions météorologiques et des sources infrasonores parasites même lointaines.

Les conditions optimales pour la détection sont donc rencontrées pour des avalanches avec un niveau d'émission élevé, une propagation en vue directe (pas de relief mas-quant entre l'avalanche et les détecteurs), et un faible vent (les autres conditions météorologiques n'influent pour ainsi dire pas sur la portée du système). Dans de telles conditions, Arfang a par exemple confirmé à Bonneval-sur-Arc l'hiver dernier, à une distance d'environ 4 km sur le versant opposé, une avalanche de petite taille qui venait d'être observée par un pisteur. (cf. figure 3).

Dans des conditions de détection défavorables, la portée du système reste de l'ordre de 5 kilomètres pour les avalanches de grande ampleur mais diminue pour les avalanches de petite taille.

Localisation et précision de localisation

Pour localiser les avalanches, Arfang détermine la direction d'incidence des ondes infrasonores à partir des décalages temporels des ondes sur chacun des quatre détecteurs composant le système et répartis sur le terrain sur un rayon de 30 mètres (cf. figure 4).

Le système compare en temps réel les directions obtenues aux azimuts des secteurs prédéfinis avec les utilisateurs du site et décide de rejeter l'événement soit s'il se situe hors des secteurs, soit si l'événement est considéré comme trop lointain (faisceau trop resserré). Si ce n'est pas le cas, l'événement est analysé avec des critères supplémentaires de reconnaissance de la signature acoustique (notamment la répartition fréquentielle de l'énergie et la durée du signal), et le cas échéant classé comme avalanche dans un secteur donné. L'angle d'incidence de l'onde est déterminé dans le plan horizontal avec une précision de $\pm 1^\circ$. Cumulés aux effets de variation d'incidence liés au relief local, aux profils de température de l'air et à la vitesse du vent la précision globale de

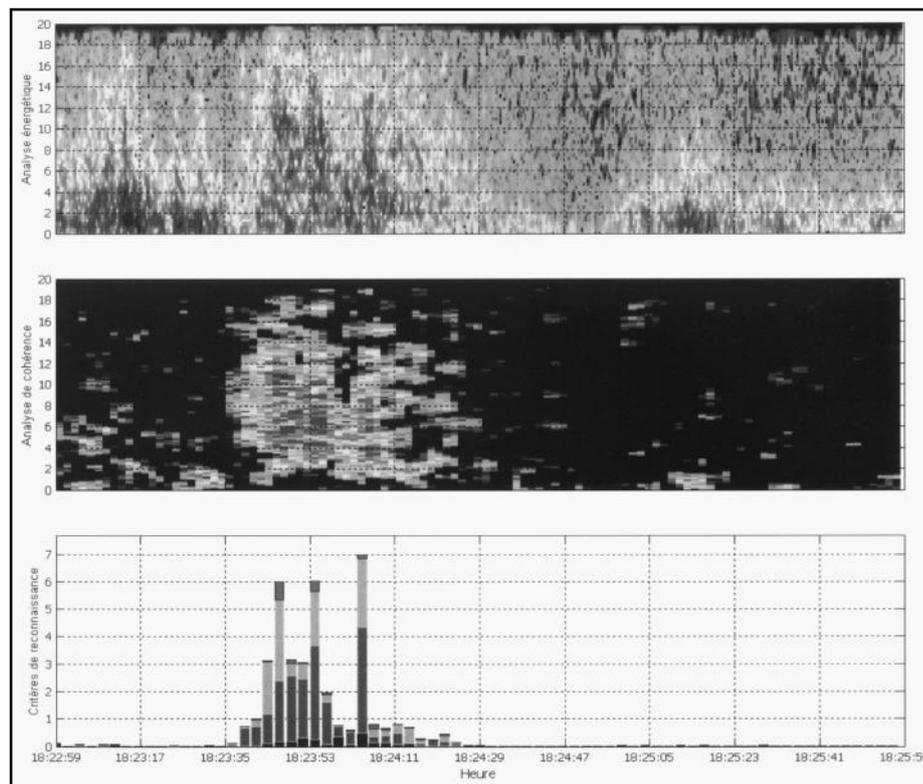
à une distance de 5 kilomètres. En définitive, le choix de l'emplacement du système est plus important que la précision angulaire du système proprement dite : la règle est de choisir un emplacement central permettant une bonne discrimination angulaire des couloirs à surveiller. En particulier, il vaut mieux éviter les positions où plusieurs couloirs seraient en alignement, à moins de se satisfaire d'une information globale de détection pour tout l'alignement de couloirs concernés. Par exemple, l'emplacement d'Arfang à Bonneval-sur-Arc a été choisi au centre du site, pour maximiser la discrimination angulaire tant sur les couloirs rive droite que rive gauche de l'Arc, le long d'un tronçon de route de quatre kilomètres.

Index d'ampleur des avalanches

Pour fournir un index sur l'ampleur de l'avalanche, l'appareil se base sur le critère de la durée de l'événement (largeur de la signature), et sur la répartition fréquentielle de l'énergie infrasonore (il y a plus d'énergie en basse fréquence dans le cas de la grosse avalanche). L'expérience acquise sur plusieurs centaines de détections corroborées par des observations indique qu'une distinction automatique selon trois classes d'ampleur est possible.

Possibilités de fausses-détections

Après une pratique de bientôt dix ans, la plupart des sources de bruit infrasonore parasites a été largement identifiée et ne peut pratiquement plus mettre en défaut le système, et ceci indépendamment du site considéré. Les sources infrasonores parasites proprement dites, liées à l'activité humaine (par exemple : activités aériennes, industrie lourde, etc.) ou naturelles (orages, tornades,



etc.) sont

▲ Figure 5 : Résultat de filtrage numérique : en haut, l'analyse énergétique brute d'un signal fourni par un détecteur ; au milieu, le résultat du calcul de cohérence qui fait ressortir du signal brut, entre 18h23m35s et 18h24m11s une tâche oblongue, caractéristique d'un infrason d'avalanche ; en bas les critères de reconnaissance automatique qui émergent en concomitance avec l'avalanche.

éliminées par filtrage à partir de critère de reconnaissance de la signature acoustique et de localisation. Par exemple tous les événements qui se présentent sous un faisceau d'incidence plus étroit que le faisceau minimum possible pour une petite avalanche se produisant aux limites du site à surveiller sont automatiquement éliminés.

Effet du vent

Sans être à proprement parler une source d'infrasons, le vent induit localement sur les détecteurs des bruits infrasonores parasites qui peuvent masquer les signaux d'avalanche faibles (petite avalanche ou avalanche lointaine). Par vent fort, l'augmentation du bruit ambiant sur