

Premiers développements d'un modèle hybride pour le diagnostic spatial des risques d'avalanches

Robert Bolognesi

Institut Fédéral pour l'Etude de la Neige et des Avalanches
CH-7260 Weissfluhjoch/DAVOS

Le développement de ce nouveau modèle, baptisé NX-LOG, s'inscrit dans la continuité des travaux concernant l'estimation des risques locaux d'avalanches, engagés depuis déjà plusieurs années par l'IFENA de Davos et le CEMAGREF de Grenoble. Il correspond à une demande désormais clairement et unanimement exprimée par les responsables de la sécurité en montagne chargés de la prévention quotidienne des avalanches, qui souhaitent maintenant avoir à leur disposition des outils d'analyse simples et efficaces. Ils doivent, en effet, prendre régulièrement des décisions très délicates du fait de leur portée et de leur irréversibilité, parfois dans des contextes de « crise » très perturbants (CHARLIER et DECROP, 1992).

Cette situation inconfortable a conduit certains directeurs de services de sécurité à encourager, au cours de ces dernières années, la réalisation des premiers systèmes susceptibles d'apporter une aide à la décision pour le déclenchement préventif des avalanches. Aujourd'hui, après quelques années d'utilisation opérationnelle, les modèles théoriques autour desquels sont bâtis ces systèmes révèlent leurs aptitudes... et leurs limites.

Le projet NX-LOG est né de l'idée de coupler deux de ces systèmes, NXD (BUSER, 1986, 1987) et AVALOG (BOLOGNESI, 1991, 1993), afin d'exploiter leur complémentarité pour tenter de repousser ces limites.

Cet exposé présente brièvement les principales idées directrices de ce projet et évoque quelques-uns de ses aspects novateurs.

1. Rappels

Les deux éléments du couplage, NXD et AVALOG, exploitent sensiblement les mêmes informations pour tenter d'atteindre le même but. Mais ils emploient des méthodes de résolution fort différentes.

NXD est le père des systèmes basés sur l'analyse des données. Il utilise la méthode dite « des plus proches voisins » pour fournir une liste des 10 journées du passé les plus proches de la journée présente (au sens nivométéorologique), avec l'activité avalancheuse correspondante. Il permet ainsi d'évaluer les risques d'avalanches pour la journée présente « par analogie ».

Pour sa part, AVALOG exploite des principes d'intelligence artificielle : à partir de bases de connaissances expertes, il délivre des diagnostics de risque par inférences logiques, reproduisant ainsi un raisonnement déductif.

Les deux systèmes fonctionnent sur PC et sont actuellement utilisés par divers services de sécurité.

2. Schéma de résolution

L'objectif du modèle NX-LOG est de fournir en temps réel, pour toutes les pentes d'un secteur montagneux donné, une estimation fiable des risques de déclenchements accidentels d'avalanches. Pour atteindre cet objectif alors que la complexité du mécanisme de rupture d'un manteau neigeux semble exclure toute modélisation numérique, NX-LOG adopte une méthode de résolution non déter-

First developments of an hybrid model used for space diagnosis of avalanche risks

Answering a mountain security responsables' need, this model called NX-LOG, is to give a reliable assessment of local avalanche risks. It associates two complementary resolution modes : statistical computation and symbolic computation, respectively belonging to NXD and AVALOG systems. Thus, it associates arguing from analogy and deductive reasoning in order to provide a diagnosis. Different specialized processes (initialization, interpretation, synthesis) are used, which make the model original ; its potential performance seems very high.

ministe, combinant le calcul statistique et le calcul symbolique. Cette association a pour but de créer un effet de synergie, par la capacité que présentent ces deux modes de calcul à se fiabiliser mutuellement : en effet, l'analyse de données, qui permet de consolider des bases de connaissances expertes, peut elle-même être confortée à l'aide d'heuristiques...

Pour établir un diagnostic, NX-LOG mène indépendamment un raisonnement « par analogie » et un raisonnement déductif.

Le raisonnement par analogie apparaît comme une séquence de traitements autonomes qui déterminent :

- les paramètres de la procédure d'analyse de données,
- les proximités,
- le diagnostic.

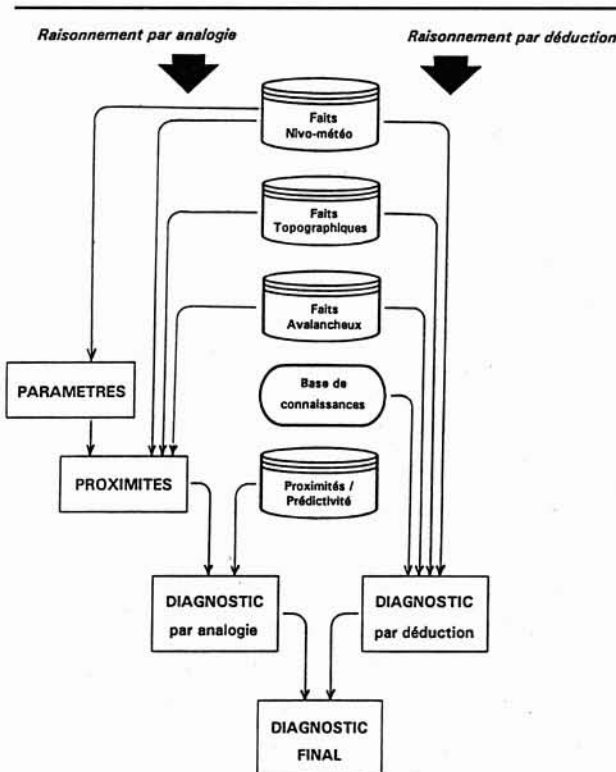
Le raisonnement par déduction progresse par une suite d'inférences qui s'enchaînent pour délivrer le diagnostic (exploitation d'une base de connaissance experte par un moteur d'inférence).

Le diagnostic final est le résultat d'un arbitrage entre les diagnostics obtenus par analogie et par déduction (fig. 1).

3. Traitements spécialisés

Les traitements qui interviennent dans le processus global de résolution présentent les particularités originales suivantes :

- paramétrage de la procédure d'analyse des données ;



1. Schéma de résolution du modèle NX-LOG.

Il est établi par une session d'inférences qui fixe, à partir de l'ensemble des variables descriptives de la journée à analyser, les poids relatifs de critères de proximité prédéfinis, dans le but de limiter le bruit et de contrôler les effets de seuil pernicieux. Ces critères de proximité, indépendants, décrivant à la fois les conditions nivométéorologiques et les conditions topographiques des journées considérées (les ancrages offerts par une pente aux couches superficielles du manteau neigeux varient constamment au cours d'un hiver), intègrent désormais le caractère spatial de l'avalanche dans le raisonnement par analogie. Ils sont choisis pour leur présumée valeur explicative de la stabilité ou de l'instabilité du manteau neigeux (ce choix relève de l'expertise, préférée aux analyses factorielles). Ils définissent un espace vectoriel multidimensionnel : le référentiel.

- mesure des proximités ;

Elle s'effectue, pour chaque pente, par calcul des distances euclidiennes entre le vecteur à analyser et les seuls vecteurs du référentiel pour lesquels on dispose d'un renseignement catégorique sur l'état d'équilibre du manteau neigeux de la pente considérée (avalanche, échec de tentative de déclenchement, etc.) : les autres vecteurs, non informatifs, ne sont en effet d'aucune utilité pour un diagnostic de risque localisé. A un instant donné, les référentiels « utiles » peuvent donc différer d'une pente à une autre, chacune ayant ses propres antécédents nivologiques connus.

- production du diagnostic par analogie ;

L'analogie est une notion aux contours particulièrement flous, surtout dans un espace à n dimensions ! Aussi envisage-t-on de l'appréhender expérimentalement, par l'analyse dynamique des couples [classe de proximité / prédictivité] connus. Le diagnostic pourrait alors s'exprimer sous la forme d'une probabilité.

- production du diagnostic par déduction ;

Le diagnostic est produit par l'exploitation d'une base de connaissances par un moteur d'inférence d'ordre 0+, fonctionnant en chaînage avant (*data oriented reasoning*), selon un régime irrévocable (pas de backtracking). Les connaissances opératoires utilisées (règles de production), reflétant un savoir d'origine expérimentale, sont plus ou moins certaines, et leur fiabilité est évaluée à l'aide d'un coefficient de vraisemblance. Bien que cette représentation de la connaissance incertaine soit ici subjective (provenant de généralisations d'experts humains), elle se réfère toujours, plus ou moins explicitement, à des fréquences d'événements : il s'agit donc d'une représentation probabiliste de l'incertitude, admettant les règles du calcul des probabilités, et permettant la propagation du doute depuis les données jusqu'au diagnostic, via tous les faits inférés au cours de la session d'expertise. Le diagnostic ainsi produit est donc une probabilité.

- production du diagnostic final ;

Ce problème d'arbitrage est traité en appliquant des règles empiriques de composition de diagnostics concurrents, visant, dans un premier temps, à minimiser le

risque d'erreur de sous-estimation de l'instabilité. Ces règles consistent donc à établir le diagnostic final à partir de la plus forte des probabilités d'instabilité obtenues par analogie et par déduction.

Conclusion

Le couplage du calcul symbolique et de l'analyse des données devrait conférer à NX-LOG un niveau de performance supérieur à celui de chacun des modèles « pères ». En effet, ce modèle hybride, tout en héritant des atouts de ses ascendants, semble pouvoir pallier à leurs principales faiblesses par sa capacité à :

- fiabiliser la procédure de recherche d'analogies,
- générer des bases de connaissances locales « virtuelles » très riches et nuancées, en substituant l'analyse dynamique des données au transfert d'expérience (faculté d'apprentissage).

Ces potentialités restent toutefois à confirmer : ce sera l'objet des tests de validation auxquels devraient participer, dès la saison 1993/94, une quinzaine de stations de ski européennes associées au projet.

Références

- BOLOGNESI R. (1991). — L'analyse spatiale des risques d'avalanches. Premiers développements d'un environnement informatique d'aide à la décision, Thèse, Université Joseph Fourier, Grenoble.
- BOLOGNESI R. (1993). — « Artificial intelligence and local avalanche forecasting : the system AVALOG », Proceedings of the International Emergency Management and Engineering Conference 1993, pp. 113-116, Arlington.
- BOLOGNESI R., BUSER O., GOOD W. (1992). « The NX-LOG project », Proceedings of the International Snow Science Workshop 1992, Breckenridge.
- BUSER O. (1987). — « Two years experience of operational avalanche forecasting using the nearest neighbours method », *Annals of Glaciology*, Vol. 13, pp. 31-34, International Glaciology Society, Cambridge.
- BUSER O., BÜTLER M., GOOD W. (1986). — « Avalanche forecast by the nearest neighbours method », *Avalanche Formation, Movement and Effects*, International Association of Hydrological Science, publication n° 162, pp. 557-569, Davos.
- CHARLIER C., DECROP G. (1992). — Crise, risque et expertise scientifique, Projet de recherche, Note intermédiaire, CEMAGREF, Grenoble.