

Site Web :

- | | |
|---|---|
| ⇒ http://www.environnement.gouv.fr | • Ministère de l'Ecologie et du développement Durable. |
| ⇒ http://www.prim.net | • Ministère de l'Ecologie et du développement Durable. |
| ⇒ http://www.anena.org | • Association Nationale pour l'Etude de la Neige et des Avalanches. |
| ⇒ http://www.meteo.fr | • Météo France. |
| ⇒ http://www.clpa.grenoble.cemagref.fr | • Site de consultation des CLPA. |
| ⇒ http://www.lebensministerium.at | • Ministère Autrichien de l'Aménagement du Territoire. |
| ⇒ http://www.crealp.ch | • Centre de Recherche Valaisan sur l'Environnement. |
| ⇒ http://www.slf.ch | • Institut Fédéral pour l'Etude de la Neige et des Avalanches de DAVOS). |
| ⇒ Avalanche.org/SnowSite.htm | • U.S.F.S. National Avalanches, site nord-américain. |
| ⇒ http://www.epc-pcc.gc.ca | • Bureau de la Protection Civile du Gouvernement du Canada |
| ⇒ http://www.avalanche.ca | • Canadian Avalanche Association, Colombie britannique |
| ⇒ http://www.csac.org | • Site canadien anglophone sur le thème des avalanches. |
| ⇒ http://www.bosai.go.jp/nagaoka | • Institut National Japonais de recherches pour les sciences de la terre et la prévention des catastrophes. |

Annexe 1

La période de retour et la probabilité d'occurrence

La période de retour est une traduction en langage courant d'une grandeur mathématique très largement utilisée en statistique qui est la probabilité de non-dépassement (F), c'est-à-dire la probabilité pour qu'une valeur donnée ne soit pas dépassée. Par exemple, une probabilité de non-dépassement 0,99 signifie qu'il y a 99% de chances pour que cette valeur ne soit pas dépassée ou réciproquement 1% de chances qu'on trouve une valeur qui lui soit supérieure sur un laps de temps donné. En pratique, on définit la période T exprimée en années comme suit :

$$T=1/(1-F).$$

A la probabilité de non-dépassement de 0,99 est donc associée la période de retour $T = 100$ ans ; c'est le phénomène qui a 1% de chance d'être dépassé en moyenne sur une période d'un an. Il faut bien retenir que le phénomène centennal n'est pas le plus gros phénomène qui intervient une fois tous les cent ans, mais celui qui a 1% de chance de se produire ou d'être dépassé chaque année, c'est-à-dire celui qu'on verrait en moyenne une fois par siècle si l'on disposait d'une très longue période d'observations. Il peut y avoir plusieurs événements de probabilité d'occurrence centennale sur un siècle.

La probabilité P pour qu'il y ait n événements de période de retour T (ou de fréquence $p = 1-F = 1/T$) pendant un laps de temps de N années, peut être représentée à l'aide d'une loi dite de Poisson : $e^{-Np}(Np)^n/n!$. La probabilité qu'il y ait au moins un événement de période de retour T pendant N années est :

$$1-P(0)=1-e^{-Np}$$

La probabilité d'avoir un événement d'occurrence centennale est donc de 18% dans les vingt ans à venir, de 63% dans le prochain siècle, et de 95% dans les trois siècles à venir. De même la probabilité d'avoir vu se produire l'événement d'occurrence décennale durant les vingt dernières années n'est que de 86%.

Texte tiré et adapté du guide de la construction en zone bleue d'avalanche à paraître (Cemagref)



Annexe 2

Prédétermination des zones de départ d'avalanches à l'aide d'un modèle numérique de terrain (MNT)

Rédigé par Antoine HURAND, Adjoint au Délégué National RTM pour la chaîne des Pyrénées

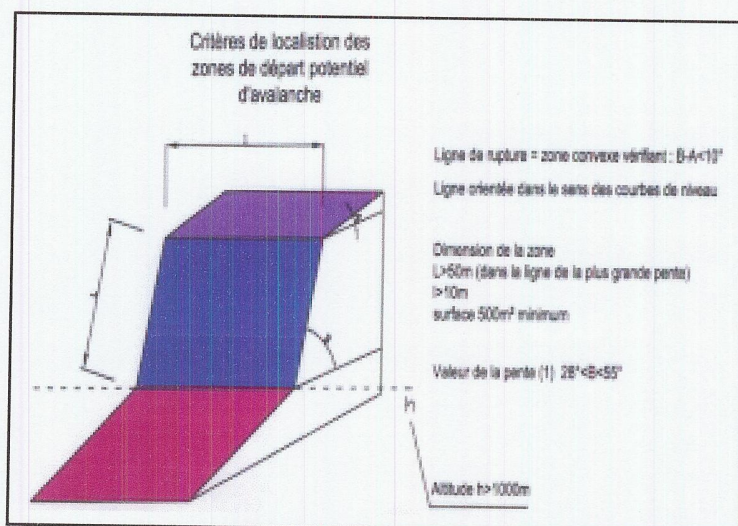
La localisation des avalanches, qu'il s'agisse ou non de secteurs couverts par des CLPA, est le fruit d'une analyse basée sur la chronique des événements passés, sur la photo-interprétation et sur des observations de terrain.

Ces cartes de phénomènes peuvent omettre des avalanches dans des secteurs moins observés, notamment lorsqu'il n'existe pas de données CLPA ou EPA et prennent peu ou pas en compte des phénomènes potentiels ; en particulier bon nombre de versants forestiers connaîtraient, en raison de leurs caractéristiques topographiques, des phénomènes avalancheux s'ils n'étaient pas boisés.

La possibilité de départ d'une avalanche est liée aux paramètres de terrain, si par ailleurs les conditions nivologiques sont réunies ; la bibliographie et les travaux du Cemagref (thèse F. BERGER) en retiennent cinq principaux :

- pente,
- altitude,
- rupture de pente,
- surface,
- angle de ligne de rupture,

Il était donc intéressant de développer un outils d'aide à l'expertise permettant de prédéterminer les zones de départ ; la combinaison dans un SIG de ces données, issues d'un modèle numérique de terrain (MNT), le rend possible.

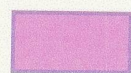
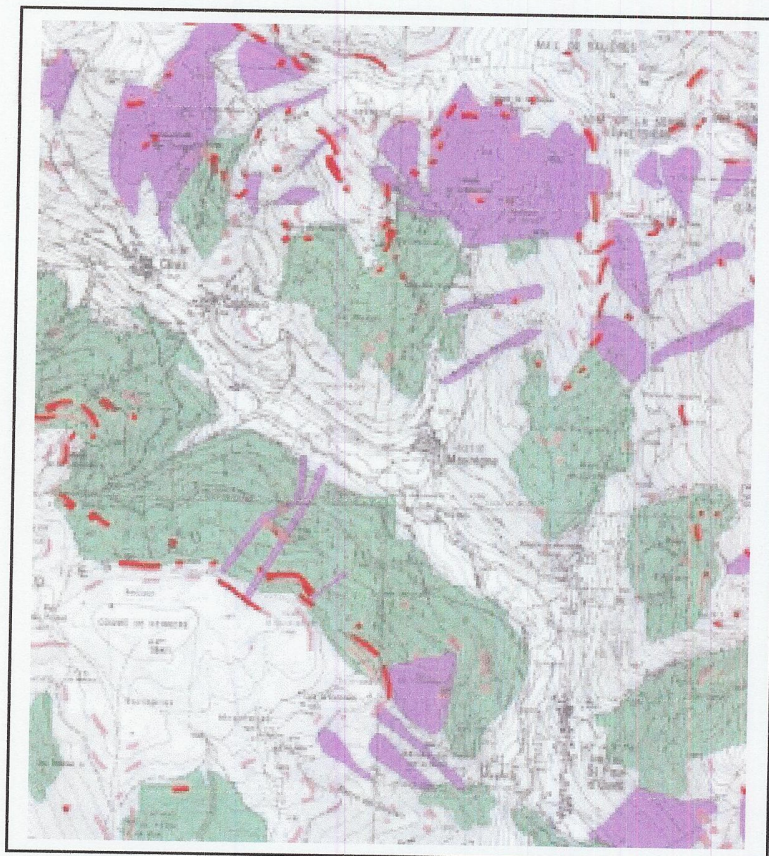


Ce développement, réalisé par l'ONF (service RTM et bureau d'étude spécialisé) a consisté à définir les valeurs de ces paramètres représentant le terrain, expliquant au mieux les avalanches constatées dans divers secteurs test couverts par des CLPA dans les Alpes et les Pyrénées, puis à générer à l'aide du MNT de l'IGN au pas de 50 mètres une couche d'information localisant les secteurs répondant aux cinq critères de départ retenus.

Le résultat est une cartographie au 1/25 000^e où sont représentés sur fonds IGN l'ensemble des panneaux déclencheurs classés en divers types (probables, rares, en forêt ou hors forêt). Ces cartes (ou couches numériques) couvrent les massifs alpins et pyrénéens et sont diffusées par l'ONF sur demande des bureaux d'étude chargés de réaliser des PPR.

Elles ne constituent qu'un outil d'aide à l'analyse, amenant le chargé d'études PPR à visiter ou à regarder d'un autre œil certains secteurs mal connus au plan de l'historicité, ou qui ont pu être mal appréciés. Elles sont utilisées par ailleurs pour la gestion des zones forestières sans avalanches connues, une structure convenable des peuplements devant y être maintenue pour éviter le développement d'avalanches.





Avalanches constatées (CLPA + RTM)



Zone forestière

Panneaux déclencheurs d'avalanches



probable



rare



Annexe 3

La modélisation des avalanches

Le recours à un ou plusieurs modèles d'avalanches aide souvent une analyse experte pour quantifier le risque, par exemple pour mieux déterminer une distance d'arrêt pour une période de retour donnée. L'usage d'un tel outil complémentaire s'avère de plus en plus fréquent et nécessaire. Il peut y être fait appel lors de l'élaboration d'un PPR avalanches, mais il ne doit en aucun cas se substituer seul à l'étude historique et à l'analyse géomorphologique.

La modélisation des avalanches regroupe un grand nombre d'approches. Actuellement, on peut ainsi identifier plus de 50 « modèles d'avalanches ». Cette diversité témoigne à la fois de la complexité du phénomène (exemples : avalanche coulante et/ou en aérosol, reprise et/ou dépôt de neige) et de la multiplicité des questions posées (exemple : distances d'arrêt et/ou pressions d'impact et/ou géométrie). En 2002 et sur le plan scientifique, il n'existe donc aucun jeu d'équations mathématiques de la neige en mouvement qui soit communément admis comme reflétant correctement toute l'étendue du phénomène. De plus, il n'est pas possible d'étudier à volonté les propriétés mécaniques des avalanches, soit *in situ*, sans attendre des années et en identifiant les particularités du site, soit en laboratoire sans corrections de similitude. Ainsi tout modèle d'avalanche n'est qu'une représentation particulière du phénomène. La « bonne » approche consiste donc à vérifier l'adaptation du modèle utilisé avec le phénomène étudié et la question posée. Dans la plupart des cas, cette opportunité s'examine en comparant quelques résultats proposés par le modèle utilisé à des « données » de terrain. Malheureusement celles-ci sont quasi systématiquement à la fois en petit nombre et de qualité très inégale. Il s'agit ensuite malgré tout de « caler le modèle », c'est-à-dire d'ajuster certains de ses paramètres afin qu'ils produisent des résultats en accord avec les événements connus. Naturellement le succès du calage d'un modèle ne présage ni de sa pertinence globale, ni de la possibilité de l'utiliser dans d'autres circonstances ou pour d'autres couloirs d'avalanche.

Du point de vue des concepts scientifiques mis en œuvre, on peut distinguer plusieurs types d'approche :

1- L'approche déterministe/dynamique

Elle consiste à décrire le mouvement d'une avalanche à partir d'un jeu d'équations différentielles (bilans de masse, de quantité de mouvement, et parfois d'énergie). Un des modèles les plus connus a été popularisé par le Suisse VOELLMY dans les années 1950 et, depuis lors, a fait l'objet de très nombreuses variantes visant à sophistication le traitement mathématique des équations du mouvement.

La grande force de cette approche est de permettre le calcul d'un grand nombre de variables dynamiques de l'avalanche telles que les vitesses, les hauteurs, ou les pressions en tout point de la trajectoire.

Les défauts des modèles déterministes sont bien identifiés :

- ⇒ ils reposent sur des hypothèses spéculatives concernant les processus élémentaires impliqués dans le déclenchement, le mouvement et l'arrêt de l'avalanche,
- ⇒ ils nécessitent le calage de paramètres internes sans que l'on sache réellement si les valeurs ainsi calées sont transposables en toutes circonstances à d'autres sites,
- ⇒ ils imposent de connaître les conditions initiales (quantité et qualité du manteau neigeux, topographie, frottements, ...) avant le début de l'avalanche ; ceci reste très difficile à préciser quand on travaille en prédétermination (exemple : pour le zonage).

Cette approche est très employée.



2- L'approche statistique

Elle exploite directement les données de terrain et recherche les corrélations entre celles-ci. Quand, sur un site donné, il existe une série de données suffisamment longue dans le temps, cette approche peut permettre d'estimer avec une bonne confiance la relation entre la distance d'arrêt et la période de retour de l'avalanche. Mais il est très rare de disposer d'un nombre suffisant de données pour arriver à cette relation dans de bonnes conditions théoriques. Toutefois la régionalisation des données augmente leur nombre, ce qui autorise le traitement statistique.

Ainsi, au début des années 1980, des chercheurs ont montré qu'il existait en Norvège une corrélation forte entre le profil en long régulier du terrain et la distance d'arrêt d'une avalanche. L'hypothèse de travail (un comportement similaire de tous les couloirs d'avalanche à une échelle régionale) n'a pourtant pas été montrée et la transposition de la méthode ne peut se faire sans grandes précautions. Un autre inconvénient de cette approche est qu'elle ne fournit qu'un très petit nombre de paramètres de l'avalanche (en général seulement une distance d'arrêt fonction de la période de retour choisie). Enfin, contrairement à la pratique en hydrologie, le caractère fortement non linéaire des relations statistiques obtenues limite la possibilité de les extrapoler pour les grandes périodes de retour.

Malgré un large écho en Amérique et en Europe du Nord, l'utilisation de cette approche reste marginale en France.

3- L'approche conceptuelle

Elle combine des outils issus des deux approches ci-dessus, en essayant de pallier leurs défauts respectifs tout en gardant leurs points forts. Ainsi, de l'approche déterministe, elle emprunte l'idée que la propagation d'une avalanche doit bien obéir à quelques lois élémentaires de la physique, d'où la possibilité d'utiliser des équations dynamiques. De l'approche statistique, elle retient le caractère fortement aléatoire dans la distribution des variables d'entrée (le volume de neige mobilisé par exemple) ou de sortie (comme la distance d'arrêt), d'où la nécessité de traiter les variables relatives à une série d'événements sur un site comme des variables aléatoires. Les variables de sortie ne sont plus reliées aux variables d'entrée par des corrélations fixes mais à l'aide de relations obtenues numériquement par des simulations dite de Monte-Carlo (par allusion aux jeux de hasard qui s'y pratiquent).

Ses principaux inconvénients sont la lourdeur de mise en œuvre et la nécessité d'un calage des paramètres internes.

Ce type d'approche développé maintenant depuis une dizaine d'années en Europe est particulièrement utile quand on recherche à établir des caractéristiques diverses d'avalanche (une pression d'impact par exemple) en fonction de la période de retour.

4- L'approche physique

Elle tente de reproduire physiquement, dans un laboratoire, l'avalanche étudiée. Elle nécessite un support topographique tridimensionnel, ainsi qu'un choix déterminant des critères de similitude.

Ainsi on ne peut généralement pas d'une part étendre à d'autres sites les résultats obtenus et d'autre part apprécier en même temps les paramètres géométriques (comme les distances d'arrêt) et les paramètres physiques (comme les pressions d'impact).

Elle offre néanmoins une bonne visualisation du phénomène dans le site considéré. La reprise de neige reste difficile à réaliser.

Elle est relativement peu utilisée dans des applications spécifiques.



5- L'approche symbolique

Elle tente de reproduire le raisonnement effectué par un expert face à un site avalancheux. Les règles de fonctionnement et les connaissances sont recueillies dans un système informatique de gestion de ces données.

Elle n'est pas opérationnelle en 2002.

Il existe donc aujourd'hui toute une panoplie d'outils de calcul permettant de répondre à la plupart des questions posées en ingénierie avalanche, avec une qualité certes variable mais néanmoins généralement satisfaisante. Les conditions d'utilisation sont elles aussi très différentes, selon les données de site (ex : de quelques points d'un profil en long jusqu'à un modèle numérique de terrain détaillé), selon les données historiques et/ou nivologiques (de quelques repères jusqu'à des séries très longues), selon le temps passé (quelques secondes à plusieurs jours). Aucune approche n'est cependant foncièrement meilleure que les autres. La pertinence d'un modèle reste toujours subordonnée au nombre et à la qualité des données disponibles sur un site. Son caractère prédictif ne peut donc jamais être garanti *a priori*.



INDEX DES DOCUMENTS ET ILLUSTRATIONS

Cartes

- Carte 1** : Localisation des communes recensées comme présentant un risque d'avalanche, *p.15*
- Carte 2** : CLPA 73.07 ARVAN-GLANDON ; Cemagref-IGN ; 1993, *p.24*
- Carte 3** : Exemple de carte de vigilance de METEO France, *p.29*
- Carte 4** : Découpage des massifs pour le bulletin d'estimation des risques d'avalanche (B.R.A.), *p.31*
- Carte 5** : Périmètre d'études et périmètre réglementaire du PPR de THOLLON-les-MEMISES, *p.48*
- Carte 6** : Carte informative de localisation dans la vallée de la Pique, *p.52*
- Carte 7** : Zonage de l'aléa avalanche résultant d'une expertise multiple réalisée en juin 2001, *p.65*
- Carte 8** : Extrait du PIDA de MORZINE-AVORIAZ, *p.71*
- Carte 9** : Extrait de la carte de localisation des événements àTENDE, *p.73*
- Carte 10** : Extrait de la carte des aléas du PPR de PRAZ-sur-ARLY, *p.75*
- Carte 11** : Extrait de la carte des aléas à VACHERESSE, *p.82*
- Carte 12** : Extrait de la carte réglementaire du PPR de VACHERESSE, *p.82*

Documents

- Document 1** : Extraits d'un article paru dans le n° 98 de la revue Neige et Avalanche, *p.16*
- Document 2** : Coupure de presse au lendemain de la catastrophe de VAL-D'ISERE en 1970, *p.18*
- Document 3** : Coupure de presse sur les perturbations économiques dues aux risques d'avalanches, *p.19*
- Document 4** : Extrait du premier carnet d'avalanche de Samoëns, *p.25*
- Document 5** : Fiche encochable du deuxième carnet d'enquête permanente sur les avalanches à SAMOËNS, *p.26*
- Document 6** : « papillon jaune » d'avis d'avalanche, *p.26*
- Document 7** : Extrait d'un rapport manuscrit sur une avalanche à Flaine en mars 1914, *p.28*
- Document 8** : Extrait du tableau récapitulatif des zones d'aléas multirisques du PPR de PRAZ-sur-ARLY, *p.76*
- Document 9** : Règlement type proposé par le service RTM interdépartemental 64-65, *p.88*
- Document 10** : Règlement en zone verte de protection contre le départ d'avalanche dans le PPR de FAVERGES, *p.89*



Photographies

- Photographie 1** : Avalanche dans le couloir du Baptieu Aux CONTAMINES-MONTJOIE (74) – le 8 février 1984, *couverture*
- Photographie 2** : Avalanche du Ciagé sur le lotissement de la Colombéra le 31 janvier 1986, *p. 7*
- Photographie 3** : Avalanche expérimentale déclenchée au col d'Ornon – Isère, *p. 8*
- Photographie 4** : Chalet détruit par l'avalanche du 9 février 1999 au hameau de Montroc à CHAMONIX (74), *p. 17*
- Photographie 5** : Travaux de reboisement paravalanche au Chazelet dans les Hautes-Alpes, *p. 20*
- Photographie 6** : Coulée de neige en forêt et à proximité d'une zone urbanisée le 24 mars 1981 à ALLEMONT – Isère, *p. 22*
- Photographie 7** : Vallée de CASTERINO, couloir n° 59, branche nord. Forêt ravagée durant l'hiver 1971-1972, *p. 22*
- Photographie 8** : Avalanche du Theil à Barège devant l'hôpital militaire le 2 février 1907, *p. 28*
- Photographie 9** : Filets paravalanches à la CLUSAZ, Haute-Savoie, *p. 35*
- Photographie 10** : Les peuplements d'altitude irréguliers favorisent l'encrage du manteau neigeux, *p. 36*
- Photographie 11** : Chantier de reboisement sur banquettes à OULLES en Isère en juillet 1985, *p. 37*
- Photographie 12** : Tourne efficace à TOURS-en-SAVOIE, *p. 38*
- Photographie 13** : étrave accolée au bâtiment à protéger, *p. 38*
- Photographie 14** : Galerie de protection routière, *p. 39*
- Photographie 15** : Gazex, *p. 41*
- Photographie 16** : Photographie stéréoscopique infra-rouge de l'Inventaire Forestier National sur la commune de NOVEL, *p. 49*
- Photographie 17** : Avalanche du 31 janvier 1942 sur le sanatorium de Guébrian à PASSY, *p. 54*
- Photographie 18** : Photo-témoignage sur un événement historique à CHAMONIX, *p. 74*



Tableaux

- Tableau 1** : Classification morphologique des avalanches, *p.11*
- Tableau 2** : Échelle européenne du risque d'avalanche, *p.30*
- Tableau 3** : Récapitulatif des techniques de protection paravalanche, *p.34*
- Tableau 4** : Les étapes d'élaboration du PPR, *p.46*
- Tableau 5** : Niveaux d'aléas avalanche, *p.59*
- Tableau 6** : Application de la procédure, *p.67*
- Tableau 7** : Principes de zonage réglementaire à partir du zonage des aléas et des enjeux, *p.80*

Figures

- Figure 1** : Définition de l'avalanche, *p.8*
- Figure 2** : Schéma classique de site avalancheux , *p.9*
- Figure 3** : Rupture en pente convexe, *p.9*
- Figure 4** : Le rôle du couvert forestier dans la stabilisation du manteau neigeux, *P.21*
- Figure 5** : Les trois fanions normalisés situant le niveau de risque d'avalanche, *p.32*
- Figure 6** : récapitulatif des différentes zones d'aléas possibles, *p.60*
- Figure 7** : synthèse, pour un couloir donné, des étapes conduisant à la cartographie de l'aléa, *p.62*
- Figure 8** : Exemple de schéma réglementaire définissant la répartition des efforts sur un bâtiment soumis à la pression dynamique d'une avalanche de neige coulante, *p.86*
- Figure 9** : Exemple de schéma réglementaire définissant la répartition des efforts sur un bâtiment soumis à la pression dynamique d'une avalanche avec aérosol, *p.87*