

## **Méthode d'expertise : la détermination de l'exposition aux avalanches**

François Rapin<sup>1</sup>, Robert Bolognesi<sup>2</sup>, Enrico Ceriani<sup>3</sup>

***Résumé.** Les enjeux d'aménagements sont très souvent sensibles et le phénomène avalancheux est plutôt complexe : Pour apporter une réponse claire à la question du client, l'expertise du risque d'avalanche exige une réelle qualification de l'expert, une approche rigoureuse et donc une méthodologie fondée sur l'expérience. Pour cela, l'expert devrait fonder son travail sur les principes de compétence (références dans le domaine), de controverse avec une réelle ouverture à la discussion technique, d'impartialité, sans a priori, d'indépendance, y compris vis-à-vis du client et de transparence (argumentaire exposé et étendu).*

*Dès le contrat, il faut bien préciser le cadre de l'expertise : la question posée, son étendue géographique, les moyens mis en œuvre. Une organisation de type « Assurance Qualité » permet une meilleure efficacité. L'expérience a montré qu'il est opportun de distinguer cinq grandes étapes successives dans la démarche :*

- ① **L'analyse locale du site** : initiale et indispensable. Après une visite de terrain et avec une description géographique détaillée du site avalancheux, ainsi qu'une étude historique des avalanches passées, dans la zone de départ, dans celle d'écoulement et dans la zone d'arrêt. Il s'agit de recueillir toutes les données nécessaires et possibles, dont celles de nivo-météorologie.
- ② **La construction des scénarios d'avalanches** : imaginative et argumentée. Malgré la diversité des paramètres, la proposition des fonctionnements possibles doit être adaptée aux conditions locales, tout en restant assez large. L'incertitude doit finir par se restreindre.
- ③ **La définition d'une avalanche de référence** : délicate et partagée. En accord avec la réglementation locale et avec le client, ce choix essentiel doit être explicité, discuté et pleinement repris par tous. Le type d'écoulement, la fréquence, l'intensité, les principales valeurs sont fixés. L'avalanche peut néanmoins être multiple.
- ④ **La sélection d'une carte d'aléa ou d'une stratégie paravalanche adaptée** : justifiée et cohérente. Les niveaux d'aléa sont portés sur la carte. Ou les grandes orientations de protection sont évaluées (efficacité, coût, avantages / inconvénients, intégration environnementale, ...).
- ⑤ **La proposition d'un zonage réglementaire ou d'un dispositif technique de protection** : claire et détaillée. Il faut préciser l'ensemble de la proposition, s'assurer de sa cohérence et de sa réponse appropriée à la problématique. Au final on devrait ressentir sa justesse.

<sup>1</sup> Cemagref – ETNA ; Domaine universitaire ; BP 76 ; F 38402 ST MARTIN D'HÈRES  
Tel : + 33 (0)4 76 76 27 17 ; Fax : + 33 (0)4 76 51 38 03 ; e-mail : francois.rapin@cemagref.fr

<sup>2</sup> METEORISK, CP 993, CH-1951 SION ;

Tel : +41 (0)79 433 30 72 ; Fax : +41 (0)27 323 63 14 ; e-mail : robert.bolognesi@meteorisk.com

<sup>3</sup> Fondazione Montagna Sicura – Montagne Sûre , Villa Cameron Località Villard de la Palud 1 - 11013 Courmayeur (AO)  
Tel : +39 0165 897602 ; Fax: +39 0165 897647 ; e-mail : villacameron@fondms.org

## Method of expertise: the exposure to avalanche developments

François Rapin<sup>4</sup>, Robert Bolognesi<sup>5</sup>, Enrico Ceriani<sup>6</sup>

***Abstract.** The issue of mountain developments are very often sensitive and the avalanche phenomenon is quite complex: to provide a clear answer to the client's question, expertise of avalanche risk requires real skills by the expert, a rigorous approach and therefore a methodology based on experience. For this matter, the expert should base their work on the principles of competence (references in the field), controversy with a genuine openness to technical discussion, impartiality without bias, independence with respect to the customer and transparency (expanded and explanatory arguments).*

*The contract should immediately specify the framework of expertise: the question, its geographical scope and the means deployed. An organization such as "Quality Assurance" enables greater efficiency. Experience has shown that it is appropriate to distinguish five main stages in the process as follows in chronological order:*

- ① **Local site analysis: initial and essential.** *After a field visit and a detailed geographical description of the avalanche backcountry site, as well as an historical study of past avalanches, in the starting, the flowing and the runout zones. It consists of collecting all the data necessary and possible, including those of snow-meteorology.*
- ② **Construction of avalanches scenarios: imaginative and argued.** *Despite the variety of settings, the proposal for possible operations must be adapted to the local conditions while remaining fairly broad. The uncertainty must eventually decrease and be restricted.*
- ③ **The definition of an avalanche of reference: delicate and shared.** *In accordance with local regulations and with the client, this fundamental choice must be elaborated, discussed and fully resumed by all. The type of flow, frequency, intensity, and principle values are fixed. The avalanche can nevertheless still be multiple.*
- ④ **Selection of the hazard map or of the adapted avalanche protection strategy: justified and consistent.** *The levels of uncertainty are shown on the map and/or the broad protection guidelines are assessed (efficiency, cost, advantages / disadvantages, environmental integration, etc.).*
- ⑤ **The suggestion of zoning regulation or of a technical device for protection: clear and detailed.** *We must specify the entire proposal, ensuring its coherence and its appropriate response to the problem. In the end, we will feel its accuracy.*

---

<sup>4</sup> Cemagref – ETNA ; Domaine universitaire ; BP 76 ; F 38402 ST MARTIN D'HÈRES  
Tel : + 33 (0)4 76 76 27 17 ; Fax : + 33 (0)4 76 51 38 03 ; e-mail : francois.rapin@cemagref.fr

<sup>5</sup> METEORISK, CP 993, CH-1951 SION ;

Tel : +41 (0)79 433 30 72 ; Fax : +41 (0)27 323 63 14 ; e-mail : robert.bolognesi@meteorisk.com

<sup>6</sup> Fondazione Montagna Sicura – Montagne Sûre , Villa Cameron Località Villard de la Palud 1 - 11013 Courmayeur (AO)  
Tel : +39 0165 897602 ; Fax: +39 0165 897647 ; e-mail : villacameron@fondms.org

## 1. La problématique générale l'expertise avalanche

### 1.1. Le contexte

La norme française NF X 50-110 de mai 2003, intitulée "Qualité en expertise – Prescriptions générales de compétence pour une expertise" définit l'expertise comme un *"ensemble d'activités ayant pour objet de fournir à un client, en réponse à la question posée, une interprétation, un avis ou une recommandation aussi objectivement fondé que possible, élaboré à partir des connaissances disponibles et de démonstrations, accompagnées d'un jugement professionnel"*. En utilisant des moyens validés et une expérience adaptée, l'expertise résout un problème technique et éclaire en retour un décideur. Logiquement, la norme définit donc l'expert comme la *"personne dont la compétence, l'indépendance et la probité lui valent d'être formellement reconnue apte à réaliser des travaux d'expertise"*.

Dans le domaine des risques naturels, et des avalanches en particulier, cette activité d'expertise s'exerce en général dans cinq contextes distincts :

- ❶ Lors de l'élaboration de nouveaux plans d'urbanisme (PPRN, etc.), pour définir les cartes d'exposition aux aléas et les règlements de construction,
- ❷ à l'occasion de la conception ou de l'amélioration d'un dispositif de protection, pour identifier clairement les risques et définir les meilleures stratégies,
- ❸ dans le processus de recherche scientifique, pour valider des résultats et pour déceler des insuffisances de connaissances,
- ❹ en situation de crise, pour aider les prises de décisions dans l'urgence,
- ❺ lors de recours en justice, pour révéler les éléments techniques permettant au juge de mieux apprécier les éventuelles responsabilités.

Dans ce document, seuls les deux premiers contextes nous intéressent, c'est-à-dire ceux qui sont liés à la définition pragmatique d'une protection contre les avalanches. Il s'agit alors de préciser concrètement l'aléa, l'avalanche de référence et le risque pour le site considéré. Les

**Aléa** : avalanche caractérisée, dans un lieu donné, par une évaluation de sa fréquence et de son intensité.

**Avalanche de référence** : aléa contre lequel on décide de concevoir une protection.

Les contraintes sont donc bien différentes de celles de la recherche scientifique qui prépare l'avenir sans obligation immédiate de résultats, de la situation de crise qui exige des réponses rapides à partir des quelques informations instantanément disponibles, du recours en justice qui explicite le passé connu sans projection dans l'avenir. La démarche d'expertise se déroule normalement dans un cadre plutôt bien défini : la question posée par le client est suffisamment explicitée, sans nécessité de reformulation ; mais l'implicite malencontreux rode parfois ; exemple : se préserver de la dernière grosse avalanche connue mais quid de la pluri centennale ?

La méthodologie appliquée est souvent précisée et claire, mais ce n'est pas systématiquement le cas ; Exemple jusqu'où aller dans la recherche de l'histoire avalanche ou dans la modélisation dynamique ? « L'objet » à étudier paraît évident ; mais, par exemple, au-delà de la protection de la nouvelle construction qu'advient-il de la constructibilité des parcelles voisines ?

Une organisation méthodologique de la démarche est indispensable. Utiliser les outils modernes c'est bien ; mais croire que l'expertise est ratée parce qu'on a pas utilisé le dernier outil disponible est une erreur !

## 1.2. La démarche "Assurance Qualité"

Pas d'expertise sans client : la qualité d'une expertise c'est son aptitude à satisfaire les besoins exprimés et implicites du client. Son degré de fiabilité assure sa véritable reconnaissance ultérieure. Pour atteindre un haut niveau de satisfaction, il faut d'une part une forte compétence reconnue du ou des expert(s), d'autre part une bonne maîtrise des points critiques du processus d'expertise avec une traçabilité complète des opérations. Ce deuxième point conduit souvent à adopter une démarche de type « Assurance Qualité ». Dans le domaine de l'expertise des risques naturels, cette approche est assez récente. Elle a longtemps semblé inadaptée, tant ce qui relève de l'opinion, du savoir-faire ou même du talent personnel des experts n'est pas de nature à être normalisé. Cependant le respect d'une telle démarche non improvisée mais au contraire longuement réfléchi et élaborée enrichit incontestablement les expertises. Et elle limite considérablement les risques d'erreurs.

Cette démarche « Assurance Qualité » comprend :

- ▶ La réception de la demande, l'analyse préalable, la compréhension et la reformulation éventuelle de la question posée ;
- ▶ L'estimation de son aptitude à répondre, la recherche de la documentation nécessaire, l'identification du personnel compétent concerné comme d'éventuels sous-traitants, le choix des méthodes de travail, des moyens à mobiliser, du calendrier ;
- ▶ Le traitement de la demande (envoi d'une proposition, éventuelle négociation, enregistrement de la commande) ;
- ▶ La réalisation de l'expertise, la mobilisation des acteurs et des moyens prévus, l'élaboration du rapport, la vérification de sa cohérence et de son adaptation à la demande ;
- ▶ Le traitement des éventuelles réclamations relatives à l'avis formulé ;
- ▶ La traçabilité de l'expertise et son archivage.

### 1.3. L'analyse de l'exposition aux avalanches des aménagements

#### 1.3.1. Le cadre et les raisons du besoin d'expertises

L'avalanche est un phénomène naturel un peu mystérieux aux yeux du grand public, spectaculaire, dont on ne parle à travers les médias qu'à l'occasion d'accidents ou de catastrophes. "Avalanche" reste souvent synonyme de "Danger". Ceci explique pourquoi, si l'on s'intéresse à ce phénomène, c'est souvent pour chercher à s'en protéger. Et, pour les mêmes raisons, la volonté de s'interroger sur l'existence éventuelle d'un danger d'avalanche est souvent liée soit à l'existence d'un projet d'aménagement, soit à la survenue d'un événement catastrophique ou simplement préoccupant. La figure n°2 présente ce cadre général et les différentes étapes successives d'une "Expertise du risque d'avalanche".

Cette organisation méthodologique montre comment, sur un site de montagne, l'expert en avalanche apprécie la nature et le niveau des dangers, évalue le risque accepté par le client puis élabore sa proposition de solution(s) de protection, adaptée en fonction de l'équipement ou de l'aménagement à protéger. Cette méthodologie s'est formalisée et s'est enrichie ensuite au fil des nombreuses expériences vécues. Il ne s'agit ni d'une théorie, ni d'une "norme", ni d'un dogme, mais d'un témoignage et d'une opinion construite à partir d'expériences "rodées".

Entre l'idée du "projet d'équipement" et le "dossier" d'obtention des autorisations administratives ou les "marchés", il aura fallu réaliser tout un ensemble d'études portant :

- ▶ sur les possibilités techniques de réalisation (étude géotechnique, capacité du site, calcul des structures, organisation du chantier de construction, etc.) ;
- ▶ sur ses impacts écologiques, paysagers et socio-économiques ;
- ▶ sur les aspects techniques, financiers et humains de l'exploitation et de la maintenance ;
- ▶ sur les capacités de financement de l'ouvrage ;
- ▶ sur les possibilités d'amortissement, les chances d'équilibre financier, etc.

On peut toutes les regrouper sous le terme général d'"Études de faisabilité". Si, dans le cours de ces réflexions préalables, il apparaît que la probabilité du risque d'avalanche sur le projet n'est pas totalement nulle, alors il y a nécessité d'entreprendre une étude supplémentaire : l'analyse du risque d'avalanche.

### 1.3.2. Les grandes étapes de l'expertise avalanche

L'expérience a montré qu'on devrait distinguer cinq grandes étapes dans cette démarche (voir schéma page suivante) :

#### ① L'analyse locale du site : initiale et indispensable

Les reconnaissances de terrain délivrent une énorme quantité d'informations à l'expert : on ne peut envisager une expertise avalanche sans avoir visité le site concerné, au moins une fois et si possible à différentes saisons. Ces reconnaissances sont complétées par une analyse fine de la topographie locale et de toutes les archives et témoignages rapportant des avalanches passées. Cette première étape est souvent longue et demande beaucoup de soin. Elle seule permet de véritablement intégrer toutes les données du problème.

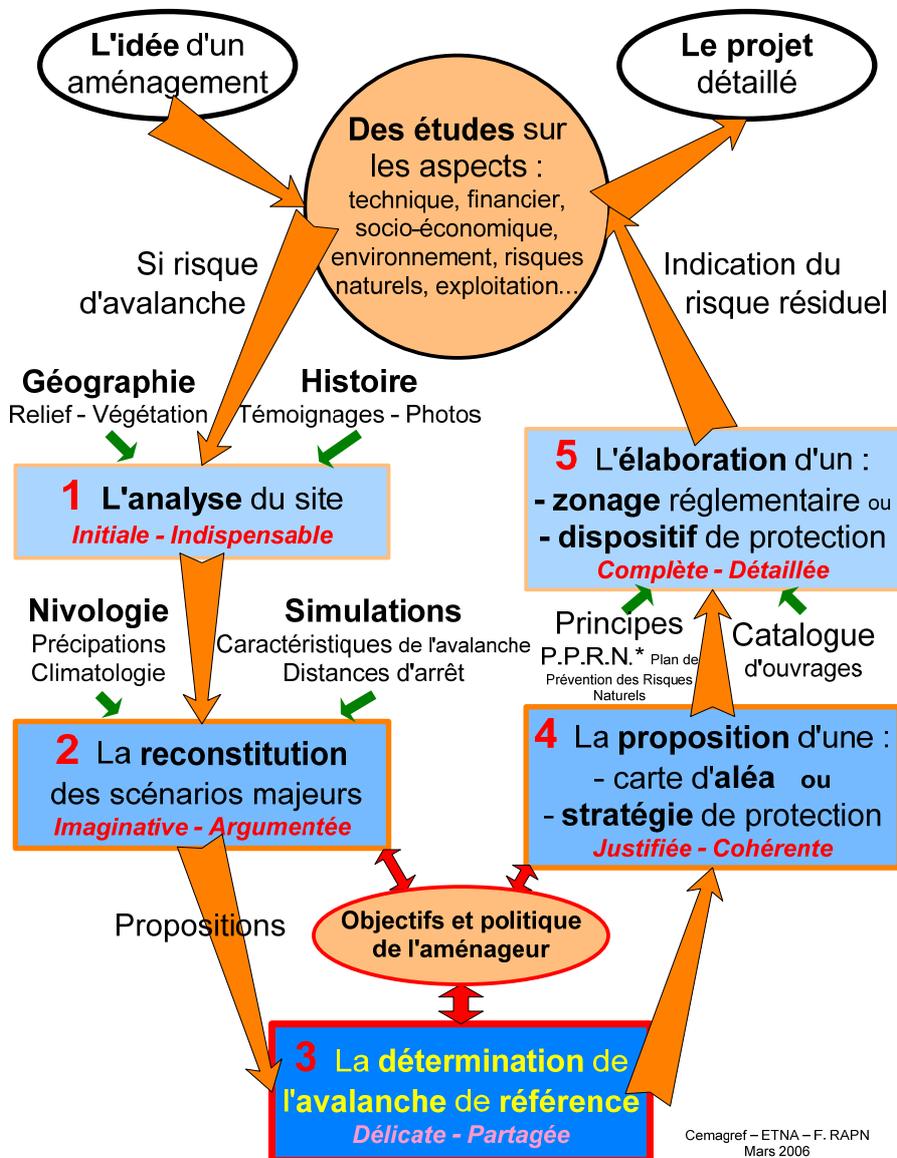


Figure 1 : Organisation de la détermination de l'exposition aux avalanches

## ② La construction des scénarios d'avalanches : imaginative et argumentée

Il faut maintenant « imaginer l'inimaginable qui, pourtant, se produira... ». Les caractéristiques du site, la climatologie hivernale, l'historique des avalanches, et de plus en plus souvent la modélisation, constituent les éléments indispensables à la construction des différents scénarios. Cette étape doit révéler l'image réaliste des différentes avalanches contre lesquelles on peut envisager de protéger, en termes de périodicité, genre, trajectoire et « puissance ».



## ③ La définition d'une avalanche de référence : délicate et partagée

Cette troisième phase, essentielle, vise à choisir les caractéristiques de l'avalanche à prendre en compte. Parmi les scénarios élaborés précédemment, cette dernière peut être plus importante que la plus grande avalanche jamais observée ou, au contraire, de moindre ampleur, en fonction des enjeux et des ressources disponibles... L'expert propose mais c'est le décideur qui indique quel est le risque « acceptable ».

## ④ La conception d'une carte d'aléa ou d'une stratégie paravalanche adaptée : justifiée et cohérente

Lors de cette quatrième phase, l'expert élabore une ou plusieurs stratégies de protection : permanente ou temporaire, active ou passive en fonction des objectifs fixés lors de la phase précédente de l'étude. Il initie un contrôle de ses choix par une comparaison avec des sites techniquement proches.

## ⑤ La proposition d'un zonage réglementaire ou d'un dispositif technique de protection : finale et détaillée

La dernière phase de l'expertise précise concrètement le dispositif de sécurité : réalisation d'une carte réglementaire, rédaction d'un PIDA, élaboration d'un plan communal d'évacuation, choix, dimensionnement et positionnement d'ouvrages paravalanches, etc. L'évaluation du risque résiduel trouve ici sa place.



*Photo 1 : Le site de Taconnaz à Chamonix après l'avalanche du 11 février 1999 (photo Sintégra)*

### 1.4. Aléa, vulnérabilité et risque

Les deux premières étapes permettent de rassembler les données du problème. Elles relèvent de la seule compétence de l'expert. La troisième étape consiste à définir les caractéristiques du phénomène à prendre en compte. Elle concerne non seulement l'expert mais aussi les personnes exposées au risque. Elle relève donc (plus ou moins) de la négociation multilatérale. Les deux dernières étapes sont de nouveau du ressort de l'expert qui propose la solution technique adaptée au problème **que l'on a choisi** de résoudre.

La quantification d’une exposition à l’aléa ou d’une protection paravalanche nécessite une intégration de différents angles de vue :

- ▶ L’analyse des éléments géomorpho-logiques : **le diagnostic du présent**,
- ▶ La synthèse des données historiques disponibles : **le témoignage du passé**,
- ▶ La modélisation numérique : **l’accès au futur**,
- ▶ La comparaison de la proposition avec celles connues de couloirs géomorphologiquement similaires : **le contrôle qualité**.

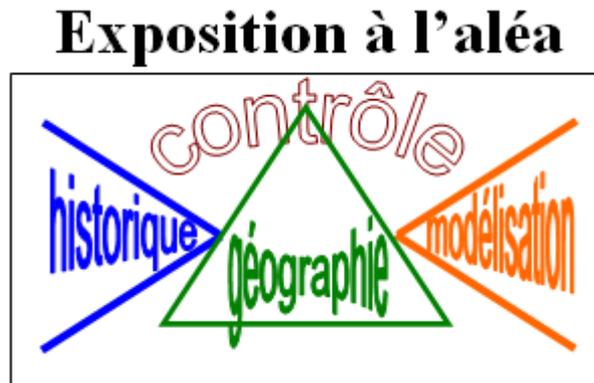


Figure 2 : Organisation de l’exposition à l’aléa

Il faut également évaluer attentivement la vulnérabilité :

- ▶ le type de l’enjeu : des personnes (ex : skieurs...), ou seulement des biens (ex : habitations, remontées mécaniques, forêt...),
- ▶ l’importance et la valeur de l’enjeu (ex : le nombre de personnes, de bâtiments, etc.).

À partir du phénomène, les sciences physiques déterminent l’aléa. À partir de l’enjeu, les sciences économiques quantifient la vulnérabilité. La détermination de l’aléa ne doit pas être influencée par la vulnérabilité, car ces deux composantes du risque sont indépendantes l’une de l’autre. Puis, par une combinaison de ces deux démarches, le risque accepté est fixé après un dialogue social.

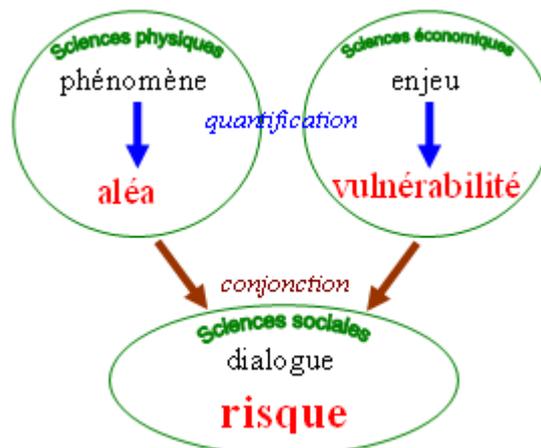


Figure 3 : Composantes du risque

### 1.5. Conclusion

L'expertise avalanche gagne beaucoup à être menée selon un canevas bien défini, précisant la suite des opérations à effectuer. La prise en compte de tous les aspects du problème augmente ainsi la fiabilité de l'analyse. Les principaux sont cités ci-dessous :

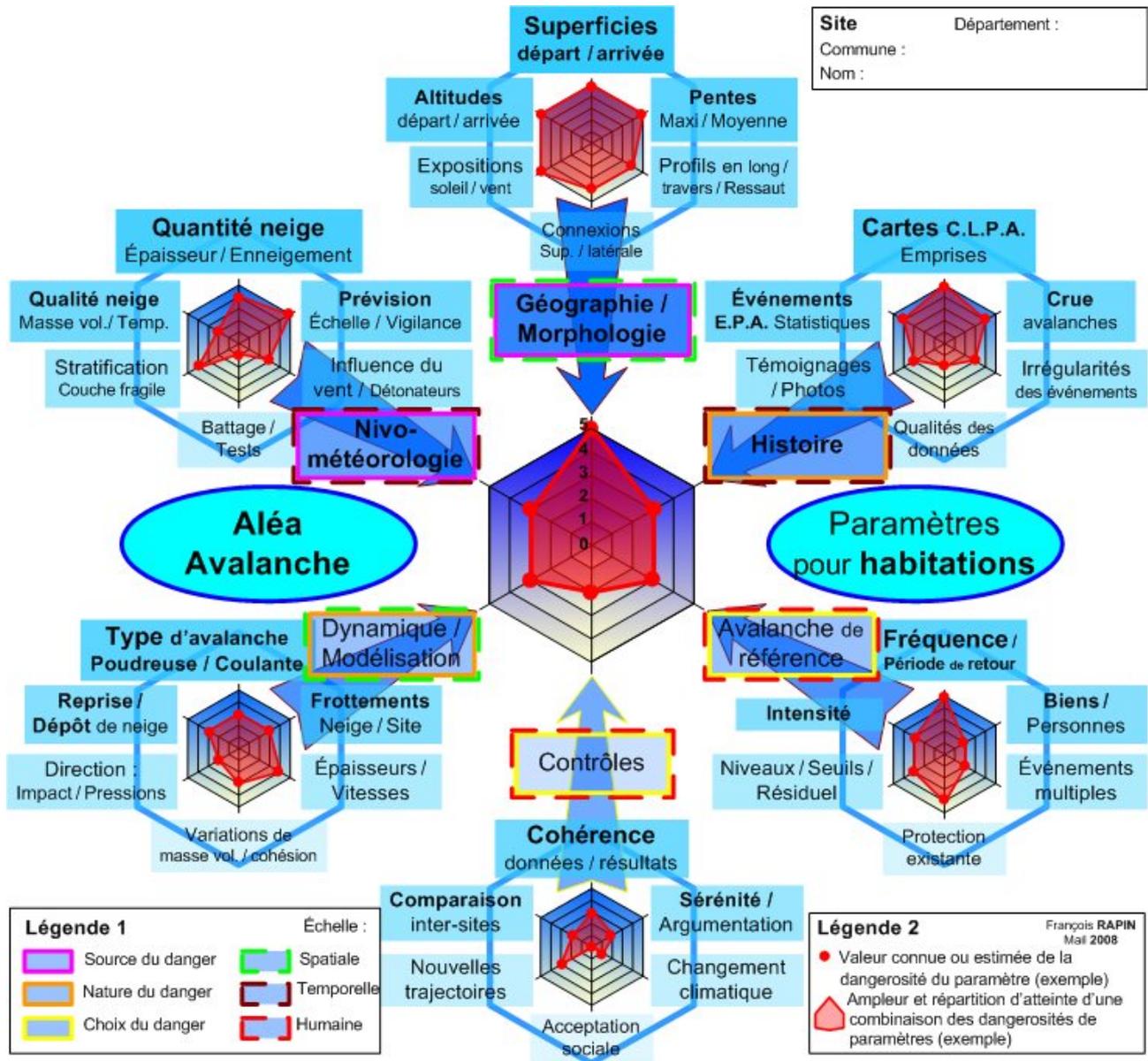


Figure 4 : Les paramètres de l'aléa avalanche pour des habitations

## 2. Le détail des étapes de l'analyse

### 2.1. Analyse du site

Quelle que soit l'ampleur de l'étude, la nature de l'objectif de protection ou la précision de l'avis demandé, la connaissance du terrain, est indispensable : un travail basé seulement sur des photos, des plans, ou des modèles numériques de terrain est voué à l'imprécision, voire à l'erreur grossière. Seule la vision directe du site, d'en face, de l'intérieur, permet de synthétiser ses principales caractéristiques. L'examen des caractères géographiques spécifiques avec toutes leurs originalités, et la recherche des traces qui peuvent y avoir été inscrites par les avalanches passées, s'effectuent efficacement au travers de 2 démarches :

- ❶ l'étude géographique du site avalancheux,
- ❷ l'étude historique des avalanches passées.

Et ces deux études méritent fortement d'être engagées simultanément car la première enrichit la seconde et réciproquement.



Photo 2 : Analyse du site



Photo 3 : Analyse du site



Photo 4 : Site aménagé

L'étude géographique examine le site sous l'aspect « théâtre » de l'avalanche. Les éléments déterminants pour le déclenchement et l'évolution du phénomène doivent être observés à deux niveaux :

- ▶ de façon **globale** d'abord : situation régionale, altitudes caractéristiques, exposition générale, dimensions, etc. ;
- ▶ de façon **détaillée** ensuite :

Pour chacune des zones de départ, d'écoulement, ou d'arrêt, il faut définir ses caractéristiques topographiques d'abord (surfaces, pentes, dénivelées), puis géographiques (altitudes, expositions, type de versant ou de couloir), et enfin géomorphologiques (connexions, singularités, dynamiques de versant, rugosité), voire botaniques (végétation) pour leur aspect de surface.

Selon les cas, il faut détailler davantage :

- dans la zone de départ, on s'attache essentiellement à évaluer le potentiel de neige mobilisable, avec la recherche des unités de surface homogènes, leur positionnement relatif et leur interdépendance ;
- dans la zone d'écoulement, il faut découvrir les singularités du site qui influencent la dynamique de l'avalanche (ruptures de pente, canalisation ou au contraire possibilité d'étalement, sinuosité du couloir, connexions) ;
- dans la zone d'arrêt, on cerne les conditions de ralentissement et de dépôt par l'évolution de la pente.

Pour chacun de ces éléments, il faut apprécier leur influence réelle, leurs conditions d'action, les limites et les seuils d'application, les facteurs limitant, les effets de leur combinaison, etc. Ceci pour tenter d'attribuer à chacun d'eux un point dans le "fonctionnement" avalancheux du site étudié. Des références à d'autres sites similaires sont alors opportunes.

L'étude historique des avalanches repose sur 2 composantes essentielles : le témoignage humain et les indices naturels. Lorsqu'elles existent sur le site étudié, la Carte de Localisation des Phénomènes d'Avalanches (CLPA) et l'Enquête Permanente sur les Avalanches (EPA) constituent des informations majeures et offrent un gain de temps appréciable. L'étude du phénomène de crue avalanche est souvent productive. Mais il ne faut pas manquer d'effectuer une analyse critique de ces données (ex : irrégularité). Il faut souvent reprendre et dépasser les éléments synthétisés pour, par exemple, relier des secteurs d'emprise à des types d'avalanche. Les descriptions d'évènements anciens, par écrit, carte ou photo révèlent de nombreuses informations pertinentes. Sans une bonne connaissance du passé, on ne peut pas vraiment envisager le futur possible en matière d'avalanches.

## 2.2. Construction de scénarios d'avalanches

Les caractéristiques du site étant bien cernées, il s'agit maintenant de le faire "fonctionner" avec de la neige et des avalanches ! La construction de scénarios débute en recherchant les différentes conditions nivo-météorologiques susceptibles de générer des avalanches dans le site, c'est-à-dire en identifiant leurs caractéristiques de déclenchement : épaisseur du manteau neigeux, quantité de neige tombée en 24, 48 ou 72 h, densité, température (et également en complément des hypothèses sur le type de grain, la teneur en eau liquide, la stratification, la cohésion, etc.). Des méthodes statistiques peuvent être utilisées sur les données disponibles des stations de mesure proches pour estimer les probabilités d'occurrence dans le site. La distribution, l'importance, l'intensité et la variabilité des précipitations neigeuses, la direction et la force du vent, les variations journalières de température, sont les principaux paramètres devant être qualifiés et quantifiés, en particulier lors des avalanches connues.

On « recrée » ensuite virtuellement les avalanches qui en découlent, depuis leur départ jusqu'à leur arrêt : l'utilisation de modèles numériques aide beaucoup pour cela. Il s'agit ici, en particulier, de prévoir les scénarios d'avalanches majeures, c'est-à-dire celles qui sont susceptibles de menacer l'objectif à protéger. Cette reconstitution de scénarios doit être adaptée au site et doit pouvoir se justifier. Elle doit aboutir à définir un ensemble de paramètres tels que les conditions nivologiques et l'enchaînement des déclenchements, les types d'écoulement, leur dynamique, la reprise de neige, les conditions de l'étalement et de l'arrêt, etc.

Concevoir des scénarios d'avalanche, c'est prévoir et décrire les conditions cohérentes de départ, d'écoulement et d'arrêt des avalanches potentielles, en évoquant leur nature, leur dimension, leur allure, en se fixant des hypothèses sur l'emplacement de la ligne de rupture du manteau neigeux, sur les épaisseurs de neige mobilisée, sur les qualités de neige considérées, sur les surfaces concernées, sur les trajectoires possibles, etc. Synthétisant l'ensemble des éléments connus, cette réflexion doit être conduite simultanément sur les 3 phases caractéristiques de l'écoulement d'avalanche (départ, écoulement et arrêt), et sur les 3 thématiques que sont la localisation (les trajectoires et les emprises), la puissance (les efforts développés et la hauteur concernée), enfin la probabilité d'occurrence (durée de retour probable).

## 2.3. Détermination de l'avalanche de référence

Les équipements à protéger peuvent être de natures fort diverses et représenter des enjeux d'importance variable. La protection d'une piste de ski ne demande pas le même niveau de sécurité que celle d'une habitation ou d'une école : l'avalanche de référence n'est alors évidemment pas la même. La différence ne réside pas seulement dans la grandeur du phénomène, mais résulte le plus souvent des caractéristiques de son

déclenchement, de la localisation de son départ, de son écoulement et de sa dynamique. Il peut alors s'agir de deux phénomènes complètement différents.

Cette étape constitue la partie fondamentale de l'expertise paravalanche. Elle devrait être partagée avec le responsable de l'aménagement. Elle détermine le niveau accepté du risque. De sa valeur dépendent directement la qualité et la fiabilité des avis donnés en conclusion par l'expert. On pourrait citer plusieurs exemples de dispositifs de protection, dont la réalisation fut extrêmement onéreuse et lourde à supporter par les collectivités engagées, et qui n'ont pourtant malheureusement pas atteint leurs objectifs initiaux de protection ! Très souvent, l'erreur provient d'une mauvaise ou trop faible analyse à ce troisième stade de l'expertise.

Ainsi se dessine le type d'interrogations auxquelles l'expert doit répondre à cette étape de son travail. C'est sans doute le travail le plus délicat de l'expert : proposer une définition judicieuse de l'avalanche qui servira de référence dans toute la suite du raisonnement. La validité des choix alors effectués détermine entièrement la suite de l'étude et les stratégies qui seront retenues.

Aujourd'hui, la France ne dispose pas de directive réglementaire concernant l'aléa de référence pour les avalanches. Le guide méthodologique PPR Avalanches, applicable pour le zonage autour des habitations, n'est toujours pas formellement publié et n'est que partiellement disponible sur [www.prim.net](http://www.prim.net). En conséquence, le choix doit encore être effectué par le responsable de l'aménagement, dans des conditions technico-juridiques délicates, en relation étroite avec son conseiller technique.

#### 2.4. Cartographie et/ou stratégie de protection

L'avalanche de référence étant devenue une donnée et en tenant compte de la nature et de la vulnérabilité de l'équipement à protéger, le spécialiste propose alors soit une carte d'aléa soit une stratégie paravalanche adaptée.

<b>Fréquence →</b> <b>Intensité ↓</b>	<b>Rare</b>	<b>Modérée</b>	<b>Élevée</b>
<b>Faible</b>	😊 Faible	😊 Faible	😊 Moyen
<b>marquée</b>	😐 Moyen	😐 Moyen	😐 Fort
<b>Forte</b>	😞 Fort	😞 Fort	😞😞 Très Fort

Figure 5 : Table de croisement possible de la fréquence avec l'intensité pour l'aléa

Lors de la réalisation d'une carte d'aléa, pour chaque lieu, le passage du phénomène de référence à l'aléa correspondant nécessite d'une part sa fréquence et d'autre part son intensité. La plupart du temps, la localisation n'est précisée qu'à proximité des enjeux, qui se trouvent souvent dans la zone d'arrêt de l'avalanche.

L'intensité est définie par rapport aux valeurs « habituelles » de pression de 30 kPa ( $\approx 3 \text{ t/m}^2$ ) et de 1 kPa ( $100 \text{ kgf/m}^2$ ), seuils supérieur et inférieur estimés « pertinents » en matière d'urbanisation. L'aléa est ainsi déclaré fort au dessus de 30 kPa, faible en dessous 1 kPa et moyen entre les deux. La carte d'aléa indique ces limites.

Lorsque l'on élabore une protection, les différentes stratégies consistent à tenter :

- ▶ de "supprimer" l'avalanche, en stabilisant toute la zone de départ pour retenir tout le manteau neigeux ;
- ▶ de "contrôler" l'avalanche en provoquant préventivement son déclenchement pour purger la pente ; Ceci est déconseillé pour des habitations ;
- ▶ de « résister » à l'avalanche en renforçant les équipements (comme pour une habitation située dans une zone bleue, ou pour un pylône de remontée mécanique) ;
- ▶ « d'atténuer les effets » de l'avalanche en modifiant son ampleur, sa trajectoire, sa limite d'arrêt, sa fréquence, ou en prévoyant un plan de secours ;
- ▶ « d'esquiver » l'avalanche en prévoyant l'évacuation des personnes pouvant être menacées.

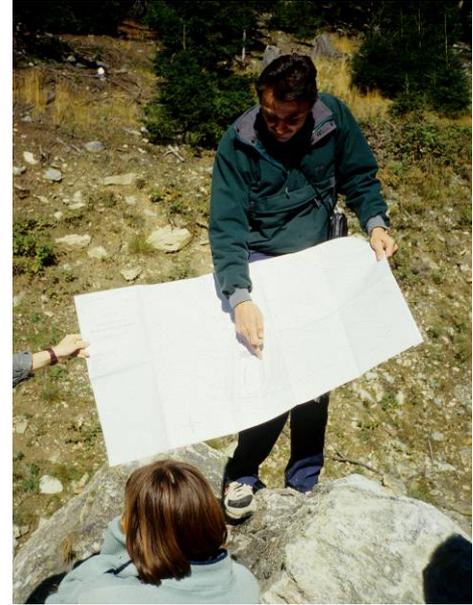


Photo 5 : Élaboration d'une protection

Cette sélection de stratégie peut s'effectuer de manière itérative (par tâtonnements) : si l'on ne trouve pas de solution technique satisfaisante pour la première stratégie retenue, il faut essayer une nouvelle stratégie, jusqu'à trouver au moins une solution. Comme le schéma de principe le souligne, les deux dernières étapes de l'expertise sont, dans la réalité concrète des études, généralement interactives. En effet, dès qu'une stratégie est envisagée, il faut choisir une technique de protection et vérifier sa compatibilité avec les autres études de faisabilité, notamment financières. Sinon, on cherche soit une autre technique, soit une autre stratégie jusqu'à aboutir à la plus judicieuse pour tous les points de vue.

La meilleure stratégie est évidemment d'éviter de construire quoi que ce soit dans une zone menacée, lorsque cela est possible. Il faut donc préalablement localiser le plus précisément possible l'emprise du phénomène majeur. C'est l'objet des plans de zonage (les Plans de Prévision des Risques Naturels, PPRN, en France) et des cartes de danger (en Suisse et en Italie). La carte de localisation des phénomènes d'avalanches (CLPA), en France, en Italie ou en Espagne ne représente qu'une première étape, à grande échelle, insuffisamment précise et exhaustive pour atteindre ce but.

## 2.5. Zonage réglementaire et dispositifs de protection

Un zonage réglementaire comprend une carte de risque sur un fond parcellaire et un règlement pour chaque zone (interdiction, prescriptions, mesures de construction, de gestion, de prévention, de protection, etc.). Usuellement, la zone rouge est inconstructible, la zone bleue est constructible en suivant les prescriptions du règlement, la zone blanche ne comprend pas de dispositions particulières.

Dans certains pays, d'autres zones sont ajoutées :

- ▶ zone jaune pour délimiter l'effet de souffle en Suisse, ou l'avalanche maximale vraisemblable (AMV) en France,
- ▶ zone verte pour localiser la forêt de protection en France.



Photo 6 : Esquisse d'une carte d'aléa

S'il propose un dispositif de protection, l'expert doit indiquer l'ouvrage qui constitue *la solution de protection préconisée*, qui doit être compatible avec tous les autres critères de faisabilité du projet. Il présentera aussi les avantages, techniques ou financiers, et les limites de la protection. À chaque étude, le spécialiste se doit de comparer les différentes techniques, afin de proposer la mieux adaptée.



Photo 7 : Réalisation de digues de protection

Lorsque l'enjeu est important, l'expert a souvent recours à plusieurs ouvrages complémentaires. Quelquefois, il peut même associer des stratégies différentes, en préconisant, par exemple, des opérations de déclenchement préventif et la construction d'une digue de déviation. Si bien que la solution de protection d'un cas concret est pratiquement toujours spécifique : Il est donc assez rare de pouvoir la transposer directement. Aujourd'hui, la notion d'ouvrage-type tend à disparaître. Enfin l'expert doit vérifier la bonne compatibilité du dispositif de protection proposé avec le projet initial d'équipement. Il doit aussi s'assurer de la cohérence de sa proposition avec le niveau demandé de sécurité, et évoquer le risque résiduel à l'aval. De plus, il devra s'assurer que les conclusions de son analyse sur la nature et l'ampleur du danger, sur le niveau de protection apporté par les techniques proposées, ont été parfaitement comprises par les promoteurs afin que le degré de sécurité espéré soit effectivement obtenu.

### **3. Conclusion**

Ce canevas ne constitue pas une « norme » : il résume seulement les principales étapes que suivent, en général, les personnes chargées d'une expertise d'un site avalancheux. En l'appliquant, on ne peut pas être certain de trouver les meilleures solutions. En revanche, on a une chance de ne pas proposer les plus mauvaises.

Ce n'est déjà pas si mal...

# **Annexes Module 1**



**Tableau n° :**

<b>Superficie</b> (en plan) de la zone de départ	
Qualificatif	Valeur, $S_d$ , en ha
très petite	$S_d \leq 0,5$ ha
petite	$0,5 < S_d \leq 2$
moyenne	$2 < S_d \leq 10$
grande	$10 < S_d \leq 30$
très grande	$30 < S_d$

<b>n°2 : Superficie</b> (en plan) de la zone d'arrêt	
Qualificatif	Valeur, $S_a$ , en ha
très petite	$S_a \leq 0,25$ ha
petite	$0,25 < S_a \leq 1$
moyenne	$1 < S_a \leq 5$
grande	$5 < S_a \leq 15$
très grande	$15 < S_a$

<b>n°3 : Superficie totale concernée, <math>S_t</math></b> (départ, écoulement, arrêt)	
Qualificatif	Valeur, $S_t$ , en ha
très petite	$S_t \leq 1$ ha
petite	$1 < S_t \leq 4$
moyenne	$4 < S_t \leq 15$
grande	$15 < S_t \leq 60$
très grande	$60 < S_t$

<b>n°4 : Rapport de superficies <math>R_s</math>,</b> zone de départ / zone d'arrêt	
Qualificatif	Valeur
très faible	$R_s \leq 1,0$ m
faible	$1,0 < R_s \leq 2,0$
moyen	$2,0 < R_s \leq 3,0$
fort	$3,0 < R_s \leq 4,0$
très fort	$4,0 < R_s$

<b>n°5 : Altitude de départ <math>A_d</math>,</b> maximale connue	
Qualificatif	Valeur, en m
très basse	$A_d \leq 1500$ m
basse	$1500 < A_d \leq 1800$
moyenne	$1800 < A_d \leq 2200$
haute	$2200 < A_d \leq 2500$
très haute	$2500 < A_d$

<b>n°6 : Altitude d'arrêt <math>A_a</math>,</b> minimale connue	
Qualificatif	Valeur, en m
très basse	$A_a \leq 900$ m
basse	$900 < A_a \leq 1200$
moyenne	$1200 < A_a \leq 1500$
haute	$1500 < A_a \leq 1800$
très haute	$1800 < A_a$

<b>n°7 : Dénivelée <math>D</math>,</b> comprise entre le sommet de la zone de départ et l'objectif à protéger	
Qualificatif	Valeur, en m
très petite	$D \leq 300$ m
petite	$300 < D \leq 600$
moyenne	$600 < D \leq 900$
grande	$900 < D \leq 1200$
très grande	$1200 < D$

<b>n°8 : Pente moyenne <math>\varphi</math>,</b> comprise entre le sommet de la zone de départ et l'objectif à protéger	
Qualificatif	Valeur, en °, en %
très faible	$35 \% \approx 19^\circ \leq \varphi$
faible	$35 \% \leq \varphi < 45 \% \approx 24^\circ$
moyenne	$45 \% \leq \varphi < 55 \% \approx 29^\circ$
forte	$55 \% \leq \varphi < 65 \% \approx 33^\circ$
très forte	$65 \% \leq \varphi$

<b>n°9 : Pente moyenne <math>\varphi_d</math>,</b> de la zone de départ	
Qualificatif	Valeur, en °, en %
très faible	$60\% \approx 31^\circ \leq \varphi_d (< 53\% \approx 28^\circ)$
faible	$60\% \leq \varphi_d < 70\% \approx 35^\circ$
moyenne	$70\% \leq \varphi_d < 85\% \approx 40^\circ$
forte	$85\% \leq \varphi_d < 100\% = 45^\circ$
très forte	$100\% \leq \varphi_d$

<b>n°10 : Pente moyenne <math>\varphi_a</math>,</b> de la zone d'arrêt	
Qualificatif	Valeur, en °, en %
très faible	$5 \% \approx 3^\circ \leq \varphi_a$
faible	$5 \% \leq \varphi_a < 10 \% \approx 6^\circ$
moyenne	$10 \% \leq \varphi_a < 20 \% \approx 11^\circ$
forte	$20 \% \leq \varphi_a < 30 \% \approx 17^\circ$
très forte	$30 \% \leq \varphi_a$

**n°11 : Zone de départ possible au dessus de celle du passé, ou latérale et connectable à celle du passé : superficielle**

Qualificatif	Valeur, $S_{sup}$ , en ha
très petite	$S_{sup} \leq 0,25$ ha
petite	$0,25 < S_{sup} \leq 1$
moyenne	$1 < S_{sup} \leq 5$
grande	$5 < S_{sup} \leq 15$
très grande	$15 < S_{sup}$

**n°12 : Zone de départ possible au dessus de celle du passé, ou latérale et connectable à celle du passé : dénivelée**

Qualificatif	Valeur, $D_{sup}$ , en m
très petite	$D_{sup} \leq 150$ m
petite	$150 < D_{sup} \leq 300$
moyenne	$300 < D_{sup} \leq 450$
grande	$450 < D_{sup} \leq 600$
très grande	$600 < D_{sup}$

**n°13 : Allure en travers, dans la zone d'écoulement ; L : largeur ; E : épaisseur**

Qualificatif	Valeur
Couloir fermé	$L/E \leq 5$
Couloir	$5 < L/E \leq 15$
Bordure molle	$15 < L/E \leq 20$
Versant	$20 < L/E \leq 25$
Versant ouvert	$25 < L/E$

**n°14 : Type de profil en long, (départ, écoulement, arrêt), Arc/Corde =  $r.a / 2\sqrt{f(2.r-f)}$**

Qualificatif	Valeur
Concave fort	$1.10 \leq$
Concave faible	$1.05 < \leq 1.10$
Plan	$1.00 < \leq 1.05$
Irrégulier/Ressaut	$< \leq$
Convexe	$<$

**n°15 : Distance horizontale parcourue,  $D_h$  de limite de départ à limite d'arrêt**

Qualificatif	Valeur
très petite	$D_h \leq 500$ m
petite	$500 < D_h \leq 1200$
moyenne	$1200 < D_h \leq 2000$
grande	$2000 < D_h \leq 2700$
très grande	$2700 < D_h$

**n°16 : S (départ, écoulement, arrêt)**

Qualificatif	Valeur
très petite	
petite	
moyenne	
grande	
très grande	

**Zone de départ :**

**n°1 : Épaisseur moyenne concernée,  $E_n$**   
(au départ, avant l'écoulement)

Qualificatif	Valeur, $E_n$ , en cm
très petite	$E_n < 20$ cm
petite	$20 \leq E_n < 45$
marquée	$45 \leq E_n < 85$
grande	$85 \leq E_n < 150$
très grande	$150 \leq E_n$

**n°2 : Épaisseur initiale du manteau,  $E_m$**   
(au départ, avant l'écoulement)

Qualificatif	Valeur, $E_m$ , en cm
très petite	$E_m < 40$ cm
petite	$40 \leq E_m < 80$
marquée	$80 \leq E_m < 150$
grande	$150 \leq E_m < 250$
très grande	$250 \leq E_m$

**n°3 : Suraccumulation due au vent**  
Vis-à-vis de la hauteur initiale de chute de neige

Qualificatif	Augmentation, $\Delta h_n$ , en %
très faible	$\Delta h_n < 20$ %
faible	$20 \leq \Delta h_n < 50$ %
marquée	$50 \leq \Delta h_n < 75$ %
forte	$75 \leq \Delta h_n < 100$ %
très forte	$100 \leq \Delta h_n$

**n°4 : Cohésion de la neige,  $C_o$**

Qualificatif	Test d'enfoncement
très faible	poing ( $C_o = 1$ !)
faible	4 doigts ( $C_o = 2$ !)
marquée	1 doigt ( $C_o = 3$ !)
forte	crayon ( $C_o = 4$ !)
très forte	couteau ( $C_o = 5$ !)

**n°5 : Fragilité,  $F_r$ ,  $E_n$**  (épaisseurs (couche fragile (mm) x surcharge (cm)) / (cohésions  $1/(C_o$  Couche fragile x  $C_o$  Surcharge))

Qualificatif	
très petite	$F_r < 150$
petite	$150 \leq F_r < 200$
marquée	$200 \leq F_r < 300$
grande	$300 \leq F_r < 600$
très grande	$600 \leq F_r$

**n°6 : Tassement,  $T_s$**   
en % de la hauteur (verticale) initiale

Qualificatif	à 1 jour	à 3 jours
très faible	$T_s < 10$ %	$T_s < 15$
faible		$15 \leq T_s < 25$
marqué	$10 \leq T_s < 15$	$25 \leq T_s < 33$
fort	$15 \leq T_s$	$33 \leq T_s < 40$
très fort		$40 \leq T_s$

**n°7 : Influence de la protection active**

Qualificatif	Diminution du volume mobilisé, $\Delta V_m$ , en %
très faible	$\Delta V_m < 10$ %
faible	$10 \leq \Delta V_m < 20$ %
marquée	$20 \leq \Delta V_m < 35$ %
forte	$35 \leq \Delta V_m < 55$ %
très forte	$55 \leq \Delta V_m$ ( $\leq 80$ %)

**n°8 : Masse de neige en mouvement**  
(fin zone de départ)

Qualificatif	Valeur, $M_n$ , en milliers ( $10^3$ ) de tonnes
très petite	$M_n < 0,2$
petite	$0,2 \leq M_n < 1$
marquée	$1 \leq M_n < 8$
grande	$8 \leq M_n < 60$
très grande	$60 \leq M_n$

*En italique : non établi, non assuré, non calé : en forte évolution*

**Zone de d'écoulement :**

<b>n°9 : Type d'écoulement</b>	
Qualificatif	Hauteur du nuage de particules, $h_{nu}$ , en m
coulant humide	$h_{nu} < 2$ m
coulant sec / avec panache	$2 \text{ m} \leq h_{nu} < 10$ m
aérosol / poudreuse	$10 \text{ m} \leq h_{nu}$

<b>n°10 : Reprise de la neige</b>	
Qualificatif	Épaisseur de neige reprise, $E_r$ , en cm
très faible	$E_r < 10$ cm
faible	$10 \leq E_r < 25$
marquée	$25 \leq E_r < 50$
forte	$50 \leq E_r < 80$
très forte	$80 \leq E_r$

<b>n°11 : Frottement neige sur neige</b>	
Qualificatif	Valeur, $\mu$
très faible	$\mu < 0,17$
faible	$0,17 \leq \mu < 0,20$
marqué	$0,20 \leq \mu < 0,24$
fort	$0,24 \leq \mu < 0,30$
très fort	$0,30 \leq \mu$

<b>n°12 : Épaisseur concernée (de l'écoulement, sur l'enjeu)</b>	
Qualificatif	Valeur, $E_e$ , en m
très petite	$E_e < 1$ m
petite	$1 \leq E_e < 2$
marquée	$2 \leq E_e < 5$
grande	$5 \leq E_e < 10$
très grande	$10 \leq E_e$

**Zone de d'arrêt :**

<b>n°13 : Fréquence possible (sur l'enjeu)</b>	
Qualificatif	"Valeur"
très basse	>> centennale
basse	~ centennale
marquée	~ trentennale
élevée	~ décennale
très élevée	~ biennale

<b>n°14 : Intensité d'impact</b>	
Qualificatif	Valeur, $I$ , en kPa (sur $h > 2$ m)
très faible	$I < 3$ kPa
faible	$3 \leq I < 10$
marquée	$10 \leq I < 30$
forte	$30 \leq I < 100$
très forte	$100 \leq I$

<b>n°15 : Volume déposé, <math>V_d</math></b>	
Qualificatif	Valeur, $V_d$ , en $\text{m}^3$
très petit	$V_d < 750 \text{ m}^3$
petit	$750 \leq V_d < 5\,000$
marqué	$5\,000 \leq V_d < 30\,000$
grand	$30\,000 \leq V_d < 200\,000$
très grand	$200\,000 \leq V_d$

<b>n°16 : Augmentation de la masse volumique de la neige, <math>\Delta\rho</math></b>	
Qualificatif	Valeur, en %
très faible	$\Delta\rho \leq 15$ %
faible	$15 < \Delta\rho \leq 40$
marquée	$40 < \Delta\rho \leq 75$
forte	$75 < \Delta\rho \leq 120$
très forte	$120 < \Delta\rho$

**Toutes zones :**

<b>n°17 : Masse volumique moyenne, <math>\rho</math></b>	
Qualificatif	Valeur, $\rho$ , en $\text{kg}/\text{m}^3$
très légère	$\rho < 100 \text{ kg}/\text{m}^3$
légère	$100 \leq \rho < 200$
marquée	$200 \leq \rho < 300$
dense	$300 \leq \rho < 400$
très dense	$400 \leq \rho$

<b>n°18 : Température de la neige, <math>T</math></b>	
Qualificatif	Valeur, $T$ , en $^\circ\text{C}$
très basse	$T \leq -18^\circ\text{C}$
basse	$-18^\circ < T \leq -12^\circ$
marquée	$-12^\circ < T \leq -7^\circ$
élevée	$-7^\circ < T \leq -3^\circ$
très élevée	$-3^\circ < T \leq 0^\circ$

# L'expertise du risque d'avalanche

## Les points de justification de la démarche

Par François RAPIN

Ce document précise les **différents points qu'il faut avoir vu** et les actions à mener correspondantes pour chacune des étapes de l'étude (têtes de chapitre).

### 1 L'analyse du site : Initiale et indispensable

Il s'agit de recueillir les données géographiques du site d'étude du phénomène.

Tableau 1 : **Critères** d'analyse du site

Critère	Élément	Document préférentiel
Situation géographique générale	- département, - commune, - vallée, ...	- Carte échelle $\geq$ 1/100 000 - GoogleEarth
<b>Dimensions géométriques</b>	- <b>surfaces</b> , - rapport S zone départ / S zone arrivée - largeurs, - longueurs	Carte 1/25 000, <b>1/10 000</b> ou 1/5 000, orthophotoplan géo-référencé
<b>Pentes</b>	- <b>à l'amont</b> de l'objectif à protéger, - <b>moyenne</b> , - <b>au départ</b>	Profil(s) en long, Carte de pentes
<b>Dénivelées</b>	- <b>maximale</b> , - jusqu'à l'objectif à protéger	Carte 1/25 000 ou 1/10 000
<b>Morphologie</b>	- <b>zone de départ possible au dessus ou latéralement</b> - <b>confinement</b> (versant/couloir), - <b>singularités</b> (sinuosité, ruptures de pente, ...)	- Photos aériennes, - Photos, - Cartes - GoogleEarth
<b>Altitudes</b>	- du sommet, - de l'objectif à protéger, - de l'extrémité connue à l'aval,	- Carte 1/25 000, 1/10 000, - Modèle numérique de terrain
<b>Orientation</b>	- exposition (au soleil), - par rapport aux vents dominants	Carte 1/25 000 à 1/100 000
Distances	horizontales ou selon la pente	Carte 1/25 000 ou 1/10 000
Géomorphologie	Dynamique de versant : - chutes de pierres ou de glace, - activité torrentielle	- GoogleEarth
Rugosité	- végétation, - rochers, ...	- Carte 1/25 000, 1/10 000, - Photos
Traces liées à la neige	- accumulation et dépôt résiduels, - glissement de neige	Photos
Traces d'avalanches passées	- végétation, - dépôt (de neige, de pierres, d'arbres), - érosion du terrain	- Photos aériennes (plusieurs années, infrarouge, ...), - Photos
Ouvrages de protection existants	- dimensions, - état (bon, moyen, mauvais, dégâts)	Photos
Enjeu(x)	- type (vie seule : voie de circulation (piste ski, piéton, route ; biens : habitations, collectivités, industriels) - valeur (coût)	- Carte 1/10 000, cadastre - Photos - Références immobilières

Tableau 2 : **Actions** nécessaires et/ou possibles

Type d'action	Moyen	Objectif
<b>Visite de terrain</b> (action systématique)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>recueil préalable</b> des cartes nécessaires,</li> <li>- repérage des itinéraires,</li> <li>- visite initiale (dans la mesure du possible, par temps dégagé), sur le versant opposé au site étudié, en élévation, (jumelles intéressantes)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>détermination des éléments géographiques</b> (site et enjeux), selon leur localisation dans le site (zone(s) de départ, d'écoulement, d'arrêt),</li> <li>- recueil de photos,</li> <li>- <b>validation</b> des données historiques,</li> <li>- détermination de l'<b>influence du vent</b> (pour les données nivologiques),</li> <li>- établissement des éléments de modélisation,</li> <li>- contrôle des résultats de modélisation</li> </ul>
Survol en hélicoptère	vol aller à proximité du versant opposé, vol retour plus proche des zones de départ	<ul style="list-style-type: none"> <li>- recueil de <b>photos</b>,</li> <li>- détermination d'éléments (zone(s) de départ, d'écoulement),</li> </ul>
Étude topographique (action rare)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- levé ou stéréophotographie,</li> <li>- établissement d'un modèle numérique de terrain</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- disposer d'éléments topographiques indispensables,</li> <li>- préciser la topographie d'un lieu primordial</li> </ul>

Les critères géographiques **peuvent / doivent être observés lors de visite(s) du site**. Le contrôle des éléments d'enjeux menacés est indispensable sur le terrain.

## 2 La reconstitution des scénarios d'avalanches connues :

*Imaginative et argumentée*

Il s'agit de recueillir les données historiques, nivologiques et de modélisation du phénomène. Puis de les analyser et les traiter dans le site étudié.

Tableau 3 : Critères de détermination des scénarios

Critère	Élément	Document préférentiel
Données <b>historiques</b> (dégâts, altitude de départ, ampleur de la cassure, altitude d'arrêt, volume déposé, ...)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>avalanches connues</b> dans le site et à proximité de l'objectif à protéger,</li> <li>- <b>dépassement des limites</b> aval de la CLPA,</li> <li>- <b>Irrégularité de fonctionnement</b> du couloir,</li> <li>- <b>Incertitude sur la série de données</b> historiques,</li> <li>- intensité minimale selon les dégâts,</li> <li>- age des constructions,</li> <li>- évolution de l'urbanisme</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cadastre (Suisse, Italie),</li> <li>- EPA (France),</li> <li>- Carte de localisation des phénomènes d'avalanche (CLPA : France, Espagne, Italie)</li> <li>- Témoignages oraux, écrits, par photos,</li> <li>- Analyse de la forêt (distribution du peuplement, âge),</li> <li>- Comparaison de photos aériennes anciennes et récentes</li> </ul>

Données <b>nivo-météorologiques</b> représentatives	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>précipitations</b> (neige/pluie, par j/3j),</li> <li>- <b>variabilité inter-annuelle</b>,</li> <li>- <b>directions et intensités du vent</b>,</li> <li>- chutes de neige lors des événements connus,</li> <li>- hauteur de la neige au sol,</li> <li>- profils stratigraphiques,</li> <li>- températures journalières,</li> <li>- potentialité à la reprise de neige</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Recueil(s) de la météorologie institutionnelle ou d'autres organismes,</li> <li>- données mesurées sur le site</li> </ul>
<b>Simulations</b> numériques, selon le type d'avalanche concernée	<ul style="list-style-type: none"> <li>- choix du (des) modèle(s) (hypothèses physiques et limites),</li> <li>- calage des paramètres</li> <li>- résultats : analyse et interprétation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pour avalanche coulante : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Voellmy / Salm, Aval1D, ...</li> <li>- Saint-Venant</li> </ul> </li> <li>Pour avalanche aérosol : <ul style="list-style-type: none"> <li>- AVAER</li> </ul> </li> </ul>

Tableau 4 : **Actions** nécessaires et/ou possibles

Type d'action	Moyen	Objectif
<b>Carte topographique des avalanches du passé</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- annoter les éléments historiques remarquables (date (année), limite aval du dépôt, dégâts, ...),</li> <li>- distinguer les types d'écoulement (aérosol, coulante),</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- approche cartographique de l'aléa,</li> <li>-</li> </ul>
<b>Traitement des données</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- statistique sur certaines données historiques (altitudes, volume déposé),</li> <li>- statistique sur les données nivo-météorologiques (hauteur de neige au départ, épaisseur du manteau neigeux, ...)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- utilisation optimale des données</li> <li>-</li> </ul>
<b>Mise en cohérence des données</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- recherche des convergences,</li> <li>- explication des divergences,</li> <li>- argumentation (sans démonstration)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- consolidation d'un scénario,</li> <li>-</li> </ul>

**Proposition de scénario(s) de référence : Éléments souhaitables**

- **fréquence(s)** (période(s) de retour),
- conditions de déclenchement (épaisseur et qualité de neige, superficie) : volume, débit,
- type(s) d'avalanche(s),
- hauteurs / épaisseurs de neige : au départ, de l'écoulement, du dépôt, de reprise,
- densités (zone de départ, zone de dépôt), densification de l'écoulement,
- vitesses, pressions (intensités) selon l'épaisseur,
- si modélisation : paramètres essentiels du modèle,
- **trajectoires**,
- distance / **altitude d'arrêt**,
- volume de dépôt,
- possibilité d'avalanches multiples au cours du même hiver (modification de la topographie, de la rugosité).

### 3 La détermination de l'avalanche de référence

Délicate et partagée

Tableau 5 : Critères principaux de l'avalanche de référence

Type d'écoulement	Période de retour	Surface de départ (ha)	Épaisseur (m)		Largeur (m)	Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	Vitesse (m/s)	Volume déposé (m <sup>3</sup> )	Remarques
			Au départ	Écoulement					

- Définir clairement l'objectif à protéger (nature de la vulnérabilité) : zone habitée, voie de communication, domaine skiable, ...
- Argumenter et choisir au moins un événement de référence :
  - . sur la base des scénarios connus et/ou possibles,
  - . en relation avec les lois et les règlements du pays (quand elles existent),
  - . en relation avec le responsable de l'aménagement,
  - . en cohérence avec l'objectif à protéger,
  - . avec période(s) de retour (sur altitude d'arrêt / volume déposé) et intensité,
- Distinguer si nécessaire un événement de référence pour la sécurité des biens d'un autre pour la sécurité des personnes.

### 4 La sélection

Justifiée et cohérente

#### 4.1 d'une carte d'aléa (cas du Zonage)

- Se référer à la carte topographique annotée des avalanches du passé et aux éventuels résultats de modélisation,
- Déterminer les critères de pression (ex : 30 kPa) pour chacun des niveaux d'aléa (fort, moyen, faible) pour l'avalanche de référence retenue,
- Établir sur une carte topographique les limites correspondantes d'aléa,
- Comparer, quand cela est possible, cet aléa avec celui de couloirs géomorphologiquement similaires dont l'aléa a déjà été qualifié par ailleurs.

#### 4.2 d'une stratégie paravalanche adaptée (cas des Ouvrages)

- Examiner les différentes possibilités : dans les zones de départ, d'écoulement, d'arrêt ; à court terme (temporaire : alerte, évacuation, déclenchement artificiel ?), à long terme (permanent : ouvrages),
- Évaluer le rôle de l'éventuelle protection déjà en place,
- Choisir en comparant, ordonnant et justifiant, selon :
  - . l'accroissement de la sécurité, le risque résiduel,
  - . les conséquences techniques (ex : entretien pour ouvrages de retenue, déviation pour digue) et juridiques (responsabilités),
  - . l'ordre de grandeur des coûts,
  - . l'impact(s) sur l'environnement,
  - . la durée de réalisation,
- Envisager la possibilité de stratégie complexe (multi-directionnelle : actif / passif, .. ),
- Valider avec les contraintes techniques et financières du projet.

## 5 La proposition

En final et détaillée

### 5.1 d'un zonage réglementaire (cas du Zonage)

- Utiliser la carte topographique des aléas,
- Repérer au mieux la vulnérabilité (type des enjeux, valeurs, etc.),
- Déterminer les principes de délimitation, de constructibilité et de gestion des différents espaces (urbanisés ou non, protégés ou non) en fonction du niveau de l'aléa,
- Établir la carte de risque sur un fond parcellaire,
- Comparer, quand cela est possible, ce zonage avec celui de couloirs géomorphologiquement similaires dont le zonage a déjà été établi par ailleurs,
- Établir un règlement pour chaque zone (interdiction/ prescriptions, mesures de construction, de gestion, de prévention, de protection, etc.).

### 5.2 d'un dispositif de protection (cas des Ouvrages)

Comparaison, au sein du tableau :

Tableau 4 : Critères de description rapide de propositions de protection

Type de solution	Efficacité : gain de sécurité	Avantages	Inconvénients	Coût €		Impact paysager	Risque résiduel	Cohérence technique / financière
				investi- ssement	fonctio- nnement			

Ouvrages dans la zone de départ (directives suisses 1990, normes françaises, ...) :

- superficie totale, répartition en secteurs, priorité de déclenchement : dessin sur plan topographique de la disposition, détermination des longueurs et des espacements, organisation du réseau,
- type (filet, claie, râtelier, permanent (acier), temporaire (bois)), hauteur, fondation, facteur de glissement,
- coûts, étapes de construction, durée de réalisation.

Ouvrages dans la zone d'écoulement et/ou d'arrêt :

- choix de l'emplacement, selon l'efficacité et la faisabilité : hauteur d'écoulement, vitesse de l'avalanche, stabilité du terrain, accès, déblais-remblais, ...
- géométrie : hauteur(s), pentes, volume, ...
- faisabilité, coûts, étapes de construction, durée de réalisation.

Auto-protection (renforcement direct de l'objectif à protéger) : caractéristiques.

-----







## UNE NOUVELLE ÉCHELLE D'INTENSITÉ POUR LES AVALANCHES

François **RAPIN**<sup>1</sup>, Richard **GUILLANDE**<sup>2</sup>

*Comment qualifier une "catastrophe naturelle" après qu'elle se soit produite, en la comparant avec d'autres de même nature survenues dans le passé? Cet objectif, fort utile en terme d'aménagement du territoire et de gestion des évènements, est possible avec l'aide d'une échelle d'intensité construite à partir de certains paramètres physiques du phénomène lui-même, et des endommagements observés sur les enjeux standards tels que différents types de bâti, infrastructures, réseaux, milieu naturel... Cet article présente les étapes de réalisation d'une nouvelle échelle d'intensité pour les avalanches.*

Le concept d'un modèle d'échelle d'intensité pour qualifier une "catastrophe naturelle" est une initiative du ministère de l'Écologie et du Développement Durable. L'étude (Guillande et al., 2002) a été coordonnée par le bureau Géosciences Consultants (GSC) et réalisée en partenariat avec Météo-France et le Cemagref. Les risques naturels concernés étaient météorologiques (tempête, cyclone, orage, grêle, etc.), hydrauliques (inondation, crue torrentielle, avalanche, submersion par remontée de nappe), volcaniques (éruption), sismiques, dus à des feux de forêts (Lampin-Cabaret C. et al., 2002) ou à des mouvements de terrain, etc.

### Les objectifs d'une méthode commune à plusieurs risques naturels

Les échelles devaient permettre de qualifier une intensité et les dommages théoriques correspondants même s'il n'y a pas eu de réel endommagement (absence d'enjeu sur le site). Elles devaient donc être indépendantes du site concerné et de sa vulnérabilité réelle : ceci a imposé une palette variée de critères afin d'être certain qu'au moins un indice permette d'attribuer une intensité.

Ainsi, en présence d'enjeux sur la zone impactée, le niveau d'intensité n'est pas décrit en fonction du nombre d'enjeux présents (ce qui reviendrait à qualifier un niveau de vulnérabilité) mais selon le niveau d'endommagement observé sur ces enjeux. De plus, dans un souci de reproductibilité, il fallait construire ces échelles sur des enjeux standards, très répandus.

Il a donc fallu identifier quelques paramètres physiques assez facilement quantifiables et des gammes correspondantes de types d'endommagement : personnes, bâtiments, infrastructures, espaces naturels et agricoles, autres...

À un niveau d'intensité décrit par un paramètre physique donné, correspond un niveau d'endommagement maximal supposé possible sous l'effet des sollicitations physiques. Bien évidemment, des niveaux moindres peuvent être observés selon l'éloignement, la position de l'enjeu relativement au phénomène source et à son maximum d'intensité qui peut être très localisé, étendu, se déplacer. On se rattache donc à une position théorique de l'enjeu, la plus défavorable par rapport à la sollicitation physique.

Un guide d'usage de ces échelles d'intensité a été écrit et mis à disposition des utilisateurs.

---

<sup>1</sup> **Cemagref** - ETNA - BP 76 - 38402 ST MARTIN D'HÈRES ; ☎ : 04 76 76 27 17 ; ✉ Courriel : francois.rapin@cemagref.fr

<sup>2</sup> **Géosciences Consultants** - 157 rue des Blains - 92220 BAGNEUX ; ☎ : 01 46 64 60 60 ; ✉ Courriel : rg-gsc@wanadoo.fr

## La construction de l'échelle d'intensité "avalanche"

La principale échelle d'intensité préexistante et utilisée est canadienne (*Mac Clung et al., 1993*). Elle a une ancienne origine (*Perla et al., 1976*), elle est sur 5 niveaux, mais elle reste très rudimentaire sur l'endommagement. À la suite d'une réflexion collective lors de l'université européenne d'été "Avalanches" dans le Val d'Aran (Espagne) en 2000, l'unité ETNA du Cemagref travaillait avec le Centre d'Études de la Neige de Météo-France au développement d'une échelle avalanche essentiellement axée sur les paramètres physiques du phénomène.

C'est à partir de cet acquis que le Cemagref a poursuivi en 2001 et 2002 ses travaux pour la réalisation de l'échelle avalanche souhaitée par le ministère chargé de l'environnement. En développant la description des endommagements possibles, elle s'est progressivement sophistiquée et complétée. Elle s'est appuyée sur l'analyse d'événements survenus en France, comme les avalanches de Chamonix-Montroc et Chamonix-Taconnaz (1999), des Crots-Crête du Lauzet (1998) ou de Peisey-Les Lanches (1995).

Divers documents et rapports de mission constituant des retours d'expérience ont été consultés, ainsi que, bien évidemment, des ressources généralistes sur la typologie du phénomène. Une consultation de plusieurs experts a été ensuite effectuée afin de mieux déterminer les critères ainsi que les seuils de l'échelle.

## Le champ d'application

**L'échelle d'intensité des avalanches de neige peut s'appliquer à tout événement avalancheux**, en particulier ceux entraînant des dégâts ; Elle mesure leur potentiel destructeur. Dans la plupart des cas c'est l'impact du fluide qui produit l'endommagement, mais lorsque des personnes sont ensevelies dans la neige, c'est surtout l'effet d'étouffement qui, en quelques minutes, suffit pour provoquer la mort.

Selon la morphologie du site et la qualité de la neige en mouvement, l'écoulement peut parfois provoquer dans la zone d'arrivée plusieurs flots espacés dans le temps de quelques dizaines de secondes (maximum 2 minutes), et parfois espacés dans l'espace : il s'agit néanmoins du même événement. Dans les sites complexes, d'autres pentes plus ou moins voisines peuvent se déclencher ultérieurement en initiant ainsi un nouvel écoulement dans la même zone d'arrivée : si cette distinction est possible formellement, on peut distinguer les 2 avalanches dans l'utilisation de l'échelle, bien que l'effet de la seconde soit influencé par le dépôt de la première.

## Le fonctionnement de l'échelle

Le but consiste à **classer un événement selon son intensité constatée, par rapport à d'autres événements connus dans le passé.**

Cette évaluation s'effectue à partir d'une inspection visuelle pouvant provenir de différents témoins sur la base des critères détaillés dans l'échelle de référence : voir le tableau 4. Sauf exception justifiée, le choix final du degré d'intensité est fait en **retenant le niveau correspondant au maximum observé et renseigné sur les paramètres physiques, sur les bâtiments et les infrastructures**. L'effet sur les personnes, sur les milieux naturels et la comparaison avec d'autres critères se situe à un niveau largement inférieur qui ne peut à lui seul emporter le niveau de classement.

Les critères retenus s'incrémentent à chaque niveau : si l'un d'entre eux n'a pas été repris au degré immédiatement supérieur c'est qu'il s'établit au moins à la valeur ou à l'énoncé précédent.

## Les paramètres physiques

Ils ont été limités à 4 : la surface affectée, l'épaisseur mobilisée, le volume déposé et la pression d'impact. Sauf pour la pression d'impact, ces paramètres physiques s'évaluent avec des références assez facilement accessibles immédiatement après l'événement. La valeur citée

correspond à un ordre de grandeur typique possible. Elle ne constitue pas un seuil, minimal ou maximal, déterminant dans l'appréciation du degré d'intensité.

- ▶ La **surface affectée** : elle s'évalue en hectare en projection plane, sur un plan, sur une carte en comprenant l'ensemble des zones concernées par l'écoulement au sol : rupture dans la zone de départ, dépôt dans la zone d'arrivée. Dans le cas d'un aérosol, le simple passage du nuage n'est pas compris dans cette surface. Inversement un secteur sans trace d'écoulement mais complètement enserré entre des zones ayant vu le passage d'une même avalanche est compris.
- ▶ L'**épaisseur de neige mobilisée** : elle s'évalue en centimètres dans la zone de départ selon une moyenne le long d'une possible fracture du manteau neigeux. Elle est mesurée perpendiculairement au sol (et non pas prise verticalement).
- ▶ Le **volume déposé** : il s'évalue en centaines ou milliers de mètre-cubes, à partir de l'emprise constatée au sol et d'une hauteur qui peut être estimée en moyenne.

Une relative cohérence interne entre ces 3 critères a été recherchée : la moitié de la surface affectée dans la zone de départ multipliée par l'épaisseur moyenne de neige mobilisée correspond sensiblement au double du volume déposé (pour tenir compte du tassement fréquent lors de l'écoulement).

- ▶ La **pression d'impact** : elle s'évalue en kiloPascal avec, en première approche,  $10 \text{ kPa} = 1 \text{ t/m}^2$ . Le maintien de ce critère plutôt difficile d'accès se justifie par le fait que c'est lui qui caractérise le mieux l'impact. Il s'évalue *a priori* en début de zone d'arrêt.

## Les effets prévisibles sur les enjeux

Comme pour les autres aléas, les enjeux se distinguent selon les mêmes catégories : les personnes, les bâtiments, les infrastructures et ouvrages, les espaces naturels et agricoles et les autres critères. Il n'y a aucune restriction d'utilisation suivant le type d'avalanche, de neige ou de dégâts constatés.

- ▶ Les **personnes** : leur nombre n'est pas réellement pertinent : de très grosses avalanches n'ont pas fait de victimes, et une simple "coulée" peut être à l'origine de décès. Mais il est apparu important de conserver ce critère pour distinguer encore mieux le nombre de victime du degré d'intensité de l'avalanche. Les personnes ainsi prises en compte se distinguent soit en "observateur-témoin" soit en "emporté-victime" : cette différence est essentielle car l'effet est radicalement différent. Et parmi les victimes il est apparu nécessaire de distinguer les atteintes psychologiques, les blessures et la mort.
- ▶ Les **bâtiments** : c'est l'importance de l'endommagement structurel qui identifie les effets prévisibles. Les exemples sont données sur les ouvertures, les murs, les toits. L'ensevelissement est également un critère facile d'accès.
- ▶ Les **infrastructures et ouvrages** : Il s'agit surtout des voies de circulation (routes et parfois voies ferrées). Toutefois la voie est rarement endommagée en tant que telle, mais elle peut être rendue impraticable par son ensevelissement et/ou par des dégâts sur les superstructures (signalisation, glissière, lignes aériennes) la longeant. De plus les véhicules présents peuvent être directement et gravement atteints. Enfin, dans les degrés les plus élevés, les ouvrages de protection paravalanche peuvent être concernés.
- ▶ Les **espaces naturels et agricoles** : Il s'agit surtout d'effets sur la végétation arbustive, et la forêt. Parfois un cours d'eau peut être obstrué, même si très souvent le flot parvient à se maintenir sous le dépôt neigeux. Si l'avalanche tombe dans un lac, une onde de submersion peut être générée.
- ▶ Les **autres critères** : il s'agit de possibles manifestations sonores ou d'effet de souffle (constaté sur des enjeux fixes). La notion de crue avalancheuse s'entend sur un nombre d'avalanches naturelles ayant parcouru la très grande partie de chaque site connu (proche

de l'enveloppe maximale), au cours de 3 jours consécutifs. Un autre effet est celui qui conduit à des mesures d'évacuation et/ ou de consignation en cas d'avalanche relativement exceptionnelle, sans véritable dégâts.

## Validation de l'échelle

L'échelle proposée a été testée sans difficulté majeure sur plusieurs événements passés relativement bien documentés. Une validation a été effectuée sur les premiers événements avalanches de l'hiver 2002 : seules quelques formulations ont alors été ajustées. La validation ne semble pas devoir actuellement présenter de difficultés, mais elle ne pourra être complète qu'après mise en oeuvre sur de réelles nouvelles "catastrophes avalanches".

## Exemples de test de validation sur des événements récents

### *Avalanche à Chamonix (74) de Montroc du 09/02/1999 (photo 1 et tableau 1)*

- **Paramètres physiques** : surface affectée : ~40 ha, épaisseur moyenne de neige mobilisée : ~150 cm, volume déposé : ~150 000 m<sup>3</sup>, pression d'impact (en zone d'arrêt) : ~ de 50 à 80 kPa : niveau élevé à exceptionnel ;
- **Effets sur les personnes** : "observateur-témoin" proche : état de choc fréquent à systématique ; victimes : blessures graves quasi systématiques, mort instantanée (12) et très fréquente (il y a eu, heureusement, quelques survivants) : niveau élevé à exceptionnel ;
- **Effets sur les bâtiments existants** : endommagement structurel total (arasions, effondrement systématique) à faible (ouvertures, balcons endommagés), destruction de la majorité des bâtiments atteints (14 sur 20), de vieilles habitations (maxi 50 ans), d'un bâtiment spécialement renforcé (à 30 kPa selon PPR) : niveau élevé ;
- **Effets sur infrastructures et ouvrages** : recouvrement total (plusieurs mètres d'épaisseur) sur plus de 150 m de voirie, destruction partielle de ligne électrique : niveau élevé ;
- **Effets sur les espaces naturels et agricoles** : destruction de moins d'un ha de forêt, modification temporaire notoire de la topographie locale par le dépôt de neige, fort entassement d'arbres transportés : niveau élevé ;
- **Autres critères** : Effet de souffle, prise d'une trajectoire rare ou s'étendant au delà des limites de la Carte de Localisation Probable des Avalanches (CLPA) ; Intégration dans une crue dans la vallée, prise consécutive de mesures d'évacuation : niveau exceptionnel ;
- **Intensité élevée** (degré 4) à exceptionnelle (degré 5).



Photo n°1 : Les sauveteurs en action après l'avalanche de Montroc en 1999, près d'un toit déplacé de plusieurs dizaines de mètres

Paramètres physiques	Effets prévisibles sur les enjeux				Autres critères	Échelle	
	Personnes	Bâtiments	Infrastructures et ouvrages	Milieux naturels		Niveau	Intensité
						Très faible	
						Faible	
						Moyen	
XXXX		XXXX	XXXX	XXXX		Élevé	XXXXX
	XXXXX				XXXXX	Exceptionnel	

Tableau 1 : Grille d'évaluation pour l'avalanche de Chamonix-Montroc du 09/02/1999

### Avalanche aux Crots (05) de la Crête du Lauzet du 23/01/1998 (tableau 3)

- **Paramètres physiques** : surface affectée : ~2 ha, épaisseur moyenne de neige mobilisée : ~ de 20 à 120 cm, volume déposé : ~4 000 m<sup>3</sup>, pression d'impact : ~ de 10 kPa : niveau faible
- **Effets sur les personnes** : 32 personnes "emportées", 11 tuées (mort fréquente), 17 blessées (14 légèrement, 3 plus gravement) ; très fort trouble psychologique, se prolongeant parfois (plusieurs semaines) : niveau fort ;
- **Effets sur les bâtiments existants** : aucun bâtiment concerné ;
- **Effets sur infrastructures et ouvrages** : aucun concerné ;
- **Effets sur les espaces naturels et agricoles** : destruction de branches et de quelques arbres : niveau faible ;
- **Autres critères** : perception sonore de l'écoulement possible ; retentissement médiatique très élevé (causé notamment par la présence d'enfants en sortie scolaire).
- **Intensité faible** (degré 2)

Paramètres physiques	Effets prévisibles sur les enjeux				Autres critères	Échelle	
	Personnes	Bâtiments	Infrastructures et ouvrages	Milieux naturels		Niveau	Intensité
			?			Très faible	
XX		?		XX	XX	Faible	XX
						Moyen	
	XXXX					Élevé	
						Exceptionnel	

Tableau 2 : Grille d'évaluation pour l'avalanche des Crots-Crête du Lauzet du 23/01/1998

La validation ne pourra être complète qu'après utilisation renouvelée mais elle ne semble pas devoir actuellement présenter de difficultés.

## Conclusion et perspectives

Cette nouvelle échelle d'intensité des avalanches a permis de mieux identifier et de partager les paramètres essentiels permettant une évaluation rapide de la magnitude de l'événement survenu.

Inserée avec les autres échelles, comme celles produites par le Cemagref (feux de forêts, inondations, crues torrentielles), ce nouvel outil sans équivalent mondial permet de renseigner le

système d'information et de retour d'expériences sur les risques naturels, appelé GÉDÉON mis en place par le ministère de l'Écologie et du Développement Durable. À l'avenir, les catastrophes naturelles françaises seront ainsi mieux caractérisées et comparées. Les nouvelles informations ainsi acquises devraient trouver toute leur utilité dans de nouvelles approches en matière d'aménagement du territoire et, le cas échéant, au niveau du système d'indemnisation.

## BIBLIOGRAPHIE

GUILLANDE *et al.*, 2002, *Détermination d'une échelle d'intensité en 5 classes par type d'aléa*, Rapport au MEDD, 155 p.

LAMPIN CABARET C. *et al.*, 2002, "Prototype d'une échelle d'intensité pour le phénomène incendie de forêt". Ingénieries - E A T, n° 31, p. 49-56

MAC CLUNG D., SCHAERER P., 1993, *The avalanche Handbook*, The Mountaineers, ISBN 0-89886-364-3, 272 p.

PERLA R. , MARTINELLI J., 1976 (revised in 1978), *Avalanche Handbook*, USDA Agricultural Handbook 489 Washington DC : US Government Printing Office 238 p.

-----

**Résumé :** Après différentes catastrophes naturelles survenues en France ces dernières années, le ministère chargé de l'environnement a voulu construire de nouvelles échelles d'intensité sur les différents risques naturels comme les phénomènes météorologiques (tempête, cyclone, orage, grêle, ...), hydrauliques (inondations, crues torrentielles, avalanches), éruptifs (volcaniques) ou de feux de forêts. Le but était de mieux qualifier chaque nouvel événement vis à vis de ses prédécesseurs. Les principaux critères retenus sont :

- quelques paramètres physiques du phénomène lui-même,
- le dommage effectif ou possible sur les personnes, les bâtiments, infrastructures, espaces agricoles ou naturels,
- d'autres critères.

L'échelle avalanche a 5 degrés, de 1, très faible, à 5, exceptionnel, avec une description spécifique. Ces niveaux sont relativement indépendants de la vulnérabilité du site. Les non spécialistes du phénomène peuvent la comprendre et l'utiliser très souvent. Pour un événement, il arrive fréquemment que les différents paramètres ne se trouvent pas sur un même niveau : le choix doit préférentiellement être fait sur le plus fort.

Pour l'avalanche, les paramètres physiques sont la surface affectée, l'épaisseur de la neige mobilisée au départ, le volume déposé et la pression d'impact. L'effet sur les personnes s'évalue en distinguant les observateurs des personnes emportées. Les effets sur les différentes parties de bâtiments (ouvertures, mur, toit) sont précisés. Les diverses possibilités pour les routes (véhicule, dégâts, enfouissement) et pour les arbres et forêts sont détaillés. Cette nouvelle échelle utilise aussi le bruit possible, les trajectoires originales et les possibles effets sur les ouvrages de protection.

**Mots clés:** classification d'avalanche, types d'avalanche, intensité d'avalanche, accidents d'avalanche

## A new scale for avalanche intensity

**Abstract:** After different natural disasters occurred in France these last years, French Ministry of Environment wanted to build new scales about of natural phenomena intensity such as atmospheric (wind, hail storm, ...), flooding (rivers, torrents, avalanches), volcanic eruption, or forest's fires. The goal is to better qualify each event after it's coming. The main criteria are :

- a few physical parameters on the phenomenon itself,
- the effective or possible damages on people, buildings, substructures, natural area,
- others criteria.

The avalanche scale has got 5 degrees, from 1, very low, to 5, exceptional, with a coordinate description. They are independent from the site vulnerability. Non specialists of the phenomenon can understand or use it very often. For one event, usually all the describe parameters are not found on the same line level : the choice can be made with the strongest.

The physical parameters are surface area, depth of the starting snow, volume of the snow deposit, impact pressure. Human beings are distinguished between observant and carrying along. The effects on the different building parts (openings, wall, roof) are mentioned. The many possibilities for road (vehicle, damages, burying) and for tree and forest are detailed. This new scale uses also the possible noise or unexpected path, and the effects on engineering works for avalanche protection.

**Keywords:** avalanche classification, avalanche types, avalanche intensity, avalanche accidents

**Tableau 4 : Échelle d'intensité des avalanches**

Version 6-b

Classe	Paramètres physiques (ordre de grandeur)	Effets prévisibles sur les enjeux				Autres critères
		Personnes *	Bâtiments	Infrastructures et ouvrages	Espaces naturels et agricoles	
<b>1</b> Très faible	Surface affectée : ~ 0,2 ha Épaisseur moyenne de neige mobilisée : ~ 20 cm Volume déposé : ~ 100 m <sup>3</sup> Pression d'impact : ~ 2 kPa	Témoin : restant calme (sauf si une personne est emportée)  Victime : - état de choc possible : trouble psychologique passager - blessure légère (ne nécessitant que des soins médicaux de base sans hospitalisation) - mort rarissime (sauf si enfouissement de la tête et délai d'intervention supérieur à 15 minutes)	Généralement pas de dégâts  Endommagement structurel léger : - mobilier : endommagé - ouverture : porte poussée, vitre de fenêtre brisée  Bâtiments atteints : ensevelissement partiel et très localisé	Généralement pas de dégâts  Voie de circulation : rendue localement et momentanément glissante et obstruée mais pouvant rester praticable pour un véhicule 4x4 équipé	Branches d'arbre : cassées	
<b>2</b> Faible	Surface affectée : ~ 1,0 ha Épaisseur moyenne de neige mobilisée : ~ 40 cm Volume déposé : ~ 1 000 m <sup>3</sup> Pression d'impact : ~ 8 kPa	Témoin : calme mais « sur le qui vive » (sauf si une personne est emportée)  Victime : - état de choc fréquent : trouble psychologique courant pouvant se prolonger, dépression nerveuse possible - blessure légère fréquente, mais habituellement sans séquelles ni invalidité - blessure grave (requérant des soins poussés/ intensifs avec une hospitalisation : traumatisme, hypothermie, ...) possible - mort possible dès l'arrêt de l'écoulement	Endommagement structurel faible : - ouverture : portes, fenêtres, volets souvent inutilisables, - balcon : endommagé, - mur en maçonnerie : fissuration et effondrement partiel possible, - toiture : écrasement partiel, débord arraché, cheminée effondrée  Bâtiments atteints : ensevelissement important ou étendu et/ ou destructions ponctuelles d'une minorité	Endommagement faible : - poteau bois /treillis, ligne aérienne : destruction partielle - voiture, car, dameuse : renversement (et enfouissement)  Voie de circulation : pouvant être rendue localement et momentanément impraticable (même pour un véhicule 4x4 équipé) avec perte du tracé sous le dépôt et/ ou nécessité de déblaiement	Arbres isolés ou en groupes : cassés Transport de branches	Perception sonore de l'écoulement : possible
<b>3</b> Moyen	Surface affectée : ~ 5 ha Épaisseur moyenne de neige mobilisée : ~ 80 cm Volume déposé : ~ 10 000 m <sup>3</sup> Pression d'impact : ~ 30 kPa	Témoin : agité commençant à craindre pour lui-même  Victime : - état de choc systématique : fort trouble psychologique, dépression nerveuse possible - blessure grave fréquente, avec possibilité de séquelles ou d'invalidité - mort fréquente	Endommagement structurel modéré : - ouverture : détruites, - gros œuvre : fissuration, déformation, effondrement de certains murs, - toiture : écrasement général ou transport partiel  Bâtiments atteints : ensevelissement complet ou généralisé et/ ou destructions notoires sur une moitié ; Destruction possible d'une ou deux vieilles (> ~100 ans) habitations	Endommagement modéré : - glissière, poteau béton/ acier : destruction généralisée - camion chargé, wagon : renversement (et enfouissement)  Voie de circulation : impraticable avec perte du tracé et/ ou nécessité d'importants travaux de déblaiement	Forêt mature : cassée localement (< 0,5 ha) ; Transport d'arbres  Arrachement et transport de pierres et de blocs inférieurs au m <sup>3</sup>  Obstruction possible de cours d'eau par le dépôt	Perception sonore de l'écoulement : fréquente Effet de souffle : possible Manifestation de l'évènement au sein d'une crue avalancheuse : possible Mesures consécutives d'évacuation ou de consignation : possibles
<b>4</b> Élevée	Surface affectée : ~ 20 ha Épaisseur moyenne de neige mobilisée : ~ 150 cm Volume déposé : ~ 80 000 m <sup>3</sup> Pression d'impact : ~ 100 kPa	Témoin : pouvant paniquer  Victime : - blessure grave quasi systématique - mort rapide et très fréquente	Endommagement structurel important : - gros œuvre : arasions (possibles par niveau de construction), effondrement multiples, - toiture : destruction  Bâtiments atteints : ensevelissement complet et généralisé et/ ou destructions fortes sur la majorité ; Destruction de plusieurs vieilles habitations	Endommagement important : - superstructure non spécialement adaptée et formant obstacle : destruction généralisée - locomotive : renversement possible  Voie de circulation : complètement impraticable avec recouvrement total / dégâts sur une longueur et/ ou épaisseur importante(s)  Ouvrage de protection paravalanche : - débordement partiel possible - destruction partielle possible	Forêt mature : destruction de l'ordre d'un hectare  Arrachement et transport de blocs rocheux supérieurs au m <sup>3</sup> Génération d'une vague dans un lac  Modification temporaire notoire de la topographie locale (dépôt de neige) ; Formation possible d'un barrage avec retenue sur un cours d'eau	Prise d'une trajectoire originale / rare : locale Effet de souffle : fort Manifestation de l'évènement au sein d'une crue avalancheuse : fréquent Mesures consécutives d'évacuation ou de consignation : fréquentes
<b>5</b> Exceptionnelle	Surface affectée : ~ 50 ha Épaisseur moyenne de neige mobilisée : ~ 250 cm Volume déposé : ≥ 400 000 m <sup>3</sup> Pression d'impact : ~ 300 kPa	Témoin : paniquant si proche  Victime : blessure fatale ou mort instantanée quasi systématique	Endommagement structurel total, généralisé : - gros œuvre : arasions, effondrement systématiques - structure en béton armé particulièrement renforcée : fissuration/ destruction au moins partielle Bâtiments atteints : destruction complète de la quasi totalité	Endommagement très important et généralisé  Ouvrage de protection paravalanche : - débordement répété et/ ou étendu possible - destruction fréquente et/ ou étendue possible	Forêt mature : destruction de plusieurs hectares  Paysage radicalement transformé par cette destruction  Entassement d'objets transportés : fort	Prise d'une trajectoire originale / rare : étendue Mesures consécutives d'évacuation ou de consignation : généralisées

\* : critère vraiment non pertinent dans son effectif

**Avertissement** : ces valeurs, ces qualifications "typiques" possibles n'ont pour ambition que de donner un ordre de grandeur, une unité pertinente de mesure du paramètre concerné, une référence appropriée. D'autres paramètres ne sont pas pris en compte (ex : caractéristiques de la neige mobilisée, ampleur de la zone de départ, topographie, variations suivant la dénivelée, largeur et longueur d'écoulement, type d'écoulement, etc.) pour la définition de cette échelle d'intensité. Ainsi les qualifications retenues peuvent être assez différentes pour une avalanche particulière : elles ne sont donc pas forcément toujours cohérentes suivant une même ligne : il faut alors choisir la classe selon les paramètres qui paraissent les plus représentatifs.