Christophe Ancey

Guide Neige et Avalanche
Connaissances, Pratiques, & Sécurité

3ème édition

version électronique

École Polytechnique Fédérale de Lausanne
Lausanne (Suisse)

C. ANCEY,
EPFL, ENAC/ICARE/LHE,
Ecublens, CH-1015 Lausanne, Suisse
christophe.ancey@epfl.ch, lhe.epfl.ch

Première de couverture : cliché C. Ancey

Guide Neige et Avalanche

Connaissances, Pratiques, & Sécurité

Version électronique diffusée gratuitement et tirée de la seconde édition de 1998 (ISSN 2-85744-797-3), publiée par Édisud (Aix-en-Provence, France). Transfert des données au format LaTeXpar Denis ROUZAUD (EPFL). Le transfert des fichiers a été assuré grâce au soutien de l'EPFL.

Ce travail est soumis aux droits d'auteurs. Tous les droits sont réservés ; toute copie, partielle ou complète, doit faire l'objet d'une autorisation de l'éditeur et des auteurs.

La gestion typographique du français a été réalisée à l'aide du package *french.sty* de Bernard GAULLE.

Table des matières

1 Le milieu montagnard **1**
1.1 L'homme et la neige jusqu'à la révolution du ski . . . 2
1.1.1 S'adapter aux rigueurs de l'hiver . . . 2
1.1.2 Subsister . . . 3
1.2 L'homme face aux avalanches dans le passé . . . 5
1.2.1 Introduction et géographie du risque . . . 5
1.2.2 Les types d'avalanche et dégâts . . . 5
1.2.3 Protection d'un site . . . 6
1.2.4 Prévention contre les avalanches . . . 6
1.2.5 Les avalanches dans la vie courante . . . 7
1.2.6 Un exemple d'accident et de sauvetage . . . 8
1.2.7 Les accidents sur les voies d'accès . . . 8
1.2.8 Les accidents en alpages . . . 9
1.2.9 Les avantages tirés des avalanches . . . 9
1.2.10 L'évolution jusqu'à l'époque actuelle . . . 10
1.3 L'aventure du ski . . . 10
1.3.1 Naissance et développement du ski . . . 10
1.3.2 Développement du ski alpin . . . 11
1.3.3 D'autres pratiques . . . 12
1.3.4 Et d'autres formes . . . 12
1.3.5 L'âge de l'Or Blanc . . . 13

Bibliographie **17**

2 Éléments de météorologie alpine **19**
2.1 Quelques notions de physique . . . 19
2.2 L'atmosphère . . . 21
2.2.1 La composition de l'atmosphère . . . 21
2.2.2 Champ de pression . . . 21
2.2.3 Champ de température . . . 22
2.2.4 Le vent . . . 23
2.2.5 Les nuages . . . 24
2.3 La perturbation . . . 26
2.3.1 La naissance d'une perturbation . . . 26
2.3.2 Le voyage d'une perturbation . . . 28
2.3.3 Vers le chaud . . . 28

2.3.4 Entre le front chaud et le front froid . . . 30
2.3.5 Vers le froid . . . 31
2.4 Quelques phénomènes particuliers aux zones montagneuses . . . 33
2.4.1 Les brises . . . 33
2.4.2 Foehn et effet de foehn . . . 33
2.5 Les chutes de neige . . . 34
2.5.1 Précipitation de neige . . . 35
2.5.2 Influence de la température . . . 37
2.5.3 Influence du vent . . . 37

Bibliographie **43**

3 Les métamorphoses de la neige **45**
3.1 Les métamorphoses . . . 45
3.1.1 La neige sèche . . . 46
3.1.2 La neige humide . . . 53
3.2 Propriétés de la neige . . . 57
3.2.1 Les propriétés mécaniques de la neige . . . 57
3.2.2 Les propriétés thermiques de la neige . . . 59
3.2.3 Bilan énergétique du manteau neigeux . . . 59

Bibliographie **63**

4 Les caractéristiques d'un manteau neigeux **65**
4.1 Connaissance du manteau neigeux . . . 65
4.1.1 Les paramètres physiques du manteau . . . 65
4.1.2 Sondages stratigraphique et par battage . . . 66
4.2 Les moyens sommaires d'investigations . . . 72
4.2.1 Profil stratigraphique sommaire . . . 73
4.2.2 Test de la pelle . . . 73
4.2.3 Le test du bâton . . . 74
4.3 États de surface de la neige . . . 75
4.3.1 Les neiges du skieur . . . 75
4.3.2 Hétérogénéité de la surface . . . 77

Bibliographie **79**

5 Les avalanches **81**
5.1 Définitions . . . 81
5.1.1 L'avalanche . . . 82
5.1.2 Site et zones . . . 84
5.1.3 Les phases d'une avalanche . . . 86
5.1.4 Les modes d'écoulement d'une avalanche . . . 88
5.2 Critères morphologiques et génétiques . . . 88
5.2.1 Critères morphologiques : examen des phases . . . 88
5.2.2 Critères génétiques : examen général des causes . . . 94
5.2.3 Les facteurs fixes influant sur la stabilité du manteau . . . 95
5.2.4 Les facteurs variables influant sur la stabilité du manteau . . . 98
5.3 Quelques exemples d'avalanches . . . 103

5.3.1 Avalanche catastrophique au mont Cook 103
5.3.2 Avalanche accidentelle au Moriond 104
5.3.3 Chute de corniche dans la combe du Pra 105
5.4 La stabilité d'un manteau 108
5.4.1 Quelques définitions utiles 108
5.4.2 Une première approximation 109
5.4.3 Une surcharge 113
5.4.4 Une redistribution des contraintes 113
5.4.5 Un état critique 117
5.5 Dynamique de l'écoulement 120
5.5.1 Avalanche coulante 121
5.5.2 Aérosol 121
5.5.3 Avalanche mixte 123

Bibliographie **125**

6 Gestion et prévision du risque d'avalanches **129**
6.1 L'estimation du risque d'avalanches 129
6.1.1 Position générale du problème 129
6.1.2 Aspect subjectif de l'estimation : quelques exemples 130
6.1.3 La prévention et gestion du risque (spatial) d'avalanches sur un site 132
6.1.4 La prévision du risque (temporel) d'avalanches sur un massif 137
6.1.5 Les moyens d'investigation sur le terrain 139
6.2 Diagnostic du risque : aide à la décision sur le terrain 145
6.2.1 L'examen du manteau : principes 145
6.2.2 Les questions que vous vous posez 146

À la mémoire de Pierre BEGHIN, Philippe REVOL,
Roger BILLON, et Jacques VILLECROSE, appelés
précocement vers d'autres montagnes

Montagnes derrière, montagnes devant,
Batailles rangées d'ombres, de lumières,
L'univers est là qui enfle le dos,
Et nous si chétifs entre nos paupières,
Et nos cœurs toujours en sang sous la peau.

Faut il que pour vous brûlent tant d'étoiles,
Et que tant de pluie arrive du ciel,
Et que tant de jours sèchent au soleil,
Quand un peu de vent éteint notre voix,
Nous couchant le long de nos os dociles.

Jules SUPERVIELLE

Les auteurs

Christophe Ancey. Professeur d'hydrodynamique à l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) et directeur du Laboratoire d'Hydraulique Environnementale de l'EPFL, Christophe Ancey est un spécialiste de la dynamique des fluides complexes. Il est docteur-ingénieur, diplômé de l'Institut National Polytechnique de Grenoble et de l'École Centrale de Paris. Chargé de recherche au Cemagref de Grenoble de 1998 à 2003, il a mené des recherches sur la rhéologie des suspensions granulaires avec des applications au transport solide, aux avalanches, et aux laves torrentielles. Il a créé en 1997 le groupement d'ingénieurs-conseil Toraval avec Claude Charlier.

Prof. C. Ancey, EPFL, ENAC/ICARE, LHE, Ecublens, CH 1015 Lausanne, christophe.ancey@epfl.ch, lhe.epfl.ch

Robert Bolognesi.

Claude Charlier. Ingénieur-Conseil au sein du groupement Toraval,

Alain Duclos.

Françoise & Charles Gardelle.

Jean-Pierre Herry.

Eric Martin.

Edmond Pahaut.

Claude Rey.

Claude Sergent.

François Sivardière.

Jacques Villecrose.

Jean-Paul Zuanon.

Préfaces

Le présent ouvrage, patronné par l'ANENA, apporte une analyse complète et précise des risques, basée sur une mine de données et d'exemples. Il donne des conseils précieux, voire vitaux, tirés d'exemples d'accidents vécus, qui illustrent et enrichissent cette étude.

Dans la plupart des cas, les avertissements n'ont pas été suivis. On ne doit pas oublier que si une avalanche s'est déclenchée, c'est que déjà un danger existait. Chaque randonneur a sa part de responsabilité en méprisant les avertissements.

Cet ouvrage est utile et profitable, d'autant plus que le nombre de touristes en montagne ne cesse d'augmenter. Pour diminuer le nombre de victimes, ce manuel donne des conseils et des règles de sécurité pour la conduite des courses, des conseils déduits de situations avalancheuses et de nombreux accidents.

Malgré ces mises en garde, on n'éliminera jamais tous les accidents, mais on tente d'en réduire le nombre. Ce qu'il y a de terrible, c'est que dès qu'il y a accident d'avalanche, on considère les victimes comme fautives. Il est en général plus facile d'énoncer le danger après coup qu'avant l'avalanche.

André Roch,
Genève, août 1996

Lorsque notre petit groupe entreprit, il y a 27 ans, d'associer des spécialistes de différentes formations pour créer l'ANENA, nous savions que la nouvelle association aurait à faire face aux immenses problèmes de sécurité posés par l'explosion du tourisme hivernal alpin ou pyrénéen au cours des années soixante.

C'était d'abord, à la charge des services publics, la nécessité d'assurer la protection des équipements permanents, routes et habitat humain. C'était ensuite, au sein de stations de sport d'hiver, le devoir d'assurer la sécurité de leurs clients sur les pistes. Mais il s'agissait aussi, et il s'agit de plus en plus, de la sécurité du simple randonneur pratiquant désormais en toute saison ce qu'on appelait autrefois le ski de printemps.

Or le responsable d'une course en montagne ne dispose ni de cartographies des avalanches, ni d'ouvrages de protection, ni de moyens sophistiqués de purger les couloirs qu'il aborde! Il est seul devant une multitude de décisions à prendre en fonction d'une foule de facteurs dépendant du relief, de la pente, de l'exposition, de l'évolution du manteau neigeux depuis le début de la saison, des précipitations, du vent et des températures constantes localement les jours précédents ou prévus le jour de la course … et des capacités des randonneurs qu'il est en charge d'accompagner!

L'expérience du vieux montagnard ne suffira pas toujours hélas! à lui éviter des décisions malheureuses. Les connaissances scientifiques les plus approfondies non plus! Il lui faudra les deux pour faire au mieux!

C'est la gageure qu'a tenté de relever le présent ouvrage : il expose avec beaucoup de clarté et de rigueur les dernières données scientifiques sur la physique de la neige et les avalanches; il décrit et compare les pratiques couramment utilisées pour estimer une situation, mais il donne aussi une foule d'anecdotes et de faits réels qui constituent pour le lecteur un solide et passionnant supplément d'expérience.

Le public des guides et des randonneurs avertis ne s'y est pas trompé : il a apprécié la première édition de ce travail remarquablement illustré, à la fois traité scientifique et guide pratique: en moins de deux ans la première édition a été épuisée. La seconde, très attendue, ne peut que contribuer à accroître les connaissances et donc la sécurité des amateurs de randonnée.

Merci à l'ANENA d'avoir rassemblé les spécialistes cosignataires des chapitres de ce guide, merci à Christophe Ancey, d'en avoir assuré la coordination et une part de la rédaction.

Louis de CRÉCY
Co-fondateur de l'ANENA
ancien chef de la division Nivologie du Cemagref
Grenoble, juin 1998

Avant-propos

L'ambition de cet ouvrage est de donner un aperçu relativement complet du milieu montagnard hivernal à travers deux de ses principales caractéristiques: la neige et les avalanches. Étant donné la multitude des usagers, il faudrait autant d'ouvrages que de catégories d'usagers pour respecter l'approche et les problèmes de chacun : en effet, skieurs, randonneurs, guides de montagne, moniteurs, cadres bénévoles, militaires, pisteurs, aménageurs, ingénieurs, forestiers, personnels de l'équipement, etc. ont des problèmes spécifiques à leur activité. Notre pari a donc été de tenter de présenter un panorama simple et étendu de la nivologie qui tienne en un seul ouvrage et qui ne privilégie pas une discipline ou une activité particulière. Évidemment, on ne peut dans le même temps se contenter d'un corpus de connaissances universelles, car on s'éloignerait trop des préoccupations et des questions des divers pratiquants.

On a donc construit le plan de cet ouvrage d'une manière quelque peu inhabituelle. Certes le lecteur peut parcourir linéairement les différents chapitres, mais il peut également attaquer directement les sections qui l'intéressent plus particulièrement et retourner, si le cœur lui en dit, à d'autres chapitres plus généraux. A cet effet, l'ouvrage est divisé plus ou moins implicitement en deux parties, l'une traitant des éléments théoriques nécessaires à la compréhension du milieu et l'autre présentant des données pratiques.

La première partie donne successivement des éléments concernant le milieu montagnard (histoire de la pratique du ski, l'homme et la montagne), la météorologie alpine, la neige (formation et métamorphoses du manteau neigeux), les moyens d'investigation du manteau neigeux (sondage, interprétation des données), les avalanches (cause, formation, processus, classification), la gestion et la prévision du risque d'avalanche (expertise, organisation des bulletins neige et avalanches, mesures in situ) et enfin les techniques de protection (génie paravalanche, viabilité hivernale, réglementation).

Une deuxième partie est consacrée à la préparation (orientation, choix de l'itinéraire, matériels de sécurité), la conduite de la course (conduite, estimation du risque, analyse d'accidents), aux aspects médicaux (pathologie, premiers soins), à l'accident d'avalanche (organisation des secours), aux aspects juridiques (droit, analyse de jurisprudences).

De manière générale, l'accent a été mis sur la pédagogie et la clarté des notions énoncées et c'est ainsi qu'un très grand nombre de figures, de photographies et d'anecdotes illustrent le texte. II existe plusieurs niveaux de lecture :

- Les notions délicates sont appuyées par des exemples simples ou des schémas, que l'on introduit par une police de taille différente et le symbole. Le symbole indique que l'on explique certaines notions importantes (pour une bonne compréhension des phénomènes) mais pas nécessairement connues de tous les lecteurs. Le lecteur averti peut sauter ces lignes et ne lire que le corps du texte. Le symbole s-main indique un paragraphe de résumé ou de conclusion lorsque des notions importantes ou complexes ont été données.

Le symbole s-attention signale un risque éventuel de confusion. Des renvois à des références bibliographiques se trouvent dans le texte entre des crochets, et le lecteur pourra consulter en fin de chaque chapitre la liste des références bibliographiques. A la fin de l'ouvrage, le lecteur trouvera un index et un lexique des termes usités dans l'ouvrage, qui sert également de glossaire français-anglais.

- Certaines notions sont traitées dans plusieurs chapitres, mais chaque fois avec un éclairage différent. Il en est ainsi du transport de neige par le vent, pour lequel le chapitre 2 propose un résumé des mécanismes physiques, le chapitre 5 analyse son influence sur le risque d'avalanche, le chapitre 10 traite la question pour le skieur tandis que le chapitre 8 s'intéresse aux problèmes de viabilité induits par le vent. La technique propre â la pratique du ski (matériel, techniques de descente, de montée, de progression alpine...), les problèmes économiques ou politiques, la description précise des techniques paravalanches ne sont pas abordés dans le cadre de cet ouvrage. Enfin, il faut signaler que chaque écrit de l'ouvrage n'engage la responsabilité que de son (ses) auteur(s), et non celle du coordonnateur, de l'éditeur ou d'un quelconque organisme ayant prêté son concours.