



*Maurice Meunier
Christophe Ancey
Didier Richard*

**L'APPROCHE
CONCEPTUELLE
POUR
L'ÉTUDE
DES
AVALANCHES**

Cemagref
EDITIONS

Sommaire des chapitres

	Page
1 – Les trois approches de l'étude des avalanches en ingénierie	11
2 – Hydrologie des chutes de neige	37
3 – Obtention de la probabilité de déclenchement des avalanches	61
4 – L'estimation d'un comportement rhéologique global des avalanches à partir de données de terrain	87
5 – Mise au point de quelques modèles conceptuels en avalanches	105
6 – Tests de modèles conceptuels de propagation d'avalanche à des données de terrain	133
7 – Variables aléatoires et lois de probabilité	157
8 – Connexions avec l'utilisation en ingénierie	187
9 – L'extrapolation vers les événements extrêmes avec les trois approches déterministe, « statistique » et conceptuelle	209
10 – Perspectives et approfondissements	239
Annexe : Résultats du calage de deux modèles conceptuels sur quinze avalanches à profils de vitesses connus	255

Table des matières

Table des figures	13
1. Introduction	15
1-1 <i>Prévision et prédétermination</i>	15
1-2 <i>Approche conceptuelle et approche déterministe</i>	15
1-3 <i>Contenu du chapitre 1</i>	16
2. L'approche « déterministe »	16
2-1 <i>L'approche déterministe en avalanches</i>	17
2-2 <i>Vérification, validation, calage des modèles</i>	19
2-3 <i>Aperçu sur les modèles existants</i>	20
2-4 <i>Conclusion sur l'approche déterministe</i>	21
3. L'approche « statistique »	22
4. L'approche « conceptuelle »	25
4-1 <i>Introduction</i>	25
4-2 <i>Définition de l'approche conceptuelle</i>	26
4-3 <i>Qu'est ce qu'un modèle conceptuel ?</i>	28
4-4 <i>Quelques études possibles en avalanche avec l'approche conceptuelle. Contenu de l'ouvrage</i>	29
Bibliographie	34

Table des matières

Table des figures	40
Liste des tableaux	40
1. Introduction	41
2. Origine et nature des données en France	41
2-1 <i>Sources de données</i>	42
2-2 <i>Principe des mesures</i>	43
2-3 <i>Incertitudes, erreurs, lacunes dans les mesures</i>	44
3. Traitement statistique	45
3-1 <i>Mise en forme et critique des données</i>	45
3-1-1 <i>Mise en forme des données</i>	45
3-1-2 <i>Critique des données</i>	45
3-2 <i>Le traitement des données. Les modèles statistiques classiques</i>	46
3-2-3 <i>Loi de Gumbel</i>	47
3-2-2 <i>Loi exponentielle</i>	47
3-2-3 <i>Couplage loi de valeurs extrêmes – loi de Montana</i>	48
3-3 <i>Variabilité dans le temps et tests</i>	48
3-3-1 <i>Variabilité interannuelle</i>	48
3-3-2 <i>Distribution mensuelle des chutes de neige</i>	50
3-3-3 <i>Stationnarité des chutes de neige</i>	52
3-3-4 <i>Nombre de chutes de neige par an</i>	54
4. Résultats du dépouillement de 22 postes des Alpes françaises	55
4-1 <i>Données utilisées</i>	55
4-2 <i>Comparaison entre méthodes</i>	55
4-3 <i>Quantiles décennaux et centennaux des chutes de neige</i>	57
4-4 <i>Paramètres de la loi de Gumbel-Montana</i>	58
4-5 <i>Quantiles des hauteurs de neige au sol</i>	59
Bibliographie	60

Table des matières

Table des figures	64
Liste des tableaux	64
1. Introduction	65
2. La probabilité de déclenchement d'une avalanche : pour quoi faire ?	65
3. Les données exploitables	68
3-1 <i>Données nivo-météorologiques de Météo France</i>	68
3-2 <i>L'Enquête Permanente sur les Avalanches</i>	68
3-3 <i>Incertitudes dans les données</i>	68
4. Connexion des deux sources de données et calcul des paramètres	69
4-1 <i>Périodes d'observation</i>	69
4-2 <i>Durée d'observation associée à un événement « avalanche »</i>	69
4-3 <i>Relevés nivo-météorologiques associés à une avalanche ou une «non-avalanche»</i>	70
4-4 <i>Les variables météorologiques</i>	71
5. Méthode statistique	72
5-1 <i>Objectifs et principes généraux de la régression logistique</i>	72
5-2 <i>La transformation logit</i>	73
5-3 <i>Ajustement des paramètres</i>	74
5-4 <i>Test de la signification des paramètres</i>	76
5-5 <i>Stratégies d'ajustement</i>	78
5-6 <i>Description des outils mis en œuvre dans notre étude</i>	80
5-7 <i>Tests d'ajustement du modèle</i>	80
6. Exemples d'application	81
6-1 <i>Choix de sites</i>	81
6-2 <i>Traitement statistique du couloir n°12 de Bessans</i>	82
6-3 <i>Les autres couloirs de Bessans</i>	84

6-4	<i>Les couloirs de Chamonix</i>	85
7.	Conclusion – Perspectives	85
	Bibliographie	86

Table des matières

Table des figures	90
1. Introduction	91
2. Dérivation de la contrainte pariétale	94
2-1 <i>Hypothèses et notations</i>	94
2-2 <i>Calcul de la contrainte</i>	94
2-3 <i>Utilisation en pratique</i>	95
3. Résultats	95
3-1 <i>Données utilisées</i>	95
3-2 <i>Analyse des résultats</i>	96
3-2-1 Le régime inertiel	97
3-2-2 Le régime frictionnel	98
3-2-3 Le régime hydrodynamique	99
4. Discussion : Régimes inertiel et coulombien	101
Bibliographie	103

Table des matières

Table des figures	108
Liste des tableaux	108
1. Introduction	109
2. Les données du Lautaret et l'échec des modèles linéaires pour les interpréter	109
3. Modèles non linéaires de propagation	116
3-1 <i>Modèle de Voellmy à paramètres constants</i>	117
3-1-1 Introduction	117
3-1-2 Analyse a priori du modèle de Voellmy	118
3-1-3 Balance entre frottement coulombien et frottement turbulent	120
3-2 <i>Modèle de Voellmy à paramètres variables</i>	122
3-3 <i>Modèle de Coulomb modifié</i>	124
4. Exemple de modèle conceptuel autre que de propagation	126
5. Conclusion : enchaînement de sous- modèles ou modèle global	129
Bibliographie	131

Table des matières

Table des Figures	136
Liste des tableaux	136
1. Introduction	137
2. Confrontation des modèles aux données du site du Lautaret	137
2-1 <i>Modèle de Voellmy à paramètres constants</i>	138
2-1-1 Précisions sur la technique de calage	138
2-1-2 Résultats	140
2-1-3 Analyse des résultats	141
2-2 <i>Modèle de Voellmy à paramètres variables</i>	143
2-2-1 Technique de calage	143
2-2-2 Résultats	144
2-3 <i>Modèle de Coulomb modifié</i>	147
2-3-1 Rappel	147
2-3-2 Résultats	147
2-3-3 Analyse	148
2-4 <i>Conclusion</i>	150
3. Confrontation de deux modèles à des avalanches de profil de vitesse connu	151
4. Conclusion	155
Bibliographie	156

Table des matières

Table des figures -----	160
Liste des tableaux -----	160
1. Introduction -----	161
2. Utilisation des variables physiques comme variables aléatoires -----	161
2-1 <i>Données de terrain « intrinsèques » et « non intrinsèques »</i> -----	162
2-2 <i>Les paramètres internes sont-ils « intrinsèques » à la dynamique ?</i> -----	163
2-3 <i>Peut-on mélanger des échantillons de paramètres internes ?</i> -----	165
3. Calage de lois statistiques sur des données de terrain. Exemples -----	166
2-1 <i>Altitudes ou distances de départ</i> -----	167
2-2 <i>Hauteurs des avalanches en écoulement</i> -----	167
4. Calage de lois statistiques sur des paramètres internes. Méthode directe -----	168
4-1 <i>Paramètres internes du modèle de Voellmy à paramètres fixes</i> -----	169
4-2 <i>Modèle de Coulomb modifié</i> -----	172
5. Obtention de la loi statistique d'un paramètre interne par la résolution du problème inverse ou méthode indirecte -----	173
5-1 <i>Introduction</i> -----	173
5-2 <i>Partie théorique</i> -----	174
5-2-1 <i>Position du problème</i> -----	174
5-2-2 <i>Résolution du problème</i> -----	176
5-3 <i>Applications</i> -----	178
5-3-1 <i>Couloir du Plan de l'Aiguille (Vallée de Chamonix)</i> -----	178
5-3-2 <i>Plusieurs couloirs près de Bessans (Maurienne)</i> -----	182
5-4 <i>Conclusion</i> -----	184
Bibliographie -----	186

Table des matières

Table des figures -----

Liste des tableaux -----

1. Introduction -----

2. Rappel et interrogation -----

2-1 *Le concept de période de retour (rappel)* -----

2-2 *Y a-t-il saturation du phénomène avalancheux pour les grandes durées de retour ?* -----

3. Obtention des événements de grande période de retour dans le cadre des approches déterministe et statistique -----

3-1 *L'approche déterministe* -----

3-2 *L'approche statistique* -----

4. Détermination des événements de grande période de retour dans le cadre de l'approche conceptuelle -----

4-1 *Introduction* -----

4-2 *Méthodologie* -----

4-2-1 *Première étape* -----

4-2-2 *Deuxième étape* -----

4-2-3 *Troisième étape* -----

4-2-4 *Quatrième étape* -----

4-2-5 *Cinquième étape* -----

4-3 *Traitement dans le cas du couloir d'Entremène* -----

4-3-1 *Résultats obtenus avec le modèle de Coulomb* -----

4-3-2 *Résultats obtenus avec le modèle de Voellmy* -----

4-3-3 *Conclusion* -----

5. Suite de l'exploration méthodologique de l'approche conceptuelle -----

5-1 *Variable « intrinsèque » et profil en long* -----

5-2 *Intervalles de confiance* -----

5-3 *Sensibilité à la loi statistique du paramètre interne* -----

Bibliographie -----

Table des matières

1. Introduction-----	243
2. Les trois approches de l'étude des avalanches pour l'ingénierie -----	243
3. Hydrologie des chutes de neige-----	244
4. Obtention de la probabilité de déclenchement des avalanches -----	246
5. Un problème entier : la prédétermination du volume d'avalanche -----	247
6. Rhéologie vue d'un point de vue global-----	248
7. Mise au point de modèles conceptuels en avalanches -----	249
8. Tests de modèles conceptuels de propagation d'avalanche à des données de terrain -----	249
9. Variables aléatoires et lois statistiques-----	250
10. L'extrapolation vers les événements extrêmes avec les trois approches déterministe, « statistique » et conceptuelle -----	252

Table des matières

Table des figures	258
1. Introduction	259
2. Couloir de l'Aulta	260
2-1 <i>Aulta 1</i>	260
2-2 <i>Aulta 2</i>	261
3. Couloir de Fogas	262
4. Madergrond	263
4-1 <i>Madergrond 1</i>	264
4-2 <i>Madergrond 2</i>	265
4-3 <i>Madergrond 3</i>	265
5. Khibins	266
5-1 <i>Khibins 1</i>	267
5-2 <i>Khibins 2</i>	267
5-3 <i>Khibins 3</i>	268
6. Slushman	269
7. Arraba	270
7-1 <i>Arraba 1</i>	271
7-2 <i>Arraba 2</i>	271
7-3 <i>Arraba 3</i>	272
7-4 <i>Arraba 4</i>	273
8. Col du Lautaret	274
Bibliographie	275