

**Climatologie des situations nivo-météorologiques
associées aux périodes avalancheuses importantes
de ces 45 dernières années en Isère**



Rapport Final (Juillet 2007)

Organisme pilote : METEO-FRANCE / CNRM / Centre d'Etudes de la Neige (CEN)

Coordonnateur du projet : Jean Pierre Navarre (jean-pierre.navarre@meteo.fr)

Météo-France / CNRM / Centre d'Etudes de la Neige (CEN)
1441 rue de la piscine - BP 44 - 38402 St Martin d'Hères

Partenaire – Laboratoire associé : CEMAGREF – ETNA

2 rue de la papeterie - BP 76 -38402 Saint Martin d'Hères

Climatologie des situations nivo-météorologiques associées aux périodes avalancheuses importantes de ces 45 dernières années en Isère

Rapport final

Introduction

Cette étude a pour objectif général d'établir sur le département de l'Isère une climatologie des situations nivo-météorologiques associées aux périodes avalancheuses importantes de ces 45 dernières années (hivers 59/60 – 04/05). Elle s'appuie sur les informations issues de l'Enquête Permanente des Avalanches (EPA) gérées par le Cemagref, sur des observations du réseau Nivo-météorologiques de Météo-France (Indices d'activité Avalancheuse par massif) et sur les états du manteau neigeux reconstitués par simulations Safran-Crocus-Mepra (SCM) sur cette même période de 45 ans.

Cette démarche, qui nous permet de coupler et comparer sur l'Isère ces trois sources d'information sur une période assez longue, présente plusieurs domaines d'application ou pôles d'intérêts :

- en terme d'information climatologique dans l'optique de la prévention et d'aménagements;
- en terme de caractérisation (et historique) des situations avalancheuses sensibles et donc d'aides pour la Prévision du Risque d'Avalanches (PRA) et la gestion de périodes de crise ;
- mais aussi en terme d'analyses comparatives de ces données et d'évaluations de la qualité des risques ou instabilité fournies par la chaîne SCM.

Cette étude s'inscrit dans un ensemble plus général d'études ou programmes auxquels participent le CNRM et le CEMAGREF, et notamment.

L'action « simulations SCM - ERA40 », que mène depuis peu le CNRM/CEN pour produire « une climatologie sur plus de 45 ans de l'enneigement des Alpes et Pyrénées Françaises ». Cette action s'appuie sur les champs atmosphériques analysés sur une période de 40 ans (1958-1998) que le CEPMMT a mis récemment à la disposition de la communauté scientifique dans le cadre du projet ERA 40. Ces données sont utilisées pour constituer avec Safran un jeu de paramètres météorologiques de surface sur les massifs alpins ; ce qui permet de reproduire, depuis 1958 et pour ces massifs montagneux, les caractéristiques du manteau neigeux et l'état d'instabilité potentiel du manteau neigeux en utilisant Cocus et Mepra.

De leur côté, le CEMAGREF et L'ONF (Office national des Forêts) travaillent depuis 2002 sur une rénovation profonde de l'EPA et de la CLPA dans le cadre d'un contrat pluri-annuel avec le MEDD (Ministère de l'Environnement et du Développement Durable). Ces données, issues des observations d'avalanches du passé sont très utiles pour tous les projets d'aménagement et de gestion de territoires en montagne ; elles sont ainsi progressivement « toilettées » et diffusées sur de nouveaux supports (édition nationale, site Internet,...).

Après un rapide descriptif des données utilisées, ce rapport de synthèse présentera les analyses réalisées et quelques résultats types relatifs aux 3 étapes de l'étude, à savoir :

- des analyses climatologiques des données nivo-météorologiques pour les massifs montagneux de l'Isère sur ces 45 dernières années ;
- des analyses des données d'observations d'avalanches, des comparaisons avec l'Indice de risque Mepra, et l'identification des périodes avalancheuses importantes
- et enfin des analyses des caractéristiques nivo-météorologiques de ces périodes avalancheuses.

I - Descriptifs des données utilisées dans cette étude

Pour cette étude, limitée au département de l'Isère, les données et analyses sont regroupées en fonction des 5 zones de montagne ou massifs montagneux selon la définition de Météo-France pour la Prévision du Risque d'Avalanches (PRA), à savoir (figure en Annexe) :

- les 2 massifs préalpins du Vercors et de la Chartreuse
- les 3 massifs « intérieurs » de Belledonne, de l'Oisans et des Grandes Rousses.

Notons que les limites géographiques de ces massifs PRA suivent parfois des fonds de vallée et ne correspondent pas aux limites administratives (départements et communes) .

Trois séries de données ont été utilisées pour cette étude :

- les données nivo-météorologiques issues de la chaîne Safran-Crocus-Mepra,
- les observations d'avalanches issues de l'EPA (Cémagref)
- des données d'Indice d'activité d'avalanche issues du réseau nivologique de Météo-France

Les données nivo-météorologiques sont issues de la chaîne de modélisation Safran-Crocus-Mepra (SCM) à l'échelle du massif, sur la période 1958-2004. Safran permet d'analyser et de spatialiser les informations météorologiques et de fournir pour chaque massif PRA un jeu de paramètres météorologiques de surface au pas horaire et pour différentes expositions et tranches d'altitude (pas de 300 m.). Crocus et Mepra sont des logiciels de simulation de l'évolution du manteau neigeux et d'évaluation de son instabilité.

L'Indice d'Instabilité Mepra (IIM) provient du dernier module de la chaîne massif SCM. Il correspond au maximum quotidien des différentes valeurs de I_{exp} propres à chaque exposition ; I_{exp} étant la moyenne des risques d'instabilité Mepra pondérés, calculés sur une tranche d'altitude de 900 m (tranche où I_{exp} a été le plus fort).

L'Indice d'Activité Avalancheuse par massif (IAA) est un indice calculé quotidiennement à partir des observations d'avalanches du réseau nivo-météorologique (du jour j à 8h et 13h et du jour $j+1$ à 8h) de Météo-France. Cet indice est le cumul des valeurs affectées aux événements observés dans les différents postes du massif PRA (selon un code) et pondéré par un coefficient traduisant la répartition plus ou moins régulière de l'activité dans le massif, selon le nombre de postes fonctionnant et ayant observé des avalanches.

Des fichiers EPA d'événements pour différentes communes de l'Isère et pour quelques communes de Savoie et des Hautes Alpes, associées à certains massifs PRA, ont été fournis par le Cémagref. La liste de ces communes et le nombre d'observations par commune sont indiqués dans le Tableau 1 en Annexe. Chaque ligne de ces fichiers correspond à une observation d'avalanche et contient différentes informations: identification du site (commune, couloir), dates ou intervalles entre lesquelles l'événement a pu se produire, altitudes de départ et d'arrêt de l'avalanche, taille du dépôt,.... . En fait, selon les communes et surtout pour les hivers antérieurs à 1990 environ, de nombreuses informations sont absentes sur l'Isère, et nous avons dû axer notre analyse sur les dates et nombre quotidien d'événements. Cependant, il existe des jours où l'observation n'a pas pu être faite à cause du mauvais temps, de l'absence d'observateur ou pour d'autres raisons encore (impossibilité de déplacement par exemple), d'où l'existence d'une certaine incertitude concernant ces données. Il n'est ainsi pas toujours garanti que l'absence d'observation un jour donné, pour une commune ou un site donné, corresponde réellement à une absence d'avalanche.

II - Analyses climatologiques pour les massifs montagneux de l'Isère

Bien que le sujet de ce rapport concerne avant tout les avalanches, il nous a semblé intéressant de présenter ici quelques résultats climatologique issus des simulations SCM, caractéristiques des périodes hivernales (entre 1958 et 2004) et qui peuvent être utiles à l'analyse des périodes avalancheuses. Cette climatologie porte sur les paramètres température air, précipitations (valeur en eau et épaisseur neige fraîche) et sur l'épaisseur de neige au sol, issues des simulations Safran-Crocus et relatifs à un ou trois niveaux d'altitude (1800 m pour le Vercors et la Chartreuse ; 1800, 2400 et 3000 m pour les 3 autres

massifs Belledonne, Oisans et Grandes Rousses). Elle est orientée vers certains aspects spécifiques, à savoir :

- les évolutions, au cours de la période étudiée, des paramètres tels que la température, les précipitations ou la hauteur de neige au sol, qui peuvent influencer sur la climatologie des avalanches ;
- les valeurs rares et durées de retour, relatives aux cumuls de précipitations neigeuses sur 3 jours - paramètre utilisé pour les études sur les avalanches
- les calendriers de probabilité pour l'épaisseur de neige au sol.

Certes, ces paramètres sont des données en sortie de la chaîne SCM, mais ils appuient aussi sur des observations et ont fait l'objet de vérification dans le cadre d'études antérieures.

Chaque hiver est noté par l'année du mois de début (décembre ou novembre).

II-1) Evolutions des Températures hivernales sur la période 1958 - 2004

Pour illustrer ces évolutions des températures hivernales, nous présentons (figure 1) deux graphiques relatifs au massif de l'Oisans (pour 2400 m.) et de La Chartreuse (pour 1800 m.). Sur chaque graphique sont reportés les températures hivernales moyennes, calculées sur les 5 mois d'hiver (décembre à avril), qui sont théoriquement les plus sensibles aux avalanches, ainsi que la valeur moyenne générale calculée sur tous ces hivers (-3.96 °C pour l'Oisans à 2400 et - 1.3 °C pour la Chartreuse à 1800 m).

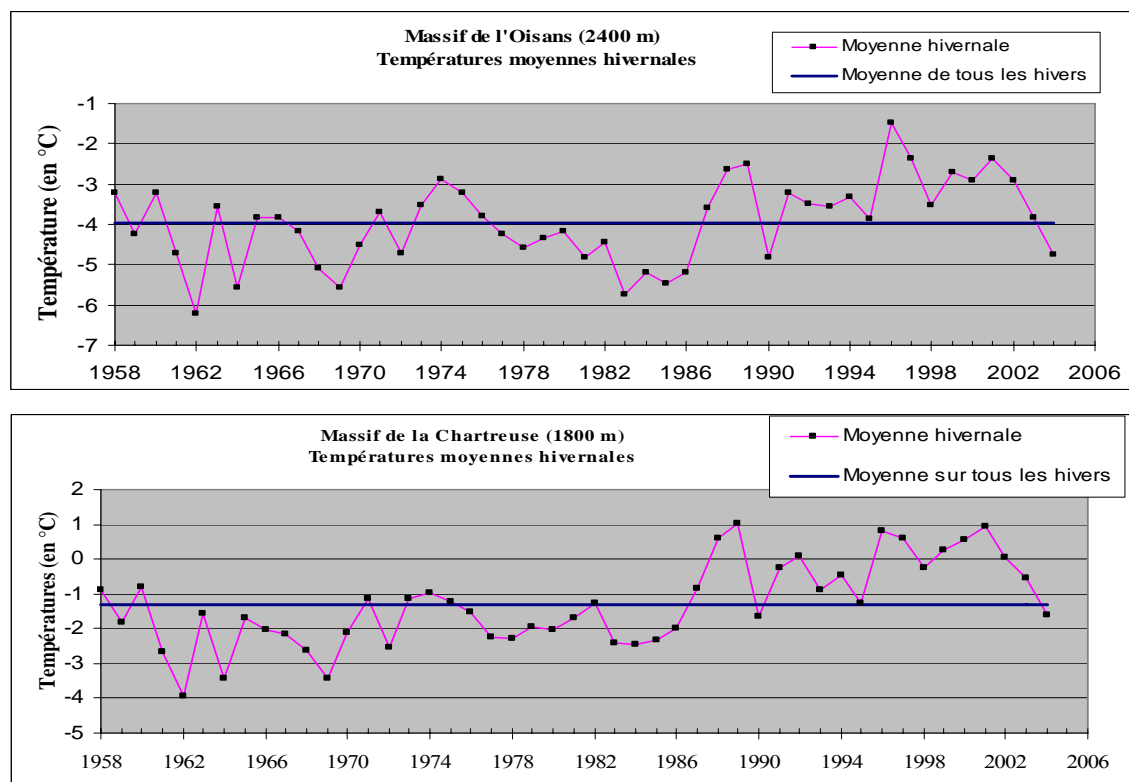


Figure 1 : Evolutions des températures hivernales moyennes pour les massifs de l'Oisans (2400 m) et de la Chartreuse (1800 m.)

Sur cette période (58-04), les températures hivernales moyennes sont assez variables selon les années : pour la Chartreuse à 1800 m, l'écart maximal est d'environ 5°C (entre les deux hivers 62-63 et 89-90). En Oisans à 2400 m, les hivers 62-63, 64-65, 69-70, ainsi que ceux des années 83-86 apparaissent comme les hivers les plus froids sur cette période d'étude. On constate pour la Chartreuse à 1800 m que les températures des hivers 1990-2000 sont sensiblement plus chaudes que celles des hivers de la période 1960-1970; phénomène que l'on retrouve pour d'autres massifs à 1800m., mais qui apparaît peu significatif à plus haute altitude, comme le montre le graphique de l'Oisans.

II-2) Evolutions des cumuls des précipitations neige sur la période 1958 - 2004

En figure 2 sont présentés les cumuls des précipitations (valeurs en mm d'eau) tombées uniquement sous forme de neige entre novembre et avril, pour La Chartreuse (1800 m) et les Grandes Rousses (2400 m). Cette classification sur la nature des précipitations est réalisée dans Safran au pas horaire. Ces deux graphiques illustrent la grande variabilité de ce paramètre selon les hivers, une période (autour de 1982) relativement exempte de faibles cumuls et une période de déficit sur plusieurs hivers consécutifs (autour des années 71-73). On notera également les forts cumuls des hivers 64-65, 69-70 et 77-78 que l'on retrouve sur les 2 graphiques, et de l'hiver 94-95 pour l'Oisans (2400 m.). La moyenne des cumuls (entre novembre et avril) calculée sur toute la période 58-04 est de 815 mm pour la Chartreuse (à 1800 m) et de 758 mm pour l'Oisans (à 2400m).

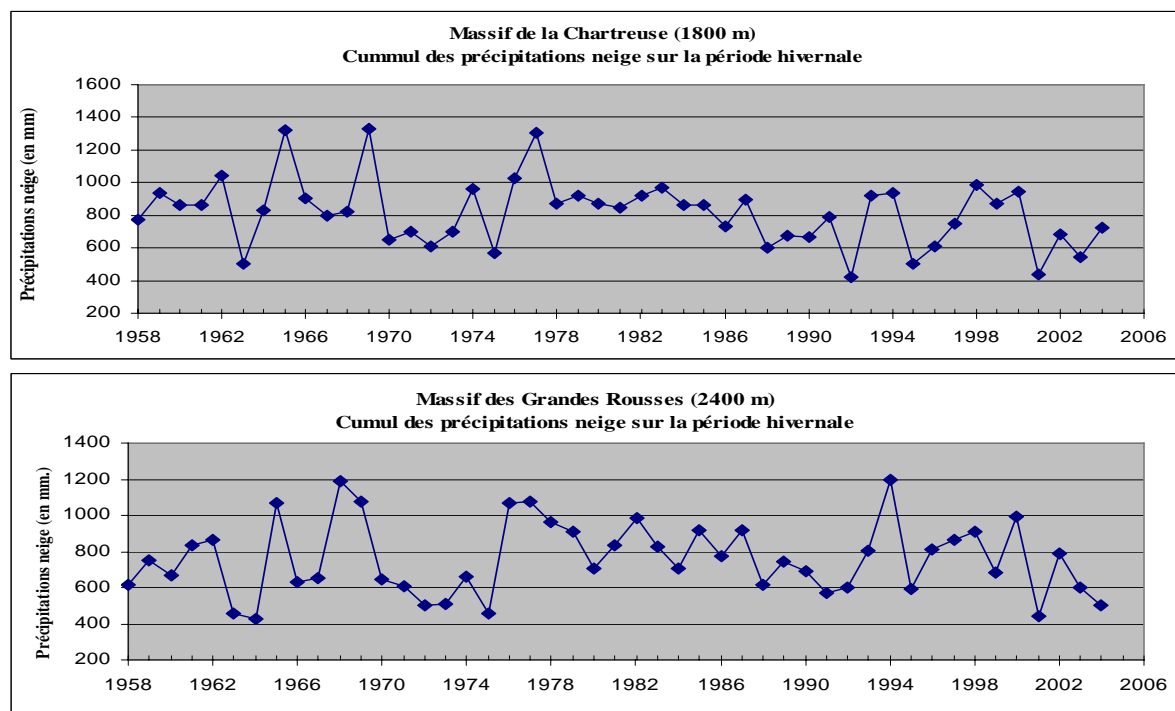


Figure 2 : Evolutions des cumuls des précipitations solides pour les massifs de la Chartreuse (1800 m) et des Grandes Rousses (2400 m).

II-3) Evolutions des épaisseurs de neige au sol sur la période 1958 - 2004

L'épaisseur de neige au sol, qui résulte de multiples paramètres nivo-météorologiques (précipitations, température, ensoleillement, vent...) présente naturellement des différences importantes d'une saison à l'autre, mais aussi au cours d'un même hiver. Il est de ce fait délicat de définir une valeur moyenne globale par hiver. Nous avons donc calculé pour chaque hiver 3 valeurs moyennes d'épaisseur de neige, en partant des épaisseurs moyennes décennales et en essayant de regrouper des périodes hivernales, si possibles cohérentes : une première valeur est définie en prenant la moyenne de 5 décades allant du 10 novembre au 31 décembre, la deuxième est la moyenne des 6 décades de janvier-février et la troisième se rapporte aux 6 décades de mars-avril. La figure 3 correspond aux hauteurs de neige des massifs de Belledonne (à 1800 m.) et de l'Oisans (à 2400 m.)

Les comparaisons entre les 3 courbes apportent également quelques informations sur la variabilité de l'enneigement (ou sur la période d'accroissement du manteau neigeux) au cours d'un même hiver ; ainsi, sur le graphique de l'Oisans, on constate pour novembre-décembre un enneigement déjà conséquent pour les hivers 65-66 et 74-75, contrairement à l'hiver 78-79. De même, sur le graphique de

Belledonne, peut-on noter une augmentation encore importante en mars-avril pour les hivers 69-70 et 77-78.

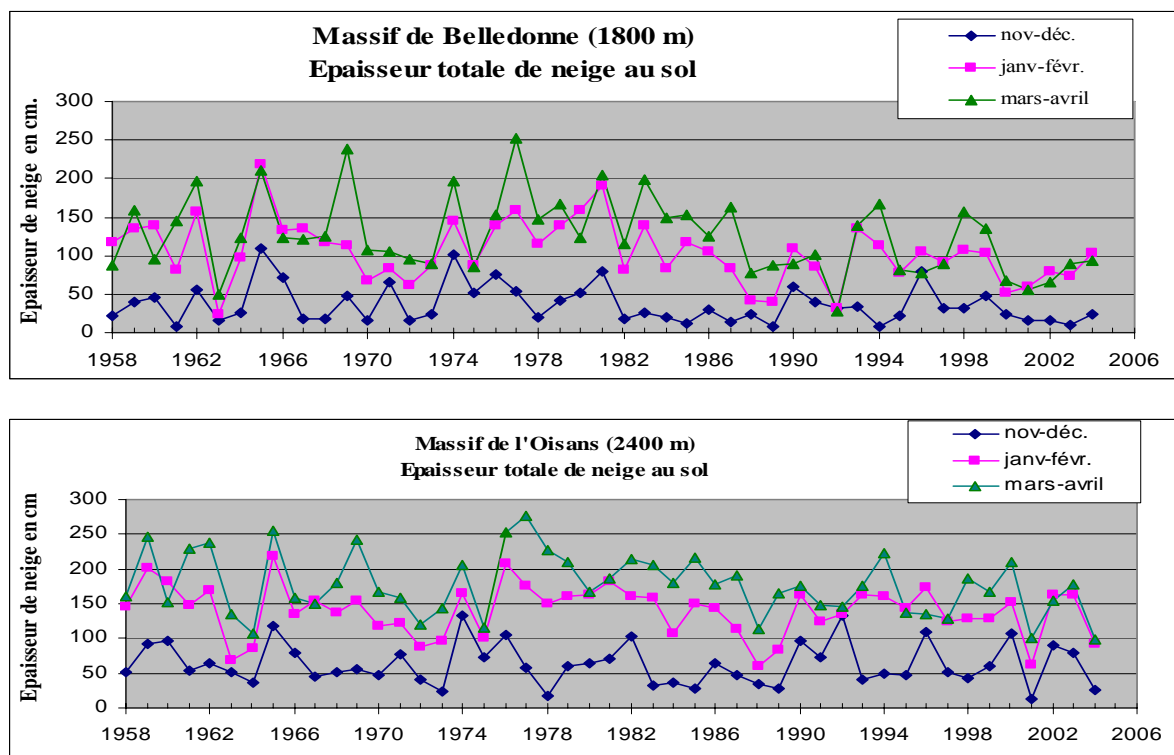


Figure 3 :Evolutions des épaisseurs de neige au sol pour les massifs de Belledonne (à 1800 m.) et de l'Oisans (à 2400m).

II-4) Cumuls sur 3 jours des précipitations neige

Le cumul sur 3 jours des précipitations neige est un paramètre souvent utilisé pour estimer les risques d'avalanches ; associé à la notion de durée de retour, c'est une donnée importante pour des évaluations en prévention des zones d'arrêt d'avalanches.

Pour les différents massifs et altitudes, nous avons calculé pour chaque hiver (novembre à avril) les valeurs maximales des précipitations neige cumulées sur 3 jours consécutifs (CN3j); les valeurs sont données en mm d'équivalent eau. Nous avons ainsi une série de 46 valeurs, correspondant aux hivers 1959 à 2004 (l'hiver étant toujours défini par l'année du mois de début : novembre).

Les distributions de ces valeurs varient selon les massifs et altitudes, mais suivent sensiblement des lois Gama incomplète : fonction à décroissance exponentielle simple dans les fortes valeurs, avec un comportement asymptotique Gumbelien.

Rappelons que le temps de retour T d'un événement est défini comme étant l'inverse de la fréquence d'apparition de l'événement.

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

Et, pour une durée de retour centennale (T= 100), la fréquence de pouvoir dépasser la valeur xi est :
 $1 - F(x_i) = 0.01$ $F(x_i) = 0.99$ (fréquence pour avoir une valeur $\leq x_i$)

Pour décrire le comportement statistique des valeurs rares, on utilise très souvent la loi de Gumbel, en l'ajustant linéairement à partir des fréquences empiriques f_i , définies par le rang i des valeurs x_i triées dans l'ordre croissant :

$$f_i = (i - 0.5) / n \quad (\text{formulation souvent utilisée})$$

n est la taille de l'échantillon et i est le rang de la valeur x_i , après classement par ordre croissant .

L'ajustement linéaire est ainsi réalisé entre les variables x_i et U_i , avec $U_i = -\text{Ln}(-\text{Ln}(f_i))$.

Remarque : La formule utilisée par C.Ancey dans différentes études nivologiques est légèrement différentes, et conduit à des fréquences empiriques très faiblement inférieures : $f_i = (i - 0.3) / (n + 0.4)$

Sur le tableau suivant, sont reportées les valeurs de retour centennales (calculées par ajustement linéaire avec une loi de Gumbel) pour chacun des massifs en fonction de l'altitude. Compte tenu de la précision de nos données de précipitations et des effets possibles du vent, ces valeurs doivent être prises comme des valeurs en première approximation, d'autant que la qualité de l'ajustement linéaire peut parfois présenter quelques écarts pour les plus fortes valeurs de xi.

Une extrapolation de ces valeurs en terme d'épaisseur de neige récente (sur 72 heures) peut être faite en considérant par exemple une densité moyenne de 0,1 - 0,09 à 1800 m et d'environ 0,08 à 2400m, hors effets du vent.

| Massif | Altitudes (m.) | Valeur pour durée de retour de 100 ans (en mm.) |
|-----------------|----------------|---|
| Chartreuse | 1800 | 215,4 |
| Vercors | 1800 | 147,2 |
| Oisans | 1800 | 137,2 |
| Belledonne | 1800 | 158,7 |
| Grandes Rousses | 1800 | 154,6 |
| Oisans | 2400 | 178,3 |
| Belledonne | 2400 | 198,0 |
| Grandes Rousses | 2400 | 193,2 |
| Oisans | 3000 | 220,3 |
| Belledonne | 3000 | 220,5 |
| Grandes Rousses | 3000 | 225,7 |

II-5) Calendriers de la distribution fréquentielle des enneigements moyens décennaux

Un tel calendrier fréquentiel indique avec quelle fréquence (ou probabilité) une certaine hauteur de neige peut être atteinte ou dépassée à un moment donné, et peut être très utile notamment pour des aménagements. Ces calendriers s'appuient sur les hauteurs de neige moyennes calculées pour chaque décennie des mois d'hiver des 46 hivers, en considérant que la distribution suit une Loi Normale. Mais il ne faut pas oublier que cette information repose sur l'analyse de données du passé et que sa crédibilité ou qualité dépend de la longueur de la série des données utilisées.

A titre d'exemple est présenté, en figure 4 un calendrier fréquentiel d'enneigement pour le massif de Belledonne (1800 m). Les enneigements sont assez faibles avant la mi-décembre et rarement conséquents en décembre : on obtient 60 cm à la 3^{ème} décennie de décembre une année sur deux environ. Quant aux pics de fortes probabilités, ils se trouvent plutôt début mars ; mais pour des altitudes plus élevés, ces pics sont décalés vers fin mars.

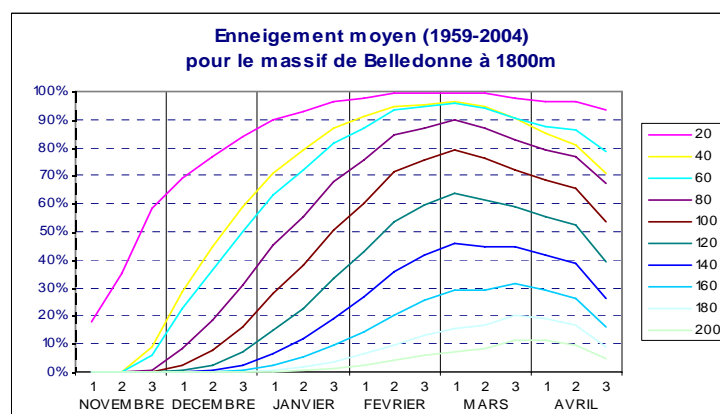


Figure 4 : Calendrier fréquentiel d'enneigement pour le massif de Belledonne (1800 m)

III - Analyses des données d'observations d'avalanches , comparaisons avec l'Indice d'Instabilité Mepra, et sélection des périodes avalancheuses importantes

Avant de pouvoir dresser une Climatologie des situations nivo-météorologiques associée aux périodes avalancheuses naturelles importantes, notre première démarche a porté sur la recherche et identification de ces périodes ou journées avalancheuses importantes, en essayant de s'appuyer sur des données du Cémagref et de Météo-France ; et c'est cette démarche ou étape de l'étude qui est décrite dans ce chapitre. Pour identifier les périodes avalancheuses en Isère, nous disposons théoriquement des données d'observations d'avalanches, au pas quotidien , issues de l'Enquête Permanente des Avalanches (ou EPA) ou des valeurs d'Indice d'Activité Avalancheuse par massif (ou IAA). Mais, compte tenu de la mauvaise qualité de ces données EPA sur l'Isère, nous avons essayé de prendre également en compte l'Indice d'Instabilité Mepra (IIM), qui est calculé quotidiennement à l'échelle de chaque massif dans la chaîne SCM.,

Dans cette optique, différentes analyses ont été réalisées :

- d'abord un rapide inventaire historique des périodes avalancheuses importantes à partir de documents divers (notes du CEN, documentation presse, ..) ;
 - puis des analyses des données EPA, en recherchant les périodes avalancheuses importantes (en fonction de l'activité quotidienne mentionnée) ;
- et enfin des analyses comparatives entre les données EPA et les 2 autres séries de données (IAA et IIM) pour pouvoir combiner ces données et rechercher automatiquement - et au mieux - les périodes avalancheuses.

III-1) Historique des épisodes avalancheux importants

Les informations présentées dans ce paragraphe ne sont pas exhaustives, mais permettent de faire un rapide historique des principaux épisodes avalancheux marquants en Isère depuis 1958.

Périodes avalancheuses importantes (d'après une Note de Centre du CNRM/CEN)

| Périodes | conditions nivo-météo | situations avalancheuses en Isère |
|------------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| 1999 janv.-févr. | 3 épisodes de neige | activité soutenue |
| 1995 janv.-févr. | neige et pluie /neige à haute alt. | forte activité, extension limitée |
| 1990 févr. | neige et pluie /neige à hte alt. | forte activité, extension limitée |
| 1988 janv.-févr. | neige, vent, température douce | activité soutenue |
| 1986 janvier | plusieurs épisodes de neige | nombreuses routes coupées |
| 1984 févr. | abondantes chutes de neige, vent | forte activité, routes coupées |
| 1981 janv. | Long épisode perturbé, vent, froid | activité exceptionnelle, dégâts |
| 1978 janv. févr. | Plusieurs épisodes de neige froide | très forte activité, routes et dégâts |
| 1970 févr. | Abondantes chutes de neige froide | forte activité |

Quelques informations sur l'activité avalancheuse marquante dans différents massifs de l'Isère
(extraits des notices nivo-météo rédigées par Météo-France pour les CLPA du Cémagref)

Massif de La Chartreuse

- Le 7 janvier 1968, suite à de fortes chutes de neige par vent d'ouest, une avalanche a atteint une partie du sanatorium.
- L'hiver 1970 fut particulièrement neigeux sur les Alpes au-dessus de 1500 m, en mars 1970 il a neigé très fort à basse altitude, 1m30 de neige fraîche en 48h au Touvet, et une avalanche a endommagé une partie des établissements hospitaliers.
- Le 2 février 1978, suite à quatre jours d'abondantes précipitations de poudreuse dans un courant de nord-ouest, des valeurs records sont atteintes : 2m21 au col de Porte, jusqu'à 2m40 à St-Hilaire-du-

Touvet. Une avalanche a alors dévalé toute la face ouest de Chamechaude, endommagé la forêt et détruit un chalet au col de Porte. Le bâtiment des établissements hospitaliers a également été touché.

- Janvier 1981, des perturbations de nord-ouest très actives ont donné d'importants cumuls dès le début du mois, puis du 13 au 20 janvier ; les cumuls ont alors souvent atteint 2 m). Les établissements hospitaliers ont été touchés à 2 reprises et une avalanche a atteint la route D30 entre le Col de Marcieu et Les Près à seulement 900 m d'altitude !

- Février 1999, encore une période très neigeuse dans un flux de nord-ouest, mais les cumuls n'ont pas atteint des niveaux critiques - à basse altitude une petite pluie a même tassé la neige - et les avalanches se sont arrêtées en forêt.

- Plus récemment, l'hiver 2005 a été particulièrement neigeux à basse altitude : deux mois d'enneigement à St-Laurent-du-Pont à seulement 400 m d'altitude ! Les routes ont été touchées périodiquement par des avalanches à basse altitude, notamment la « route des Gorges » de St-Pierre-de-Chartreuse vers le Pont de La Molière (à 700 m). Les plus grosses coulées se sont produites dans la nuit du 6 au 7 mars, 70 cm de neige cumulée en 2 jours par flux de nord-nord-ouest s'étaient alors déposés sur un manteau neigeux avoisinant 80 cm d'épaisseur.

Massif de l'Oisans

- Durant l'hiver 1970, les chutes de neige ont été très importantes en Oisans également, avec de très fortes hauteurs de neige sur les glaciers, mais n'ont pas atteint les cumuls critiques de la proche Savoie. En fonds de vallée, des restes d'avalanches « tiendront » jusqu'en milieu d'été, il faudra creuser des tunnels sous la neige pour atteindre La Bérarde !

- En février 1978, à la suite de 4 jours de chutes de neige poudreuse dans un flux de nord-ouest, des routes furent coupées, à Ornon et Clavans notamment.

- Janvier 1981 : des perturbations d'ouest à nord-ouest, particulièrement actives sur notre département, ont donné d'importants cumuls jusqu'à basse altitude : souvent 2 m du 13 au 20 janvier, et 1 m d'accroissement au sol. Ces chutes importantes ne firent aucune victime mais de gros dégâts matériels, avec une quarantaine de bâtiments endommagés ou détruits entre les massifs des Grandes Rousses et l'Oisans : Clavans, La Morte, Ornon (Taillefer), La Salette-Fallavaux (Beaumont).

- Février 1984 (6-9) et janvier 1986 : toujours des épisodes perturbés conséquents par flux d'ouest à nord-ouest. Certaines habitations d'Ornon furent touchées par le souffle d'avalanches de poudreuse : toitures ou cheminées détruites au Rivier d'Ornon notamment.

- L'hiver 2000/2001 a été fortement arrosé et enneigé du mois d'octobre au mois de juin, avec de fréquentes perturbations de sud à sud-ouest. Le manteau neigeux fut particulièrement épais au printemps, dépassant 5 m à la station Nivôse de Bonne-Pierre aux pieds des Ecrins et atteignant 7 m au refuge de la Pilatte à 2570 m d'altitude. De grosses avalanches se sont produites en haute montagne, mais peu de dégâts furent signalés dans les basses vallées.

III – 2) Analyses des données EPA

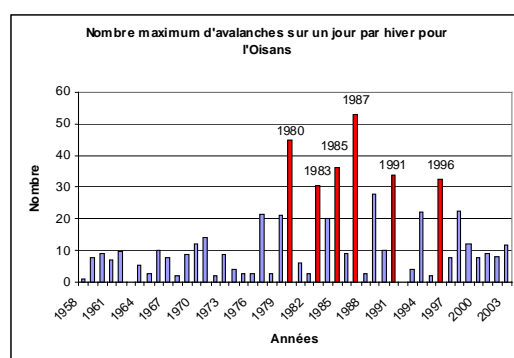
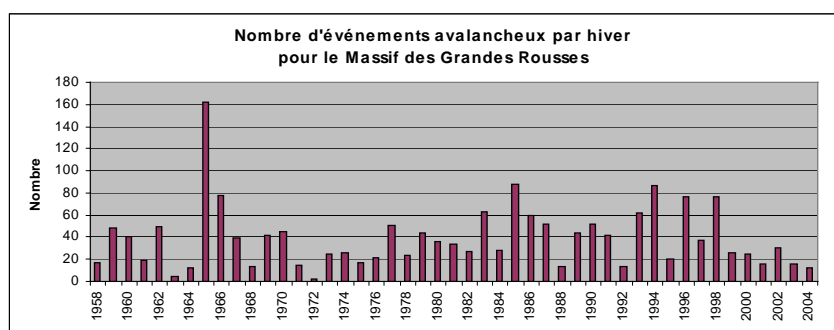
Comme nous l'avons déjà indiqué le Cémagref, les données EPA sur l'Isère sont de qualités très moyennes, voire mauvaises pour de nombreuses communes et pour des saisons anciennes (années 60-80). Aussi, compte tenu de la faible activité avalancheuse observée en Chartreuse et Vercors et du manque d'informations EPA pour ces deux massifs, notre étude relative aux périodes avalancheuses n'a pu porter que sur les 3 massifs PRA d'altitude, Belledonne, Oisans, et Grandes Rousses, tout en sachant que même sur ces 3 massifs les observations sont parcellaires pour certaines communes. Notons que des informations sur la qualité des observations sont partiellement fournies par les fichiers « toilettages » spécifiques à chaque commune.

Lorsqu'un observateur n'est pas sûr de lui sur le jour du départ d'une avalanche, il saisit 2 dates définissant ainsi un intervalle temporel à l'intérieur duquel l'avalanche s'est normalement produite. Nous avons donc fait le choix de ne prendre en compte que les avalanches pour lesquelles l'imprécision était limitée à 3 jours. Comme nous travaillons au pas quotidien, les événements ayant ce type d'incertitude ont été répartis journalièrement, affecté d'un coefficient de pondération inversement

proportionnel à la durée de l'intervalle temporel afin de conserver le nombre total d'avalanches. Ainsi, si une avalanche est mentionnée entre j et j+2, elle sera en fait comptabilisée avec la valeur $1/3 = 0,33$ pour chacun des 3 journées j, j+1 et j+2. (valeur 0,5 si mentionnée entre j et j+1).

De plus, en Isère, la répartition par commune de l'EPA est loin de coïncider avec le découpage des massifs PRA de Météo-France. De nombreuses communes sont ainsi à cheval sur deux massifs, et il aurait fallu classer les sites ou couloirs de ces communes au moins en fonction de leur exposition et localisation. Malheureusement cette information n'existe pas dans le fichier des événements, et nécessitait une recherche détaillée à partir des fichiers des caractéristiques de site et des cartes correspondantes, qui aurait été très lourde et peu réalisable dans le cadre de cette étude. Nous avons donc affecté chaque commune dans sa totalité à un des 3 massifs, après avis du Cémagref pour des cas litigieux. Pour les 3 communes de Savoie (St Jean d'Arves, St Sorlin d'Arves et Valloire) qui sont partiellement sur le massif des Grandes Rousses, le problème était différent car elles représentent un nombre considérable d'avalanches (surtout Valloire) par rapport aux autres communes de ce massif. Ne pouvant faire aisément un classement au niveau des sites, nous avons pris en compte chaque observation de ces 3 commune, mais en les affectant d'un coefficient 0,5.

Nous avons d'abord axé notre analyse des données EPA sur les dates et nombres quotidiens d'événements (répartis par massifs), dans un souci d'identification des périodes avalancheuses. Divers analyses et graphiques ont ainsi été réalisés concernant par exemple le nombre d'événements annuel par massif, le nombre maximum d'avalanches observées sur une seule journée ou encore la recherche des périodes correspondant à de nombreuses observations. Pour illustrer ces 3 types d'analyses, nous présentons deux graphiques (figure 5a – 5b) et un tableau ; l'année correspond toujours au début de l'hiver, ainsi 1986 se rapporte à l'hiver 85-86. Le premier graphique correspond au nombre d'événements observés par hiver sur les Grandes Rousses et montre l'importance de certains hivers au titre de ce paramètre. Sur le deuxième graphique sont reportées les hivers pour lesquels l'EPA enregistre le plus grand nombre d'observations en une seule journée dans l'Oisans.



Figures 5a – 5b : activité avalancheuse d'après l'EPA

Si on retrouve une cohérence entre ces données pour les années postérieures à 1980, on note cependant une différence pour les dates antérieures : ceci résulte de la mauvaise qualité des observations dans les

communes de l'Isère, mais qui est corrigé pour les Grandes Rousses par la bonne qualité des communes de Valloire, St Sorlin ou St Jean d'Arves, même si ces communes sont prises avec un coefficient de 0,5.

Périodes ou journées qui ressortent le plus en terme d'activité avalancheuse pour l'Oisans :

| Avalanches | Jours | Mois | Années |
|------------|---------------|-------|--------|
| 40 | 18 AU 24 | 3 | 71 |
| 30 | 2 AU 4 | 2 | 78 |
| 22 | 15 AU 17 | 2 | 78 |
| 32 | 22 AU 25 | 1 | 80 |
| 21 | 4 | 2 | 80 |
| 45 | 20 | 1 | 81 |
| 44 | 22 AU 26 | 1 | 84 |
| 46 (1) | 7 AU 9 | 2 | 84 |
| 20 | 5 | 3 | 85 |
| 58 (2) | 23 AU 25 | 1 | 86 |
| 91 (3) | 17 AU 26 | 2 | 86 |
| 38 | 8 AU 14 | 2 | 88 |
| 72 (4) | 18 AU 20 | 3 | 88 |
| 67 | 12 AU 17 | 2 | 90 |
| 24 | 16 AU 19 | 2 | 91 |
| 36 (5) | 21 AU 22 | 12 | 91 |
| 36 | 22 AU 24 | 1 | 95 |
| 64 (6) | 29/11 AU 5/12 | 11/12 | 96 |
| 32 | 28 AU 29 | 1 | 99 |
| 22 | 7 AU 9 | 2 | 99 |
| 27 | 20 AU 22 | 4 | 99 |
| 30 | 12 AU 19 | 1 | 04 |

- (1) 31 avalanches le 08/02/1984
- (3) 36 avalanches le 24/02/1986
- (5) 34 avalanches le 22/12/1991

- (2) 30 avalanches le 23/01/1986
- (4) 53 avalanches le 18/03/1988
- (6) 33 avalanches le 29/11/1996

Sur le graphique suivant (figure 6) sont reportés, par massif, les distributions du nombre quotidien d'observations d'avalanches EPA, pour les journées a priori avalancheuses ; c'est à dire avec plusieurs observations quotidiennes. Nous avons environ 60 cas ou journées pour lesquelles on a observé au moins 8 avalanches en Oisans et Grandes Rousses et environ 40 cas avec au moins 7 avalanches sur Belledonne. Après avoir effectué différents recoupements en se référant à quelques périodes avalancheuses bien connues, nous avons retenu ces valeurs seuils de nombre quotidien d'avalanches pour la recherche automatique dans l'EPA des périodes avalancheuses importantes.

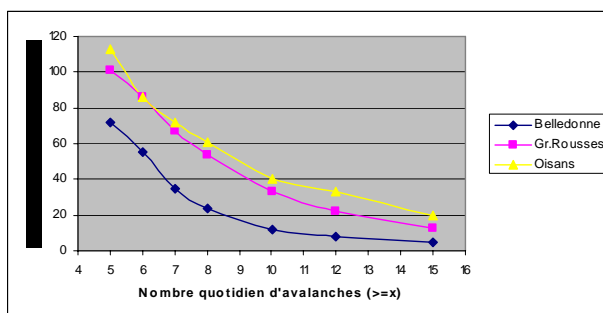


Figure 6 : Distribution du nombre quotidien d'avalanches pour les 3 massifs d'après l'EPA

III - 3) Analyse comparative entre l'Indice d'Activité Avalancheuse par massif (IAA) et l'EPA

L'indice IAA n'existe que depuis 1990 ; mais il n'est calculé que si au moins la moitié des postes du massif fonctionne et si au moins 2 postes fonctionnent; d'où des manques importants notamment pour le massif de l'Oisans.

Différents tests ont été réalisés pour comparer cet Indice IAA et le nombre d'avalanches donné par l'EPA ; mais les résultats n'ont guère été encourageants. En effet les points d'observation du réseau nivo-météorologique sont loin de correspondre géographiquement avec ceux de l'EPA et ne couvrent pas l'ensemble des massifs. A ceci s'ajoute le fait que les premiers dépendent généralement de stations de sports d'hivers et observent plutôt des avalanches en altitude ; alors que les observateurs de l'EPA vont mieux observer des avalanches atteignant des fonds de vallée ou éventuellement des routes, notamment lors de fort redoux, de pluie ou de fortes chutes de neige.

Le meilleur tableau de cohérence (tableau ci-dessous) correspond au massif des Grandes Rousses, mais ne peut porter que sur 227 journées (journées où il y a à la fois une observation d'avalanche et une valeur pour l'IAA) .

| IAA | EPA |]0.0 - 1.2] |]1.2 - 2.4] |]2.4 - 3.6] |]3.6 - 4.8] | >= 4.8 - |
|---------|-----|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|
|]0 - 2] | | 108 | 23 | 17 | 7 | 8 |
|]2 - 4] | | 17 | 7 | 4 | 3 | 1 |
|]4 - 6° | | 6 | 3 | 3 | 2 | 2 |
|]6 - 8] | | 3 | 1 | 2 | 1 | 0 |
| >8 | | 2 | 0 | 3 | 1 | 3 |

Si on admet un décalage temporel possible en prenant par exemple ,
 $IAA(j) = \text{MAX}[IAA(j-1) , \dots , IAA(j+1)]$

le tableau s'améliore très légèrement pour les IAA et EPA forts, mais au détriment évidemment des cas à faibles valeurs d'EPA.

Sur la figure suivante (figure 7) sont reportées les valeurs quotidiennes de l'IAA et de l'EPA du massif des Grandes Rousses au cours de l'hiver 98-99 ; hiver marqué par une forte activité avalancheuse et qui donne les meilleurs synchronisations entre ces deux valeurs ; n'apparaissent que les valeurs égales ou supérieures à 1.

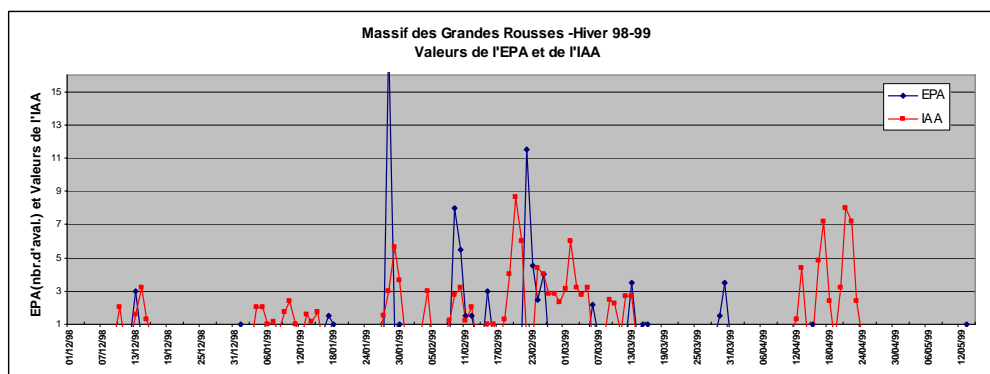


Figure 7 : Observations EPA et Valeurs de l'IAA au cours de l'hiver 98-99 pour le massif des Grandes Rousses

III - 4) Analyse comparative entre l'Indice d'Instabilité Mepra (IIM) et l'EPA

L'Indice d'Instabilité Mepra (IIM) est issu du dernier module de la chaîne massif SCM. Les comparaisons faites entre l'IIM et l'EPA ont conduit à des résultats plus intéressants que précédemment, comme le montrent les tableaux de contingence suivants, relatives à la période postérieure à novembre 1990 pour les Grandes Rousses et l'Oisans (période correspondant à une meilleure qualité globale de l'EPA).

| IIM EPA |]0.0 - 1.6] |]1.6 - 3.2] |]3.2 - 4.8] |]4.8 - 6.4] | >= 6.4 - |
|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|
|]0 - 2] | 196 | 28 | 14 | 1 | 2 |
|]2 - 4] | 34 | 9 | 4 | 0 | 1 |
|]4 - 6° | 8 | 8 | 3 | 2 | 1 |
|]6 - 8] | 4 | 2 | 3 | 0 | 2 |
| >8 | 3 | 3 | 2 | 3 | 7 |

Tableau pour les Grandes Rousses (340 journées)

| IIM EPA |]0.0 - 1.6] |]1.6 - 3.2] |]3.2 - 4.8] |]4.8 - 6.4] | >= 6.4 - |
|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|
|]0 - 2] | 54 | 14 | 8 | 0 | 0 |
|]2 - 4] | 16 | 7 | 6 | 3 | 3 |
|]4 - 6° | 7 | 6 | 5 | 1 | 1 |
|]6 - 8] | 0 | 2 | 1 | 0 | 1 |
| >8 | 3 | 6 | 4 | 1 | 7 |

Tableau pour l'Oisans (156 journées)

Ces 2 tableaux de contingence montrent que les quelques journées de fortes valeurs IIM correspondent généralement à une forte activité EPA, avec une *discontinuité* à partir de $IIM \geq 6.4$.

On note également une amélioration sensible pour les classes des fortes valeurs (EPA et IIM) si on prend pour IIM(j) le Max des 3 jours centrés (entre j-1 et j+1).

Si on examine plus en détails les journées associées à des valeurs de IIM fortes et d'EPA faibles, on remarque qu'elles sont assez rares et qu'elles correspondent essentiellement à 2 cas de figures :

- soit à une période de forte observation d'avalanches, mais cette journée (à IIM fort) est décalée dans le temps par rapport à la journée d'EPA forte ;

- soit à une journée « isolée » ayant une valeur IIM forte, mais qui ne correspond pas à des valeurs fortes de IIM sur plusieurs jours, comme on le constate pour des épisodes importants comme par exemple en février 1990, novembre 1996, février 1999, ... Ce type de journée « isolée » peut être consécutive à une analyse SCM inexacte ou, par exemple, à une journée pouvant ponctuellement conduire à de l'instabilité.

Par contre, on relève un certain nombre de journées avalancheuses avec des valeurs de IIM plutôt faibles : ces cas sont plus délicats à analyser. Ils peuvent être liés à une sur-estimation de la cohésion de la neige dans SCM, mais aussi à des effets terrain et du vent qui peuvent conduire localement à des répartitions irrégulières de neige, que SCM ne peut prendre en compte. Ceci mériterait une étude spécifique.

La comparaison (tableau de contingence) entre IAA et IIM n'a pas donné de bons résultats.

III - 5) Sélection des périodes avalancheuses importantes

On a ainsi trouvé pour certains épisodes avalancheux une cohérence entre l'EPA et l'IIM, et parfois avec l'IAA ; mais cette cohérence doit souvent être regardée sur une période glissante de quelques jours ; ceci est en partie lié aux décalages temporels pouvant exister dans les définitions de ces 3 paramètres.

l'IAA et l'EPA sont certes mal corrélés et ne comptabilisent pas toutes les avalanches ; mais, quand ils ont des valeurs fortes un jour donné, suite à de nombreuses observations d'avalanches, ils représentent une vérité d'information que l'on peut prendre en compte.

Les résultats concernant IIM sont plus délicats à interpréter. Sur la période teste postérieure à 1990, on note que des journées à fortes valeurs de IIM (IIM supérieur à 6,7) peuvent être associées à des périodes avalancheuses, à condition que ces fortes valeurs ne se retrouvent pas sur une journée « isolée ». Mais une valeur faible de IIM n'est pas forcément une garantie de faible activité, comme on a pu le constater : ceci peut venir du mode de calcul de IIM, qui le rend plus sensible à certains paramètres nivo-météorologiques.

Ces analyses comparatives nous ont conduit finalement à définir une méthode de *recherche automatique des journées ou périodes avalancheuses importantes*, en combinant les informations issues des 3 fichiers, à partir des critères suivants

D'abord en recherchant pour chaque massif les journées répondant à un des 3 critères suivants :

$$\begin{aligned} & \text{EPA}(j) \geq 7 \quad \text{ou} \quad \{ (\text{EPA}(j-1) + \text{EPA}(j)) \geq 12 \text{ et } \text{Epa}(j) < 7 \} \\ & \text{IAA}(j) \geq 6 \\ & \text{IIM}(j) \geq 6.7 \text{ et } \{ \text{IIM}(j-1) \text{ ou } \text{IIM}(j+1) \} \geq 5.5 \end{aligned}$$

Puis, les séries de journées jugées avalancheuses, relatives aux 3 massifs, ont été regroupées en périodes de plusieurs jours en fonction de la continuité (ou d'un intervalle réduit) entre ces journées.

On a ainsi identifié automatiquement sur ces 45 hivers 120 périodes avalancheuses; qui peuvent correspondre à plusieurs journées bien avalancheuses et concerner un ou plusieurs massifs. Cette sélection a été utilisée dans le cadre des analyses présentées au chapitre suivant.

Les épisodes remarquables mentionnés précédemment se retrouvent assez bien dans la liste de ces périodes ainsi sélectionnées.

IV - Analyses des caractéristiques nivo-météorologiques des périodes avalancheuses importantes

Dans le cadre de ce chapitre, nous avons analysé différents aspects : la caractérisation des épisodes avalancheux, la spatialisation de l'activité avalancheuse dans la mesure du possible et des aspects liés à la PRA .

IV – 1 Analyses en composante principales (ACP) à partir des données EPA

L'objectif de ces ACP était de voir si des regroupements entre les activités avalancheuses de certaines communes pouvaient être mis en avant, à partir de ces données de l'EPA.

Les analyses ont d'abord été réalisées pour chaque massif ; mais compte tenu de la grande variabilité du nombre d'avalanches observées selon les communes, nous avons dû faire quelques regroupements préalables pour avoir des répartitions plus équitables. Ainsi dans l'Oisans, les données d'Oulles et Ornon ont été réunies, celles de La Morte avec Lavalpens, Dans les Grandes Rousses, on a réuni Besse, Huez et Clavans vu le faible nombre d'observations pour chacune de ces communes. Malgré la qualité moyenne des données EPA, ces analyses, à travers les cercles de corrélation (voir figures 8a et 8b ci-après), ont mis en relief des regroupements bien distincts au sein d'un même massif PRA. Ces regroupements sont logiques géographiquement et n'impliquent pas automatiquement des communes ayant le même observateur (vérification faite pour les années récentes).

On notera pour l'Oisans la séparation entre les communes de l'Est (Mont de Lans, St Christophe..) et celles du Sud-Ouest (Chantelouve, Le Perier...), qui illustre bien la non homogénéité de ce massif PRA au niveau des avalanches.

L'analyse sur les Grandes Rousses fait également bien apparaître les répartitions géographiques et sa non homogénéité, avec 3 à 4 groupes : Valloire a finalement un comportement distinct de St Sorlin / St Jean d'Arves ; quant à Villard d'Arène et La Grave ils forment un groupe bien spécifique .

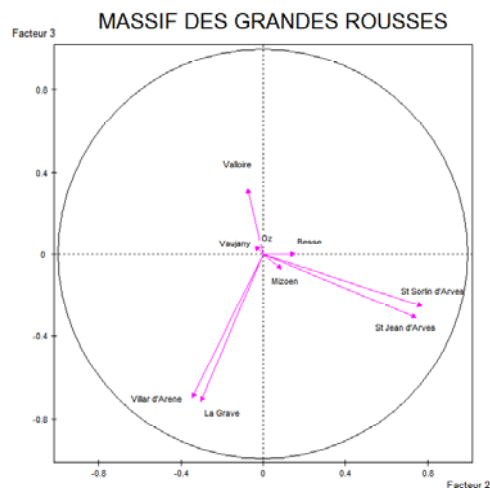
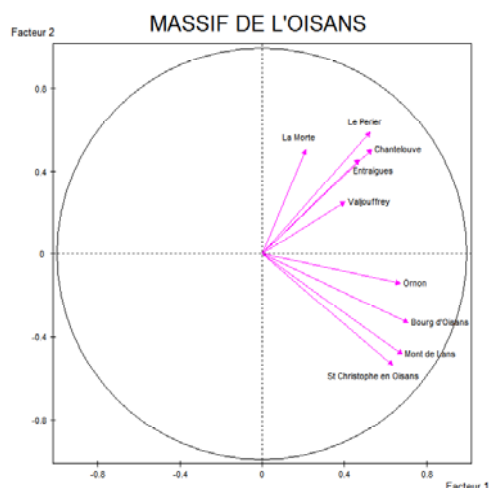


Figure 8a et 8b :ACP, représentation des communes en fonction des axes principaux :F1 et F2 pour l'Oisans ; F2 et F3 pour les Grandes Rousses

Nous avons par la suite réalisé une ACP globale sur les 3 massifs, mais sans utiliser Valloire qui avait un poids important (vu son nombre d'observations) et qui pouvait fausser l'analyse. Cette ACP a porté sur 22 communes (ou groupes de communes). En utilisant une distance euclidienne pour évaluer les distances inter communes ou regroupements, on a obtenu une répartition en plusieurs classes : certaines classes correspondent aux classements déjà trouvées avec les ACP propres à chaque massif ; mais d'autres classes rassemblent des communes appartenant (ou affectées) à des massifs différents. Ainsi, Besse et Mizoën se retrouvent avec Mont de Lans et St Christophe ; Livet-Gavet et Allemond se retrouvent avec Oz et Vaujany.

Ces résultats sont intéressants et montrent la non homogénéité des massifs PRA au niveau de l'activité avalancheuse, des pistes pour des développements ultérieurs et la complexité d'une analyse précise en zones de montagne.

IV - 2 Analyses des conditions nivo-météorologiques associées aux périodes avalancheuses

Le manque de données précises sur l'activité avalancheuse et l'absence d'informations pour évaluer localement les effets du vent (au niveau des dépôts) ou tenir compte des purges antérieures ne permettent évidemment pas d'effectuer des analyses à une échelle fine (d'une commune ou d'un couloir) ; d'autant que les conditions nivo-météorologiques peuvent être extrêmement variables selon les sites avalancheux, les expositions et la topographie, alors que nos données correspondent à des simulations SCM à l'échelle du massif.

Suite à l'hiver 1999, le CEN avait déjà publié une Note de Centre du CNRM (N°14- octobre 99) présentant une analyse spécifique comparative entre quelques épisodes marquants du passé dans les Alpes du Nord (notamment février 99, 94, ...), en s'appuyant sur des mesures du réseau nivo-météorologique.

Dans le cadre de cette étude, nous avons cherché à dresser une climatologie des conditions nivo-météorologiques relatives aux périodes avalancheuses importantes (selon notre sélection) mais en regroupant ces périodes en différentes classes, pour pouvoir obtenir des résultats climatologiques plus homogènes selon les conditions d'avalanches. En effet, quand on regarde toutes ces épisodes avalancheux, on note que ces avalanches dépendent de 2 types de conditions d'instabilité (accumulation

de neige ou perte de cohésion suite à de la pluie ou à un redoux) et peuvent se répartir selon 3 ou 4 grandes classes, en fonction des situations nivo-météorologiques :

Classe 1 : forte précipitations de neige plutôt froide ; situations qui peut logiquement conduire à des départs à toutes altitudes.

Classe 2 : épisode de neige froide suivi d'un épisode de pluie à haute altitude (ou éventuellement d'un fort redoux) ; situation qui conduit à une déstabilisation importante et rapide de la neige récemment déposée.

Classe 3 : épisode de neige plus ou moins lourde (ou de neige et pluie – ou suivie de pluie) ; situation plus complexe qui peut aussi bien entraîner une déstabilisation de la neige à basse altitude (si l'épaisseur au sol est conséquente) mais aussi conduire à des accumulations de neige en altitude.

Classe 4 : épisode de fort redoux ou de pluie à haute altitude, hors période de neige récente ; situation que l'on retrouve plutôt au printemps et qui devrait surtout correspondre à des départs en altitude.

Certes, comme on le verra ultérieurement, l'épaisseur de neige au sol et le vent jouent naturellement des rôles très importants.

Rappelons que le principe d'une classification, mais pour discriminer les périodes avalancheuses des périodes non-avalancheuses sur la Tarentaise, a déjà été utilisé par le CEN dans les années 90 pour les Jeux Olympiques d'Albertville.

Dans le cas présent, nous avons calé notre classification à partir des paramètres nivo-météorologiques de la chaîne SCM (valeurs pour le plat) à 1800m; niveau qui semble assez représentatif, par rapport aux altitudes de départ des avalanches.

Nous avons retenu un processus de classement aussi simple que possible, basé sur les températures moyennes, sur les sommes des cumuls des précipitations RRtotal et RRneige.

Le distinguo entre les classes 2 et 3 est basé sur les variations de Tj et du rapport quotidien (RRneige / RRtotal).

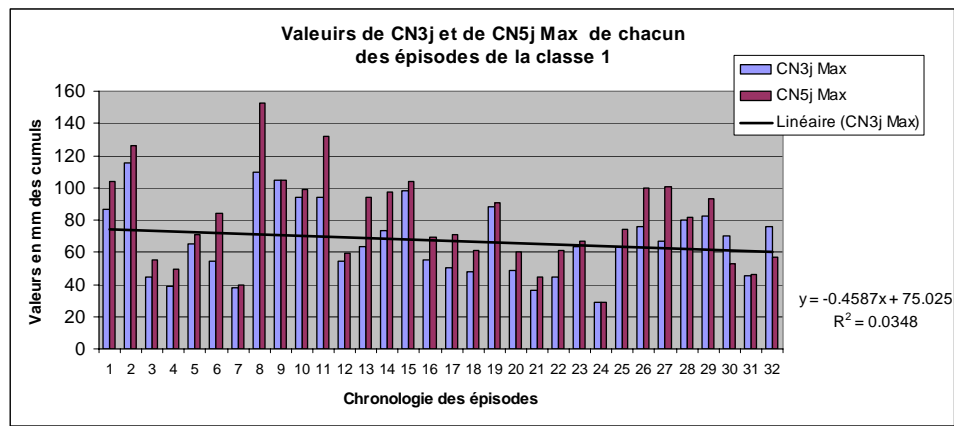
A partir de ce mode de classification, nous avons analysé, pour chacun des 3 massifs, les périodes avalancheuses sélectionnées, en essayant de dégager des éléments de synthèse climatologiques reflétant l'ensemble des épisodes avalancheux homogènes et d'apporter – si possible – des informations utiles pour la PRA.

Pour illustrer cette étape de notre étude, nous présentons par la suite des résultats spécifiques au massif de l'Oisans; les analyses portent sur les épisodes avalancheux identifiés pour l'Oisans (55 au total) et sur les données nivo-météorologique (à 1800 m) issues des simulations SCM relatives à ce massif.

Analyses sur l'Oisans des épisodes de la classe 1 : épisodes chutes de neige froide

32 épisodes (sur 55) sont regroupés dans cette classe, qui correspondent à une température moyenne générale d'environ - 4,6°C (à 1800 m), et pour lesquels nous avons tracés différents graphiques représentatifs (figure 9), ainsi :

- les cumuls maximums de neige sur 3 jour ou 5 jour (CN3j et CN5j) de chaque épisode en fonction de la chronologie des épisodes de cette classe et en fonction de la hauteur de neige au sol htn (au début de l'épisode) ; les 2 graphiques montrent une certaine variabilité des valeurs; des valeurs minimales seuils (voisines de 40 mm) et l'influence de htn pour les valeurs maximales ;
- le cumul maximum (CN5j) en fonction de la température moyenne (T) sur l'épisode ; graphe qui illustre (en partie) l'influence de températures froides qui freinent la consolidation;
- le cumul maximum (CN3j) de chaque épisode en fonction du vent Max de l'épisode : répartition qui pourrait en partie être due aux purges, tassement ou dépôts au bas des pentes qui se produisent au cours des chutes de neige très ventées.



En abscisse : 10 = janvier.78

20 = février 86

28 = janvier 99

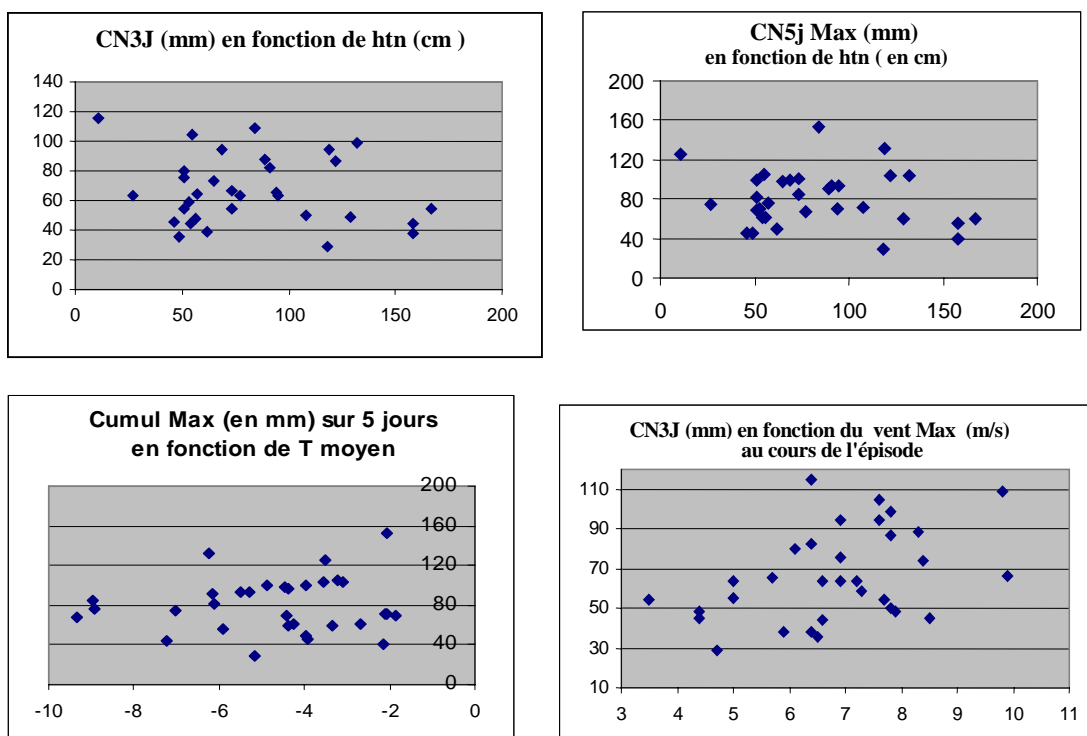


Figure 9 : graphiques relatifs aux épisodes avalanches de la classe 1, pour le massif de l'Oisans (épisodes chutes de neige froide)

Au cours de ces différents épisodes de neige récente, les accumulations quotidiennes peuvent être intenses et brèves, étalées sur plusieurs jours ou sous forme de plusieurs épisodes discontinus mais rapprochés. Les 2 figures suivantes (figure 10a et 10 b) sur lesquelles ont été reportés les précipitations quotidiennes et les cumuls, et positionnées les journées de crue avalancheuse correspondent à 2 types d'épisodes :

La figure 10 a correspond à des épisodes avec des durées d'accumulation assez longues ou rapprochées (2 à 3 jours) et une température qui reste froide, limitant la consolidation. C'est souvent lors d'un deuxième pic de précipitation (assez rapproché) que survient la crue avalancheuse. Ce processus apparaît sur de nombreux épisodes de cette classe, dans laquelle se retrouvent les périodes avalanches très importantes mentionnées au chapitre III.

La figure 10 b illustre plutôt les cas de précipitations plus intenses et de durée plus courte : ces 2 épisodes de janvier 81 et 84 ont été accompagnés de vent fort et de températures froides.

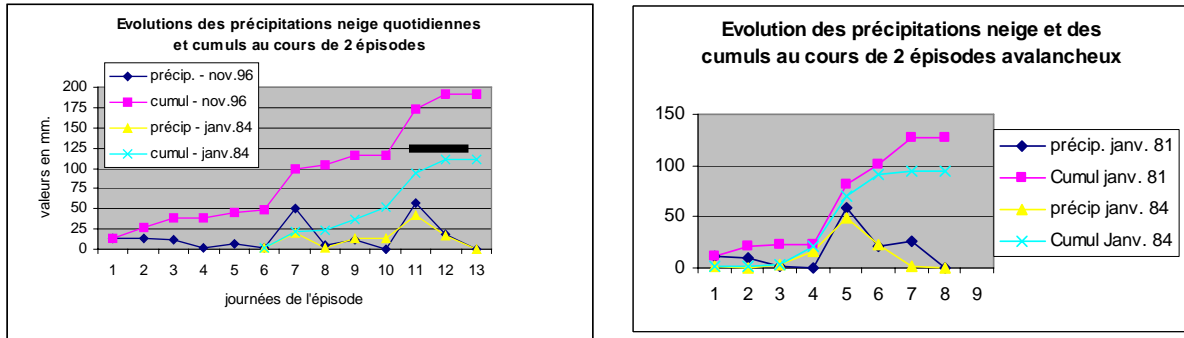


Figure 10 a (à gauche) et 10 b : évolutions des précipitations neige (en mm) et des cumuls au cours de plusieurs épisodes avalancheux de la classe 1

Analyses sur l'Oisans des épisodes de la Classe 2 : neige froide, puis pluie marquée à haute altitude

Deux épisodes cette classe 2 sont présentés ci-dessous (figure 11). C'est au moment de l'arrivée de la pluie (à 1800 m et plus haut) que se produit la crue avalancheuse, avec une réponse rapide du manteau neigeux et généralement un nombre important d'avalanches. Ce type de situation n'est pas toujours aussi claire et peut s'apparenter dans certains cas à des situations de neige lourde ou de neige et pluie selon les fluctuations de la limite pluie-neige et l'enneigement initial.

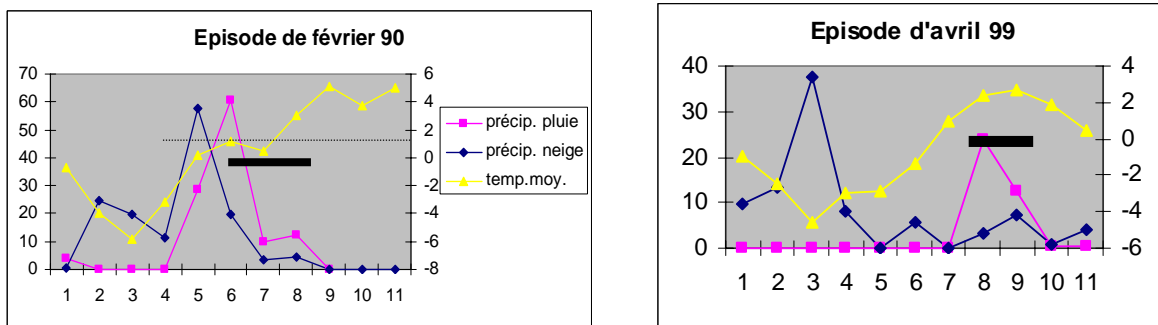


Figure 11 : évolution des précipitations neige, des précipitations pluie et de la température pour deux épisodes avalancheux de la classe 2

Analyses sur l'Oisans des épisodes de la Classe 3 : épisode de neige et pluie ou neige lourde

Le graphe ci-dessous est un exemple de ces situations où nous avons un deuxième épisode de neige et pluie (ou neige lourde selon l'altitude) qui est l'élément déclencheur ; la précipitation liquide est relativement faible et on peut penser qu'elle doit conduire à des départs plutôt à basse altitude selon htn ; les départs à haute altitude dépendront des cumuls. Pour les épisodes rentrant dans cette classe, on relève des situations un plus hétérogènes.

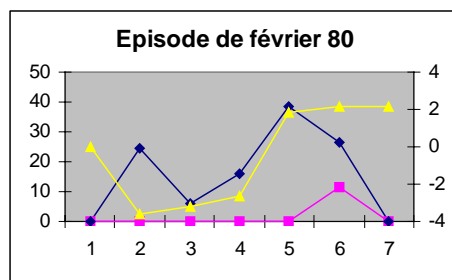


Figure 12 : évolution type pour un épisode de la classe 3

Analyses sur l’Oisans des épisodes de la Classe 4 : épisode de fort redoux ou de pluie à haute altitude, hors période de neige récente

Peu d’épisodes (5) de cette classe parmi les 55 sélectionnés et surtout en avril. On relève des températures moyennes de 6° et plus à 1800 m sur plusieurs jours et, pour 2 situations des pluies à haute altitude ; ces 2 dernières situations sont celles (parmi les 5) qui présentent le plus d’observations EPA.

IV-3 Analyses spécifiques

Différentes analyses spécifiques ont été tentées en essayant d’examiner par exemple si les informations d’altitudes de départ et d’arrivée des avalanches (EPA) pouvaient être exploitées efficacement en fonction des situations nivo-météorologiques relatives aux différentes classes, et notamment pour évaluer des correspondances entre les altitudes minima d’arrêt des avalanches et les conditions nivologiques.

En nous appuyant sur quelques communes disposant d’un nombre importants d’observations d’avalanches, nous avons dissocié les journées avalancheuses en fonction des altitudes de départ et d’arrivée propres à chaque couloir ou site de ces communes. Ainsi par exemple, l’analyse des journées associées à des départs à haute altitude et des arrivées au voisinage de l’altitude la plus basse observée (pour un couloir donné) semble plutôt correspondre à des périodes de neige froide et à un enneigement à basse altitude. En fait ce type d’analyses n’est possible que pour quelques couloirs et l’intérêt des résultats reste très limité avec les données EPA de l’Isère.

Partant des critères mis en avant au cours de cette étude (seuils de cumuls et des températures selon les classes), on a regardé si on pouvait détecter une évolution climatologique dans l’activité avalancheuse au vu de cette série de données. On ne peut évidemment pas directement s’appuyer sur l’activité avalancheuse compte tenu de son imprécision, mais on peut au moins analyser, si au cours de cette période d’étude de plus de 45 ans, la fréquence d’apparition de certains épisodes types (de la classe 1 ou 2 par exemple) évolue plus ou moins. Nous avons ainsi recherché sur toute la période de l’étude (de 1958 à 2004) les dates où apparaissaient des épisodes de 5 jours avec des températures froides et des cumuls de plus de 60 mm à 1800 m, caractéristiques moyennes de la classe 1. Sur le graphique (figure 13), qui illustre le résultat de cette recherche sont reportés les cumuls uniquement pour les numéros de journées répondant à ce critère. Les numéros de date en abscisse correspondent à leur chronologie ; ainsi :

1000 = 12 - mars - 1969 2000 = 1- janvier- 1980 3000 = 24 -avril -1990

Aucune tendance particulièrement ne ressort de ce graphique sur la fréquence de tels épisodes, et donc a priori sur la fréquence d’avalanches liées à de telles conditions. Tout au plus peut on dire que les valeurs des cumuls sur 5 jours consécutifs ont présenté des maximums élevés vers les années 60 ou 70-80.

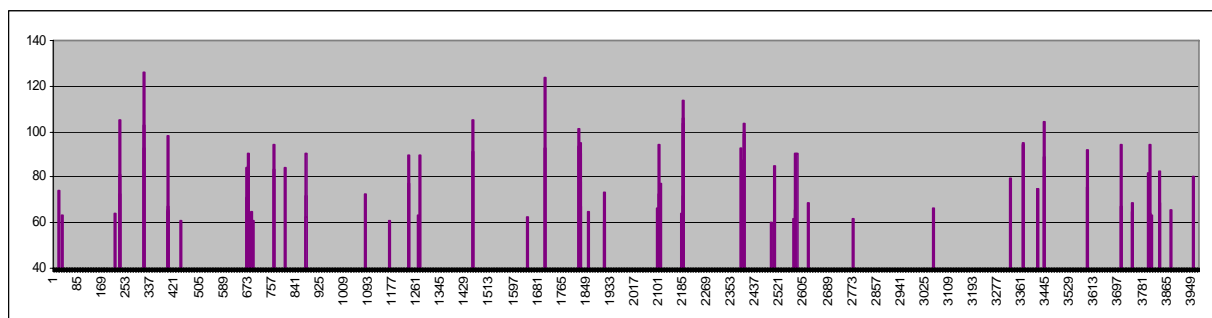


Figure 13 : Chronologie des numéros de journées correspondant à cumuls supérieurs à 60 mm – Massif de l’Oisans 1800 m.

En poursuivant dans cette optique, nous avons également représenté graphiquement (figure 14 a et b) la chronologie des journées du passé qui répondaient à des critères caractéristiques de la classe 1 (cumuls de précipitations importants et températures froides) et de la classe 2 (neige froide, puis pluie marquée à haute altitude): l'abscisse correspond au rang d'apparition de chaque journée et l'ordonnée à son rang dans la série chronologique des # 9000 journées.

Pour plus de compréhension nous avons tracé (figure 14-c) les courbes correspondants à des fréquences respectives de 1 cas/an et de 2 cas/an, sachant que y # 3000 correspond à l'année 1973 et que y # 8000 correspond à 1995.

Les 2 courbes des figures 14 a et 14 b présentent des allures (pente) sensiblement différentes vers les années 65-70, avec un nombre plus important de cas (par hiver) de la classe 1. Par contre, on peut remarquer qu'à partir des années 85-90 (y # 6500), le nombre de cas, par hiver, de la classe 2 a sensiblement augmenté. Cette approche ne reste pour le moment qu'une piste d'étude à approfondir avec d'autres données plus complètes.

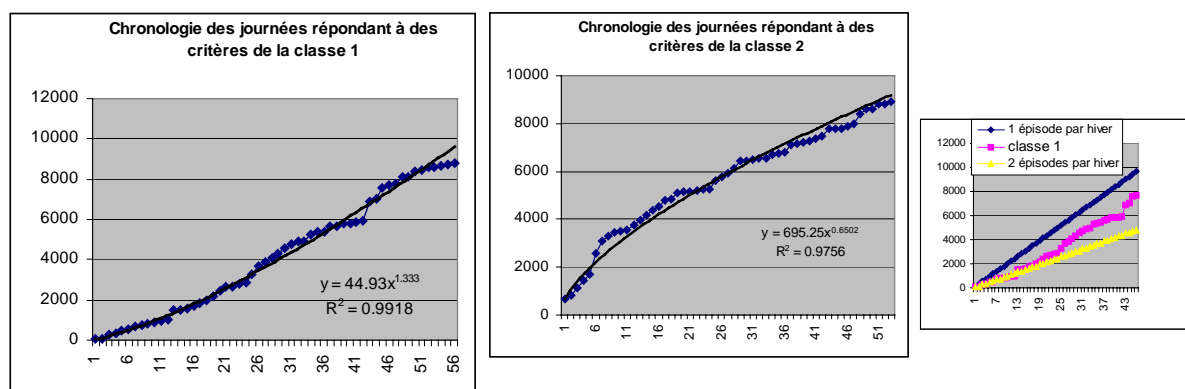


Figure 14 a , b et c : Répartition chronologique des journées du passé répondant aux caractéristiques de la classe 1 (a) et de la classe 2 (b)

Conclusion

Ce rapport final résume les différentes analyses que nous avons effectuées dans le cadre de cette étude et présente de nombreux résultats.

Malgré les difficultés rencontrées, liées à des données incomplètes d'activité avalanches sur l'Isère, nous avons cependant pu obtenir des résultats intéressants sur cette période d'étude de plus de 45 ans :

- sur la climatologie des situations nivo-météorologiques associée aux périodes avalanches naturelles importantes, mais également sur l'évolution climatologique de différents paramètres (température air, précipitations ou enneigement) qui peuvent influencer sur l'activité avalancheuse ;
- sur le développement de méthodes d'analyses, qui pourraient être applicables pour d'autres départements, et qui portent notamment sur les classifications et analyses de certains épisodes avalancheux, mais également sur des possibilités d'évaluer une évolution climatique au niveau des avalanches.

L'étude des différents épisodes fortement avalancheux du passé montre qu'ils sont assez rares et essentiellement liés à des périodes assez longues de fortes précipitations neigeuses et de températures froides ; l'existence de neige froide jusqu'en fond de vallée favorisant la dynamique des avalanches.

Même si les données EPA d'observations d'avalanches ne sont pas de très bonne qualité sur l'Isère, elles apportent néanmoins des informations utiles sur les épisodes avalancheux importants. En conclusion, on ne peut qu'émettre deux souhaits : que soient poursuivies et améliorées les observations d'avalanches et qu'une étude similaire mais plus approfondie puisse être élargie à des massifs et communes des départements limitrophes de l'Isère, qui pourraient bénéficier de données d'avalanches plus compétes.

Remerciements

Nous tenons à remercier le Conseil Général de l'Isère pour sa contribution financière à cette étude et l'intérêt qu'il porte à ces problèmes d'activité avalancheuse et d'évolution climatologique, qui peuvent avoir des conséquences importantes au niveau du département, tant sur le plan des risques naturels que des activités hivernales.

Rappelons qu'une partie de cette étude a été réalisée par **Romain Schueller** dans le cadre de son stage de fin d'étude de l'IUT2 - Département Statistiques et Traitement Informatique des Données de Saint Martin d'Hères. Stage au CEN (avril - juin 2006).

Mémoire de stage (75 pages + Annexes) : « Climatologie de l'enneigement et des situations nivométrologiques associées aux périodes avalancheuses importantes des ces 45 dernières années en Isère ».

Valorisation - communication

Ce travail a déjà partiellement servi pour une présentation du CNRM/CEN au Colloque Météo Montagne de l'Alpe d'Huez en décembre 2006 et il a fait l'objet d'une présentation à la Société Hydrotechnique de France - Section de Glaciologie-Nivologie de mars 2007 à Grenoble.

Bibliographie

- Brun E, David P, Sudul M, Brugnot G. 1992. A numerical model to simulate snow cover stratigraphy for operational avalanche forecasting. *Journal of Glaciology* 38(128): 13-22.
- Coleou C, Gendre Ch, Lesaffre et alt... Décembre 1993 . Classification des situations nivométrologiques avalancheuses. Note de Centre N° 4 du CNRM.
- Durand Y, Brun E, Mérindol L, Guyomarc'h G, Lesaffre B, Martin E. 1993. A meteorological estimation of relevant parameters for snow models. *Annals of Glaciology* 18: 65-71.
- Durand Y., Giraud G., Mérindol L. " Short term numerical avalanche forecast used operationally at Meteo-France over Alps and Pyrenees ", 1998 - *Annals of Glaciology* 26, 357-367 (Also presented at the Chamonix IGS meeting, May 97).
- Géraldine Boudart « Impact d'un changement climatique sur le risque d'avalanches dans les Alpes » Note de travail de l'ENM - N°658, Juin 1999.
- Durand Y, Giraud G, Brun E, Mérindol L, Martin E. 1999. A computer based system simulating snowpack structures as a tool for regional avalanche forecast. *Journal of Glaciology* 45(151): 469-485.
- Villecrose, Coleou C, Giraud G.... Octobre 1999 . Février 99 dans les Alpes du Nord. Note de Centre N° 14 du CNRM.
- Marchal L., Belanger Laurent « Corrélations météorologiques avec l'EPA (Enquête Permanente sur les Avalanches) »; Grenoble , CEMAGREF – UJF (IUP GMI option mathématiques appliquées) . 2003 Mémoire non publié.
- Martin Laternser, Yves Durand, Pierre Etchevers, Gérald Giraud, Bernard Lesaffre, Laurent Mérindol 45 years of climate Reanalyses in the French Alps (1958 – 2002). Part I: Methodology, model validation and Temperature-precipitation-snowfall trends. Article soumis à Publication.

Annexe

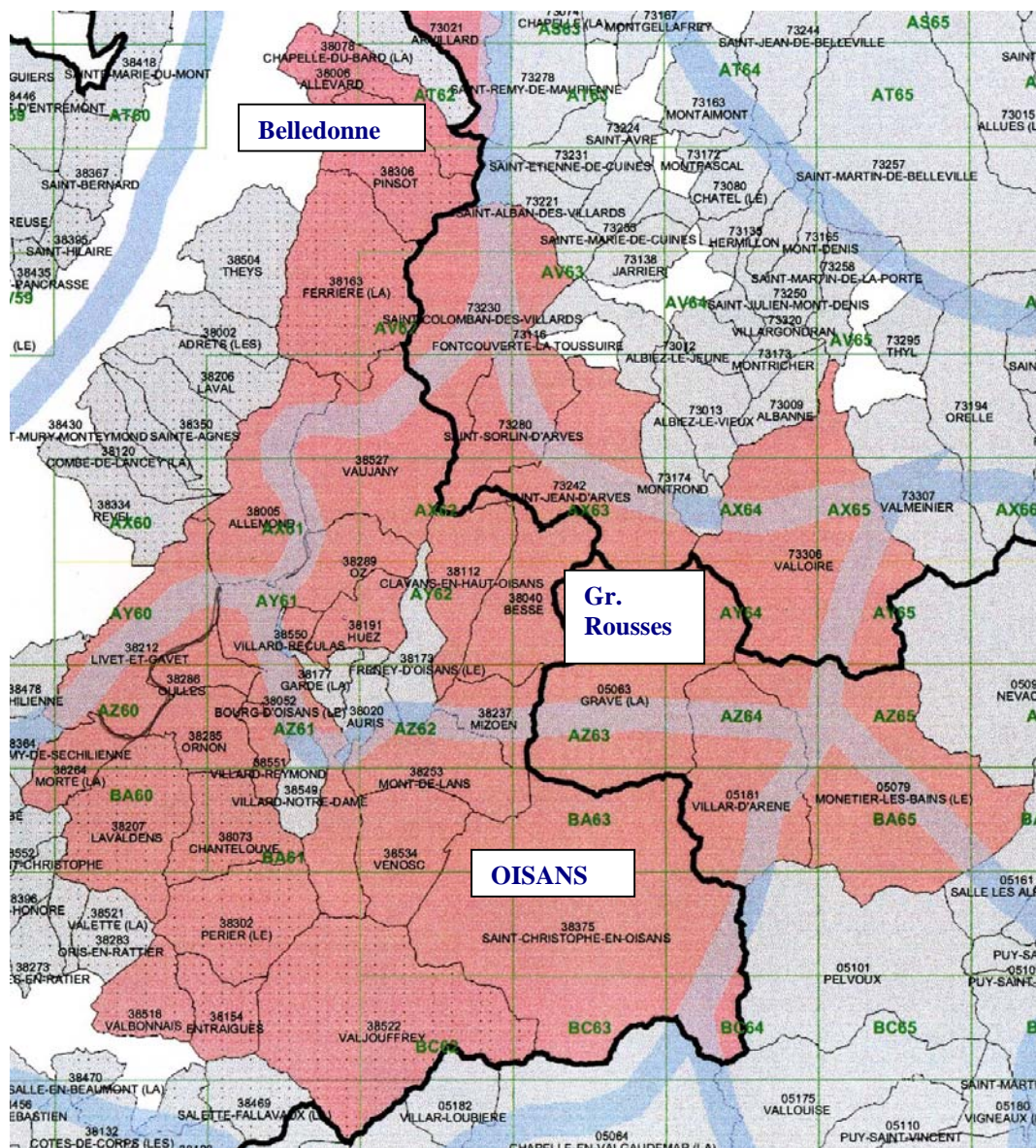


Fig 1 : Domaine de l'étude ; les limites des massifs PRA sont en trait bleu large.

Tableau I :
Liste des communes EPA, N° Insee et nombre d'événements quotidiens observés.

| Pour le massif de l' Oisans | N° Insee | Nombre d'avalanches observés |
|-----------------------------|----------|------------------------------|
| Bourg d'Oisans | 52 | 193 |
| Chantelouve | 73 | 317 |
| Entraigues | 154 | 115 |
| Lavaldens | 207 | 102 |
| Mont de Lans | 253 | 11 |
| (La) Morte | 264 | 54 |

| | | |
|-----------------|-----|-----|
| St Christophe | 375 | 165 |
| Ornon | 285 | 281 |
| Oulles | 286 | 60 |
| (Le) Perier | 302 | 206 |
| St Christophe | 375 | 165 |
| Valbonnais | 518 | 35 |
| Valjouffrey | 522 | 328 |
| Venosc | 534 | 14 |
| Villard Reymond | 551 | 26 |

Pour le massif des Grandes Rousses

| | | |
|-------------------|----------|------|
| Besse | 40 | 11 |
| Clavans | 112 | 34 |
| Huez | 191 | 15 |
| Mizoen | 237 | 108 |
| Oz | 289 | 124 |
| Vaujany | 527 | 384 |
| La Grave | 63 (05) | 519 |
| Villard d'Arene | 81 (05) | 93 |
| St Jean d'Arves | 242 (73) | 196 |
| St Sorlin d'Arves | 280 (73) | 87 |
| Valloire | 306 (73) | 1431 |

nombre total avant pondération par 0,5

“
”

Pour le massif de Belledonne

| | | |
|-------------------------|----------|-----|
| St Colmban des Villards | 230 (73) | |
| Allemond | 05 | 363 |
| Livet Gavet | 212 | 400 |
| La Ferriere | 163 | 228 |
| Pinsot | 306 | 135 |
| Allevard | 06 | 14 |
| Arvillard | 21 (73) | 3 |