



METEO FRANCE

Centre national de recherches météorologiques
Centre d'études de la neige

**Le laboratoire du Col de Porte :
historique et climatologie**

Note du Centre d'études de la neige

Pierre David et Eric Martin

CNRM/CEN, 1441 rue de la piscine, 38406 St Martin d'Hères CEDEX, France

Sommaire

Historique	3
1. Les origines	3
2. Le site du Col de Porte	4
3. Les débuts du laboratoire	5
4. Les recherches effectuées au laboratoire	6
5. L'évolution des capteurs	8
6. Acquisition et stockage des données	12
7. Le livre d'or	13
8. Conclusion	14
Bibliographie	16
 Climatologie	18
1. Températures	20
2. Précipitations	36
3. Neige fraîche	43
4. Neige au sol	54
5. Bilan des mesures météorologiques	62

Remerciements

Le travail présenté dans cette note n'aurait pu se faire sans le concours de nombreuses personnes, tout d'abord les «anciens», pour la partie historique (Edmond Pahaut et Laurent Rey notamment), les personnes chargées de la saisie, du contrôle et du stockage des données (Raymonde Blanchard, Evelyne Pougatch), l'équipe responsable du laboratoire actuellement (Yves Lejeune, Bernard Lesaffre et Marcel Sudul) et les personnes qui ont bien voulu relire le manuscrit.

Le laboratoire du col de Porte

Historique

1. Les origines

La mise en place d'un laboratoire pour l'étude de la neige au col de Porte est le résultat d'une dizaine d'années de discussions entre la Météorologie nationale, l'administration des Eaux et Forêts et le service hydrologique de la Division technique générale (DTG) d'EDF, situé à Grenoble. Le laboratoire de Glaciologie, créé par Louis Lliboutry en 1956 a également joué un rôle actif au début de l'existence du laboratoire, même s'il n'y a jamais eu de lien administratif officiel. Le "Traité de glaciologie" (Lliboutry, 1964) cite le laboratoire du col de Porte comme faisant partie du dispositif français d'études glaciologiques (étude de la neige d'hiver).

Les forestiers étaient traditionnellement intéressés par la neige et les avalanches, ils ont effectué très tôt des observations d'avalanches. Dans la région de Barèges, dans les Pyrénées un petit réseau nivométéorologique a été exploité quelques années, et, dès la fin de la deuxième guerre mondiale, plusieurs forestiers alpins et pyrénéens étaient allés à l'institut suisse pour l'étude de la neige et des avalanches (actuel IFENA) installé au Weissfluhjoch (Davos) depuis 1942.

Parallèlement, alors que la France manquait d'électricité, EDF prospectait activement la montagne à la recherche de sites propices à l'installation de barrages. Dans ce cadre, EDF était évidemment très intéressée par l'amélioration des connaissances en hydrologie nivale et glaciaire. D'après De Crécy (1994), cette convergence d'intérêt sur la neige a débouché sur la création de la section de glaciologie de la Société hydrotechnique de France (SHF) le 21 décembre 1948. Cette section reste aujourd'hui une des sections les plus actives de la SHF et se réunit une fois par an à Grenoble. Elle est un lieu de discussions entre chercheurs travaillant dans le domaine de la neige et de la glace.

Pendant ce temps, la prévision du risque d'avalanche débutait modestement à la Météorologie nationale : des bulletins étaient rédigés plus ou moins régulièrement à partir de la fin des années 40 et des études postérieures à des dégâts d'avalanches étaient faites. Une protection des travaux du barrage de Tignes a été réalisée avec EDF. Il était évident que la Météorologie

nationale ne pouvait rester longtemps en dehors des travaux de recherches français sur la neige. André Poggi, ingénieur des travaux de la Météorologie, a beaucoup œuvré pour qu'elle soit associée aux études nivologiques, que ce soit en hydrologie nivale ou dans le domaine des avalanches. Après un séjour au sanatorium de St-Hilaire du Touvet (dans le massif de la Chartreuse) pour raison de santé, il est resté dans la région et a travaillé sur le problème de la neige et des avalanches dans le cadre du Comité d'études glacio-nivologiques (CEDONIGLA). Le CEDONIGLA était à l'origine un comité informel regroupant le Laboratoire de glaciologie, la Section de recherches forestières locale, et la Météorologie nationale. Administrativement, ce comité est né beaucoup plus tard, en 1963. Il était présidé par le chef de l'Etablissement d'études et de recherches météorologiques (EERM) et était chargé de suivre et d'orienter les recherches effectuées au Col de Porte. Ce comité est aujourd'hui assoupi, mais l'esprit est resté et les organismes cités plus haut continuent à collaborer dans ce domaine. Le Col de Porte accueille régulièrement les essais de pluviographes de la DTG, celle-ci continuant à étalonner les pluviographes du parc de mesures. Une des premières études publiées par André Poggi a pour titre "L'analyse des avalanches au cours de l'hiver 1954/1955 dans la région de la Romanche et du Vénéon, et dans la vallée de Chamonix". Cette étude était faite dans le cadre du CEDONIGLA.

Les trois personnes qui ont joué un rôle important pour la création effective du Laboratoire sont :

- M. Garavel, chef de la 7ème section de recherches forestières, dépendant du Ministère de l'Agriculture, lointain ancêtre de la division nivologie du CEMAGREF (Centre national du machinisme agricole du génie rural et des eaux et forêts),
- André Poggi (EERM),
- M. Lugiez, directeur du service hydrologique de la Division technique générale (DTG) d'EDF.

Le laboratoire est créé au Col de Porte en 1959, année où l'EERM ouvre officiellement une antenne à Grenoble. André Poggi dirige le laboratoire. Il soutiendra une thèse intitulée "l'évolution de la neige déposée à moyenne altitude" grâce aux données du Col de Porte le 18 juin 1964. Il quittera rapidement l'EERM pour aller travailler une quinzaine d'années au Laboratoire de glaciologie.

2. Le site du Col de Porte

Le Col de Porte est situé dans le massif de la Chartreuse, à 1325m d'altitude. Ce site a donc le double avantage d'être près de Grenoble (une demi-heure de voiture) et de bénéficier d'un enneigement important et durable, le massif de la Chartreuse étant, comme les autres massifs des Préalpes du nord bien arrosé (2000 mm/an en moyenne). Le champ de mesures est situé sur le versant nord du col, sur une zone très peu pentue. A l'est culmine Chamechaude (2082m), à l'ouest se dresse la Pinéa (1771m), prolongée au nord par le Charmant Som (1867m). Le terrain est mis à disposition par l'Office national des Forêts qui doit aussi être remercié pour cette contribution essentielle. Le parc de mesures a une superficie de 5000 m², dont une grande partie est boisée.

3. Les débuts du laboratoire

Des mesures étaient faites de manière plus ou moins régulière sur le site depuis le milieu des années 50. Une fois la décision prise d'ouvrir un laboratoire (en 1959), les différents organismes se sont attaqués avec enthousiasme à l'instrumentation du site. Le 10 février 1960, André Poggi fait le point sur l'instrumentation du laboratoire lors de la réunion de la section de glaciologie de la SHF. Dès la saison 1960/61 un ensemble cohérent de mesures est disponible, ce qui permet à André Poggi de faire la première note de travail de l'EERM concernant le laboratoire en janvier 1961.

Le parc de mesures possède bien sûr un abri météorologique contenant un thermographe, un hygrographe à cheveux, des thermomètres à minimums et maximums. Un soin particulier a été apporté à la mesure des précipitations : les précipitations totales sont recueillies par un nivomètre totalisateur "Mougin" utilisé par EDF (de nombreux pluviomètres similaires ont été installés en montagne et sont encore visibles aujourd'hui) et un pluviographe (section 2000 cm²) chauffant à augets basculeurs (également d'origine EDF). Par la suite, un second appareil de ce type (non chauffant) a été installé. Ces deux pluviographes sont étalonnés régulièrement par EDF et sont toujours en service. Des anémomètres et girouettes sont placés à différents niveaux au-dessus de la neige sur un mât. Deux thermopiles permettent de mesurer les rayonnements solaires incident et réfléchi.

Pour ce qui concerne la neige, deux bacs destinés à mesurer l'écoulement d'eau à la base du manteau neigeux ont été placés, l'un dans la forêt, l'autre dans la prairie. L'eau de fusion était recueillie dans la cave du laboratoire et mesurée grâce à des augets basculeurs de très grande taille, qui, bien que posant quelques problèmes d'étalonnage (biais en fonction du débit), n'ont été remplacés que très récemment. Un portique de 10 m de long situé à 2,6 m du sol

supportait les instruments de mesure spécifiques à la neige. Il permettait d'aller du laboratoire au mât de mesures météorologiques (mesures de température et de vitesse du vent) sans perturber le champ de mesures. Un support permettait d'installer des thermocouples tous les 50 cm afin de mesurer la température du manteau neigeux et du sol (le pas de mesure a été affiné par la suite). Un ensemble de gros cylindres avait été placé afin de mesurer la perméabilité du manteau neigeux grâce à un dispositif de soufflerie et de mesures de pression installé dans le laboratoire. Ce système expérimental s'est semble-t-il avéré difficile à exploiter car on n'en trouve plus trace dans les rapports suivants.

Un système basé sur le principe du pont de Wheaston avait été mis au point pour mesurer le tassement des couches de neige constituant le manteau neigeux, grâce à des disques couissant sur un fil vertical résistif. Ce système, qui a donné des résultats fiables dès l'hiver suivant a été utilisé longtemps, puis abandonné avant d'être remis au goût du jour et complètement automatisé (sauf la pose des disques) en 1986.

La mesure d'épaisseur de neige était obtenue par la lecture ponctuelle de perches graduées, mais il manquait le principal : une mesure automatique de la hauteur de neige. Un appareil a été développé : il se composait d'un bras articulé en forme de parallélogramme, mobile autour d'un axe horizontal. Son extrémité est constituée d'un contacteur (appelé à l'époque "tâteur") provoquant la fermeture d'un circuit électrique lorsque celui-ci entrait en contact avec la neige. Le déplacement exact du bras était enregistré, ce qui permettait d'en déduire la hauteur de neige. Les mesures étaient effectuées toutes les trois heures. La précision était de l'ordre de 1 à 2 cm. Les problèmes rencontrés avec cet appareil étaient le givrage du mécanisme et l'enfoncement du capteur dans la neige fraîche peu dense.

Enfin, un nivomètre automatique à rayon γ conçu par EDF mesurait quatre fois par jour l'équivalent en eau de la couche déposée (atténuation du rayonnement fonction de la quantité d'eau et de glace traversée).

Le bâtiment du laboratoire était petit : 6 x 4.5 m. Il comprenait une entrée et deux pièces bien remplies, sans oublier la cave où était mesurée l'eau de fusion recueillie dans les bacs. On y trouvait un onduleur (complété ensuite par un groupe électrogène), les ventilateurs, manomètres et débitmètres pour la mesure de la perméabilité de la neige, une dizaine d'enregistreurs de tous types, les commandes du capteur de hauteur de neige et du nivomètre.

4. Les recherches effectuées au laboratoire.

Comme on l'a vu précédemment, la création du laboratoire était motivée au départ par des recherches en hydrologie nivale. Les premières années ont été consacrées à l'installation de l'instrumentation appropriée (Poggi, 1961, 1964). Un soin particulier a été apporté aux mesures de précipitations (Poggi, 1962, David, 1964), ainsi qu'aux mesures de l'écoulement à la base du manteau neigeux (plusieurs bacs dans la forêt et dans la prairie). Evidemment, un suivi fin de l'enneigement était réalisé en parallèle. Ces premières années correspondaient à une phase d'apprentissage : le but était d'accumuler un maximum de connaissance sur la neige et son évolution.

Après quelques années, l'instrumentation et les techniques d'observation étant définies, chaque saison a fait l'objet systématiquement d'un bilan des mesures, publié sous la forme d'une note EERM (hiver 64/65 à 69/70). Des études ont pu être réalisées à partir des données du Col de Porte en hydrologie nivale (Pahaut, 1964). De Crécy (1966) a comparé les caractéristiques du manteau neigeux dans la forêt et sur la prairie. En 1966, un limnigraphe est installé à St-Hugues à l'exutoire d'un petit bassin versant. Il a permis d'effectuer une comparaison entre l'écoulement mesuré à la base du manteau neigeux à l'exutoire et sa restitution à l'exutoire (David, 1970). Tournier (1971) utilise les données du Col de Porte pour estimer les flux turbulents au-dessus de la neige. Une autre étude sera faite en 1988 (Martin, 1988).

Parallèlement, des données sur l'enneigement et les avalanches sont récoltées, notamment via le réseau CEDONIGLA. Des notes de travail sont également écrites sur ce thème (Plas, 1964). Des bulletins hebdomadaires sur l'enneigement et les avalanches sont même diffusés. En 1968, grâce aux Jeux olympiques, la neige est au premier plan et le champ de mesures du col de Porte a l'honneur de figurer sur les cartes de vœux de la Météorologie nationale. Une plaquette sur le laboratoire est éditée la même année.

A partir de 1970, après l'avalanche de Val d'Isère, le réseau nivo-météorologique se développe, le CEN s'investit dans la prévision du risque d'avalanches et les études menées au Col de Porte se diversifient. Le suivi du manteau neigeux est toujours assuré, mais des mesures de reptation sont effectuées sur une pente orientée à l'est près de la Pinéa, à 1490 m d'altitude. Un dispositif de mesures est installé et est suivi régulièrement (David et al, 1974, Navarre, 1984). Le Cemagref étudie dans la forêt l'irrégularité de l'enneigement et le dépôt de neige sur les branches. L'effet de la reptation du manteau neigeux sur des râteliers installés sur les pentes de Chamechaude est également suivi. Des jauges de contrainte sont installées sur certains râteliers et les données sont transmises automatiquement par radio au laboratoire.

En 1974, une chambre froide est construite, ce qui permet de poursuivre les études de la métamorphose de fort gradient entamées à Chamrousse (Delsol et al, 1978, Marbouty, 1981); Ces travaux ont abouti à des formules de métamorphose de la neige utilisées dans le modèle d'évolution du manteau neigeux CROCUS, développé plus tard par le CEN.

Des expériences de mécanique de la neige sont effectuées en collaboration avec le laboratoire de mécanique des sols de Grenoble (études menées au laboratoire de Chamrousse et au col de Porte) :

- détermination expérimentale des lois rhéologiques de déformation de la neige à l'aide d'une presse triaxiale et études sur la résistance au cisaillement (Navarre et al, 1979)
- validation d'un modèle bidimensionnel aux éléments finis d'une couche de neige déposée, dans la chambre froide du col de Porte (Navarre et al, 1979)

Grâce aux installations des deux laboratoires, il a été possible de photographier de nombreux cristaux de neige fraîche et de neige ayant subi des métamorphoses. Une monographie très complète est publiée en 1975 (Pahaut).

Actuellement, le Col de Porte continue d'accueillir les tests de pluviomètres réalisés par EDF/DTG. Un portique destiné à l'observation de la neige collante a été installé dans le parc (étude EDF "neige collante") en 1984.

Les données du Col de Porte ont très tôt servi à valider des modèles d'évolution du manteau neigeux : Obled (1971) simule pour la première fois la fonte nivale avec un modèle mathématique. Navarre (1975) a développé et validé le modèle multicouche Perce-Neige grâce aux données de ce site. Vient ensuite GENEPI (Navarre, 1983), qui est une version simplifiée axée sur l'hydrologie. Enfin CROCUS (Brun et al, 1989, 1992) a été validé grâce aux données des hivers 1986/1987 et 1988/1989.

Depuis 1993, les données du Col de Porte sont systématiquement contrôlées et critiquées, afin d'être mises à la disposition de la communauté scientifique. Les demandes concernant ces données couvrent des domaines très variés : hydrologie nivale, modélisation fine du manteau neigeux ou paramétrisation de surface dans les modèles de circulation générale.

5. L'évolution des capteurs

5.1 Températures

Dès l'origine, les mesures de températures étaient assurées par des sondes platine (100 ohms à 0° C) dans l'air à différents niveaux, dans le sol et sous abri. Dans la neige des thermocouples cuivre-constantan montés sur un mât de 3 m espacés de 12,5 cm permettaient d'avoir le gradient au sein du manteau neigeux. La référence du thermocouple était donnée par un vase Dewar rempli d'eau et de neige, qu'il fallait surveiller tous les deux ou trois jours. Par la suite, ce système a été remplacé par des circuits intégrés. Il s'est avéré que ces mesures n'étaient pas satisfaisantes en particulier au voisinage de la surface du manteau neigeux. Au moment de la fusion, il se formait des cratères autour du mât supportant les capteurs. Lors de la rénovation du système de mesure de tassement, des petites sondes platine étalonnées au 1/100 de degré ont été fixées sur les disques.

5.2 Précipitations

La mesure de ce paramètre a toujours posé des problèmes, surtout la mesure des chutes de neige. Le laboratoire a permis et permet toujours de tester les pluviomètres. Celui-ci a été équipé de :

- Nivo totalisateur Mougin (EDF) : fusion de la neige dans un bidon à fond hémisphérique obtenu par un mélange eau + chlorure de calcium + huile en surface afin d'éviter l'évaporation. Des mesures hebdomadaires par jaugeage donnaient le cumul des précipitations. Cet appareil, qui équipait le laboratoire dès l'origine, ne sert plus depuis longtemps et a été démonté au début des années 90.
- Pluviographe chauffant type EDF équipé d'un système d'augets basculeurs "Préci mécanique". La surface de réception de 2000 cm² permettait par un basculement de l'auget de 20 g d'eau d'obtenir une précision de 1/10 de mm. Par la suite, un second pluviographe non chauffant permettait de différencier les précipitations pluvieuses et neigeuses. Ces deux appareils sont toujours en service.
- Pluviomètre "association" de section de 400 cm² de grande capacité. Les mesures s'effectuaient par pesée.
- Pluviographe type "Bendix" : les précipitations étaient recueillies dans un récipient positionné sur le plateau d'une balance. Tout comme le nivo-pluviomètre totalisateur, un

mélange de chlorure de calcium permettait de faire fondre la neige. Les variations de poids étaient enregistrées sur un diagramme. La précision des lectures était de l'ordre du mm. L'appareil n'est plus en service et est conservé dans le bâtiment.

- Un pluviomètre plus sophistiqué, de marque Geonor a été installé en 1988. Un seau préalablement rempli d'un mélange de méthanol et d'éthylène glycol (pour éviter le gel) surmonté d'une couche d'huile (pour éviter l'évaporation) recueille les précipitations. Ce seau est placé sur une couronne soutenue par trois chaînettes dont l'une, équipée d'un fil vibrant permet de mesurer les variations du poids du seau. Ce signal mis en forme et envoyé à la centrale donne la quantité de précipitations recueillies avec une précision de 1/10 de mm.

La mesure directe de l'équivalent en eau des carottes de neige fraîche permet de compléter ces mesures et reste finalement peut-être la mesure la plus fiable des quantités de précipitations neigeuses (à condition qu'elle soit réalisée avant toute fonte). Aujourd'hui, les deux pluviographes EDF (chauffant et non chauffant) et le pluviomètre totalisateur Geonor sont utilisés pour déterminer les quantités de précipitations. Une comparaison sur les précipitations des trois pluviomètres et les carottes de neige réalisée récemment (Lejeune et Martin, 1994) a montré que le pluviomètre totalisateur sous-estimait les précipitations neigeuses et pluvieuses de 15% alors que le pluviographe chauffant faisait évaporer une partie non négligeable des précipitations neigeuses, surtout lorsqu'elles sont faibles.

5.3 Humidité

Elle était initialement mesurée à l'aide d'un hygrographe à cheveux. Elle est actuellement mesurée par l'intermédiaire d'un capteur Vaisala HMP35. Ce capteur à variation de capacité délivre un courant proportionnel à l'humidité relative.

5.4 Vent

Remplaçant les anémomètres du type "Lambrecht", une girouette et un anémomètre de type "Laumonnier" équipés d'un système de dégivrage ont été installés. Deux anémomètres non dégivrés sont placés à 5 et 10 m sur le mât de mesures météorologiques.

5.5 Rayonnement

Dès 1960 une mesure de rayonnement solaire (incident et réfléchi) était réalisée. Des mesures par actinométrie ont également été effectuées, mais les essais n'ont pas été concluants.

Actuellement les rayonnements solaires incident et réfléchi sont mesurés par des capteurs Kipp & Zonen et les rayonnements infrarouges descendant et montant sont mesurés par des capteurs Eppley.

Les principaux facteurs capables de perturber les mesures sont le givre et le dépôt de neige sur les capteurs. Un système de ventilation avait été installé dès le début des mesures. Depuis 1989, un système plus efficace est en service : en cas de température inférieure à +5°C, les quatre capteurs, installés sur des bras pivotants, sont déplacés dans une enceinte où ils subissent un courant d'air chaud, puis un courant d'air froid pour les remettre à température ambiante. Lors de l'entrée dans l'enceinte, des balais en nylon dégagent le plus gros de la neige déposée.

5.6 Mesure de la hauteur de neige

Le détecteur automatique de hauteur de neige, élaboré en 1960 a été remplacé par un capteur à ultrasons. Le principe de fonctionnement est le suivant : on mesure le temps d'aller et retour, d'impulsions ultrasonores entre un transducteur fixé au dessus de la neige et la surface de la neige agissant comme réflecteur. Le transducteur fonctionne successivement comme émetteur puis comme récepteur. La hauteur de neige est calculée à partir du temps de parcours de l'onde.

Le premier capteur de ce type utilisé a vu son électronique rénovée récemment et est toujours en service. Il avait été testé pour la première fois pendant l'hiver 78/79 par Marbouty et Pougatch (1979). C'était un capteur capable de mesurer le niveau des grains dans des silos (société Miltronic). Sur cette base, le CEN a développé un capteur capable de mesurer la hauteur de neige dans des conditions plus difficiles : peu d'énergie disponible, vent violent, chute de neige intense. Ce capteur est celui aujourd'hui utilisé par les stations automatiques Nivôse, un exemplaire est également installé au laboratoire.

5.7 Tassement et température dans la neige.

Les mesures de température par thermocouple et de tassement par pont de Wheaston ont été abandonnées, puis reprises et automatisées en 1986 pour la validation du modèle d'évolution du manteau neigeux CROCUS. Les températures sont mesurées par des sondes platine intégrées dans les disques utilisés pour mesurer le tassement, la hauteur des disques est mesurée par différence de potentiel le long d'un fil résistif.

5.8 Mât de mesures

Le mât supportant les mesures de profil de vent et température était télescopique pour que la hauteur au-dessus de la neige reste constante sur toute la saison. Ce mât a été remplacé au début des années 90 par un pylône identique à celui qui équipe les stations météorologiques.

5.9 Ecoulement à la base du manteau neigeux

A l'origine, deux bacs lysimétriques destinés à recueillir l'eau de fonte ont été construits, l'un dans la prairie, l'autre en forêt. La mesure se faisait dans les caves du laboratoire grâce à des augets basculeurs. Ces bacs en ciment ont été remplacés par la suite par des bacs en plastique de surface 5m². Enfin, le bac de la forêt a été abandonné et un bac de surface 1m² a été installé dans la prairie. Les mesures par augets basculeurs ont été remplacées récemment par un système de mesures par pesée.

6. Acquisition et stockage des données

Il y a évidemment eu beaucoup d'évolutions dans ce domaine depuis la création du laboratoire, aussi bien dans le système d'acquisition que dans l'enregistrement des données. Pour ne pas perdre de données, et malgré la présence d'un onduleur et d'un groupe électrogène, les principaux paramètres étaient enregistrés en double.

Les capteurs générateurs d'impulsions aboutissaient sur des compteurs :

- Type "phonia" pour les précipitations, les bacs lysimétriques et la hauteur de neige,
- Type "Elmeg" pour les anémomètres et girouettes.

Les capteurs générateurs de tension aboutissaient sur des enregistreurs

- Sadir Carpentier pour la mesure de rayonnement global et réfléchi. Dans ce cas le dépouillement s'effectuait par double planimétrage des courbes
- Meci et Philips pour les mesures de températures par thermocouples ou sondes platines.

La valeur en eau du manteau neigeux mesurée par le nivomètre aboutissait sur un enregistreur spécifique. Les mesures des hauteurs de disques de tassement étaient faites de manière ponctuelle à l'aide d'un galvanomètre.

Une étape importante est franchie en 1968. Une centrale de mesures DCEI (une entreprise grenobloise) est installée, elle se compose de :

- dix compteurs à trois décades avec affichage sur tubes NIXIE
- d'un tiroir d'alimentation et de conversion résistance-tension des sondes platine

- d'un ensemble "compact logger" comprenant une horloge numérique, scrutateur, linéariseur, voltmètre numérique, convertisseur parallèle-série pour l'organe de sortie
- d'une imprimante IBM "B" équipée d'un grand chariot.

Jusqu'en juillet 1970, les acquisitions avaient lieu toutes les 10 mn, ensuite elles ont été effectuées au pas horaire. Nouvelle évolution en 1983 : mise en place d'une centrale d'acquisition Schlumberger compact 3430-A, équipée d'un enregistreur à cassettes. Ces cassettes (qui pouvaient stocker 8 à 10 jours de données) étaient changées régulièrement et relues par le mini-ordinateur Solar du CEN .Les données étaient stockées sur bande magnétique. Janvier 1987 verra la mise en place d'un nouveau système d'acquisition encore en service.

La base du système d'acquisition actuel est un micro-ordinateur compatible IBM PC. Il a été pourvu d'un certain nombre de cartes spécialisées, auxquelles il a été nécessaire d'adjoindre des interfaces. Cet ensemble assure l'adaptation, le traitement et l'enregistrement des signaux des divers capteurs ainsi que la communication avec le calculateur du Centre d'études de la neige. Le premier micro-ordinateur (deux disquettes 5'1/4) a été avantageusement remplacé par la suite par un micro-ordinateur équipé d'un disque dur permettant de stocker 40 jours de données localement. Les données sont transférées au CEN (via le réseau commuté) automatiquement une fois par jour et sur demande à tout moment. C'est la condition indispensable à un bon suivi de la qualité des données.

Le système effectue une acquisition par heure. Les différentes mesures sont mémorisées dans un fichier cyclique sur le disque local. Un onduleur alimente l'ensemble du système pour éviter les problèmes liés aux parasites du secteur. Dans le cas d'une coupure secteur de longue durée, une prise en charge par un groupe électrogène a été prévue.

Outre l'acquisition de plus d'une soixantaine de paramètres au pas horaire, cette centrale gère également le déclenchement de certaines procédures :

- En cas de chutes de neige ou de température de l'air inférieure à +5° C, un signal déclenche le déplacement des capteurs de rayonnement dans un abri équipé d'une soufflerie d'air chaud permettant le déneigement ou le dégivrage des coupelles.
- Après la fin d'une chute de neige (pas de précipitations pendant 1 heure) une résistance de forte puissance placée sous le cône du pluviographe non chauffant est mise sous tension évacuant ainsi la neige accumulée lors de la chute.

7. Le "livre d'or"

Le laboratoire du col de Porte a toujours été très visité. En 1965, un cahier spécial (appelé aussi livre d'or) est chargé de recueillir les impressions des visiteurs. A ce jour, il contient plus de 400 signatures (malheureusement certaines sont illisibles), ce petit paragraphe est donc loin d'être exhaustif. La première signature du livre d'or est celle de M. Garavel, qui a eu un rôle décisif pour la création du laboratoire. Au début, nombreuses étaient les visites de forestiers et d'hydrologues. On peut citer parmi les visiteurs de marque Maurice Pardé (23 mars 1969) professeur de potamologie à l'Université de Grenoble et président du jury de thèse d'André Poggi. Les organismes locaux se sont souvent rendus au col de Porte : ANENA (première visite le 10 juillet 1972), EDF, le groupe d'études sur les paravalanches (plusieurs visites en 1972), plusieurs CRS, l'Institut de géographie alpine, ERS30....

Le col de Porte a également reçu la visite de nombreux "météos" :

- trois directeurs de la Météorologie nationale ou directeur général de Météo-France : MM. Bessemoulin (29 août 1975), Lebeau (25 septembre 1989) et Beysson (27 mars 1996).
- des collègues des régions : Nord-est (15 février 1968), Sud-est (18 octobre 1972), Centre-est (29 octobre 1976), de l'ENM (18 septembre 1991)
- des collègues du CNRM : CRPA (13 avril 1989), GMEI, pour la préparation de Boréas (15 février 1993), Frédéric Delsol en tant que chef du CEN le 20 septembre 1972 et chef de l'EERM le 20 août 1993, AGT et DAG lors de leur visites annuelles, et d'autres encore..

Dans la rubrique Média, le col de Porte a notamment reçu la visite d'Yvonne Rebeyrol (Le Monde, 3 décembre 1971), Michel Chevalet (6 mars 1972), d'une équipe de TF1 (5 février 1976), du magazine Prima (18 février 1987), de Channel four television (6 février 1990), d'une équipe de la cinquième (11 janvier 1995)

Une vingtaine de pays sont représentés sur le livre d'or (Argentine, Brésil, Bulgarie, Canada, Chili, Colombie, Espagne, Etats-Unis, France, Grande-Bretagne, Inde, Iran, Italie, Japon, Hongrie, Pologne, Nouvelle Zélande, Russie, Suisse, Yougoslavie). Les visiteurs étrangers viennent évidemment de pays où la neige joue un rôle important et appartiennent à des organismes travaillant en hydrologie, forêt et évidemment nivologie et avalanches.

8. Conclusion

Dresser une conclusion sur l'histoire du laboratoire du col de Porte n'est pas un exercice aisé. Le laboratoire est et reste un site unique pour l'étude de la neige, l'aventure débutée à la fin des années 50 est loin d'être finie ! Ceci est probablement dû à la motivation et à la faculté d'adaptation des personnes qui ont été amenées à travailler sur ce site. Le but de ce laboratoire est de fournir des données aussi fines que possible sur l'évolution du manteau neigeux pour la recherche. Depuis 1993 les données météorologiques et nivologiques horaires sont systématiquement contrôlées et validées pour être mises à la disposition de la communauté scientifique. L'objectif a toujours été atteint, au prix parfois de quelques frayeurs car un trou de quelques heures dans les mesures peut être fatal. Le suivi des mesures est en effet un travail quotidien pendant l'hiver et de nombreuses personnes sont impliquées au CEN.

Au cours de l'hiver 96/97 un appareil TDR (time dependant reflectometry) capable de mesurer la masse volumique et la teneur en eau liquide de la neige, sera testé en collaboration avec l'Institut fédéral pour l'étude de la neige et des avalanches de Davos (Suisse). EDF testera un appareil de mesure de l'équivalent en eau de la neige par comptage des rayonnements cosmiques. A partir de 1997, la centrale de mesure sera remise à neuf et des planches de chaussée expérimentales seront installées pour étudier l'interaction entre la neige et la chaussée. Le plan de travail reste chargé !

Bibliographie

- Brun E., Martin E., Simon V., Gendre C., Coléou C. (1989) : "An energy and mass model of snow cover suitable for operational avalanche forecasting", *J. of Glaciol.*, Vol 35, N°121, p333-342.
- Brun E., David P., Sudul M., Brunot G. (1992) : "A numerical model to simulate snow cover stratigraphy for operational avalanche forecasting", *J. of Glaciol.*, Vol 35, N° 121, p333-342.
- David P. (1964) : "La mesure des précipitations au Col de Porte (Novembre 1963 à avril 1964)", Note de l'EERM N° 184.
- David P., Audibert J-P, Pahaut E. (1974) : "Etude d'un signe précurseur des avalanches : enregistrement continu du glissement de la neige sur une pente herbeuse", Note interne de l'EERM N°365.
- David P. (1970) : "Etude d'un petit bassin versant enneigé de moyenne altitude", Note de l'EERM N°273.
- David P., Meyer L., Pahaut E., Plas J., Rey L. (1970) : "Bilan des mesures au Col de Porte (Isère) : hiver 1969-1970", note de l'EERM N°282.
- De Crécy L. (1966) : "La neige et la retention nivale en hiver", dans "Mélanges offerts par ses amis et disciples à Maurice Pardé". Ed. Ophrys.
- De Crécy L. (1994) : "La section de glaciologie de la société hydrotechnique de France : origine et évolution", Communication à la réunion de la section de glaciologie de 1994.
- Delsol F., Marbouty D., Pahaut E., Pougatch B. (1978) : "Etude de la formation du givre de profondeur par simulation en chambre froide", note de l'EERM N°7.
- Lejeune Y., Martin E. (1995) : "Application du modèle CROCUS aux données de la saison 93/94 du Col de Porte et de la campagne LEADDEX92". Note du Centre d'études de la Neige n°6, 55p
- Marbouty D. Pougatch B. (1979) : " Mesure de la hauteur de neige par ultrasons ", Compte rendu de la deuxième rencontre internationale sur la neige et les avalanches, 12-14 avril 1978, ANENA, p49-58.
- Marbouty D. (1980) : "An experimental study of temperature gradient metamorphism", *J. of Glaciol.*, Vol 26, N° 94, p13-22.
- Martin E. (1988) : "Etude expérimentale des flux de chaleur au-dessus de la neige", Mémoire de D.E.A, Université scientifique et médicale de Grenoble.
- Meyer L., David P., Pahaut E. (1965) : "Bilan des mesures au laboratoire du Col de Porte (hiver 1964-1965)", note de l'EERM N°212.
- Meyer L., David P., Rey L., Pahaut E. (1966) : "Bilan des mesures au laboratoire du Col de Porte (hiver 1965-1966)", note de l'EERM N°232.
- Meyer L., David P., Pahaut E., Rey L., Plas J. (1968) : "Bilan des mesures au laboratoire du Col de Porte (hiver 1966-1967)", note de l'EERM N°249.

- Meyer L., David P., Pahaut E., Plas J., Rey L. (1969) : "Bilan des mesures au laboratoire du Col de Porte (hiver 1967-1968)", note de l'EERM N°263.
- Meyer L., David P., Pahaut E., Plas J., Rey L. (1970) : "Bilan des mesures au laboratoire du Col de Porte (hiver 1968-1969)", note de l'EERM N°274.
- Navarre J-P. (1975) : "Modèle unidimensionnel d'évolution de la neige déposée. Modèle Perce neige", La Météorologie, 4(3), p 103-120.
- Navarre J-P., Taillefer A., Desrues J., Flavigny E. (1979) : "Propriétés mécaniques de la neige : étude expérimentale en compression triaxiale", note de l'EERM N°19.
- Navarre J-P., Desrues J., Darve F. (1979) : "Propriété mécaniques de la neige : étude d'une de couche de neige déposée sur une pente par un modèle aux éléments finis", note de l'EERM N°44.
- Navarre J-P. (1983) : "Modèle déterministe de fonte nivale, modèle GENEPI", Note de travail de l'EERM N°60.
- Navarre J-P (1984) : "Déformation du manteau neigeux en moyenne montagne : étude sur le glissement", Note de travail de l'EERM N°86.
- Obled Ch. (1971) : "Modèle mathématique de fonte nivale", Thèse, Université scientifique et médicale de Grenoble.
- Pahaut E. (1964) : "Variations de température dans la neige et dans le sol (Hiver 1963-1964)". Note de l'EERM n° 187.
- Pahaut E. (1969) : "Estimation de la fonte nivale". Note EERM N° 270.
- Pahaut E. (1975) : "Les cristaux de neige et leur métamorphose...", Monographie N° 96 de la Météorologie nationale.
- Poggi A. (1961) : "Le laboratoire pour l'étude de la neige au Col de Porte (Isère)", Note de l'EERM N° 62.
- Poggi A. (1966) : "L'évolution de la neige déposée à moyenne altitude", Thèse de la faculté des sciences de l'université de Grenoble, 38p.
- Poggi A. (1962) : "La mesure des précipitations au Col de Porte au cours de l'hiver et du printemps 1960-1961", Note de l'EERM N°107
- Rey L. (1971) : "La neige en Chartreuse", présentation à la SHF, section glaciologie.
- Tournier P. (1971) : "Analyse de profils de vent relevés au laboratoire pour l'étude de la neige - col de Porte"; Thèse de doctorat, Laboratoire de glaciologie du CNRS, publication N° 131.

Le laboratoire du col de Porte

Climatologie

Un certain nombre de données quotidiennes recueillies depuis la création du laboratoire ont été saisies sur support traitable. Les données comprennent systématiquement la période complète de l'enneigement, et dans tous les cas les mois de décembre à avril. De plus, les données commencent systématiquement au début d'une décade et se terminent à la fin d'une décade. La date de début des données la plus précoce est la dernière décade de septembre, la date de fin la plus tardive est la première décade de juin. Les données saisies comprennent très peu de données manquantes. Les données de température sont cependant absentes en octobre et novembre 1960. Les conditions dans lesquelles ont été faites les mesures ont évolué, les paramètres saisis (ainsi que leur définition précise) sont décrits dans les tableaux ci-dessous :

Saisons	de 60/61 à 92/93	93/94	à partir de 94/95
Température minimale	0UTC(J) à 23UTC(J)	de 0UTC(J) à 23UTC(J)	de 6UTC(J-1) à 6UTC(J)
Température maximale	0UTC(J) à 23UTC(J)	de 0UTC(J) à 23UTC(J)	6UTC(J) à 6UTC(J+1)
Hauteur de neige (prairie)	représentatif du jour J (relevée en général en matinée)	représentatif du jour J (en général matinée)	6UTC(J)
Hauteur de neige (forêt)	représentatif du jour J (relevée en général en matinée)	néant	néant
Hauteur de neige fraîche en 24 H	représentatif du jour J (relevée en général en matinée)	représentatif du jour J (en général matinée)	6UTC(J) à 6UTC(J+1)
Pluviographe chauffant (toutes précipitations)	relevé en général le jour J (matin), correspondant à la période de la hauteur de neige fraîche	0UTC(J) à 24 UTC (J)	6UTC(J) à 6UTC(J+1)
Pluviographe non chauffant (pluie uniquement)	relevé en général le jour J (matin), correspondant à la période de la hauteur de neige fraîche	0UTC(J) à 24UTC(J)	6UTC(J) à 6UTC(J+1)

Tableau 1 : paramètres saisis et définition

Saisons	de 60/61 à 92/93	93/94	à partir de 94/95
Température minimale	TMIN6093	TMIN6093	TMIN
Température maximale	TMAX6093	TMAX6093	TMAX
Hauteur de neige (prairie)	HTN6093	HTN6093	HTN
Hauteur de neige (forêt)	HTNFORET6093	HTNFORET6093	HTNFORET
Hauteur de neige fraîche en 24 H	SS24H6093	SS24H6093	SS24H
Pluviographe chauffant (toutes précipitations)	RCHAUF6092	RCHAUF9393	RCHAUF
Pluviographe non chauffant (pluie uniquement)	RNONCHAUF6092	RNONCHAUF9393	RNONCHAUF

Tableau 2 : nom des paramètres dans la table CDPQOT

On trouvera par la suite un certain nombre de tableaux et de graphiques pour les 36 saisons de mesures pour les paramètres suivants : température, précipitation, hauteur de neige fraîche en 24 heures, hauteur de neige au sol et durée de l'enneigement.

1. Température

Les tableaux des pages suivantes présentent :

- les températures moyennes décennales ainsi que les moyennes sur toutes les saisons pour une décennie donnée,
- les températures minimales journalières les plus basses pour chaque décennie, ainsi que le minimum sur toutes les saisons (avec l'année correspondante),
- Idem pour les températures minimales journalières les plus hautes,
- Idem pour les températures maximales journalières les plus basses,
- Idem pour les températures maximales journalières les plus hautes,
- le nombre de jour de gel ($T_n < 0$) et le nombre de jours sans dégel ($T_x < 0$) pour chaque décennie, le total par saison (à droite) et la moyenne sur toutes les saisons pour une décennie,
- Idem pour les jours avec fortes gelées ($T_n < -5$) et très fortes gelées ($T_n < -10$),
- Idem pour les jours avec $T_x < -5$ et $T_x < -10$.

Viennent ensuite

- un graphique représentant la température moyenne décennale, la température maximale journalière la plus haute pour chaque décennie (ainsi que la date) et la température minimale journalière la plus basse (ainsi que la date),
- cinq graphiques représentant l'évolution de la température moyenne mensuelle sur toute la période des mesures pour les mois de décembre, janvier, février, mars et avril.

La température moyenne pour les décennies d'hiver (décembre, janvier, février) varie de $-1,9^\circ$ à $-0,2^\circ$. Le maximum le plus haut pour cette période est de $15,2^\circ$ le 29 décembre 1983 (avec présence de neige au sol!). Le minimum le plus bas est enregistré le 12 janvier 1987 avec $-24,7^\circ$.

En dehors de cette pointe extrême de gel, l'épisode le plus froid a été observé au cours de l'hiver 1984-1985 avec :

- une période de gel quotidien du 13 décembre 1984 (min. $-0,4^\circ$) au 21 janvier 1985 (min. $-2,3^\circ$)
- 20 journées consécutives sans dégel du 28 décembre 1984 (max. $-2,9^\circ$) au 16 janvier 85 (maxi. $-2,0^\circ$)
- 20 journées de très fortes gelées ($T_n < -10^\circ$)

Si on s'en tient aux données disponibles, le nombre moyen de jours de gel par saison est de 131. Ce chiffre est sous-estimé car il existe des jours de gel en dehors des périodes où les données ont été saisies. Pour ce qui concerne les jours sans dégel, on obtient un total de 43 jours par saison (chiffre également sous-estimé). En hiver (décembre à février), le nombre moyen de jours de gel par décade est toujours supérieur à 7.2 (sauf pour la dernière décade de février, qui est la plus courte). Le nombre moyen de jours sans dégel varie de 2.6 à 5.0. Le nombre minimal de jours de gel (93) et de jours sans dégel (9) pour une saison est obtenu en 89/90. Cette même saison est remarquable, puisque c'est la seule à ne compter aucune température minimale inférieure à -10°.