

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT
ET DE LA QUALITÉ DE LA VIE
DIRECTION DE LA PROTECTION
DE LA NATURE

ISSN 0180-961 X

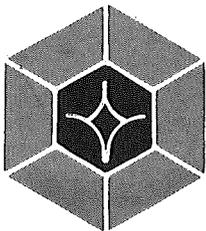
Travaux Scientifiques du Parc National de la Vanoise

Recueillis et publiés sous la direction de
C. PAIRAUDEAU
Directeur du Parc National

et P. OZENDA
Membre de l'Institut
Professeur à l'Université de Grenoble

Tome XIII

1983



Cahiers du Parc National de la Vanoise

135, rue du Docteur-Julliard

B.P. 705, 73007 CHAMBÉRY (France)

ISSN 0180-961 X

© Parc National de la Vanoise, Chambéry, France, 1983

SOMMAIRE

COMPOSITION DU COMITÉ SCIENTIFIQUE	5
COMPOSITION DU COMITÉ DE LECTURE	6
LISTE DES COLLABORATEURS	7
L. REYNAUD, M. VALLON, Ch. CARLE. — <i>Analyse et synthèse des mesures glaciologiques effectuées sur le glacier de Gébroulaz, massif de la Vanoise, France</i>	9-29 ✓
J. LETOURNEUR, G. MONTJUVENT et A. GIRAUD. — <i>Eroulement de la Madeleine et lac de Bessans. Contribution à l'histoire quaternaire récente de la Haute-Maurienne (Savoie)</i>	31-54 ✓
B. KAISER. — <i>Morphodynamique périglaciaire en Vanoise. Observations et mesures sur deux formes majeures : talus d'éboulis et glacier-rocheux</i>	55-80 ✓
H. VOIRON. — <i>Les régimes nivométriques de la Vanoise</i>	81-99 ✓
A. TROTHEREAU. — <i>Contribution à l'étude du genre Gentiana dans le Parc National de la Vanoise et régions limitrophes</i>	101-127 ✓
P. GENSAC et A. TROTHEREAU. — <i>Flore et végétation du vallon de l'Iseran et du Val Prariond</i>	129-149 ✓
R. FRITSCH. — <i>Etude des potentialités économiques de la culture des plantes médicinales en Savoie (France)</i>	151-158 ✓
A. MOIROUD et J.C. DEBAUD. — <i>Présence de bactéries libres fixatrices d'azote dans la litière de Dryas octopetala L.</i>	159-167 ✓
R. BUVAT. — <i>Microlépidoptères de Haute-Maurienne peu connus de France ou nouveaux pour notre faune</i>	169-173
J.-P. MARTINOT. — <i>L'Aigle royal (Aquila chrysaëtos) dans le département de la Savoie, plus particulièrement dans le Parc National de la Vanoise (France)</i>	175-181 ✓
J. BROYER, Ph. LEBRETON et H. TOURNIER. — <i>Les enseignements d'un transect ornithologique en Maurienne. IX. — Etude de l'avifaune du Parc National de la Vanoise. II. — Contribution à l'étude des relations Avifaune/Altitude</i>	183-210 ✓
G. WIERSEMA. — <i>L'habitat saisonnier du Bouquetin (Capra ibex L.) dans le Parc National de la Vanoise</i>	211-222 ✓

ABSTRACT

MEMBERS OF THE SCIENTIFIC COMMITTEE	5
MEMBERS OF THE READING COMMITTEE	6
LIST OF CONTRIBUTORS	7
L. REYNAUD, M. VALLON, Ch. CARLE. — <i>Analysis and synthesis of glaciological data available for the Gebroulaz Glacier, Vanoise area, France</i>	9-29
J. LETOURNEUR, G. MONTJUVENT et A. GIRAUD. — <i>La Madeleine collapse and Bessans lake. A contribution to the recent quaternary history of the upper Maurienne valley (Savoy, France)</i> ...	31-54
B. KAISER. — <i>Talus - Slopes and Rock-Glaciers: observations and measurements in the Vanoise mountains</i>	55-80
H. VOIRON. — <i>The climate of the Vanoise viewed through snowfalls</i> .	81-99
A. TROTHEREAU. — <i>Contribution to the study of the genus Gentiana in Vanoise National Park and adjacent regions</i>	101-127
P. GENSAC et A. TROTHEREAU. — <i>Flora and vegetation of the Vallon de l'Iseran and the Val Prariond</i>	129-149
R. FRITSCH. — <i>Economic potentialities of medicinal plants cultivation in Savoy department (France)</i>	151-158
A. MOIROUD et J.C. DEBAUD. — <i>Occurrence of free-living nitrogen fixing bacteria in Dryas octopetala L. Litter</i>	159-167
R. BUVAT. — <i>Microlepidoptera from Haute-Maurienne; some unusual and new varieties in France</i>	169-173
J.-P. MARTINOT. — <i>The Golden Eagle in the Savoy department specially in the Vanoise National Park (France)</i>	175-181
J. BROYER, Ph. LEBRETON et H. TOURNIER. — <i>Results of an ornithological transect study in Maurienne. IX. — A study of the bird populations in Vanoise National Park. II. — Contribution to the study of relationships Avifauna/Altitude</i>	181-210
G. WIERSEMA. — <i>Seasonal habitats used by the Ibex in the Vanoise National Park</i>	211-222

COMPOSITION DU COMITÉ SCIENTIFIQUE DU PARC NATIONAL DE LA VANOISE

Président honoraire :

Paul VAYSSIÈRE, Professeur honoraire au Museum National d'Histoire Naturelle, Paris.

Président :

Philippe TRAYNARD, Président honoraire de l'Institut National Polytechnique de Grenoble.

Vice-Président :

Denys PRADELLE, Architecte-Urbaniste, Chambéry.

Secrétaire :

Paul OZENDA, Membre de l'Institut, Professeur à l'Université I de Grenoble.

Membres du Comité :

Roger BUVAT, Membre de l'Institut, Professeur à l'Université de Marseille-Luminy.

Louis de CRÉCY, Ingénieur en chef du Génie Rural des Eaux et Forêts, Délégué aux actions R.T.M.

Charles DEGRANGE, Professeur à l'Université I de Grenoble.

René DELPECH, Professeur à l'Institut National Agronomique, Paris-Grignon.

Philippe DREUX, Professeur à l'École Normale Supérieure, Paris.

François ELLENBERGER, Professeur à l'Université de Paris-Orsay.

René FONTAINE, Ingénieur général honoraire du Génie Rural des Eaux et Forêts, Evian.

R.P. FRITSCH, Président de la Société d'Histoire Naturelle de la Savoie.

Pierre GENSAC, Professeur à l'Université de Savoie, Chambéry.

Alain GILLE, Coordonnateur des Bureaux Régionaux de Science et de Technologie à l'UNESCO.

Jean GOGUEL, Conseiller au Bureau de Recherches Géologiques et Minières.
Robert KÜHNER, Correspondant de l'Institut, Professeur à l'Université de
Lyon I.
Philippe LEBRETON, Professeur à l'Université de Lyon I.
Claude LEVI, Professeur au Museum National d'Histoire Naturelle, Paris.
Louis LLIBOUTRY, Professeur à l'Université I de Grenoble.
Gérard MONTAGUT, Directeur du Laboratoire Départemental des Services Vété-
rinaires de Chambéry.
Jacques REBECQ, Professeur à l'Université de Savoie, Chambéry.
Régis RUFFIER DES AIMES, Maire de Champagny, Professeur de Lettres au Lycée
de Moûtiers, Savoie.

Les manuscrits ne sont acceptés pour publication, qu'après examen par le
Comité de Lecture dont la composition est la suivante :

P. OZENDA, Secrétaire du Comité Scientifique du Parc.
A.S. BALACHOWSKI, Museum Paris.
R. BUVAT, Marseille Luminy.
J. GOGUEL, B.R.G.M., Orléans.
U. GLUTZ VON BLOTZHEIM, Bern.
R. KÜHNER, Lyon I.
M. LAMOTTE, Paris.
F. PEDROTTI, Camerino.
Y. THOUVENY, Marseille.
R. TRÜMPY, Zurich.

LISTE DES COLLABORATEURS DU VOLUME

Cette liste comprend, outre les auteurs ayant participé personnellement à certaines parties du volume et qui sont indiqués par un astérisque, les personnes qui ont exécuté des travaux préliminaires ou ont collaboré à la mise au point des cartes, des figures et des tableaux.

- * BROYER, J. - *Chercheur contractuel au Centre Ornithologique Rhône-Alpes.*
- * BUVAT, R. - *Professeur à l'Université d'Aix-Marseille, Centre de Luminy.*
- * CARLE, Ch. - *Ingénieur Géomètre à l'Université I de Grenoble, Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement du C.N.R.S.*
- * DEBAUD, J.-C. - *Assistant à l'Université Claude Bernard Lyon I, Département de Biologie végétale, Laboratoire de Mycologie.*
- DELMAS, M. - *Chargé de mission à la Direction du Parc National de la Vanoise, Chambéry.*
- * FRITSCH, R. - *Président de la Société d'Histoire Naturelle de la Savoie, Chambéry.*
- * GENSAC, P. - *Professeur à l'Université de Savoie, Département d'Ecologie.*
- * GIRAUD, A. - *Assistant à l'Institut de Recherches Interdisciplinaires de Géologie et de Mécanique (IRIGM), Grenoble.*
- GUICHARD, J.-P. - *Dessinateur à l'Université I de Grenoble, Laboratoire de Botanique et Biologie végétale.*
- HIVERT, J. - *Aide-Technique à l'Université I de Grenoble, Laboratoire de Botanique et Biologie végétale.*
- * KAISER, B. - *Maître-Assistante Agrégée à l'Université de Paris VII, UER de Géographie et Sciences de la Société.*
- * LEBRETON, Ph. - *Professeur à l'Université Claude Bernard Lyon I, Département de Biologie végétale.*
- * LETOURNEUR, J. - *Professeur honoraire de l'Ecole des Mines à Saint-Etienne.*
- * MARTINOT, J.-P. - *Attaché scientifique au Parc National de la Vanoise, Chambéry.*
- * MOIROUD, A. - *Maître-Assistant à l'Université Claude Bernard Lyon I, Département de Biologie végétale, Laboratoire de Mycologie.*
- * MONJUVENT, G. - *Maître de Recherche au CNRS, Institut Dolomieu, Géologie et Minéralogie, Grenoble.*
- NEUBURGER, M.C. - *Assistante de Recherche à l'Université I de Grenoble, Laboratoire de Botanique et Biologie végétale.*

- * REYNAUD, L. — *Assistant à l'Université I de Grenoble, Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement du CNRS.*
- * TOURNIER, H. — *Maître-Assistant à l'Université de Savoie, Département d'Ecologie.*
- * TROTTEREAU, A. — *Attaché du Museum National d'Histoire Naturelle. Paris.*
- * VALLON, M. — *Maître-Assistant à l'Université I de Grenoble, Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement du CNRS.*
- VIGNY, F. — *Documentaliste CNRS à l'Université I de Grenoble, (L.A. n° 242), Laboratoire de Botanique et Biologie végétale.*
- * VOIRON, H. — *Ingénieur honoraire des travaux météorologiques, Centre d'Etude de la Neige (C.E.N.) de Saint-Martin-D'Hères.*
- * WIERSEMA, G. — *Chercheur principal du projet international « Ibex ».*

Rédacteur : Marie-Claude NEUBURGER, Assistante de Recherche.

ANALYSE ET SYNTHÈSE DES MESURES GLACIOLOGIQUES EFFECTUÉES SUR LE GLACIER DE GÉBROULAZ, MASSIF DE LA VANOISE, FRANCE

par Louis REYNAUD, Michel VALLON et Charles CARLE (1)

A)	Le glacier de Gébroulaz.....	10
B)	Les variations du front.....	13
C)	Les variations d'altitude de la surface.....	17
D)	Les vitesses superficielles.....	19
E)	Mesures de bilan.....	21
F)	Conclusion.....	27
	Références.....	28

Résumé. — Le glacier de Gébroulaz a fait l'objet de mesures glaciologiques plus ou moins continues et complètes depuis un premier relevé de longueur en 1730. L'assemblage de toutes ces données permet néanmoins d'obtenir une vue globale des fluctuations de longueur, altitude, vitesse et bilan.

Il apparaît que le glacier a connu au cours du dernier siècle les mêmes épisodes principaux de variation de longueur que les autres glaciers des Alpes : crues de 1890, 1920 et actuelle, entrecoupées de reculs dont le plus important, entre 1940 et 1960, caractéristique de la décennie de bilan extrêmement défavorable des années 40 à 50 se retrouve tout au long de l'arc alpin.

D'autre part, accompagnant un lent gonflement du glacier de 8 m entre 1910 et 1920, il y a eu une augmentation très importante des vitesses en 1928 qui passent de quelque 5 m/an à plus de 30 m/an aux deux profils.

Enfin grâce à la séquence de mesures des Eaux et Forêts de 1908 à 1950, et à la prospection sismique du CNRS de 1973, le bilan de masse des 30 hectares compris entre les deux profils a pu être déterminé. Cette série de 43 années révèle les mêmes variations que celles reconstituées pour le glacier de Sarennes et que celles mesurées depuis 1923 sur le glacier d'Aletsch.

Actuellement le glacier de Gébroulaz est surveillé par photogrammétrie aérienne à période de 3 ans et, depuis 1978, un réseau de balises d'ablation fournit des bilans à

(1) Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement du CNRS.
2, rue Très-Cloîtres - 38031 Grenoble Cedex.

cinq niveaux. La poursuite de ces relevés conjuguée avec une reprise des mesures de vitesses et d'altitude devrait faire du glacier de Gébroulaz un observatoire idéal pour l'étude des variations climatiques reflétées par les glaciers le long de l'arc alpin.

Mots clés : *Fluctuations glaciaires, bilan de masse.*

Summary. — ANALYSIS AND SYNTHESIS OF GLACIOLOGICAL DATA AVAILABLE FOR THE GEBROULAZ GLACIER, VANOISE AREA, FRANCE.

Glaciological data have been collected more or less continuously since the first length measurement in 1730. This data set enables us to study length, level, velocities and balance fluctuations.

Firstly we find that this glacier has changed length during the last century in much the same way as other alpine glaciers. That is the advances in 1890, 1920 and 1970. The most noticeable retreat is of 1940-1960, caused by the continuously unfavourable balances of the forties, common to the whole Alps. Secondly, after a 8 meter of slow glacier growth from 1910 to 1920 there was a sudden velocity increase around 1918 with velocities changing from 5 to 37 m/year.

Finally using the results of regular measurements by the Eaux et Forêts Office and of seismic sounding by the CNRS, the mass balance of a .3 square kilometers sector between two cross-profiles has been computed. This 43-year long series closely follows the pattern reconstructed for the Sarennes glacier and that measured on Aletsch Glacier since 1923.

Currently the Gebroulaz glacier is surveyed by aerial photogrammetry every 3 years, and since 1978, ablation stakes provide balances at five places. Augmentation of this survey level and velocity measurements would make Gebroulaz an ideal observatory of the climatic variations experienced by the glaciers in the Alps.

Key words : *Glacial fluctuations, glacial mass balance.*

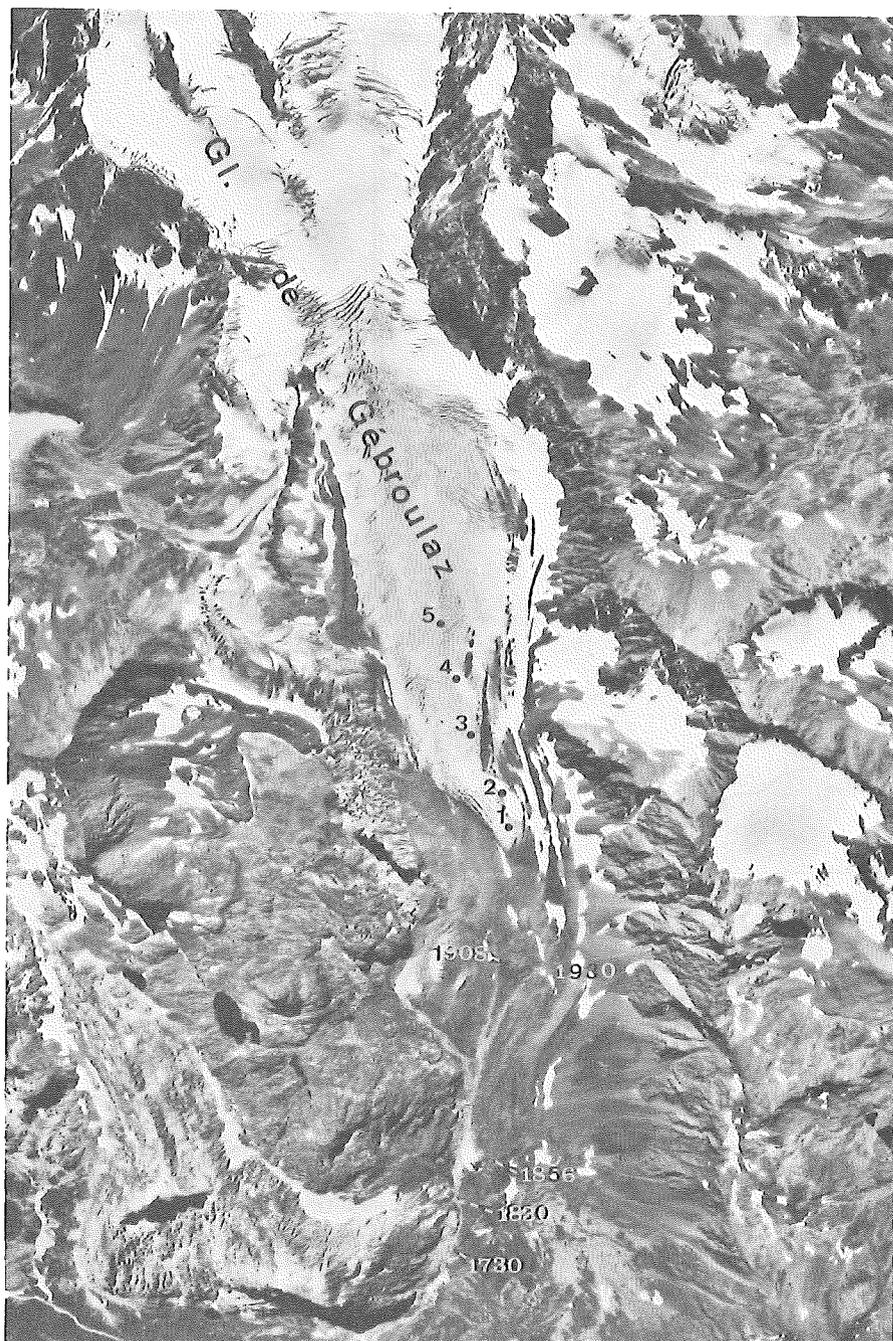
A) LE GLACIER DE GEBROULAZ

Le glacier de Gébroulaz (45°17' N, 6°38' E) descend du versant nord du massif de Pécelet Polset à la limite occidentale du Parc National de la Vanoise. Petit glacier d'environ 300 ha, il s'étend sur 4 km de longueur entre 3 580 et 2 600 mètres d'altitude (fig. 1). Sur deux kilomètres, la rive droite du glacier, située entre le débouché de l'émissaire du lac Montcoir et le refuge du Sault, est constituée de gypse et de cargneules (fig. 2). La rive gauche du glacier est formée par des grès schisteux gris foncé.

Quant au lit sous-glaciaire, contrairement aux autres glaciers des Alpes occidentales bien étudiés jusqu'à présent (glacier Blanc, Mer de Glace, glacier de Saint-Sorlin et Argentière), la prospection sismique de 1971 (FOURNO, 1974) laisse soupçonner la présence d'une épaisse couche de matériaux meubles, correspondant soit à des roches altérées, soit à des sédiments morainiques.

FIG. 1. — Photographie aérienne du Glacier de Gébroulaz en 1967 ou 1970. IGN. Copyright 1967 Paris. Les balises d'ablation placées sur la langue en octobre 78 sont repérées par leur numéro. Les dates indiquent la position du front pour quelques années remarquables.

MESURES GLACIOLOGIQUES SUR LE GLACIER DE GÉBOULAZ



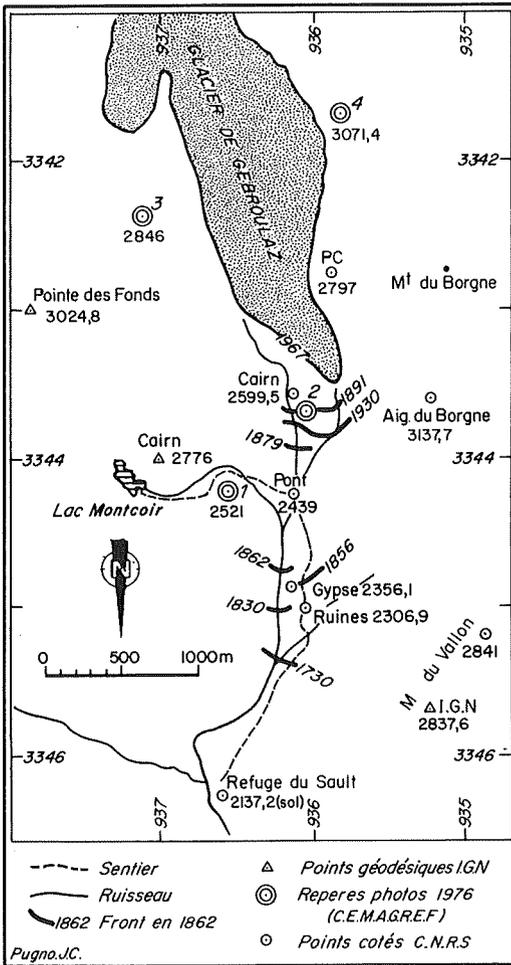


FIG. 2. - Carte de situation des positions du front depuis 1730, et des appuis au sol des Eaux et Forêts, du CEMAGREF et du CNRS.

Entre autres originalités, Gébroulaz est un des rares glaciers de vallée du massif de la Vanoise et aussi le seul glacier français qui soit une propriété privée. MOUGIN (1923) pense que ces deux dernières particularités expliquent l'attention dont il a fait l'objet et c'est effectivement le glacier de Vanoise pour lequel on dispose du plus grand nombre d'observations au cours du temps.

Aux XVIII^e et XIX^e siècles, quelques cartes permettent d'apprécier les variations du front. De 1907 à 1966, les Eaux et Forêts ont systématiquement déterminé les positions du front, les variations de niveaux et les vitesses de la glace. Enfin depuis 1971, le Laboratoire de Glaciologie du CNRS dans le cadre de

contrats de recherche avec le Parc National de la Vanoise a déterminé l'épaisseur du glacier, dressé une carte glaciologique de la langue et observé, depuis 1978, quelques bilans de masse.

Certes une bonne partie de ces résultats a déjà été présentée par leurs auteurs (MOUGIN, 1923 - FOURNO, 1974) ou reproduits dans des compilations (ONDE, 1938 - VIVIAN et CHINAL, 1969), mais de nombreuses observations sont encore inédites ou inexploitées et il nous a paru intéressant d'en présenter une synthèse avant d'entreprendre une nouvelle série d'observations sur ce glacier.

B) LES VARIATIONS DU FRONT

Le plus ancien document représentant le glacier de Gébroulaz est le cadastre sarde de 1730. Le front du glacier est alors à moins de 1 km des chalets du Sault. Le premier plan cadastral français établi en 1879 par Monsieur BORREL, géomètre à Mouïtiers, représente également les limites du glacier. En 1891, le prince Roland BONAPARTE note la position du front, puis à partir de 1907 on dispose pratiquement de mesures annuelles.

On a représenté sur la figure 4 les variations de longueur du glacier de 1730 à 1981. Pour la période 1730-1930, nous reproduisons directement les résultats de MOUGIN (1925 et 1930) qui a sérieusement discuté les sources anciennes et utilisé les mesures des Eaux et Forêts disponibles. De 1940 à 1966, nous avons dépouillé les mesures restées inédites des Eaux et Forêts (archives conservées par le CEMAGREF à Grenoble). Pour la période de 1966 à 1981, nous avons restitué les photographies aériennes de l'IGN et du CEMAGREF (programme de surveillance photogrammétrique triennal remplaçant les relevés de terrain annuels) et utilisé nos propres levés de terrain.

Toutes les mesures anciennes semblent montrer un recul continu du glacier de 1730 à 1891. Mais un siècle sépare les deux plans cadastraux sardes et plusieurs avancées et reculs ont éventuellement pu se produire. MOUGIN (ONDE ne fait que reprendre ses conclusions) recherchant synchronisme et périodicité dans les fluctuations des glaciers, s'inquiétait quelque peu de ne pas trouver sur le glacier de Gébroulaz la décrue de la fin du XVIII^e siècle et la crue du début du XIX^e qu'il avait mises en évidence pour les glaciers du massif du Mont-Blanc.

Mais il remarquait qu'il y a si peu de données que cette oscillation peut effectivement avoir eu lieu entre 1730 et 1830. Sur la figure 4, plutôt que de joindre d'un pointillé aussi prudent que tristement rectiligne la position de 1730 à celle de 1830, nous avons préféré dessiner une oscillation, d'amplitude totalement arbitraire bien sûr. En effet, vers 1850, le front du glacier se trouve à l'amont d'une série de moraines (fig. 2) comparables à celles qui marquent les avancées de 1910 et 1930. Un recul monotone de 300 mètres en un siècle n'aurait pas laissé une trace de ce type.

Par contre, de 1850 à 1891, le front se retire de quelques 1 200 m, soit une trentaine de mètres par an. Ceci ne laisse guère de place à quelques réavancées intermédiaires.

puis un recul très rapide entre 1945 et 1966 (300 mètres). Enfin, depuis 1970, le front du glacier a réavancé d'une centaine de mètres.

Le comportement du glacier de Gébroulaz est donc, au XX^e siècle, assez comparable à celui de tous les glaciers de vallée des Alpes. Mais il serait par contre tout-à-fait vain de tenter une comparaison détaillée avec les fluctuations du front d'un glacier de vallée. En effet, toute imprécision et inexactitude des levés successifs mises à part, deux tares fondamentales affectent le critère « fluctuation des positions du front » : définition du front (sur le terrain) et définition de la fluctuation du front (sur la carte) sont, en pratique, purement subjectives.

a) définition du front

La position du front qui va figurer sur la carte dépend de ce que représente le concept « limite du glacier » pour le porte-mire. Selon les années et les individus, un névé proglaciaire sera intégré au glacier ou non. Certains tenteront éventuellement de deviner la limite de la glace sous le névé, mais malheureusement ces détails ne figurent pas sur les minutes des relevés. Dans d'autres cas, une partie du glacier, recouverte de moraine, ne sera pas reconnue

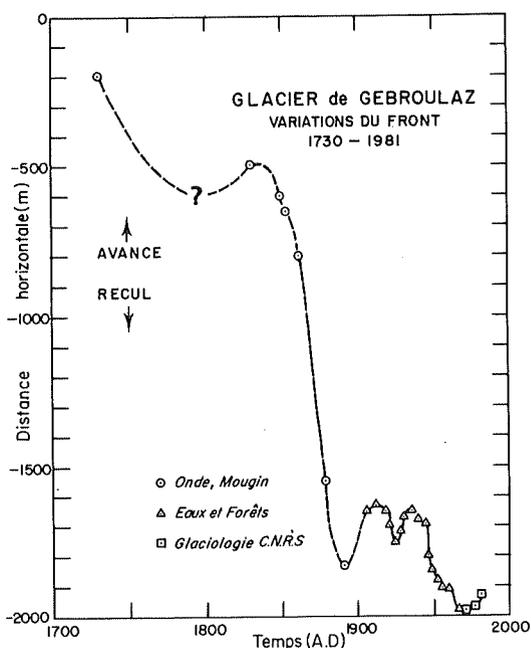


FIG. 4. - Variation de longueur du glacier de Gébroulaz de 1730 à 1982.

comme telle : sur le glacier de Gébroulaz c'est en particulier le cas de la zone de glace recouverte de la rive droite (carte glaciologique, FOURNO, 1974) qui a dû commencer à se séparer du glacier vers 1916. Une autre incertitude provient du choix des points caractéristiques permettant d'assimiler le front à une ligne polygonale : certains effectuent un lissage, mais pour d'autres les points caractéristiques sont plutôt compris comme les points extrêmes. Le front relevé est alors une enveloppe largement située à l'aval du front réel. L'expérience nous a montré que le biais ainsi introduit pouvait atteindre une dizaine de mètres.

b) Définition des fluctuations du front

L'examen de la figure 3 montre l'ambiguïté de cette notion. Doit-on considérer la variation de longueur du glacier ? Dans ce cas, le glacier de Gébroulaz a autant reculé entre 1959 et 1982 qu'entre 1946 et 1965. Ces conclusions donnent manifestement une très mauvaise image du glacier. Il semblerait préférable d'estimer la variation moyenne de la position d'une rive à l'autre. Malheureusement, mis à part le levé de 1907, celui de 1959 et ceux postérieurs à 1970 (dessinés par photogrammétrie aérienne), ces levés sont très courts et surtout de longueur variable. Diviser la surface située entre deux fronts successifs par la longueur d'enregistrement moyenne introduit alors un bruit considérable. Et quand bien même cette méthode pourrait être appliquée convenablement, elle est susceptible de donner des résultats contestables : le glacier aurait reculé entre 1970 et 1975, alors que nous préférons dire qu'il a avancé car la progression du front rive droite a, à nos yeux, beaucoup plus de signification que la disparition de la mince langue de glace qui existait, rive gauche, en 1970.

Seule l'allure générale de la courbe des variations sera donc examinée pour être comparée à celle d'autres glaciers (fig. 5). La plupart des détails ne sont dus qu'aux conditions locales. A l'ombre de l'Aiguille du Borgne, tôt dans l'après-midi, et copieusement suralimentée par les avalanches qui en descendent, la moitié gauche du glacier présente un bilan nettement supérieur à celui observé à la même altitude rive droite. En période de recul, le mouvement de la glace étant très faible, on peut considérer que le glacier fond sur place et le retrait est beaucoup plus important en rive droite, mis à part une étroite bande de glace protégée par une épaisse couche morainique : 3 mètres selon la prospection électrique de 1971 (FOURNO, 1974).

Par contre, en période de crue, le phénomène essentiel est, verrons nous, une augmentation très importante de la vitesse de la glace. L'importance de l'ablation différentielle devient alors négligeable, les vitesses étant plus ou moins uniformes d'une rive à l'autre et le glacier réoccupe tout le fond de la vallée.

En conclusion, le glacier de Gébroulaz ne ressemble pas au glacier de vallée idéal. Ici le fait essentiel est la dissymétrie Est-Ouest qui fait que le côté Est est zone d'ablation sur 2 km tandis que le côté Ouest est zone d'accumulation jusqu'à la langue même. Dans ces conditions, c'est une grande partie de la rive droite qui constitue le front. Malheureusement elle n'a pas été relevée suffisamment souvent pour qu'on puisse en tirer parti.

MESURES GLACIOLOGIQUES SUR LE GLACIER DE GÉBROULAZ

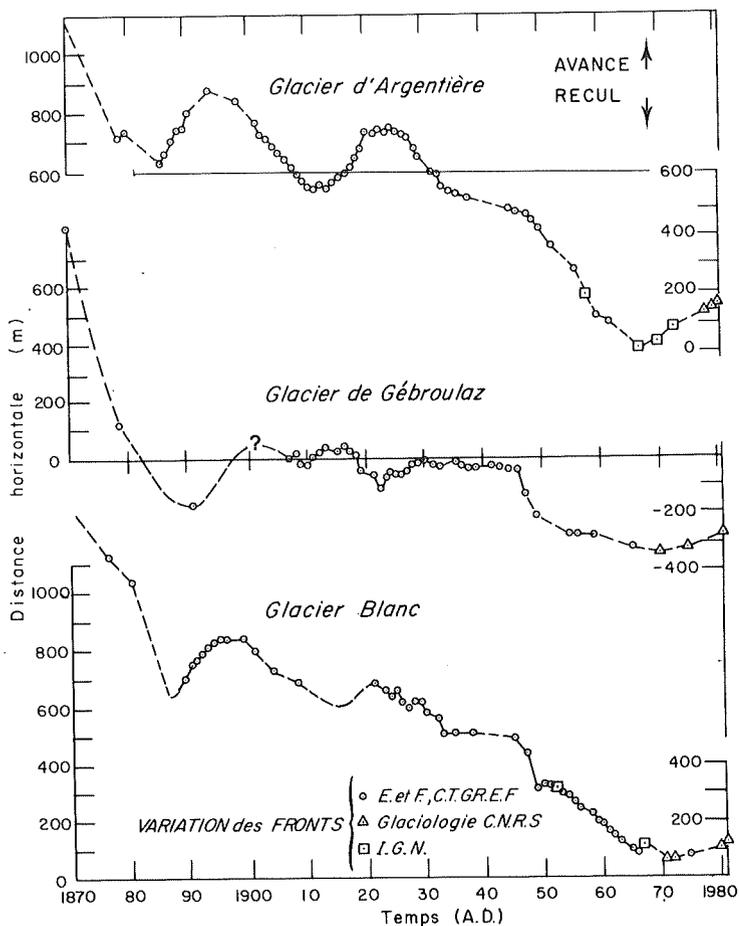


FIG. 5. - Variation de longueur du glacier de Gébroulaz de 1970 à 1982 comparée à celles du glacier d'Argentière (M^l-Blanc) et du glacier Blanc (Ecrins).

C) VARIATIONS D'ALTITUDE DE LA SURFACE

De 1906 à 1966 l'Administration des Eaux et Forêts a fait déterminer, presque chaque année, l'altitude de la surface du glacier, le long de deux profils transversaux (fig. 3).

La figure 6 représente les variations de l'altitude moyenne de la glace le long de ces profils. Les observations antérieures à 1930 ont déjà été publiées par MOUGIN (1930), par contre comme pour les fronts, les plus récentes sont encore inédites.

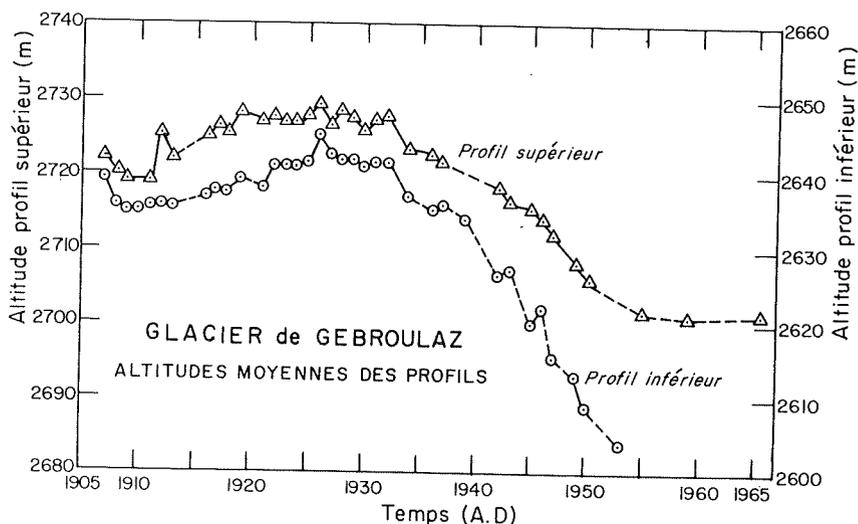


FIG. 6. - Variation de l'altitude moyenne du glacier de Gébroulaz aux deux profils transversaux - Mesures des Eaux et Forêts.

Moins sujettes aux erreurs d'appréciation des topographes que la position du front, les variations de niveau ne présentent pas d'ambiguïté et sont beaucoup plus représentatives de l'état du glacier. Elles ne sont pas pour autant exemptes d'erreurs. Hormis les erreurs accidentelles de topographie, il s'agit de fluctuations liées à la date des relevés. Ceux-ci ont été effectués entre fin juillet et début septembre, or, au cours du mois d'août, le niveau peut diminuer de 1 à 2 m par ablation de glace. Une autre cause d'imprécision vient de la présence du névé lors des mesures. Ce névé n'a pas été sondé et il n'est pas possible de le convertir en couche de glace équivalente. Cependant on constate que les exhaussements brusques des niveaux tels qu'en 1912, 17, 19 et 26 correspondent en fait à des mesures manquantes sur les profils pour les déplacements des pierres peintes témoins, parce qu'elles n'ont pas pu être retrouvées sous le névé. C'est pourquoi lors de l'utilisation de ces fluctuations de niveaux, il conviendra de lisser la courbe de ces aspérités.

Cet échantillon de mesures montre une élévation régulière des niveaux d'une dizaine de mètres de 1910 à 1930, suivie d'un léger abaissement jusqu'en 1940. Par contre, à partir de cette date, le parallélisme des variations des deux profils disparaît lors de la baisse des années 1940 à 50. Le profil supérieur décroît de 1,30 m/an tandis que le profil inférieur s'abaisse de 2 m/an. Alors que le profil supérieur se stabilise vers 1960, le front du glacier recule encore jusqu'en 1970, montrant le décalage entre la signification des variations du front et les variations réelles du glacier.

Ainsi décrites les fluctuations des niveaux ressemblent à celles obtenues sur les glaciers du Mont-Blanc (REYNAUD, 1977) ainsi que sur le glacier Blanc dans le massif du Pelvoux (LETRÉGUILLY, 1982) à la différence que l'exhausse-

ment des niveaux est plus marqué vers 1920 que pour Gébroulaz. Ceci vient des vitesses d'écoulement qui, pendant cette période, ont suffisamment augmenté pour évacuer vers l'aval l'excédent de glace.

D) LES VITESSES SUPERFICIELLES

En même temps que l'altitude les Eaux et Forêts ont relevé aux deux profils les déplacements annuels du glacier. Les mesures ont été faites à l'aide de pierres marquées à la peinture, disposées chaque année sur le profil. Ces pierres posées sur le glacier, même si elles ne glissent pas, ne permettent pas, en toute rigueur, de déterminer le mouvement de la glace. En effet elles ne sont liées à une ligne de courant que dans la mesure où il n'y a pas d'ablation, ce qui correspond à la période d'octobre à juin. Mais au cours de l'été elles vont suivre l'abaissement de la surface sous l'effet de la fonte, non pas suivant une verticale, mais suivant la normale à la surface. Cet effet, de l'ordre du produit du bilan (1 à 3 m de glace) par la pente de la surface (10 à 20 %) ne diminue les vitesses que de quelques décimètres par an et nous pouvons le négliger ici. Par contre ces pierres sont généralement plates et choisies telles pour y faire figurer facilement les marques d'identification à la peinture. Elles se comportent alors comme de petites tables glaciaires qui ripent du côté du soleil à cause de l'ablation différentielle. Sur un glacier exposé au Nord comme Gébroulaz, ceci

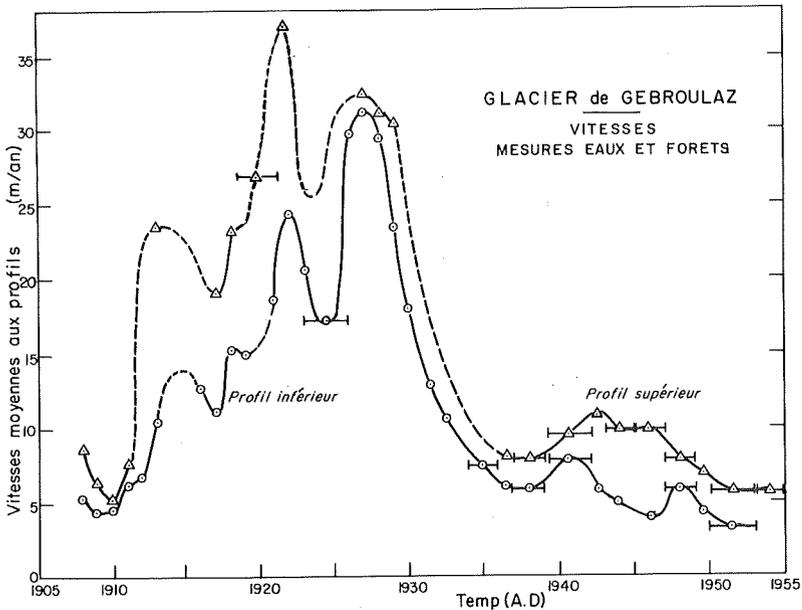


FIG. 7. - Variation de la vitesse moyenne sur les deux profils. Mesures des Eaux et Forêts.

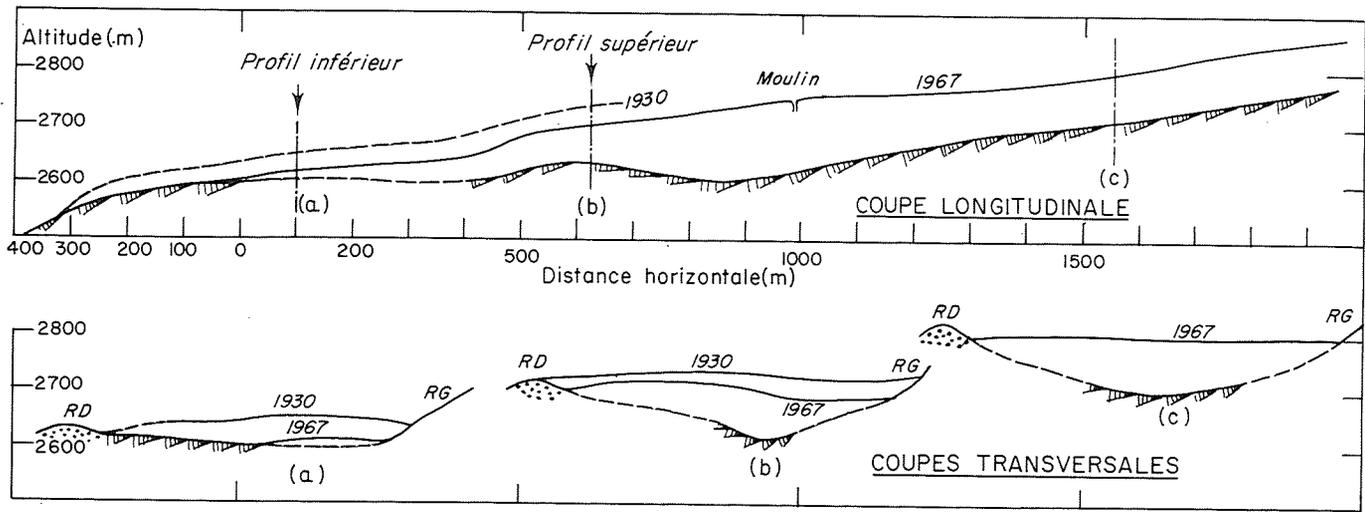


FIG. 8. - Coupes longitudinale et transversale du glacier de Gébroulaz, d'après la sismique CNRS de 1971 (FOURNO, 1974).

tend également à diminuer leur déplacement. Mais ne disposant pas de comparaison entre les mouvements réels et ceux obtenus avec ces témoins, la correction est impossible. Tout au plus on peut penser que le déplacement annuel est légèrement sous-estimé. Les vitesses ainsi obtenues, moyennes d'une dizaine de valeurs, sont portées en fonction du temps sur la figure 7. La différence de vitesse entre les deux profils est généralement faible (1 à 5 m. an⁻¹) alors que le glacier est au moins 2 fois plus épais au niveau du profil supérieur qu'au profil inférieur (fig. 8).

On assiste d'autre part à une très grande augmentation de la vitesse entre 1910 (5 m. an⁻¹) et 1928 (plus de 30 m. an⁻¹), puis à un retour très rapide dès 1935, aux vitesses observées vers 1910.

Peut-on parler de surge ?

Rappelons que pour les glaciers sur lesquels on a décrit et baptisé ce phénomène, on observe pendant le surge :

- a) une vitesse extrêmement élevée (de l'ordre du kilomètre par an), pendant quelques mois, rarement 2 ou 3 ans;
- b) une forte avancée du front pendant cette période;
- c) la surface du glacier devient très chaotique, extrêmement crevassée;
- d) une baisse de niveau de la zone d'accumulation.

Ce bref épisode terminé, pratiquement toute la zone d'ablation s'immobilise et fond sur place.

Ce n'est pas le cas ici. En fait le front a avancé régulièrement de 1910 à 1917 d'environ 80 m et MOUGIN ne signale pas pour cette période un changement notable dans l'apparence de la surface.

Sur le glacier de Gébroulaz on assiste au passage, en un temps relativement bref, d'un état d'écoulement lent à un autre plus rapide sans que l'équilibre soit véritablement rompu. L'écoulement se fait en bloc, la déformation dans le corps du glacier ne jouant qu'un rôle très faible à ce niveau. L'essentiel du mouvement est dû à un dérapage du glacier, probablement favorisé par la nature meuble du lit glaciaire. Cet écoulement en bloc est attesté par le fait qu'on retrouve en 1950 les mêmes vitesses qu'en 1910 bien que le glacier ait diminué de 30 mètres au profil supérieur et de 50 m au profil inférieur.

Toute modification de bilan, nécessitant une variation du débit de glace dans les parties basses, se traduit donc sur le glacier de Gébroulaz par d'importantes variations de vitesses plutôt que par des variations d'épaisseur. Des mesures de déplacement plus détaillées permettraient de mieux comprendre les mécanismes mis en jeu lors d'une crue comme celle de 1920.

E) MESURES DE BILAN

Déterminer le bilan de masse annuel d'un glacier c'est mesurer la variation de volume au cours d'une année budgétaire, période qui s'inscrit entre les premières neiges persistantes de l'automne à celles de l'année suivante. C'est

finalement ce que tentaient de faire les services des Eaux et Forêts en déterminant chaque année les positions de front et le niveau de quelques profils transversaux.

Mais le glacier étant en mouvement, et les caractéristiques de ce mouvement inconnues, cette méthode nécessite le relevé des variations de niveaux sur tout le glacier, du front à la rimaye. Cette méthode globale n'a finalement jamais vraiment été utilisée de façon continue pour déterminer le bilan annuel compte-tenu de l'importance des travaux topographiques nécessaires, mais aussi parce qu'elle ne donne aucune indication sur les caractéristiques du métabolisme du glacier (variations spatiales du bilan, coefficient d'activité).

Actuellement on préfère déterminer séparément les gains et les pertes au cours de l'année en effectuant des mesures non plus en des points de coordonnées fixes mais en des points liés au glacier.

Dans la partie haute du glacier, l'accumulation peut être déterminée en chaque point de mesure par pesée d'une carotte du névé de l'année restant vers le 1^{er} octobre. Plus bas en zone d'ablation on mesure la quantité de glace disparue au niveau de balises, qui servent de témoins d'une année sur l'autre car elles sont implantées à 5 ou 10 m de profondeur, et rendues solidaires de la glace à leur base.

Quelques glaciers des Alpes seulement sont ainsi suivis annuellement car cela représente une importante quantité de travail avec transport de matériel

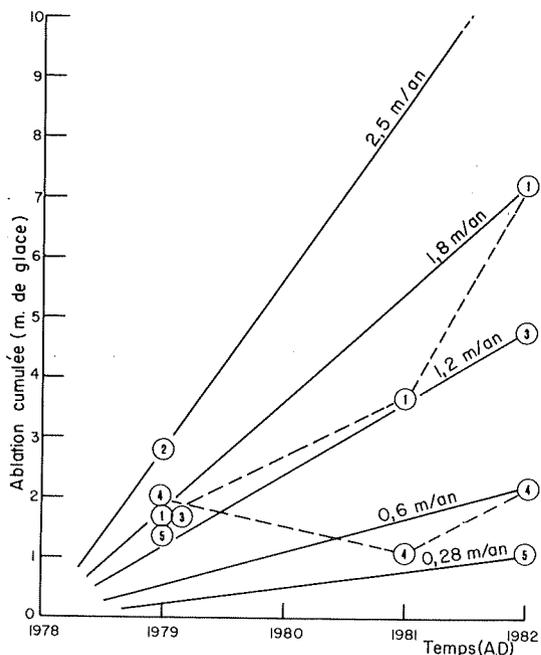


FIG. 9. - Ablation cumulée aux 5 balises entre octobre 1978 et octobre 1982.

sur le glacier. D'autre part ces mesures sont récentes : le plus ancien glacier étudié ainsi est le Storglaciaren en Suède depuis 1946; en France ces mesures n'ont commencé qu'en 1949.

Le glacier de Gébroulaz a été équipé de 5 balises d'ablation en octobre 1978 entre 2 700 et 2 820 m d'altitude (fig. 8). Les résultats sont portés sur les figures 9 et 10. On a également représenté quelques valeurs obtenues en 1971-72 lors de la prospection sismique. La courbe d'ablation en fonction de l'altitude montre une fonte décroissant régulièrement avec l'altitude sauf à la balise 2 où elle est d'un mètre plus importante, probablement à cause des nombreuses crevasses et à la cassure de pente de cet endroit.

Sur les 4 années, en octobre 1978 et octobre 1982, il a fondu en moyenne 1,8 m de glace à 2 700 m et 0,28 m à 2 820 m. Par suite des chutes de neige précoces en octobre 1980 les mesures n'ont pu être faites cette année là, aussi ne dispose-t-on que de l'année 79, de l'ensemble 80 et 81 et de l'année 1982. Les fluctuations par rapport à la moyenne sont respectivement de - 0,62 m, + 1,7 et - 1,20 en m de glace comparables à celles observées dans les Grandes Rousses (+ 0,20, + 1,7 et - 0,60).

Ces résultats ne portent que sur 4 années, et ce n'est que lorsqu'on aura une série plus étoffée qu'une comparaison sérieuse pourra être entreprise.

Néanmoins les mesures effectuées par les Eaux et Forêts permettent d'estimer les valeurs moyennes du bilan au niveau de la langue du glacier de Gébroulaz entre 1908 et 1950.

En effet l'équation de continuité appliquée à une tranche de glacier d'épaisseur dx (fig. 11a) s'écrit :

$$\frac{dq}{dx} = dS \left(b - \frac{dh}{dt} \right)$$

où q est le débit de glace à travers une section droite,

b le bilan sur la tranche de surface S

et dh/dt la variation d'altitude de la surface

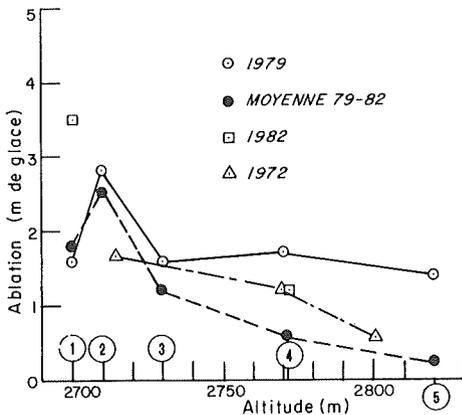


FIG. 10. - Variation du bilan en fonction de l'altitude.

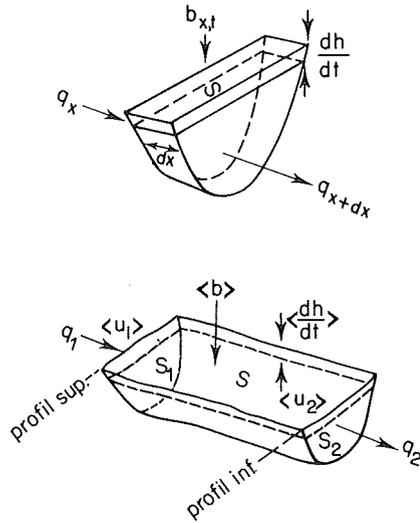


FIG. 11. - Variation du flux de glace : a) dans une tranche du glacier b) application à la portion du glacier limitée par les deux profils.

Cette équation est inutilisable sous cette forme mais elle peut être discrétisée (fig. 11b) :

$$q_1 - q_2 = S_1 \langle U_1 \rangle - S_2 \langle U_2 \rangle = S \left(\langle b \rangle - \left\langle \frac{dh}{dt} \right\rangle \right)$$

d'où

$$\langle b \rangle = \frac{S_1 \langle U_1 \rangle - S_2 \langle U_2 \rangle}{S} + \left\langle \frac{dh}{dt} \right\rangle$$

avec S_1 et S_2 : sections du glacier suivant les profils supérieurs et inférieurs, $\langle U_1 \rangle$ et $\langle U_2 \rangle$: vitesse annuelle moyenne à travers les 2 sections, $\langle b \rangle$ bilan annuel moyen entre les deux profils et $\langle dh/dt \rangle$ variation moyenne d'épaisseur dans la région étudiée (surface S) que nous poserons égale à la moyenne des variations d'épaisseur suivant les 2 profils.

Malheureusement nous ne connaissons pas la distribution de vitesse U dans toute la section droite pour calculer le débit q :

$$q_i = \int_{S_i} U \, ds = S_i \langle U \rangle$$

mais NYE (1965) affirme que la vitesse moyenne dans la section est égale à la vitesse moyenne en surface d'une rive à l'autre $\langle U_i \rangle_s$.

Dans ce cas on a :

$$q_i = S_i \langle U_i \rangle_s$$

MESURES GLACIOLOGIQUES SUR LE GLACIER DE GÉBROULAZ

TABLEAU I
 Calcul du bilan moyen $\langle b_t \rangle$ entre les deux profils
 et variation β_t de ce bilan
 sur la période 1908-1950, en mètres de glace.

	S_1 ha	u_1 m/an	q_1 10^4 m ³ /an	S_2 ha	u_2 m/an	q_2 10^4 m ³ /an	ΔQ 10^4 m ³ /an	$\frac{\Delta Q}{S}$ m/an	$\frac{dh}{dt}$ m/en	b m/an	β_t m/an
1908	3.3	8	26.4	1.3	5	6.5	-20	-.6	-2.5	-3.1	-1.3
9	3.15	7	22	1.2	4	4.8	-17.5	-.5	-.8	-1.3	.5
1910	3.	5	15	1.1	4	4.4	-10.6	-.33	0	-.3	1.4
1	3.1	8	24.8	1.1	6	6.6	-18.2	-.5	0	-.5	1.3
2	3.25	11	35.7	1.1	7	7.7	-28	-.87	.7	-.2	1.62
3	3.4	23	78	1.1	11	12.1	-66	-2.0	1	-1.	.8
4	3.45	22	76	1.2	13	15.6	-60.3	-1.87	.9	-.9	.9
5	3.5	22.5	78.7	1.3	13	17	-62	-1.9	.8	-1.	.8
6	3.55	21	74.5	1.32	12	15.8	-58.7	-1.8	.7	-1.1	.7
7	3.6	19	68.4	1.35	11	14.8	-53.5	-1.66	.6	-1.	.8
8	3.6	23	82.8	1.37	15	20.5	-62.2	-1.9	.5	-1.4	.4
9	3.65	24	87.6	1.39	15	21	-66.6	-2.1	.5	-1.6	.2
1920	3.7	27	100	1.4	15	21	-79	-2	.5	-1.5	.3
1		30	111	1.45	18	26.1	-84.9	-2.63	.3	-2.3	-.5
2		37	137	1.5	24	36	-101	-3.12	.3	-2.83	-1.
3		31	114	1.53	21	32.1	-82.6	-2.56	.25	-2.25	-.4
4		27	100	1.57	17	26.7	-73.2	-2.3	.2	-2.1	-.3
5		30	111	1.6	17.5	28	-80	-3.4	.2	-3.2	-1.4
6		32	118		30	48	-70.4	-2.2	.1	-2.1	-.3
7		32	118		36	57.6	-60.4	-1.9	0	-1.9	-.1
8		31	114		29	46	-68.3	-2.10	0	-2.1	-.3
9		30	111		23	37	-74	-2.3	-.1	-2.4	-.6
1930		23	85	1.6	18	29	-56	-1.7	-.1	-1.8	0
1		20	74	1.55	13	20.1	-54	-1.7	-.2	-1.9	-.1
2	3.7	20	74	1.5	13	19.5	-60	-1.8	-.3	-2.1	-.35
3	3.6	13	46	1.4	10	14	-32.4	-1	-.4	-1.4	.4
4	3.53	11	38.8	1.35	8	11	-28	-.9	-.5	-1.4	.4
5	3.5	10	35	1.3	8	10.5	-24.5	-.76	-.7	-1.5	.3
6	3.4	9	30.6	1.27	7	8.9	-21.7	-.6	-.8	-1.4	.4
7	3.3	8	26.4	1.22	6	7.3	-19	-.6	-1.	-1.6	.2
8	3.25	8	26	1.2	6	7.2	-21	-.65	-1.1	-1.75	0
9	3.22	8	25.7	1.15	7	8.	-17.7	-.55	-1.2	-1.77	0
1940	3.2	10	32	1.11	8	9	-22	-.7	-1.4	-2.1	-.3
1	3.15	10	32.5	.95	8	7.6	-25	-.77	-1.5	-2.3	-.5
2	3	11	33	.8	6	4.8	-28	-.9	-1.7	-2.6	-.8
3	2.97	11	32.7	.77	6	4.6	-28	-.9	-1.9	-2.8	-1
4	2.93	10	29.2	.72	5	3.6	-25.6	-.8	-1.9	-2.7	-.9
5	2.9	10	29	.7	5	3.5	-26.5	-.8	-2	-2.8	-1.
6	2.8	10	28	.63	4	2.4	-25.6	-.80	-2	-2.8	-1.
7	2.7	9	24.3	.57	5	2.85	-21.4	-.66	-1.9	-2.56	-.8
8	2.6	8	21	.5	6	3	-18	-.56	-1.8	-2.3	-.5
9	2.55	7.5	19	.45	6	2.7	-16.4	-.5	-1.7	-2.2	-.4
1950	2.5	7	17.5	.4	4	1.6	-16	-.5	-1.5	-2	-.2

Cette hypothèse simplificatrice semble bien vérifiée dans le cas du glacier de l'Athabasca (Canada) où RAYMOND (1971) a effectivement mesuré la distribution de vitesse dans 3 sections de ce glacier (REYNAUD, 1973), aussi nous l'adopterons dans les calculs de flux. La surface entre les deux profils n'a pratiquement pas varié entre la période 1908 et 1950 et vaut 32,05 ha (fig. 3). Les données nécessaires au calcul sont rassemblées dans le tableau I. Elles conduisent à des bilans moyens comparables à ceux observés récemment aux balises d'ablation : $\bar{b} = 1,85$ m de glace soit $-1,66$ m d'eau. La variation par rapport à cette moyenne est donnée chaque année par :

$$\beta_t = \langle b_t \rangle - \bar{b}$$

Ces valeurs sont portées sur la figure 12 ainsi que les valeurs cumulées en fonction du temps qui font mieux ressortir les tendances pendant cette période.

On retrouve bien les grandes séquences de bilans favorables (1908-1918) et défavorables (1940-1950) bien connues par ailleurs.

Nous avons également reproduit sur la figure 12 les bilans du glacier de Sarennes reconstitués par MARTIN (1977) à partir des données météorologiques et les bilans du glacier d'Aletsch (déterminés par la méthode hydrologique - KASSER et ALLEN, 1980).

Les caractères communs à ces courbes sont principalement les mêmes séquences de bilans conduisant à des amplitudes cumulées très voisines, avec cette différence que les bilans reconstitués sur les fluctuations de températures et de précipitations ou mesurés pour Aletsch présentent des variations de détail

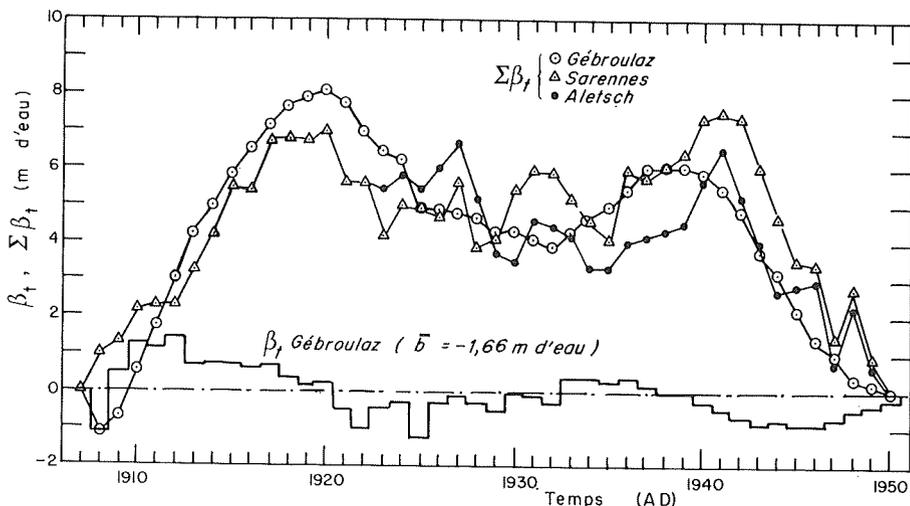


FIG. 12. - Variation du bilan β_t entre les deux profils et comparaison de ces variations à celles reconstituées pour le glacier de Sarennes (MARTIN, 1977) et à celles mesurées sur le glacier d'Aletsch (KASSER-AELLEN, 1980).

plus marquées, alors que la courbe obtenue sur Gébroulaz est plus lisse, comme si ses fluctuations étaient atténuées. Ceci provient probablement du fait que les valeurs des variations de hauteur et de surface des sections ont été adoucies et interpolées pour les années manquantes, ce qui rend leurs fluctuations plus régulières. Cela se traduit par un écart-type des variations du bilan de 50 cm d'eau, bien inférieur à celui de Sarennes ou d'autres glaciers de la chaîne, qui est voisin de 80 cm d'eau. Mais la principale source d'imprécision vient de la surface réelle entre les profils, en effet les bords du glacier n'ont pas été relevés très régulièrement. Quand bien même cela aurait été fait on n'aurait pas disposé d'une valeur bien représentative, car, que ce soit en rive droite ou en rive gauche, les limites sont mal définies par suite de la couverture morainique et surtout du névé qui persiste, souvent même à la fin de l'été, sur les bords du glacier. Néanmoins l'accord est particulièrement satisfaisant. Ceci confirme la validité des modèles linéaires de variations des bilans glaciaires (LLIBOUTRY, 1974; VALLON et LEIVA, 1982; REYNAUD, 1980). En effet LLIBOUTRY a montré que les bilans en zone d'ablation (b_{jt}) pouvaient être représentés par la somme de deux termes :

α_j : caractéristique du lieu, invariant dans le temps,

et

β_t le même pour tout le glacier, dépendant seulement de l'année.

Soit $b_{jt} = \alpha_j + \beta_t + \varepsilon_{jt}$,

la valeur moyenne de β_t au fil des ans étant nulle et ε_{jt} est la différence entre la mesure et le modèle, son écart type renseigne sur la validité du modèle et la précision des mesures.

VALLON et LEIVA ont confirmé que ce modèle pouvait être étendu à la zone d'accumulation. Donc les fluctuations des bilans moyens que nous avons calculés pour 32 hectares de la langue d'ablation de Gébroulaz sont représentatives du bilan de masse de l'ensemble du glacier (300 hectares). Par ailleurs, REYNAUD a montré que ces mêmes fluctuations se retrouvent à quelques détails près sur tous les glaciers des Alpes, du Pelvoux au Hohe Tauern.

F) CONCLUSION

L'ensemble des mesures disponibles sur le glacier de Gébroulaz permet de décrire de façon assez complète ses variations notamment pour la période 1907-1955, ceci grâce aux mesures des Eaux et Forêts. Cependant il ressort de cette analyse que le front doit être levé sur toute la rive droite, pour en obtenir la variation de longueur. Malgré cette difficulté les fluctuations de longueur sont comparables à celles des autres glaciers alpins.

L'ensemble des relevés d'altitudes et de vitesses effectués aux deux profils fixes a permis de reconstituer les bilans annuels de 1908 à 1950. Cette série révèle les mêmes épisodes de fluctuation de bilan que les deux seules séries disponibles dans les Alpes pour cette période et constitue un test favorable à l'extension du modèle statistique linéaire de variation du bilan.

Bien qu'actuellement on dispose d'un système de 5 balises d'ablation et que le CEMAGREF effectue des relevés photogrammétriques à période de 3 ans, ce glacier mériterait une étude plus détaillée pour suivre ses fluctuations, en particulier une étude détaillée des fluctuations de vitesses annuelles mais aussi saisonnières devrait permettre de comprendre le mécanisme de la crue des années 20.

Il semble intéressant de reprendre les mesures des Eaux et Forêts à l'emplacement des deux profils. Ces mesures topographiques seraient effectuées à l'occasion du relevé annuel des balises d'ablation. Ces relevés conjugués viendront compléter la série de mesure déjà disponible et faire du glacier de Gébroulaz un glacier test pour la surveillance des fluctuations climatiques enregistrées par les glaciers le long de l'Arc alpin.

REMERCIEMENTS

Nous aimerions exprimer notre reconnaissance et rendre hommage à tous ceux, topographes et agents des Eaux et Forêts restés anonymes, qui, pendant des décennies, ont soigneusement et consciencieusement relevé les fluctuations des glaciers, probablement souvent sans trop croire en l'intérêt de mesures de routine aussi fastidieuses. Nous espérons avoir montré que leur travail ne fut pas inutile et que la masse de données qu'ils ont accumulées au fil des ans peut, interprétée avec les concepts et méthodes de la glaciologie actuelle, nous fournir de précieuses indications sur le métabolisme des glaciers français depuis le début du siècle. Plusieurs dizaines de glaciers des Alpes françaises ont en effet été suivis avec la même méthode que le glacier de Gébroulaz. Une fois dépouillées ces archives nous fourniront une image probablement unique au monde, du métabolisme des glaciers de tout un massif pendant un demi-siècle.

La mise en place des balises sur le glacier a été réalisée grâce au soutien financier du Parc National de la Vanoise et Messieurs MARTINET et PERRIER, gardes du Parc à Méribel-les-Allues nous ont prêté leur concours. Nous les en remercions.

RÉFÉRENCES

- CEMAGREF. - Archives glaciaires des Eaux et Forêts et Photothèque, Domaine Universitaire, Saint-Martin-d'Hères.
- DE CRECY (L.), VALLA (F.) - Mesures glaciologiques sur le glacier de Sarennes. Comptes rendus annuels présentés à la réunion de Glaciologie de la Société Hydrotechnique de France.
- FOURNO (J.P.), 1974. - Détermination de l'épaisseur du glacier de Gébroulaz par prospection sismique. *Trav. sci. Parc nation. Vanoise*, **V**, 9-40.
- I.G.N. - Institut Géographique National, Photothèque des missions aériennes, 2, avenue Pasteur, 94160 SAINT-MANDÉ, France.
- KASSER (P.), AELLEN (M.) - Les glaciers suisses en 1980. Rapport annuel de la Commission suisse des glaciers. Les Alpes, *Revue du Club Alpin Suisse*.
- LETREGUILLY (A.), 1982. - *Analyse des mesures effectuées sur le glacier Blanc, massif des Ecrins, France*. DEA, sept. 1982, Univ. I Grenoble, Lab. de Glaciologie du CNRS.

- LLIBOUTRY (L.), 1965. - *Traité de Glaciologie*. Tomes I et II, Masson et C^{ie}, Paris.
- LLIBOUTRY (L.), 1974. - Multivariate statistical analysis of glacier annual balances. *Journal of Glaciology*, Vol. 13, N° 69, 371-392.
- LLIBOUTRY (L.), REYNAUD (L.), 1981. - Global dynamics of a temperate valley glacier, Mer de glace, and past velocities deduced from Forbes' bands. *Journal of Glaciology*, Vol. 27, N° 96, 207-226.
- MARTIN (S.), 1974. - Correlations bilans de masse annuels - facteurs météorologiques dans les Grandes Rousses. *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie*, Vol. X, N° 1-2, 89-100.
- MARTIN (S.), 1977. - Analyse et reconstitution de la série de bilans annuels du glacier de Sarennes, sa relation avec les fluctuations du niveau de trois glaciers du massif du Mont-Blanc (Bossons, Argentière, Mer de Glace). *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie*, Vol. 13, N° 1-2, 127-153.
- MOUGIN (P.), 1925. - *Etudes glaciologiques*, Tome V, p. 50-53 et 151-152. Ministère de l'Agriculture, Imprimerie Nationale, Paris.
- MOUGIN (P.), 1933. - *Etudes glaciologiques*, Tome VII, p. 41-46 et 249-250, Ministère de l'Agriculture, Imprimerie Nationale, Paris.
- NYE (J.F.), 1965. - The flow of a glacier in a channel of rectangular, elliptic or parabolic cross section, *Journal of Glaciology*, Vol. 5, N° 41, 661-690.
- ONDE (H.), 1938. - *Maurienne et Tarentaise : Etude de Géographie Physique*, 623 p., Arthaud, Grenoble.
- RAYMOND (C.F.), 1971. - Flow in a transverse section of Athabasca glacier, Alberta, Canada. *Journal of Glaciology*, Vol. 10, N° 58, 55-84.
- REYNAUD (L.), 1973. - Flow of a valley glacier with a solid friction law. *Journal of Glaciology*, Vol. 12, N° 65, 251-258.
- REYNAUD (L.), 1977. - Glaciers fluctuations in the Mount Blanc area (French Alps). *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie*, Vol. 13, 155-166.
- REYNAUD (L.), 1980. - Can the linear balance model be extended to the whole Alps ? World glaciers inventory, Proceedings of the Riederalp workshop, Sept. 1978, IAHS Publ. N° 126, 273-284.
- VALLON (M.), LEIVA (J.C.), 1981. - Bilan de masse et fluctuations récentes du glacier de Saint Sorlin, Alpes françaises. *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie*, N° 17, vol. 17, N° 2, 143-167.
- VIVIAN (R.), CHINAL (M.), 1969. - Fiches des glaciers français : le glacier de Gébroulaz. *Rev. Géogr. alpine*, LVII, N 2, 429-432.

(Reçu pour publication, janvier 1983)

ÉCROULEMENT DE LA MADELEINE ET LAC DE BESSANS

Contribution à l'histoire quaternaire récente de la Haute-Maurienne (Savoie)

par Jean LETOURNEUR (1,2), Guy MONJUVENT (1) et André GIRAUD (2)

I.	- L'état initial	32
II.	- L'écroulement	36
III.	- La retenue et son comblement	39
IV.	- L'évolution ultérieure	47
V.	- Conclusions chronologiques	49
	Bibliographie	53

Résumé. - A partir d'une analyse lithologique et morphologique détaillée, des hypothèses et des interprétations nouvelles sont apportées quant aux conditions mécaniques et au volume de l'écroulement, aux dimensions du lac, à la structure et à l'importance de son remplissage solide, aux formes d'érosion consécutives à la vidange, enfin à l'échelonnement chronologique des manifestations géodynamiques attestées par le site.

Mots-clés : *Alpes Françaises - Savoie - Parc National de la Vanoise - Quaternaire (Würm, Holocène) - Ecroulement - Dépôts glaciaires - Dépôts lacustres - Analyse pollinique.*

Summary. - LA MADELEINE COLLAPSE AND BESSANS LAKE. A CONTRIBUTION TO THE RECENT QUATERNARY HISTORY OF THE UPPER MAURIENNE VALLEY (SAVOY, FRANCE).

New hypothesis and interpretations resting upon a detailed lithological and morphological examination are presented concerning mechanical conditions and volume of the collapse, size of the lake subsequently formed, structure and extend of reservoir solid deposits, landforms induced by erosion following emptying, finally order and attempt of chronology of these events in local fresh quaternary succession.

Key-words : *French Alps - Savoy - Vanoise National Park - Quaternary (Würm, Holocène) - Collapse - Glacial deposits - Lacustrine deposits - Pollenanalysis.*

(1) Laboratoire associé au C.N.R.S. n° 69 : Géologie alpine. Institut Dolomieu, 38031 Grenoble Cedex.

(2) Institut de recherches interdisciplinaires de Géologie et de Mécanique (I.R.I.G.M.), BP n° 68 - 38402 Saint-Martin-d'Hères Cedex.

L'écroulement du « col » de la Madeleine et l'épisode lacustre qu'il a provoqué dans la cuvette bessanaise ont été identifiés depuis longtemps. On trouvera, en particulier, références et résumé des interprétations auxquels ils ont donné lieu dans la thèse de H. ONDE (1938). D'autre part, la singularité du site n'a pas manqué d'attirer l'attention, d'abord à l'occasion de projets d'aménagement d'une retenue, projets vite abandonnés lorsqu'est apparue la médiocrité de l'emplacement pour la fondation d'un barrage, puis, plus récemment, dans le cadre d'études et de réflexions sur les risques de catastrophes naturelles (GOGUEL, 1980).

Les recherches effectuées sur le terrain depuis 1977, qui reposent essentiellement sur l'analyse de la morphologie et sur l'examen de la lithologie des divers dépôts récents, nous amènent à des conclusions qui contredisent parfois les opinions précédemment exprimées. Cette revision, qui accompagne celle de la carte géologique (feuille Lanslebourg à 1/50 000, RAGUIN, 1931), porte à la fois sur la cinématique et le volume de l'écroulement, sur l'âge relatif des dépôts glaciaires et lacustres et sur les mécanismes qui ont conduit aux formes actuelles.

L'exposé qui va suivre veut être chronologique. Il tente donc d'abord de définir au mieux comment se présentait le site avant l'écroulement et la naissance du lac, et quelle a pu être l'extension du barrage de blocs. Quant à la retenue, il décrit le développement des édifices deltaïques qui ont comblé une partie de sa capacité, et termine par les modalités du rétablissement d'un réseau hydrographique, après une vidange probablement brutale de ce qu'il en restait. Cependant, cette logique historique subit à l'occasion quelques entorses, vu la nécessité de s'appuyer parfois sur des arguments qui ne devraient être établis que dans un paragraphe ultérieur.

I - L'ETAT INITIAL

Il est bon de rappeler que le lit de l'Arc, dans tout le secteur, est au contact d'alluvions récentes, ou parfois de formations un peu plus anciennes, mais toujours quaternaires. Pour retrouver un lit rocheux il faut, vers l'amont, dépasser Bonneval et, vers l'aval, atteindre le voisinage de Lanslevillard. Dans cet intervalle existe donc, sous le fond de la vallée, un remblaiement sur la nature et la puissance duquel nous ne disposons d'aucun renseignement. Ignorant quel est le « creux » de la cuvette de Bessans, nous pouvons en revanche affirmer qu'il n'existe aucune trace de verrou au fond des gorges de la Madeleine, ainsi que cela a été parfois supposé.

Les éléments du paysage géologique que nous allons décrire maintenant se définissent donc à la fois par le fait qu'ils sont visibles au-dessus du cours de l'Arc, mais également situés au-dessous de l'écroulement lui-même ou des dépôts lacustres qui en sont la conséquence, ce qui constitue le critère de leur antériorité.

A) TRAITS PARTICULIERS DE LA CUVETTE DE BESSANS

Parmi les constituants morphologiques les plus notables et les plus caractéristiques, on doit citer deux *vallums morainiques* au tracé net, axés sur la vallée principale et disposés à l'amont et à l'aval du confluent du torrent d'Avérole (fig. 2).

Le vallum amont dessine un faible relief boisé (+ 15 m au maximum, sommet à la cote 1762 (3)), contrastant avec les plans herbeux qui l'entourent, dans l'intervalle des hameaux de la Goulaz et du Villaron. Il apparaît actuellement discontinu, étant interrompu près de son extrémité rive gauche par un pertuis d'une centaine de mètres (cote 1751) et du côté opposé par le passage de l'Arc, qui laisse subsister son raccord avec le versant droit de la vallée sous la forme du mamelon bien détaché qui porte le Villaron.

A 800 m au SW du précédent, le vallum aval, de relief apparent encore plus faible, est d'abord appliqué contre la base du versant, dès la rive gauche du torrent d'Avérole. Il s'en détache ensuite à partir de la cote 1743 et court SE-NW jusqu'à la route, qui le traverse (1734), puis jusqu'à son interruption à la coupure de l'Arc, après laquelle on en trouve encore trace. En fait, ce vallum relativement épais comporte deux crêtes parallèles, écartées de 100 à 150 m, la crête aval présentant un relief insignifiant par rapport au plan des prés du Carreley. Quant à la crête amont, elle domine en amphithéâtre et de façon assez nette la dépression d'Herbarias.

Ces deux vallums, constitués très largement par des blocs de gneiss œillés, parfois de plusieurs mètres cubes, et qui, de ce fait, ne peuvent être rapportés qu'au glacier de l'Arc, devaient constituer à l'origine des édifices relativement volumineux. On ignore sur quoi ils reposent précisément, mais on peut prendre conscience d'une partie de leur développement vertical au long de l'Arc, qui les recoupe : 20 m sur les flancs E et S de la butte du Villaron, 15 m au moins dans l'escarpement N de la Recula ou le talus boisé qui limite au NW les prairies des Fossas. Dans ce dernier talus, des blocs sont encore visibles à 250 m à l'W de la crête la plus externe du vallum aval, ce qui montre le large enracinement de celui-ci. D'autre part, ces relations topographiques ne laissent aucun doute sur le fait que les plans herbeux qui entourent le saillant des alignements morainiques couronnent une accumulation sédimentaire plus tardive, qui a enseveli l'essentiel de leur relief.

Un autre détail remarquable du paysage ancien est représenté par une importante *écaille rocheuse*, glissée du versant droit de la vallée, face au village de Bessans. Le panneau déplacé est large de 700 à 800 m, et la modification du relief qu'il a introduite a justifié l'établissement de remontées mécaniques en direction de son sommet (pâturage du Clot), seules pentes acceptables pour le ski dans cet adret. L'âge de ce glissement est indéterminé. Stabilisé depuis longtemps, il pourrait s'être produit vers la même époque que l'écroulement de

(3) On pourra repérer les détails de cette description sur la carte topographique de l'I.G.N. à 1/25 000 Lanslebourg XXXVI-34, coupures 1-2 et 3-4.

la Madeleine, et pour les mêmes raisons mécaniques (déglaçiation). Il est, de toute façon, antérieur à l'accumulation des sédiments lacustres, qui sont venus en bloquer le pied.

B) LE SUBSTRATUM DE L'ÉCROULEMENT

Que l'on fasse le tour du chaos de la Madeleine ou bien que l'on explore les gorges escarpées de l'Arc, on constate qu'il est presque toujours en contact avec des formations caillouteuses à matrice grise abondante, non stratifiées, à blocs ou cailloux relativement petits et dispersés. La reconstitution que l'on peut faire de la forme de ce substratum montre que celui-ci semble se terminer par un replat sommital qui, sur chaque rive, se raccorde vers le haut avec le versant rocheux de la vallée. Dans l'axe de cette dernière, au contraire, il se trouve entaillé par un ravin étroit et profond où l'érosion récente n'a déblayé que de façon incomplète l'amoncellement grossier de blocs qui était venu le combler et en a fossilisé en partie la forme.

Décrivons d'abord les *replats*, en commençant par celui de la rive droite (fig. 1). La route venant de Bessans, lorsqu'elle quitte le fond de la vallée pour gravir les pentes de la Madeleine, franchit par un pont (cote 1693) le ruisseau de la Refouderaz. Si l'on remonte le cours de celui-ci, on constate qu'il incise assez profondément le type de dépôt que nous venons de décrire. Plus haut, cette formation est tronquée par une surface peu inclinée, parcourue par le

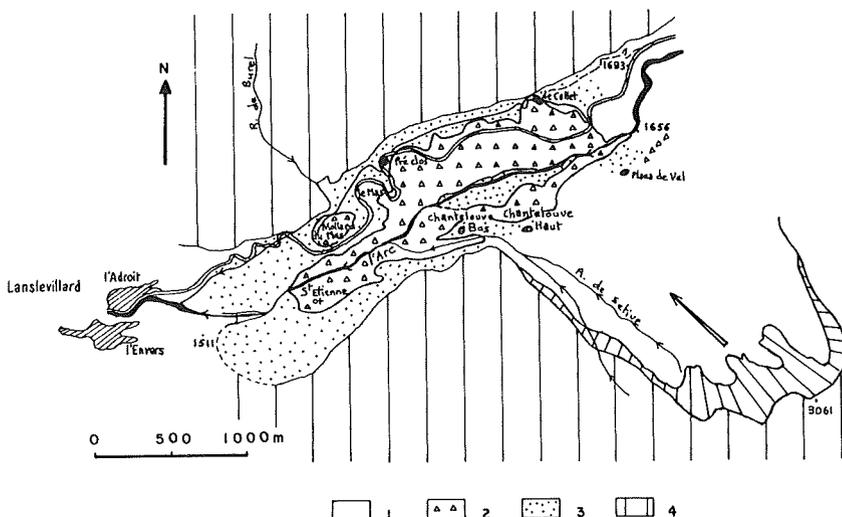


FIG. 1. - L'éroulement de la Madeleine et son contexte. 1 : Quaternaire récent non différencié (alluvions, éboulis). 2 : éroulement. 3 : surface antérieure à l'éroulement. 4 : substratum rocheux (schistes lustrés).

vieux chemin historique (cote 1731) et que domine directement le versant rocheux. Si, au Collet (1752 m), on franchit l'éroulement, qui bute ici contre la paroi, on retrouve vers l'W la même surface, passée en tunnel sous 20 m de blocs accumulés, et qui va se prolonger jusqu'à Pré Clos en longeant (tracé de l'ancienne route), sur presque 1 km, le front du chaos, qui ne l'a pas complètement oblitérée. Au-delà de Pré Clos, le contour de l'éroulement s'étant éloigné vers le S, l'ancienne et la nouvelle route traversent, entre le Mas et les Granges Longues, un berceau de prairies de morphologie toujours comparable. Plus loin, la nouvelle route emprunte, entre la butte du Mollard et la gorge, une étroite banquette dont la surface unie pourrait lui être rapportée, ce qui l'amène enfin dans un glaciais (4) régulier (série de courts lacets), aboutissant presque à Lanslevillard, qui en serait le dernier prolongement visible vers l'aval.

Les critères morphologiques qui nous ont servi à identifier et à jalonner ce replat sont d'une part sa quasi-continuité, et d'autre part sa surface unie et exempte de blocs de grande taille, sauf très isolés et accidentels, qui a permis son exploitation constante en prés de fauche. Qu'en est-il à cet égard sur la rive gauche, où un couvert boisé d'ubac rend les observations moins nombreuses et moins aisées ? Dès l'abord, on y est frappé par la présence des clairières unies et peu pentées de Plana de Vel et des deux Chantelouve, d'en haut et d'en bas, dont l'altitude correspond assez bien à celle des formes homologues de la rive opposée. Or ces dernières se trouvent conservées au-delà du front de l'éroulement, alors qu'ici elles se situent sur sa trajectoire. C'est donc que l'éroulement les a franchies, en direction de l'Arc, quitte à s'arrêter tout juste un peu plus loin et en contrebas (butte boisée 1762, bornant au N la prairie de Chantelouve d'en haut). En aval de la coupure très oblique du ravin de la Sétive, le replat va réapparaître de façon beaucoup plus continue entre le versant gauche de la vallée et l'étroite nervure hérissée de blocs gigantesques qui se termine à la chapelle Saint-Etienne. Ici encore, sa forme et sa régularité ont suscité l'exploitation en prairies. C'est seulement au-delà du point 1511 qu'on le voit se prolonger, sans interruption, par une contre-pente : une remontée du socle est ici en cause, substituant au remblai meuble des mame-lons de roches moutonnées qui culminent à l'église de Lanslevillard.

Au total, l'idée que l'on ne peut manquer de se faire en raccordant, sur cette distance de plus de 3 km, les témoins morphologiques que nous venons de situer sur les deux rives, est qu'ils pourraient avoir été façonnés par le glacier de l'Arc, qui se serait retiré de ce secteur antérieurement à la période qui a vu la mise en place des vallums de Bessans.

L'examen des gorges de la Madeleine permet des observations de caractère tout différent. Une vue plongeante de la rive droite vers le versant gauche du ravin montre, dans les zones découvertes de celui-ci, par exemple sous les plateaux de Chantelouve, que sa partie haute, qui peut être quasi verticale, est constituée par un assemblage chaotique de blocs parfois énormes. Au pied de cette falaise, et souvent séparé de celle-ci par un sillon noirâtre que peut surplomber la paroi supérieure, se développe jusqu'aux eaux du torrent un

(4) La surface de ce glaciais se trouve sans doute, par places, quelque peu rehaussée par les coulées boueuses du torrent de Burel.

talus raide, de teinte grise et d'apparence plutôt terreuse. La cicatrice qui souligne le contact, visible à diverses reprises sur une assez longue distance, se tient assez souvent à la moitié ou au tiers supérieur de l'escarpement.

Une vue inverse, de la rive gauche vers la rive droite, révèle dans l'ensemble des faits comparables, à la différence près que le chaos de blocs est parfois cantonné au sommet du versant, et parfois au contraire descend jusqu'en fond de vallée, la cicatrice noirâtre du contact présentant des sautes brusques d'altitude.

L'exploration à partir du fond des gorges procure des indications plus précises. En rive droite, la base du versant, tant qu'elle est occupée par la formation détritique grise, compacte et relativement cohérente, dessine une pente raide, mais ne dépassant pas 45°. Or c'est également cette pente qu'adopte le contact de la brèche de blocs qui la surmonte, brèche qui, mieux cimentée encore, dessine parfois des parois verticales quoique ruiniformes. Les indentations brutales du contour qui les sépare tiennent donc simplement au fait que cette surface est très redressée. En rive gauche, l'inclinaison du contact est plus faible mais pas nulle. Par exemple, au saillant du plateau, entre Chantelouve d'en haut et d'en bas, la falaise de brèche, haute de 20 ou 25 m, culmine à 1 700 m environ. Au contraire, dans un ravin situé immédiatement à l'E, entre ce point et le mamelon 1 762, sa base est nettement au-dessus de cette cote 1 700.

Nous pouvons donc conclure que la base de l'éroulement a épousé, au niveau des gorges actuelles, un ravin qui entaillait vigoureusement le fond de berceau dont nous avons par ailleurs décrit les replats latéraux. En revanche, nous ne pouvons rien avancer quant au creusement de ce ravin, qui pouvait être à l'origine sous-glaciaire, ou plutôt postérieur au retrait du glacier, ce qui laisserait supposer qu'avant son apparition ait pu exister, dans le bassin de Bessans, un premier lac antérieur à celui dont nous parlerons plus loin.

L'examen détaillé, encore en cours, de la formation ainsi modelée par le glacier (?) puis par l'érosion torrentielle, qui forme le substratum de l'éroulement, ne permet pas de lui assigner partout la même origine. En un point (rive droite, face au confluent de la Sétive), le chaos est au contact d'une tranche de terrain comportant des galets de roches vertes et de gneiss ceillés : il s'agit donc là d'une moraine de fond du glacier de l'Arc. Mais, la plupart du temps, le substratum ne contient que des éléments anguleux de schistes lustrés, dont l'arrangement évoque le résultat d'épandages boueux d'origine locale. L'accumulation, sur plus de 100 m de puissance, d'un tel amas de matériaux, pose encore un problème.

II - L'ÉCROULEMENT

L'origine de l'éroulement a été désignée depuis longtemps. La niche dont il est issu se trouve haut dans le versant NW de la Pointe des Pignes. Plus précisément, le cirque de départ se développe au-dessus de la cote 2 500 et son

bord supérieur culmine aux Rochers de la Sallanche (3 061 m) (fig. 1). Il ne semble pas qu'un second cirque, situé immédiatement à l'E, sous les cotes 3 006-2 981, soit simultanément en cause, tout au moins quant à un barrage de l'Arc, car le chaos de blocs visible dans le bois à l'E de Plana de Vel, qui en dépend peut-être, ne se prolonge pas jusqu'au fond de la vallée.

Les *matériaux* qui le constituent sont très homogènes. Il s'agit exclusivement de schistes lustrés de type banal, à délit plus ou moins fréquent. Certains blocs ont de ce fait été exploités pour les toitures de lauzes traditionnelles. La dimension des éléments est variable, mais ils sont fréquemment très volumineux, voire gigantesques (dimensions supérieures à 1 m et à 10 m). Certains, particulièrement exceptionnels, sont visibles çà et là, par exemple à la surface de la butte de la Clapera (école d'escalade), sur l'échine qui s'allonge au NE de la chapelle Saint-Etienne, ou bien écroulés dans le lit de l'Arc. En paroi, on note que leurs interstices sont comblés par des blocs et cailloux plus petits et par une matrice de fragments très fins. Vers la base de la masse qu'ils forment, on constate les effets d'une cimentation assez efficace (parois verticales, voire surplombs), qui n'a rien de surprenant dans ce matériau assez largement carbonaté. Les eaux infiltrées verticalement, circulant ensuite près du contact avec un substratum beaucoup moins perméable, en seraient responsables.

Pour cartographier les *contours* de l'écroulement, on doit tenir compte de son caractère propre. On admettra donc que tout ce qui en relève se présente sous la forme d'un chaos de gros blocs anguleux de schistes lustrés, ce qui élimine les blocs relativement isolés, gravitaires ou erratiques, ou formés d'autres roches, et les éboulis de dimension normale pourtant issus du même contexte lithologique. La masse principale de l'écroulement — d'après ce qu'il en subsiste — serait répartie dans la gorge de l'Arc et sur ses deux rives : à la Clapera, dont la lisière nord constitue son front, autour des prairies de Chantelouve et à l'E du ravin de Resec. De ce côté, la base cimentée de l'écroulement atteint le niveau de l'Arc à 250 m à l'amont du point 1 595. Nous approchons ici de sa limite orientale : il se termine par un talus d'étalement latéral dont le pied n'a pas débordé la cote 1 656, au fond de la vallée. Les points culminants de l'accumulation, dans des secteurs où, reposant sur le berceau d'érosion, elle n'a certainement subi aucun remaniement ultérieur sont, en rive droite, entre 1 752 et 1 760 m, vers le Collet, et en rive gauche à 1 762 m, à Chantelouve.

Du côté ouest, le relief de la Clapera s'efface assez brusquement (5) au droit de Pré Clos, mais d'autres amas, identifiables à l'écroulement, sont encore visibles. Entre la nouvelle route et le ruisseau de Burel, par exemple, s'élève le Mollard du Mas, sorte de calotte elliptique culminant à 1 655 m, dont l'épaisseur maximale, si l'on reconstitue l'épaulement qui la porte, serait de 30 à 35 m. Il semble bien que sa mise en place ait imposé au cours du Burel la brisure à 90° qui le rejette brutalement vers l'WSW. Jusqu'à présent, les contours prêtés à l'écroulement ont englobé cette butte, qui présente les mêmes

(5) On doit remarquer que cette réduction du relief (donc du volume) se situe exactement dans le prolongement d'un ressaut très continu, issu du cirque de départ de l'écroulement et qui a dû imposer à celui-ci, tandis qu'il dévalait la pente, une limite sud-ouest rigide. Il s'agirait d'un effet comparable à celui que produit une trémie.

caractères que lui. Nettement séparée du corps de la Clapera, ce serait précisément une butte-témoin si un vallon d'érosion se dessinait entre elles. Or il n'en est rien : dans cet intervalle, la seule forme visible est celle justement du replat d'érosion, de pente faible et régulière et de surface très unie. Dans ces conditions, la butte du Mollard semble être bien plutôt un élément détaché de la Clapera et ayant glissé vers l'aval sur 400 ou 500 m, donc une forme secondaire de remaniement.

Toujours à l'W, à cheval sur l'Arc, un prolongement se dessine encore, cette fois sans apparente solution de continuité. Dans ce secteur, l'ancienne surface d'érosion converge nettement avec l'Arc, de telle sorte que la rainure torrentielle qui y avait été entaillée devient progressivement moins profonde. Le matériau chaotique, déblayé en grande partie, en moule encore les versants et en déborde, mais assez peu, de part et d'autre : soit simple liséré entre la route et le ravin, au S du Mollard du Mas, soit échine hérissée large d'une cinquantaine de mètres et dominant de 10 m la banquette homologue de rive gauche, à l'amont de la chapelle Saint-Etienne. Il s'agit donc d'une digitation relativement étroite, dont l'orientation suit celle du ravin.

Cet appendice pose, il faut le dire, un problème *cinématique et dynamique* qui ne se rencontre pas plus à l'amont. D'abord, comment expliquer qu'un écroulement axé à l'origine SE-NW, et dont on a vu qu'en fin de course son bord droit s'est étalé de façon normale, ait pu engendrer par son bord gauche une expansion dirigée WSW, c'est-à-dire déviée de 60 ou 70° et longue pourtant de 800 m ? Ensuite, et puisque l'on doit invoquer la conservation d'une certaine quantité d'énergie après cette réfraction, d'où ce rameau latéral tenait-il une réserve de force vive lui ayant permis de progresser — bien qu'il fût coincé dans une gorge étroite — alors que la masse principale, après franchissement de cette gorge, conservait trop peu d'élan pour buter dans le versant rocheux opposé, qu'elle n'atteint qu'en un seul point, le visant pourtant de plein fouet ?

A ces contradictions, nous ne pouvons proposer qu'une solution hypothétique, bien que fondée sur des mécanismes vraisemblables. On verra plus loin que le lac de Bessans s'est maintenu, durant son existence, à un niveau très constant, et que son émissaire devait emprunter le tracé souterrain du ravin antérieur, comblé mais non totalement oblitéré par la masse des blocs. Le processus conduisant à la vidange a donc dû se réaliser d'abord comme un renardage, suivi, l'érosion régressive s'étant suffisamment développée, par la rupture brutale du dernier bouchon subsistant à l'amont. L'évacuation de quelques dizaines de millions de mètres cubes d'eau aurait alors, par transport de ce bouchon et purge du ravin, provoqué la formation d'un puissant écoulement de terres et de blocs, assez volumineux pour déborder quelque peu les versants du défilé lorsque ceux-ci s'abaissent à moins de 80 ou 100 m. C'est ce transport par une masse visqueuse au profil convexe, freinée au long de ses rives, qui serait responsable de l'alignement régulier de blocs gigantesques couronnant le bourrelet qui se termine à la chapelle Saint-Etienne. Très vite, le déblaiement par l'Arc n'aurait laissé subsister que les portions latérales de cette coulée.

Si l'on adopte cette explication et la précédente, toutes deux relatives à des annexes de l'écroulement principal qui ne seraient en fait que le fruit de son remaniement ultérieur, son périmètre initial se trouve réduit d'autant.

C'est en partant de cette hypothèse, et de la connaissance un peu plus précise que nous avons tenté d'obtenir de la forme du substratum, que nous pouvons avancer une estimation grossière du *volume* des matériaux dévalés puis partiellement déblayés ou parfois remobilisés :

- sur le replat de rive droite (la Clapera) longueur extrême 1 350 m ; largeur moyenne 300 m ; puissance 0 à 40 m, moyenne 20 m ; volume 8 Mm³ ;

- sur la banquette de rive gauche (de Plana de Vel à Chantelouve d'en bas) longueur extrême 1 500 m ; largeur moyenne 250 m ; puissance moyenne 20 m ; volume 7,5 Mm³ ;

- dans le ravin médian, supposé entièrement comblé par un amas culminant à 1 775 m au droit de la cote 1 595 (Arc) longueur extrême 1 750 m ; puissance 0 à 180 m, moyenne 100 m ; ouverture moyenne de la gorge 200 m ; volume 17,5 Mm³.

Le volume foisonné serait donc de l'ordre de 30 à 35 Mm³. On notera à ce propos que, sur les 20 ou 25 Mm³ qui n'ont fait que traverser la banquette de rive gauche, les deux tiers se sont trouvés piégés dans le gouffre qui s'ouvrirait en bordure de celle-ci, ce qui expliquerait l'énergie relativement modérée subsistant pour assurer la progression du lobe de la Clapera, arrêté presque partout à une distance de 100 ou 150 m de la paroi d'adret. En d'autres termes, dans l'hypothèse d'un ravin plus ouvert ou d'un écoulement moins volumineux, la Clapera, qui constitue l'élément le plus spectaculaire du site de la Madeleine, n'existerait pas : c'est seulement l'arrière-garde des blocs qui, une fois comblée la brèche médiane, a pris pied sur la rive opposée.

III - LA RETENUE ET SON COMBLEMENT

Le barrage en place, la modification des conditions de l'écoulement s'est traduite par une accumulation de dépôts dans la retenue ainsi formée. Bien des cas analogues se sont présentés dans les Alpes mais, la plupart du temps, le remblayage ayant été poursuivi jusqu'à son terme, le lac a disparu, laissant place à une étendue tourbeuse ou à un « Plan du Lac », comme celui du Vénéon ou de la plaine d'Oisans. Parfois, une reprise de l'érosion a bien pu ensuite défoncer cette surface tabulaire, elle n'en conserve pas moins sa monotonie. Ici, au contraire, le lac n'a pas duré suffisamment longtemps pour se trouver entièrement colmaté, et l'on peut discerner aisément la paternité des appareils qui ne l'ont envahi qu'en partie et contribuent à donner au paysage actuel son attrayante diversité.

Comme on devait s'y attendre, l'essentiel des dépôts lacustres se rattache à l'Arc et aux torrents d'Avérole et du Ribon, mais d'autres tributaires y ont participé. Toutefois, le fonctionnement fréquent de ces derniers, jusqu'à l'époque actuelle, en couloirs de déjection et d'avalanches, a modifié leur aspect des temps lacustres, qui ne peut donc être reconstitué. D'autre part, ainsi que dans toute retenue, des dépôts très fins ont dû se décanter à l'aval, au plus creux de la cuvette. Nous avons repéré un affleurement restreint qui, éventuellement, leur serait attribuable.

A) ASPECT DES ÉDIFICES DELTAÏQUES

Le freinage du transport solide par les eaux du lac a permis, au débouché de l'Arc et de ses deux principaux affluents, la construction de remblais terminés par une surface régulière, en partie aérienne et en partie submergée. Après disparition du lac, ces surfaces ont été localement effacées par les eaux courantes, mais on les rétablit aisément (fig. 2). Des différences apparaissent alors, qui donnent à chaque delta une physionomie spécifique. Le delta de l'Arc, développé axialement selon le tracé de la vallée, a un relief faible, tandis que les deux autres, à croissance transversale, sont protubérants. Une autre différence apparaît aussi entre le delta du Ribon, de forme simple, et le delta d'Avérole, qui a dû, pour s'établir, composer avec l'obstacle des deux vallums préexistants.

Ce qui subsiste du delta de l'Arc est principalement visible en rive gauche, entre la route et le versant. La première surface qu'on peut lui rapporter, autour de Balme Noire (1 749), est étroite puis, après le cône de déjection d'Andagne, s'élargit au SE du Claperot, en direction de Montmélian, mais en se détachant de la route, maintenant en contre-bas. Elle se termine enfin, au droit de la Grangette, au pied d'un léger talus. En rive droite, une plate-forme de prés, au S du Rocher du Château, appartient probablement aussi au delta. Vers l'aval, celui-ci atteignait sans doute le pied du vallum du Villaron, mais l'érosion ultérieure l'y a déblayé.

Dans le lac, les deux vallums morainiques encadraient un bas-fond bien individualisé. Le delta d'Avérole a donc dû se matérialiser d'abord dans ce

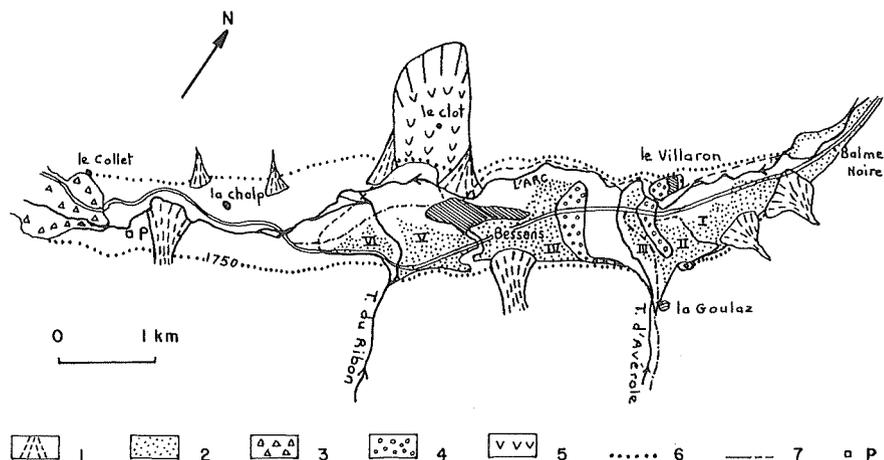


FIG. 2. — Ensemble du bassin de Bessans. 1 : cônes de déjection actifs. 2 : portions conservées de la surface des deltas. Delta de l'Arc, I; delta d'Avérole (II, lobe de Travérole; III, panneau intermorainique; IV, lobe du Carreley); delta du Ribon (V, lobe du Plan de Ribon; VI, lobe de Traribon). 3 : écroulement de la Madeleine. 4 : vallums morainiques. 5 : écaïlle glissée du Clot. 6 : niveau du lac. 7 : contour visible ou supposé des deltas. P : point de prélèvement des échantillons de limons.

bassin de décantation, qu'il a très largement rempli. Sa surface supérieure, empruntée sur une partie de son tracé par la petite route de la Goulaz, est parfaitement conservée en rive droite, où elle s'incline doucement en direction du Centre du Ski. La grande route en isole au N un prolongement triangulaire qui vient dominer le confluent actuel. Le plancher lacustre ayant été suffisamment relevé, les apports solides se sont ensuite étalés au-delà des limites imposées au début par les vallums. Vers le N, la surface des prairies de Travérole, de plain-pied avec le panneau précédent autour de la cote 1 751, et qui dirige sa faible pente face à Montmélian, représente une aile externe du delta, développée à la faveur d'une brèche de la moraine. Elle se termine, au NE du point 1 742, par le talus déjà mentionné sous la Grangette, ce qui montre qu'elle repose là sur le delta de l'Arc. Du côté opposé, le vallum aval, de relief moindre, était entièrement submergé. Une fois le delta interne constitué, ce vallum n'a pu jouer, à l'égard du transport solide, que le rôle d'un seuil ralentisseur ébréché par plusieurs chenaux dont l'un, encore bien dessiné, vers le carrefour 1 743. Le freinage du courant explique que cette seconde aile externe se soit développée presque à l'horizontale (le Carreley) jusqu'à un talus qui la limite au SW, au-dessus de la dépression du Fond des Combes. Toutefois, l'abondance des apports était telle que ce plan, qui se termine à l'église de Bessans, atteint une longueur de 1 km. Son extension a d'ailleurs été facilitée, pour une part notable, grâce au volume déjà occupé en profondeur par le flanc aval de la moraine qui lui sert de substratum. C'est cette surface très étendue que divers auteurs ont décrite comme « terrasse supérieure » de Bessans, en l'assimilant au sommet d'un comblement total du lac (ONDE, 1938, p. 234).

La régularité parfaite du glacis de Travérole et celle du panneau deltaïque présent entre les deux arcs morainiques excluent que ces vallums aient pu être mis en place, comme certains l'ont pensé, par une dernière crue glaciaire, survenant après l'édification de dépôts lacustres interstadiaires. L'objection avait d'ailleurs été déjà soulevée, au vu de la « légèreté de touche » (*ibid.*, p. 235) d'un appareil dont le passage n'aurait pas modifié la morphologie des « terrasses ». Les vallums étant en réalité enracinés sous ces dépôts, l'interversion chronologique qui en résulte résout cette difficulté.

Le delta du Ribon offre un aspect beaucoup plus simple. Eventré axialement et tronqué parallèlement à l'Arc, il n'en continue pas moins de dessiner une surface conique de pente sensible, ouverte de 180° au débouché de la gorge. Sa moitié droite (Plan de Ribon) se termine, face à Bessans, sur un abrupt boisé, tandis que vers le NE, entre la route et le versant, elle aboutit à un talus peu élevé qui, en regard de celui du Carreley, borde le Fond des Combes. Sa moitié gauche (Traribon), triangulaire, s'effile en une longue pointe SW dans laquelle la route incruste sa tranchée.

B) LES MATÉRIAUX DÉPOSÉS

Défoncé par le torrent qui l'avait construit, le delta du Ribon offre une belle coupe naturelle, qui rend bien compte de sa structure et de sa lithologie. Sur 100 m au moins de longueur et une hauteur supérieure à 20 m, le versant

gauche de l'entaille, complètement découvert, montre de la base au sommet : d'abord une importante masse de sables fins à stratification oblique ou entrecroisée, puis, en discordance sur ceux-ci, 5 m environ de lits alternés, apparemment horizontaux, de graviers, sables et limons, enfin une tranche de graves grossières portant la surface cultivée de Traribon. Ce dernier niveau représente le prolongement sous-lacustre du cône de déjection qui, à l'amont, formait la racine de l'édifice. Le corps de celui-ci est constitué par les dépôts les plus fins, qui assuraient sa progression en se déversant à sa limite frontale.

Les conditions d'observation sont moins bonnes en ce qui concerne le delta d'Avérole. Assez haut dans la série, soit à l'extrémité du Carreley (divers affleurements et ancienne carrière sous l'église), soit en rive droite du torrent d'Avérole (talus portant le transformateur et, au N de la route, éperon dominant le confluent), on constate la présence de sables à petits galets, sans stratification bien visible.

Des sables à stratification entrecroisée ou oblique apparaissent plus bas, vers le pied des talus qui tronquent frontalement le delta du Ribon, ou même à l'occasion de travaux de terrassement dans le village, qui partage ses quartiers ouest et est entre le soubassement du delta du Ribon et celui de la « terrasse » du Carreley. Très récemment, des travaux d'endiguement exécutés dans la berge gauche de l'Arc, c'est-à-dire plus bas encore, ont révélé, à 150 m à l'amont du pont et sous 2 m de galets correspondant à un lit récent, la présence d'un niveau sableux dont les strates pendent de 10° environ vers l'W, à rattacher à ce dernier appareil.

Bien que l'état actuel de ces deux deltas ne laisse pas entrevoir jusqu'où ils se sont étendus en direction du versant opposé de la vallée, il faut relever l'existence de niveaux deltaïques ou pérideltaïques dans certains talus de la rive droite de l'Arc. Ainsi, Sous la Balme, en face du vallum aval, l'escarpement culminant à plus de 1 730 m qui porte un replat de prairies est fait de cailloutis sableux couronnés par 1 ou 2 m de limons noirâtres finement stratifiés à l'horizontale. On serait ici en un point où le delta d'Avérole venait en contact avec le bord opposé de la cuvette. Plus en aval, un talus qui domine l'Arc au NW de Bessans, dans l'intervalle des deux cônes de déjection du Rebon et du Claret, montre des formations grisâtres sableuses et caillouteuses, et le replat qu'il porte permet, de place en place, de constater la présence de sables fins. Un peu plus haut, toujours dans ce secteur, l'incision d'un ravin récent a mis au jour, à 100 m à l'W du point 1 729, un affleurement restreint mais significatif, situé sur le flanc de l'écaille glissée du Clot. Sous 1 m environ d'éboulis, on voit apparaître un sédiment gris-brunâtre assez sombre, essentiellement limoneux et à fin litage horizontal. Le gisement de ce dépôt, élaboré dans une zone exempte d'apports grossiers, atteste que le glissement s'est produit avant l'épisode lacustre.

L'ensemble de ces divers témoins de rive droite nous montre que le sommet du comblement devait se tenir à 15 m au moins au-dessus de l'Arc actuel vers le confluent d'Avérole, et à + 25 m au droit du Ribon.

C) CARACTÉRISTIQUES DE DÉPÔTS FINS LOCALISÉS A L'AVAL DES PRÉCÉDENTS

Dans le tiers inférieur de la cuvette, il n'a pas été possible d'identifier avec certitude des matériaux lacustres, sauf tout à fait à l'aval, au pied du talus latéral de l'éroulement. On y rencontre en effet, en rive gauche de l'Arc, dans la concavité de la berge qui domine la cote 1 656, un affleurement raviné et affecté de glissements superficiels (point P, fig. 2). Rafrâichi, ce talus, d'une pente moyenne de 25°, se montre formé par un sédiment fin d'apparence argilo-limoneuse, d'un gris assez sombre en fouille, dont la stratification initialement horizontale et le litage répété sont nets. La formation est visible ici sur une hauteur d'une dizaine de mètres, mais occupe aussi l'extrême base du versant un peu à l'amont ainsi que sur la rive opposée. Son extension en profondeur est évidemment inconnue. D'après son faciès, elle paraît correspondre au dépôt vaseux propre à tout fond de retenue.

Pour mieux définir la nature de ce remplissage, nous avons procédé à son analyse sédimentologique et minéralogique. L'affleurement a été régulièrement échantillonné. Par suite de son caractère discontinu, nous n'avons pu accéder qu'à une tranche de 4 m d'épaisseur, de 2 à 6 m au-dessus du cours de l'Arc, d'où nous avons extrait 17 échantillons, espacés de 0,25 m. Devant l'homogénéité de leur faciès, cinq échantillons espacés de 1 m, les numéros 1 (bas), 5, 9, 13 et 17 (haut), ont fait l'objet d'une première analyse. Une grande similitude des résultats sédimentologiques et minéralogiques étant apparue, les analyses n'ont pas été poussées plus loin.

1. Sédimentologie (6)

Chaque mesure a été faite sur un échantillon moyen, sans tenir compte du litage. On remarquera tout d'abord (tabl. I) que le sédiment ne contient qu'une proportion infime de sable fin (0,2 à 1,4 %). Les courbes cumulatives (fig. 3) présentent toutes un palier entre 3 et 6 μ , dimensions de transition entre les silts et les argiles. La proportion d'argile étant généralement inférieure à 50 %, le dépôt peut se définir comme un silt argileux.

La courbe cumulative de l'échantillon 1, très aplatie, se sépare nettement des autres par sa pente, mais non par son allure générale (66 % des particules se concentrent dans la fraction 31,5-40 μ pour une raison inconnue, peut-être fortuite). Les autres courbes sont bien groupées, parallèles et de formes très semblables. Très redressées, elles traduisent un classement relativement bon. L'ensemble caractérise un sédiment assez homogène sur l'épaisseur étudiée.

(6) Analyses effectuées au laboratoire de sédimentologie de l'Institut Dolomieu.

TABLEAU I
*Fractions granulométriques des dépôts fins lités
 de la retenue de Bessans*

Caractéristiques sédimentologiques	N° de l'échantillon				
	1	5	9	13	17
Sables fins % ($> 40 \mu$)	0,6	1,4	0,4	0,2	0,2
Silts ($40-4 \mu$) %	80	53	64	55	49
Argiles ($< 4 \mu$) %	21	46	36	45	51
Médiane en μ	30	6	7,5	5,3	3,6

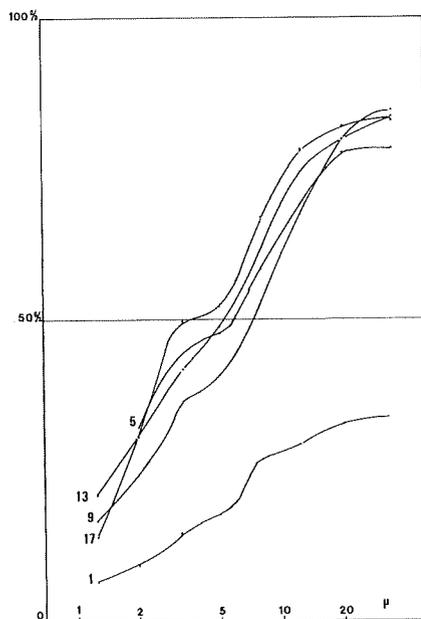


FIG. 3. - Granulométrie des dépôts fins lités du fond de la retenue de Bessans.
 Courbes cumulatives.

2. Minéralogie

Les particules de la taille des minéraux argileux ($< 4 \mu$) ont été analysées par diffraction X sur agrégats orientés (7). Huit espèces minérales ont été reconnues (tabl. II), dont cinq minéraux des argiles (Illite, Chlorite, Serpentine, Talc, Paragonite), plus des Feldspaths, des Amphiboles et du Quartz. Parmi les argiles, la Paragonite est toujours en traces, le Talc en faible quantité. Le fond minéralogique est constitué par l'Illite et la Chlorite, en proportions équivalentes, et la Serpentine en proportion un peu moindre. La forme très aiguë des pics de diffraction montre qu'il s'agit de minéraux bien cristallisés et non altérés, ce que confirme l'absence de matériaux gonflants. L'ensemble paraît directement issu du substratum environnant par simple remaniement mécanique, donc d'origine exclusivement détritique.

TABLEAU II

Caractéristiques minéralogiques de la fraction fine ($< 4 \mu$)

I : Illite; C : Chlorite (ferrifère); S : Serpentine; T : Talc; P : Paragonite; F : Feldspath;
A : Amphibole; Q : Quartz; + : proportion faible; - : traces. N.B. : la teneur en CaCO_3
a été dosée sur l'échantillon global.

N°	Minéraux argileux %					Autres minéraux			CaCO ₃ %
	I	C	S	T	P	F	A	Q	
1	35	40	20	5	-	+	-	-	20
5	35	35	25	5	-	+	-	-	22
9	35	35	25	5	+	+	-	-	18
13	40	35	25	+	-	+		-	19
17	35	35	25	5	-	+	+	+	17

La présence de ces minéraux, argileux ou non, s'inscrit parfaitement dans le cadre pétrographique du bassin versant : I, C, P, F, Q des schistes lustrés et des gneiss du Grand Paradis, Serpentine, Talc et Amphiboles des diverses « roches vertes ».

Dans l'ensemble, la grande homogénéité minéralogique des argiles de Bessans répond à leur homogénéité sédimentologique.

(7) Analyses du laboratoire de diffractométrie de l'Institut Dolomieu. Nous remercions chaleureusement J. APRAHAMIAN pour l'aide qu'il nous a apportée dans l'interprétation des diagrammes.

D) COTE ET VOLUME DE LA RETENUE

Divers détails, dont certains signalés antérieurement, vont nous permettre d'aborder une reconstitution plus précise des dimensions du lac de Bessans et d'abord de sa cote.

Vers l'aval, on ignore quel était le profil transversal initial de l'éroulement. On constate seulement que la partie qui en subsiste en rive droite présente un point bas (le Collet, 1 752 m) qui aurait pu servir de déversoir. Or, vers l'W, le fond de berceau régulier qui lui fait suite et que parcourt l'ancienne route ne montre aucune empreinte de l'écoulement superficiel qui s'y serait alors produit. C'est donc que le niveau du lac n'atteignait pas 1 752 m, et que l'évacuation des eaux se faisait ailleurs, à travers la masse même des blocs éboulés, très probablement au droit du ravin médian.

A l'intérieur du bassin, la morphologie des deltas va fournir une autre donnée. On sait qu'un delta présente une surface supérieure peu inclinée, émergée vers l'amont puis ensuite immergée, et se terminant vers le large sur un talus qui marque à chaque instant la limite de sa progression. Le sommet de ce talus est donc obligatoirement immergé. Parmi tous les talus visibles dans le secteur, on ne peut évidemment retenir comme significatifs que ceux qui sont restés dans leur état initial, les autres n'étant que le résultat de la troncature des deltas par l'érosion aérienne ultérieure. Après sélection, le plus intéressant d'entre eux est celui qui limite l'aile deltaïque de Travérole, à l'endroit où celle-ci repose sur le delta de l'Arc, à l'W de la Grangette. A défaut d'un nivellement aux appareils, la lecture de la carte montre que sa base se trouve au minimum à 1 740 m lorsque le chemin de Montmélian le franchit. Sa hauteur est faible (2 ou 3 m), mais sa crête s'élève légèrement en direction de l'E où elle doit approcher l'altitude de 1 744 m. Insistons encore sur le fait que cette forme est obligatoirement sous-lacustre : nous voyons ainsi que le niveau du lac ne pouvait se tenir que dans l'intervalle 1 744-1 752 m.

Si l'on veut tenter de préciser davantage, il est maintenant indispensable de rechercher des formes de terrain nécessairement liées à la proximité du rivage. Une forme de ce type se trouve au contact du versant gauche de la vallée, entre le vallum aval et le torrent d'Avérole. Lorsque, partant du carrefour coté 1 743, on se dirige au NE vers la Goulaz, on voit le chemin qui y conduit s'élever d'abord de 2 ou 3 m pour parcourir ensuite, pendant 300 m environ, une banquette strictement horizontale, accolée au pied de la pente et large d'une vingtaine de mètres (fig. 4). Bien que cette forme couronne l'aile du vallum (blocs très volumineux visibles dans le talus qu'elle domine), sa surface est parfaitement plane, ce qui implique qu'elle a été remodelée et régularisée. Dans ces conditions, il semble probable qu'elle représente un élément localement conservé de la beine lacustre. Une autre surface manifestant des caractères comparables existe près du Villaron. Sur son côté SW, ce hameau est en effet bordé par une prairie qui occupe un plan très uni, étendu sur un hectare au moins. Ici encore, l'absence de toute irrégularité topographique est étonnante, ce plan coiffant l'édifice de gros blocs constitué par l'extrémité droite du vallum amont. Ce cas traduit donc, lui aussi, un certain façonnement. Rappro-

chant ces deux témoins, nous constatons qu'ils évoquent, relativement au plan d'eau, une cote supérieure à 1 745 ou 1 746 pour le premier, et pour le second, inférieure de peu à 1 750 m. Des opérations topographiques apporteraient sans doute une plus grande précision, mais la fourchette est maintenant très étroite.

En se guidant, par raison de commodité, sur la courbe de niveau 1 750 de la carte topographique, on voit que la longueur du lac dépassait 7 km, de Balme Noire au Collet, et que sa largeur, moindre à l'amont et à l'aval, restait sensiblement constante et voisine de 1 000 m dans un secteur central étendu sur 3 km environ, du torrent d'Avérole à Traribon. Quant à sa profondeur, au contact de l'éroulement, elle atteignait au moins 90 m. Ces ordres de grandeur permettent de situer grossièrement sa capacité initiale entre 100 et 120 Mm³, étant entendu que ce chiffre s'applique à un vide de forme simplifiée, et notamment ne tient pas compte du volume déjà occupé à l'origine, sous la forme de hauts-fonds insulaires, par les deux vallums noyés.

IV - L'ÉVOLUTION ULTÉRIEURE

Avant que le lac ne se vide, le transfert des eaux devait s'y opérer selon un schéma que la topographie des dépôts nous permet parfois de nous représenter. Ainsi celles qui édifiaient le panneau de Travérole rejoignaient au N celles de l'Arc. Le vallum amont étant alors émergé sur une partie de sa longueur, c'est vers la route ou le cours actuel de l'Arc qu'elles devaient trouver un exutoire. De même, à hauteur de Bessans, les eaux écoulées sur le Carreley et le Plan de Ribon se joignaient dans le Fond des Combes, fossé resté libre de dépôts au front des deux deltas opposés, pour s'échapper ensuite vers le village et contourner par le NW l'édifice du Ribon.

Dès la vidange commencée, certaines de ces lignes d'écoulement ont cessé de fonctionner. C'est le cas en particulier du Fond des Combes, dont le plancher très plat ne montre aucune trace d'incision aérienne. C'est donc que les eaux d'Avérole et de Ribon avaient trouvé une autre voie pour gagner l'axe le plus creux déprimant la surface des dépôts fraîchement exondés, ou bien qu'une poche lacustre a subsisté là, tant que l'érosion, un peu plus au N, est restée insuffisamment profonde pour en évacuer le contenu.

D'amont en aval, le premier cours de l'Arc a pu s'esquisser vers 1 740 m au Villaron (replat ceinturant la butte par le S) (fig. 4), 1 735 m Sous la Balme, où le remblai de rive droite figurerait la partie distale du delta d'Avérole, et 1 725 m au moins au NW de Bessans, où nous avons noté la présence de dépôts lacustres conservés dans le flanc de l'écaille du Clot. Dans le tiers inférieur de la retenue, où ces derniers n'ont pas été formellement identifiés, on peut induire leur présence du fait qu'un méandre a laissé son empreinte vers la Chalp (talus portant les maisons supérieures), c'est-à-dire qu'un écoulement s'est jadis manifesté vers la cote 1 687, soit à 16 ou 18 m au-dessus du cours actuel, cette dénivellation mesurant la tranche de dépôts déblayée jusqu'à nos jours.

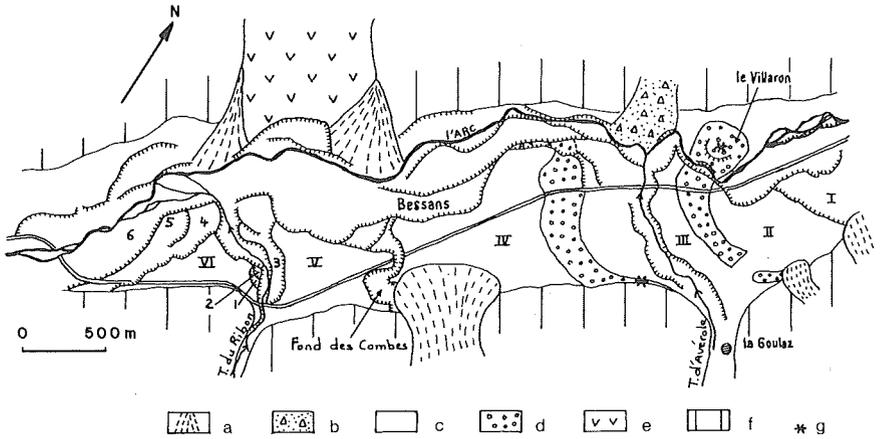


FIG. 4. - Formes d'érosion consécutives à la vidange de la cuvette.

a : cônes de déjection ou d'avalanches, éboulis. b : écroulement et éboulis du Cloton. c : dépôts lacustres plus ou moins déblayés par l'érosion et alluvions actuelles (I à VI, panneaux conservés de la surface des deltas : 1 à 6, stades étagés de creusement au niveau du delta du Ribon, cf. texte). d : vallums morainiques. e : écaille glissée du Clot. f : versants rocheux. g : témoins présumés de la beine lacustre.

A partir d'un profil de l'Arc jalonné ainsi de façon assez sommaire, que pouvons-nous maintenant avancer concernant son évolution ultérieure ? Voyons d'abord comment les trois deltas ont été entamés par les torrents qui leur avaient donné naissance.

Sous la surface du delta de l'Arc sont visibles, au SW du Claperot, un plancher alluvial et des berges de méandres qui indiquent un premier enfoncement de 5 m environ. Quatre mètres plus bas apparaît le plancher du lit majeur. Le creusement se serait donc fait ici en deux étapes.

Le delta interne d'Avérole a pour sa part été déblayé par un torrent dont la courbe tournait toujours sa convexité vers le SW. Mais rencontrant, au cours de son travail de sapement, la face interne du vallum aval armée de très gros blocs, il a sans cesse été repoussé latéralement, en direction de son tracé actuel, par la pente de celle-ci, finalement dégagée en amphithéâtre. Au débouché de sa rive gauche, au-delà de la route, deux ressauts étagés marquent deux étapes de son raccordement avec un cours ancien de l'Arc. En incluant son assiette actuelle, le torrent d'Avérole témoigne donc pour trois stades de creusement.

Quant au delta du Ribon, on y rencontre d'abord deux traces restreintes mais très nettes de cours anciens (1 et 2, fig. 4), encadrés l'un dans l'autre et dans l'extrémité orientale du panneau de Traribon, à quelques mètres de la surface de celui-ci. Plus bas et en rive droite, un autre cours (3) est encore longuement visible. Avec le cours actuel, cela fait donc quatre stades attestés. Mais on peut aussi noter que l'ancien tracé (3) du Ribon est tronqué par un cours fossile de l'Arc (4) situé plus bas, où passe la route, de part et d'autre du pont de Charriondaz. Suivant la route vers le S, on en vient à dominer un

nouveau plan d'alluvions (Champsuit, 5), lui-même distinct du lit majeur actuel (6).

La multiplicité de ces gradins, qui ne manifestent aucune cohérence lorsqu'on passe d'un cours d'eau à l'autre ni, sur un même cours, d'une rive à l'autre selon un profil transversal, exclut l'hypothèse que la vidange du lac se serait faite par étapes. Les « terrasses » que l'on dénombre ici n'ont rien à voir avec celles des rivières de plaine. Le creusement torrentiel rencontre de telles vicissitudes (écroulements de berges, pression latérale exercée par le cône de déjection d'un affluent ou d'un couloir d'avalanches) qu'il ne peut conserver, en plan, un tracé constant. Au contraire, le courant est plus ou moins brutalement rejeté, à de multiples reprises, vers l'un ou l'autre versant. A chaque fois, il y laissera une trace de lit et de berge plus ou moins étendue, éventuellement réduite ou effacée lors d'une atteinte ultérieure. Les diverses plates-formes, petites ou grandes, qui subsistent aujourd'hui, ne sont pas des surfaces de remblaiement, correspondant à des phases de stabilité du niveau lors d'une vidange saccadée du lac, mais bien la marque des coups de fouet latéraux d'une érosion contrariée dans sa progression verticale, entamant des dépôts lacustres dont la croissance a définitivement cessé.

V - CONCLUSIONS CHRONOLOGIQUES

Les observations qui précèdent permettent d'établir une succession logique parmi les divers épisodes et événements rapportés. On peut ensuite tenter de replacer ceux-ci dans le cadre général du Quaternaire alpin.

Mise en ordre historique

- 1 - Une volumineuse accumulation détritique (édifiée par des coulées de versant ?) oblitère la vallée de l'Arc au niveau de la Madeleine.
- 2 - Le glacier de l'Arc franchit cet amas, dont il modèle la surface. La moraine visible face à la Sétive pourrait relever de cet épisode, ou d'un épisode plus ancien si la surface n'est pas glaciaire.
- 3 - Après retrait du glacier - de même qu'à l'occasion de la phase 1 - un lac a pu s'établir à l'amont de l'obstacle. Mais ce dernier se trouvera ultérieurement entamé par l'érosion torrentielle, l'entaille du ravin atteignant ou même dépassant le fond des gorges actuelles.
- 4 - Le glacier met en place les arcs morainiques situés à l'amont de Bessans.
- 5 - Un écroulement atteint le site de la Madeleine, comblant et au-delà le ravin précédemment creusé.
- 6 - Dans le lac créé par retenue à l'amont du chaos se développe un alluvionnement, notamment sous la forme de deltas caractérisés. Ensevelissement très avancé des arcs morainiques amont. Les eaux trouvent un exutoire à travers la masse de l'écroulement.

- 7 - Cette circulation souterraine mine progressivement le barrage, qui finit par céder bien avant que le lac ne soit totalement remblayé par les sédiments. Vidange brutale de la retenue.
- 8 - L'érosion torrentielle reprend, et se poursuit jusqu'à nos jours. Elle attaque le colmatage lacustre et les matériaux accumulés au cours des phases 1, 2 et 4, mais n'a pas encore atteint de terrains plus anciens.

Attributions possibles dans le cadre chronologique et paléoclimatique du Quaternaire récent des Alpes

Ces attributions se fondent essentiellement sur un parallèle avec d'autres régions prises pour référence parce qu'elles recèlent des données suffisamment nombreuses et relativement datées. En effet, les résultats d'une tentative de datation palynologique des dépôts locaux sont trop peu précis pour fournir autre chose qu'une nuance d'appréciation climatique.

Trois accumulations morainiques s'échelonnent dans la Haute-Maurienne, entre Lanslevillard et le glacier actuel des Sources de l'Arc : à la Madeleine, au Villaron et à l'amont de la Duis (moraines historiques).

Vingt-deux kilomètres en aval du glacier des Sources de l'Arc, le témoin morainique de la Madeleine et les éléments morphologiques de Lanslevillard pourraient indiquer un stationnement glaciaire en ce lieu.

En revanche, les moraines du Villaron sont des arcs frontaux typiques, bien que d'amplitude apparente modeste, presque continus, et qui indiquent indubitablement un arrêt prolongé du glacier au confluent d'Avérole, 15 km en aval du glacier actuel.

Les moraines historiques se détachent à peine du glacier des Sources de l'Arc, constituant deux crêtes latérales se terminant 1 km en avant du front actuel.

S'il est probable que le glacier de l'Arc a marqué deux stades à la Madeleine et au Villaron, en fort retrait relativement à l'extension maximale wurmienne, rien ne permet localement de dater ces événements. Pour esquisser une chronologie hypothétique, force est donc de recourir à une comparaison avec des régions glaciaires homologues, comme les vallées de l'Arve et du Valais.

1. Données fournies par l'Arve et le Valais

La vallée de l'Arve, en amont de Chamonix, montre le plus spectaculaire système morainique récent des Alpes occidentales. Il se compose de deux stades : le stade des Bois, historique ou du « Petit Age Glaciaire » ou encore « Stade de Fernau », bien daté de la crue de 1550-1850, 1,5 à 2 km en aval des glaciers actuels ; le stade du Lavancher, formé de moraines très bien conservées pour la plupart, 2 à 3 km en aval des moraines historiques. Ce dernier n'est pas daté mais a été attribué hypothétiquement au Dryas III (MONJUVENT et WINIS-TORFER, 1980). Aucun système frontal net n'existe en aval jusqu'à Reignier, à proximité d'Annemasse (moraines des Rocailles).

Le Valais présente un système morainique beaucoup plus complet, tant dans la vallée du Rhône, rive droite (HANTKE, *in* MONJUVENT et WINISTORFER, 1980), que dans les affluents de rive gauche (WINISTORFER, 1977 et *in id.*, 1980). Ici, l'on distingue cinq stades individualisés, y compris le stade historique de Gletsch. Ils ont été rapportés hypothétiquement aux phases de refroidissement tardiglaciaires caractérisées du Dryas III (Egesen), Dryas II (Daun ?), Dryas I (Gschnitz ?) et antérieur (Bühl ?, Würm final).

Il peut paraître surprenant que le premier stade en aval des moraines historiques soit déjà relativement ancien (Dryas III, 10 800-10 200 BP), mais cette datation est justifiée par la présence d'un grand nombre de troncs d'arbres fossiles dans les zones frontales actuelles des glaciers, surtout du Valais, sous l'altitude de 2 300 m (VIVIAN, 1975). D'âges régulièrement échelonnés entre l'actuel et 10 000 BP environ (début du Préboréal), ils présentent une densité maximale entre 7 000 et 4 000 BP, c'est-à-dire pendant la période atlantique. On en conclut que durant tout l'Holocène les glaciers se sont tenus au voisinage ou *au-dessus* de leurs limites actuelles, surtout pendant l'optimum climatique post-wurmien de l'Atlantique.

Les études paléobotaniques des Alpes françaises du Nord (WEGMÜLLER, 1977) et du Sud (BEAULIEU, 1977) conduisent aux mêmes résultats. La pérennité de la forêt en altitude depuis le Préboréal indique un contexte climatique holocène très proche de l'actuel, avec un maximum de conditions favorables à l'Atlantique ou au Subboréal, qui semble exclure la possibilité d'une notable réavancée des glaciers. Ces données paléogéographiques et paléoclimatiques doivent logiquement concerner aussi la Haute-Maurienne.

2. Comparaison avec l'Arc

Il est difficile de replacer dans le cadre précédent les stades du Villaron et de la Madeleine. Le stade du Villaron, 14 km en aval des moraines historiques, ne peut évidemment pas être rapporté au Dryas III alors que, sur l'Arve et dans le Valais, les représentants de ce stade en sont beaucoup plus proches (respectivement 3 et 7 km). Dans le cas de l'Arc, les moraines correspondantes devraient se trouver nettement en amont de Bonneval. Or ce secteur ne montre aucune forme de ce genre. Pourtant l'éventualité de leur déblaiement complet par l'érosion, qui ne peut être omise, et surtout cette distance de 14 km, paraissent conduire à dater les moraines du Villaron du Dryas II (12 300-11 800 BP), en dépit d'autres objections.

En effet, dans les Alpes occidentales, cette climatozone est très peu marquée, sinon absente des diagrammes polliniques du Tardiglaciaire, contrairement à celle du Dryas III (WEGMÜLLER, 1977; BEAULIEU, 1977); de même, celle du Dryas I ne se détache pas de l'ambiance froide du Würm final dans le site des Echets, de basse altitude il est vrai (BEAULIEU *et al.*, 1980).

Des conditions climatiques de caractère beaucoup moins « glaciaire » que le Dryas III n'ayant pu conduire à un développement des glaciers plus important que lors de cette dernière période, on devrait pouvoir conclure que le stade du Villaron n'est sûrement pas Dryas II. Mais il faut tenir compte aussi de la possibilité que le stade du Dryas II soit une simple étape d'arrêt dans le retrait des glaciers au Tardiglaciaire, et non une réavancée après un recul plus ou

moins important, comme le sont probablement le Dryas III et certainement le stade de Fernau, précédés chacun par une phase de réchauffement notable et accompagnés par une détérioration sensible du climat. Une incertitude subsiste donc quant à la datation possible du stade du Villaron, qui peut être soit Dryas II, soit Dryas I final.

Quoi qu'il en soit, l'hypothèse actuellement la plus probable est que le stade de la Madeleine serait Dryas I, et le stade du Villaron Dryas I récent ou Dryas II, ces stades correspondant à de simples stationnements au cours d'un retrait général et non à des progressions succédant à des reculs prononcés. Ceci entraîne diverses conséquences quant à l'interprétation chronologique de l'écroulement de la Madeleine et d'autres faits.

En premier lieu, si l'on remarque que les arcs du Villaron, noyés sous les matériaux deltaïques, sont antérieurs au lac de Bessans, dans lequel le glacier n'aurait d'ailleurs pu édifier de telles moraines frontales, on doit conclure que l'écroulement, générateur du lac, est postérieur à ces moraines.

La seconde conséquence est qu'une durée appréciable sépare le dépôt morainique de la Madeleine de l'écroulement qui la surmonte, nécessaire pour que le glacier se retire jusqu'en amont du Villaron. Cette durée a d'ailleurs été mise à profit par l'Arc pour creuser la gorge où l'écroulement viendra se loger. Or une forme d'une telle ampleur, même ébauchée par un torrent sous-glaciaire, ne se réalisant pas instantanément, cela implique aussi qu'un premier lac a dû déjà occuper pendant un certain temps la cuvette de Bessans, à partir du Dryas I.

A son tour, cette éventualité fait surgir un problème : les dépôts vaseux décrits à la suite des autres alluvions du lac de Bessans ne pourraient-ils aussi bien appartenir à ce lac plus ancien ? Topographiquement rien ne s'y oppose, même s'ils s'étendent largement au-dessus de l'affleurement échantillonné, le niveau de ce premier lac ayant pu, au début de son existence atteindre 1 700 m, cote minimale du premier obstacle. Un choix entre ces deux hypothèses a été tenté en recourant à l'étude palynologique.

3. *Analyse pollinique des silts argileux* (8)

Parmi les échantillons étudiés, un tiers s'est révélé complètement stérile, un tiers substérile et le reste d'une grande pauvreté (tabl. III). Une teneur aussi faible en restes organiques atteste l'absence d'un couvert végétal de quelque densité, et exclut de ce fait un âge holocène. Cette flore ne peut donc appartenir qu'au Tardiglaciaire, sans autre précision, ce qui ne résout encore rien quant à la relation des silts avec l'un ou l'autre lac.

En effet la date de l'écroulement reste aussi dans la même fourchette d'incertitude. Postérieure au Dryas I pour des raisons déjà évoquées, elle pourrait être relativement récente et, à la limite, d'âge quelconque si les silts lacustres devaient être rattachés au lac ancien. Toutefois, on doit remarquer

(8) Par J.-L. de BEAULIEU, Laboratoire de Botanique historique et Palynologie, Faculté des Sciences de Saint-Jérôme, 13397 Marseille 4.

TABLEAU III
*Analyse pollinique de trois niveaux des dépôts fins lités
de la retenue de Bessans (J.L. de BEAULIEU)*

Taxons Ech. n°	Pinus	Fraxinus	Betula	Alnus	Graminées	Cypéracées	Artemisia	Composées (type Aster)	Ombellifères	Chénopodiacées
5	22						6			
10	46		1		3	2	2		1	
16	54	1	3	1	5	2	13	2		10

que si le chaos rocheux s'était écroulé durant l'Holocène, il comporterait dans sa masse un certain nombre de débris ligneux. Jusqu'à présent, il n'en a pas été découvert et cette absence, si elle se confirme, amènerait à le situer lui aussi dans le Tardiglaciaire, antérieurement au Préboréal (10 000 BP environ), ce qui resterait également cohérent avec l'attribution des silts au lac récent. Dans ces conditions, la latitude subsistant pour cette manifestation géodynamique brutale serait de l'ordre de cinq millénaires (15 000-10 000 BP).

Viendraient enfin, jusqu'à l'époque actuelle, les épisodes ultérieurs : colmatage assez avancé de la retenue (9), rupture du barrage et reprise de l'érosion torrentielle, cette dernière inachevée, l'Arc n'ayant pas encore, au niveau des gorges, régularisé complètement son profil.

BIBLIOGRAPHIE

BEAULIEU (J.-L. de), 1977. - Contribution pollenanalytique à l'histoire tardiglaciaire et holocène de la végétation des Alpes méridionales françaises. *Thèse Sc.*, Univ. Aix-Marseille III, 2 vol.

(9) Une estimation très grossière de la pérennité du lac a été tentée en se basant sur le rythme de l'envasement constaté dans la retenue du Chambon (Isère), où la contribution actuelle du bassin versant en matériaux solides serait d'environ 500 t/an.km². A cette cadence, en admettant le lac de Bessans à moitié comblé (soit 50 Mm³ ou 100 Mt de matériaux foisonnés), son bassin versant étant de 225 km², la durée de dépôt avoisinerait 900 ans. Cet ordre de grandeur est sujet à caution : notamment, il ne tient pas compte de l'indigence de la couverture végétale au Tardiglaciaire. Tout au moins, il suggère que la phase d'érosion torrentielle qui s'est prolongée jusqu'à nos jours couvre un temps au moins dix fois plus long que l'épisode lacustre.

PARC NATIONAL DE LA VANOISE

- BEAULIEU (J.-L. de) *et al.*, 1980. - Les Echets : un marais capital pour l'histoire climatique du Quaternaire rhodanien. *Mém. Mus. nation. Hist. nat.*, n. s., sér. B, t. XXVII, 123-136.
- GOGUEL (J.), 1980. - Les risques de grands éboulements. *La Recherche*, 11, 620-628.
- JORDA (M.), 1980. - Morphogenèse et évolution des paysages dans les Alpes de Haute-Provence depuis le Tardiglaciaire. *Bull. Ass. Géogr. Franç.*, Paris, n° 472, 295-304.
- MONJUVENT (G.) et WINISTORFER (J.), 1980. - Glaciations quaternaires dans les Alpes franco-suissees et leur piedmont. *Géol. alpine*, t. 56, 252-282.
- ONDE (H.), 1938. - *La Maurienne et la Tarentaise* (Etude de Géographie physique). Grenoble, B. Arthaud, 1 vol.
- VIVIAN (R.), 1975. - *Les glaciers des Alpes occidentales*. Grenoble, Imp. Allier, 1 vol.
- WEGMÜLLER (S.), 1977. - *Pollenanalytische Untersuchungen zur spät- und postglazialen Vegetationsgeschichte des französischen Alpen (Dauphiné)*. Bern, Verlag Paul Haupt, 1 vol.
- WINISTORFER (J.), 1977. - Paléogéographie des stades glaciaires des vallées de la rive gauche du Rhône entre Viège et Aproz (VS). *Bull. Murithienne*, Sion, 94, 3-65.

(Reçu pour publication, mars 1982)

MORPHODYNAMIQUE PÉRIGLACIAIRE EN VANOISE OBSERVATIONS ET MESURES SUR DEUX FORMES MAJEURES : TALUS D'ÉBOULIS ET GLACIER-ROCHEUX

par Brigitte KAISER (1)

Introduction	56
I. - Préambule : morphodynamique périglaciaire et morphodynamique globale.....	57
II. - L'importance des avalanches dans le fonctionnement des éboulis, d'après les observations en vallon de la Vanoise	59
III. - Éboulis et glaciers-rocheux d'après les observations et les mesures sur Lanserlia	66
Conclusion	77
Bibliographie	79

Résumé. - A partir d'exemples régionaux pris dans le massif de la Vanoise, les modalités de fonctionnement de deux formes majeures, talus d'éboulis et **glacier-rocheux** (2), sont discutées. L'auteur souligne l'importance des données litho-structurales (et notamment de la fracturation tectonique) dans la livraison de blocs depuis une paroi, et le rôle des avalanches de neige pour leur transport.

A Lanserlia l'existence de glace profonde sous les débris (attestée par les sondages électriques) assure la transition de l'éboulis au glacier-rocheux actif aujourd'hui (Versant N.N.E., 2 650 m d'altitude). A même altitude certaines nappes d'éboulis mobiles ne connaissent qu'un gel saisonnier du sol. (Versant N.W., 2 650 m). Plus bas (2 500-2 350 m) apparaissent les glaciers-rocheux fossiles, couverts de végétation et dépourvus de glace intersticielle.

Mots-clés : Périglaciaire - Talus d'éboulis - Glacier-rocheux - Avalanche - Pergélisol.

(1) L.A. 141 du CNRS et Université de Paris VII, U.E.R. de Géographie et Sciences de la Société - 2, place Jussieu - 75005 Paris.

(2) voir définition dans le glossaire p. 79.

Abstract. — TALUS-SLOPES AND ROCK-GLACIERS : OBSERVATIONS AND MEASUREMENTS IN THE VANOISE MOUNTAINS.

From several exemples in the Vanoise mountains the genesis of two main periglacial forms are discussed, as well as their actual evolution processes. The author insists on the importance of litho-structural environment (tectonic fractures especially) to explain the debris supply from the wall, and on the role of avalanches for the transport. In Lanserlia mountain deep ice exists under debris; it has been shown by electric investigation. This ice (glacier ice or permafrost) allows the transition beetwen talus-slopes and active rock-glacier (N.N.E. exposure, 2 650 m). In the same altitude others moving blocks-slopes are concerned only by a seasonal frost of their materials. (N.W. exposure, 2 650 m). At about 2 500-2 350 meters high, only fossil rock-glaciers are present, with no interstitial ice; they are covered with vegetation.

Key-words : *Periglacial - Talus-slope - Rock-glacier - Snow-avalanche - Permafrost.*

INTRODUCTION

Le massif de la Vanoise, par sa diversité lithologique et son étagement altitudinal, offre une grande variété de formes et de problèmes liés au façonnement cryonival (ou périglaciaire) du relief.

L'excursion de la Commission pour l'Etude des Phénomènes Périglaciaires (Comité National Français de Géographie) s'y est déroulée sous ma conduite en août 1981. L'accent fut mis sur les processus morphodynamiques actuels, observés et mesurés, et sur leur relation avec les caractères climatiques de l'air et du sol, eux-mêmes mesurés dans les vallées et à haute altitude.

Je rappelle que cinq postes climatiques furent implantés au-dessus de 1 900 m d'altitude par les soins du Parc National, en 1973 (Orgère, Bochor, Plan-Sec, Grand-Vallon, Grande-Sassière. Cf. GENSAC, 1978). A partir de 1976, j'équipais moi-même le Plan du Lac (2 380 m) et le versant ouest de Lanserlia entre 2 300 et 2 800 mètres. (Cf. fig.) La maintenance est assurée avec l'aide des gardes-moniteurs de Termignon. En 1977, avec la station météorologique de Bourg-Saint-Maurice, nous installions une antenne d'altitude sur le versant de Malgouvert-les-Arcs (postes à 1 500 et 2 100 m). En 1982 débutaient les premiers enregistrements de la température en paroi rocheuse : la contribution du Laboratoire de Géomorphologie du C.N.R.S. et du Laboratoire Associé L.A. 141, ont permis de placer, sur le versant S.W. du Mont Bochor, neuf thermosondes, réparties entre la surface de la paroi et un mètre de profondeur.

Les informations nouvelles ainsi recueillies sur le contexte climatique d'altitude, jointes aux observations et aux mesures sur la fourniture de débris et sur leur migration, doivent permettre de mieux décrire l'intensité et l'efficacité des phénomènes périglaciaires, en ce qui concerne l'élaboration de formes majeures notamment.

Dans les pages qui suivent, j'évoque à l'aide d'exemples régionaux, divers aspects de l'identification et du fonctionnement de deux formes majeures, talus

d'éboulis et glaciers-rocheux, ainsi que leur relation de l'une à l'autre. Préalablement, les nécessaires observations sur le froid et la neige, sont replacées dans un contexte plus vaste de l'évolution des reliefs.

I. - PRÉAMBULE : MORPHODYNAMIQUE PÉRIGLACIAIRE ET MORPHODYNAMIQUE GLOBALE

Toute étude des phénomènes périglaciaires se doit de privilégier les phénomènes morphologiques, ou biogéographiques, dus au froid et à la neige. Or, au-dessus de 2 400 m d'altitude, sinon au-dessus de 2 000 m d'altitude, rien n'échappe à ces actions combinées, complémentaires ou contradictoires, sans que, pour autant, toute forme ou toute formation ne soit engendrée, ni même entretenue par elles. Aussi, pour éviter les raisonnements tautologiques il faudrait pouvoir fixer pour chaque forme et formation des seuils d'efficacité du froid et de la neige. Hélas, c'est supposer le problème résolu, celui de la genèse de ces formes et formations, et de la succession des mécanismes mis en jeu pour leur évolution.

Personnellement j'ai choisi, dans la fréquentation du terrain de Vanoise une approche morphodynamique globale, c'est-à-dire non sélective a priori de certains processus ou de certains agents, et j'ai retenu toute information sur les facteurs externes de façonnement du relief (les agents météoriques) comme sur les agents internes (qui englobent aussi bien la surrection tectonique, les séismes ou la décompression des roches). Si les premiers sont connus avec une précision numérique croissante, quoique insuffisante pour répondre à toutes nos interrogations, les seconds, vus dans leur incidence morphologique, en restent au stade d'une approche préliminaire.

1. - *L'activité sismique ou séismo-tectonique quaternaire de la Vanoise* est un domaine sur lequel je me réserve d'apporter ultérieurement des arguments personnels de terrain. Toutefois je pose ici comme principe qu'il serait invraisemblable que la Vanoise eût échappé au cours du Quaternaire à une telle activité et que la haute montagne n'en fût pas morphologiquement affectée.

Historiquement les tremblements de terre les mieux décrits pour les vallées bordières du massif sont ceux de Saint-Jean-de-Maurienne, pour l'année 1839. Le chroniqueur, Mgr BILLIET catalogua 110 secousses ressenties entre le 19 décembre 1839 et le 3 juin 1840 (Mémoires de l'Académie Royale de Savoie, citée par J. ROTHÉ, 1946 et J. VOGT, 1979): « Outre l'effroi général que causaient les fortes trépidations... maintes femmes ont contracté et fait de graves maladies essentiellement nerveuses... les chiens fuyaient dans la campagne... des rocs se sont détachés... et ont roulé avec fracas... des vins ont tourné... » Selon le B.R.G.M. (J. VOGT, 1979) l'épicentre macrosismique devait être proche de Saint-Jean-de-Maurienne, ainsi que pour le séisme du 22 juillet 1881 qui affecta toute la Savoie et fut ressenti jusqu'à Lyon, Grenoble et la Suisse. Le tremblement de terre du 13 août 1905 qui fut si spectaculairement décrit par un touriste dans le massif du Mont-Blanc reste à ce jour étranger à la

Vanoise, faute d'enquêtes peut-être... Il n'en va pas de même avec les secousses récentes (août 1977, décembre 1980), bien enregistrées sur le sismographe de Lanslevillard et, tant à Lanslebourg qu'à Lanslevillard, dans la mémoire de certains habitants, qui, pris de frayeur, quittèrent leurs habitations.

Au demeurant la sismicité historique et instrumentale est en Vanoise plus faible que le long des deux bandes, SW-NE et SE-NW, qui relie, l'une, Grenoble au Mont-Blanc, l'autre, Nice au Pelvoux (FRECHET, 1978).

Le cas de la « faille quaternaire de Peisey », décrite par GOGUEL (1969), et bien visible sur le terrain, est à verser au dossier de l'activité néotectonique en Vanoise. Cet accident cassant recoupe des figures de **gélifluxion** (3) développées dans les débris issus des quartzites. Parfaitement rectiligne sur un kilomètre de long, et tourné vers l'amont, le talus qui est l'expression morphologique de la cassure, tend à se faire recouvrir par une génération de lobes de gélifluxion plus récents. Même si l'origine tectonique de cet accident est considérée favorablement, deux remarques demeurent :

— La faille tectonique, en l'absence d'arguments géologiques irréfutables n'est pas prouvée, et l'interprétation en terme de grand effondrement recoupant les formations superficielles et la roche en place n'est pas totalement exclue.

— Toute faille ne s'accompagne pas de secousses sismiques, et celle de Peisey ne peut donc alimenter qu'une présomption en faveur d'une activité sismique quaternaire en Vanoise.

2. — *la décompression des roches*, quant à elle, est reconnue depuis longtemps, mais son étude théorique en vue d'application morphologique notamment en est à de premières modélisations (P. BIROT, 1981). Nous sommes encore largement dans l'incertitude en ce qui concerne son efficacité élastique le long d'une paroi naturelle, tant pour la macro que pour la micro-fracturation. Deux points peuvent être retenus, qui mettent l'accent sur l'importance du niveau local dans l'étude du phénomène.

L'apparition de nouvelles fissures de décompression (néo-fissures) dans un milieu continu dépend de la répartition des contraintes avant même que ne soit amorcé le processus de décompression. Or cette distribution, qui est fonction de l'histoire tectonique du secteur étudié et des *déformations permanentes engendrées*, varie localement.

Plus généralement la décompression favorise l'ouverture de fissures préexistantes : joints de schistosité (ceux-ci affectent toutes les roches de la Vanoise), et fractures tectoniques dont l'espacement va du millimètre au décimètre; l'importance morphologique de la décompression, qui est fonction de l'intensité de la fissuration et de la disposition des plans de discontinuité, est donc, dans ce cas encore, à appréhender au niveau local. Dans les quartzites francs, nous avons observé des phénomènes de fauchage qui conduisent à l'alimentation d'éboulis minces (Mont Chevrier-Pralognan, 1 500 m); dans ces roches la trituration tectonique peut fournir des sables qui ne doivent rien à la gélifraction (ravin de Leschaux-Pralognan, 1 800 m).

(3) voir définition dans le glossaire p. 78.

Ce sont les mêmes discontinuités (joints de stratification, joints de schistosité, fractures tectoniques, diaclases...) qu'exploite la macrogélation. Dans la fourniture de débris depuis une paroi il y a donc interactions complexes entre les ouvertures de fissures par décompression, la macro ou la microgélation, et, le cas échéant, la dissolution ou l'altération pédologique.

Dans une roche disloquée au sens strict, c'est-à-dire telle que des fissures larges et denses y aient permis un mouvement différentiel - minime - bloc à bloc il convient d'observer si la gélation stricto-sensu peut céder le pas à un simple délogement par gel et dégel de blocs isolés. Cette question est discutée notamment avec les membres du Laboratoire de Géomorphologie du C.N.R.S.

3. - L'équilibre instable de certains massifs rocheux peut aboutir à de véritables éboulements ou éroulement de paroi; les séismes évoqués précédemment participent à ces ruptures catastrophiques; elles sont aussi favorisées en Vanoise par le gypse largement répandu comme « coussinet lubrifiant » des nappes charriées, et comme roche injectée dans les accidents tectoniques majeurs. Le gypse joue un rôle déstabilisateur tant par sa solubilité, que par son comportement rhéologique différent de celui des massifs calcaires - ou schisteux - qu'il supporte : sa plasticité sous faible pression.

Pour conclure, j'attire l'attention sur le fait que la Vanoise est un domaine au *bati structural* (lithologique et tectonique) complexe, un « monstre géologique » dont la géodynamique interne ancienne (charriage, fracturation, accumulation des contraintes) et récente (néotectonique probable, « décompression ») doivent être prises en considération. *La référence au passé n'est pas ici le fait d'un goût pour l'histoire des héritages*, mais l'expression d'une nécessité pour décrire, si faire se peut, les propriétés mécaniques actuelles des matériaux, les roches, sur lesquelles s'exercent les agents météoriques externes, parmi ceux-ci le froid et la neige.

II. - L'IMPORTANCE DES AVALANCHES DANS LE FONCTIONNEMENT DES ÉBOULIS, D'APRÈS LES OBSERVATIONS EN VALLON DE LA VANOISE

Les versants SW et SSE de la crête faîtière de la Grande Casse illustrent très bien, dans la genèse et le fonctionnement des talus d'éboulis l'importance de la structure pour la fourniture des débris, celle de la neige pour leur transport, et celle des conditions topographiques locales pour la diversité des formes.

A) LA DISSYMMÉTRIE DU VALLON DE LA VANOISE

Orienté WNW-ESE, long de 3 km, large de 300 à 400 m le vallon de la Vanoise se tient entre 2 550 et 2 450 m d'altitude. Il présente une remarquable dissymétrie de versant et une inégale retouche au modelé glaciaire.

Son rebord SW est une marche vers le plateau (2 700 m) puis la pointe de la Réchasse (3 212 m) : il est court, de 100 à 200 m de commandement; de tracé presque rectiligne il est développé dans les *calcaires marmoréens du Malm*, et localement dans les marbres phylliteux du Crétacé, imbriqués à la faveur d'une tectonique souple très complexe; il est tapissé à sa base d'éboulis à blocs anguleux, fréquemment grossiers (plus de 60 cm de grand axe), et disposés en un tablier presque aussi large au contact de la paroi rocheuse nue, qu'au fond du vallon dont il recouvre les formations morainiques anciennes densément colonisées par la végétation. Ce n'est qu'à la faveur d'une échancrure dans l'abrupt rocheux, alors modelé en lit glaciaire transverse à forte pente, que le talus d'éboulis prend de l'ampleur, en hauteur comme en surface projetée; les débris s'éloignent davantage de la paroi et couvrent les pentes presque nulles des abords du lac du Col de la Vanoise; la forme du talus se modifie : il devient plus large à sa base qu'à son sommet et son profil est nettement *concave* (photo 1).

Cette transformation selon la topographie locale a dans ce cas une valeur démonstrative exemplaire : le « *talus d'éboulis* » correspond au remaniement d'un stock de matériaux déjà détachés de la roche en place, à savoir, ici, la moraine d'une ancienne langue du glacier de la Réchasse. J'ai retenu l'appellation de moraine de versant pour les débris inorganisés transportés par le glacier et abandonnés sur un versant à pente forte (supérieure à 20°); lorsqu'ils sont dominés par une paroi il leur arrive d'être recouverts par une « pellicule » de gélifracfs périglaciaires, et ils ne sont plus alors reconnaissables qu'à la faveur de coupe (un excellent exemple en est donné sur le versant ouest de la pointe des Arandelières vers 2 600 m d'altitude – Massif du Mont Pourri – cf B. KAISER, 1975). La moraine construite par le glacier de la Réchasse, et dont les deux crêtes latérales sont encore discernables, n'est pas couverte d'éboulis dans sa partie haute; par contre ses matériaux ont subi, après le dépôt glaciaire, un nouveau transport, par avalanche de neige et par ruissellement, qui les a étalés largement en bas de pente, tout en modifiant la topographie initiale.

Ailleurs sur ce bord SW du vallon de la Vanoise, il n'y a point de *phénomène de commandement* à ce point simple : l'étendue et la faible pente du plateau de la Réchasse isolent mieux les dépôts glaciaires et périglaciaires d'altitude (3 200-2 700 m) de ceux de fond de vallon (2 700-2 500 m).

Le bord NW présente, lui, des versants qui ont une unité morphodynamique sur 1 000 à 1 200 m de dénivelé et dont l'expression morphologique la plus évidente pour le randonneur est la succession de talus d'éboulis constitués de calcaire liasique gris sombre, dont le correspondant à l'affleurement se situe aux deux-tiers supérieurs des versants; il s'agit d'un calcaire avec intercalations siliceuses, appelé calcaire en plaquettes du fait de sa nette schistosité; il est intensément fracturé et se débite en plaques sonores dont la longueur la plus fréquente se situe dans l'intervalle de 20 à 60 cm. Des gélifracfs vrais apparaissent à la surface de l'éboulis, de taille plus réduite : éclats de quelques cm de long sur 1 à 2 cm d'épaisseur.



PHOTO 1. Vallon de la Vanoise, sous la Pointe de la Réchasse (3 212 m). Moraine de versant, remodelée par les eaux de fusion glaciaire et les avalanches : « Faux talus d'éboulis ». (False talus-slope)



PHOTO 2. Crête de Lanserlia (2 800 m). Cryoclastie aux dépens des calcaires liasiques intensément fracturés. Une partie des débris reste stockée en haut de versant. (Frost-shattering in fractured calcareous rocks)

B) L'ENTRAÎNEMENT DES BLOCS PAR LES AVALANCHES DE NEIGE

L'entraînement répété de blocs préalablement descellés est ici, à mon avis, l'agent principal du remblaiement et des profils « réguliers » (c'est-à-dire sans point d'inflexion, mais non rectiligne) que les versants tendent à prendre en roche homogène liasique. En bas de versant, l'éboulis peut atteindre jusqu'à 5 m et peut-être 10 m d'épaisseur. J'ai cité l'entraînement des blocs et non leur chute parce que *j'accorde un rôle « actif » important à la neige lors des avalanches de printemps, et aussi de début de saison froide* (automne ou hiver). Dans le contexte climatique de ce haut vallon, il n'est pas surprenant que soit reprise l'expression d'« éboulis assistés » par la neige; la question est seulement de l'importance relative du transport par avalanche, et du simple glissement sur manteau neigeux.

Les arguments en faveur de l'avalanche sont nombreux, sans être en eux-mêmes une démonstration.

L'avalanche lie en un même processus la prise en charge et le transport du bloc, ou plutôt des blocs.

De par son extension spatiale, l'avalanche assure le transport de plusieurs blocs simultanément.

La construction de l'éboulis ne relève plus alors d'une suite d'événements élémentaires aléatoires (la chute de tel ou tel bloc et sa migration sur tel ou tel substrat jusqu'à telle ou telle distance...)

L'avalanche assure le transport de blocs de diverses tailles sur des pentes faibles ou nulles, parfois à contrepente, notamment en franchissant des rivières obstruées par la neige. J'ai observé ces cas de remontée de blocs dans le vallon de la Leisse où ils restent splendidement inscrits sur le terrain en aval du refuge de la Leisse, et dans le vallon de la Rocheure où les indications de MM. JOVET et RICHARD, agents du Parc National de la Vanoise, m'ont permis de retrouver des blocs de 40 cm de grand axe, remontés d'une vingtaine de mètres au-dessus du torrent lors d'avalanches d'automne. *Plus que par des migrations individuelles s'expliquent ainsi les grandes nappes d'éboulis sur terrain plat.* Le vallon de la Vanoise en offre un exemple remarquable au droit de l'arête la plus élevée (3 700 à 3 550 m, Pointe Mathews); les blocs issus de ce haut versant sont étalés sur terrain plat entre le lac du Col de la Vanoise et la tourbière du même nom. (photo 3).

L'avalanche maintient l'éboulis actif même si la paroi, propre ou immunisée, ne fournit plus guère de blocs neufs, car elle peut reprendre des matériaux à l'éboulis lui-même et les transporter plus loin; ainsi tant que l'éboulis n'est pas compacté ou protégé par une couverture végétale dense, il peut y avoir abaissement de la pente d'ensemble de l'éboulis, bien au-dessous de la valeur dite d'équilibre à sec. Ce phénomène de reprise dans l'éboulis est plus facile à démontrer dans les éboulis de l'étage montagnard qui se sont suffisamment stabilisés pour que se développe une colonisation lichénique, sans que pour autant les blocs soient maintenus par un manteau végétal, car alors les traînées d'érosion nivale sont bien visibles, c'est le cas dans certains éboulis

PHOTO 3. Vallon de la Vanoise, versant S.W. de la Grande Casse (3 850 à 2 500 m environ); Vastes talus d'éboulis actifs recouvrant les formations morainiques anciennes. La calcaire marmoréen du Malm, visible dans la paroi au centre, nourrit moins bien l'éboulis que les calcaires liasiques en plaquettes. On notera les traces d'éboulement, à gauche de la photo, et au centre.



quartzitiques à *Rhizocarpon geographicum* autour de Pralognan : Mont-Chevrier (1 600-1 400 m); vallon du Charvet (1 600-1 300 m).

Phénomène aréolaire plus que linéaire, même si elle suit souvent, mais temporairement, de simples couloirs, l'avalanche est sensible aux *conditions topographiques locales* (sans parler ici des conditions météorologiques générales ou locales), et à ce titre permet de rechercher de bonnes correspondances entre le développement spatial des éboulis et l'ensemble des données topographiques (qui elles-mêmes sont souvent le reflet de la structure...)

Dans tous les cas, les données litho-structurales sont fondamentales et il ne saurait être question d'envisager la constitution d'éboulis assistés par avalanche sans un matériel rocheux qui, à un moment ou à un autre de son histoire, ne fût favorable à la livraison de blocs.

Ce que mes observations me donnent à penser c'est qu'il peut y avoir *décalage* entre la fragmentation du matériel rocheux et son évacuation.

A cette fragmentation le gel participe, exploitant fissures et microfissures. L'individualisation du bloc, y compris par micro, ou macro-**gélifraction** (4) n'implique pas nécessairement sa chute, et pour certains types de roches il peut se constituer des ruines, de véritables montagnes de blocs et de gélifractions à l'équilibre instable, qui sont détruites ultérieurement à la faveur de quelques décharges plus ou moins brutales (5) : des éboulis puissants peuvent ainsi être *constitués en un temps relativement court*, avec un tri médiocre du matériel, contrairement à ce que révèlent les grèzes ou groizes des moyennes montagnes du Jura, ou des baronnies, pour ne citer que celles-ci.

Je ne saurais affirmer que, sur son flanc SW, la Grande Casse dispose encore d'un stock de matériaux prêts à partir car l'exploration de ces flancs raides sculptés principalement dans le calcaire liasique, un mauvais rocher assurément, n'est pas chose facile : les voies d'accès au sommet sont des voies glaciaires, tant au SW qu'en face nord. Tel Termignonais, montagnard averti, m'a raconté qu'une de ses courses les plus impressionnantes en Vanoise avait été la traversée dite « Grande Casse-Grande Motte », par l'arête faîtière, et que las d'avoir à ménager des piles d'assiettes branlantes, il avait préféré prendre droit dans la face sud et rejoindre les dos herbus et appréciés des bouquetins, en espérant que jusque là il descendrait plus vite que les blocs qui dévalaient derrière lui ! Avec moins de risque, de tels empilements de blocs plats et leurs débris gélifractés peuvent être observés, et touchés, sur les pitons sommitaux de Lanserlia (2 700-2 800 m) développés dans les mêmes calcaires liasiques, appartenant à la même nappe charriée que la Grande Casse (photo 2). Ici les avalanches sont courtes, car les bassins d'alimentation supérieurs manquent souvent ; ce sont, en fin de printemps du moins, des avalanches de neige humide, canalisées par les couloirs et qui viennent se plaquer sur les cônes d'éboulis qu'elles nourrissent (photo 5).

(4) voir définition dans le glossaire p. 78.

(5) L'entraînement en convoi, et l'étalement au pied de la paroi, de blocs préablement disjoints par le gel est un processus nettement distinct de l'*éboulement en masse* dont le vallon de la Vanoise nous offre, par ailleurs, des exemples nombreux, bien enregistrés dans les roches cohérentes des parois et dans leurs débris grossiers (calcaire marmoréen du Malm, calcaire bréchiq. du Trias).

Pour intéressant qu'il soit, le recours au processus d'avalanche dans la constitution de l'éboulis ne va pas sans poser quelques problèmes.

— quels types d'avalanche entrent en jeu, et quelle est leur fréquence ?

Dans le vallon de la Vanoise, et plus encore dans le vallon de la Leisse, du fait de la hauteur des parois et de leur exposition d'adret, les grandes avalanches et non les simples petites coulées, jouent un rôle morphologique prépondérant, chaque avalanche est « grande », plus par son extension aréolaire que par son épaisseur; en effet les versants très raides sont peu propices à la constitution de réserves de neige (sauf en cas de neige soufflée par exemple); toutes choses égales d'ailleurs ils se « purgent » plus rapidement que les autres. Certaines années ces avalanches descendent plusieurs fois au cours de la période d'automne à printemps, entraînant et disposant plus ou moins de matériaux selon leur force, leur nature (avalanche de plaque, avalanche de fond...), et selon l'état des parois et celui de l'éboulis (gelé ou non, fortement enneigé ou non...).

— les divers types d'avalanche sont-ils à même d'assurer la régularité d'ensemble des surfaces topographiques et le trait bien dessiné, à petite échelle des profils en long et en travers ?

Pour les géographes familiers du monde méditerranéen le manteau neigeux apparaît comme facteur d'irrégularité topographique en raison d'une fusion rapide, la libération brutale des eaux provoquant soit des coulées boueuses, soit une érosion linéaire à chenaux multiples. Ceci est rarement le cas dans les Alpes du Nord, à haute altitude.

C) LES AVALANCHES ET LE RYTHME DE FUSION

Ce sont les *précipitations neigeuses renouvelées*, d'automne, d'hiver et de printemps qui assurent la répétition du phénomène d'avalanche; cette *répétition*, doublée d'une extension aréolaire, est à mes yeux un élément favorable à la régularité d'ensemble des formes, sans exclure, évidemment des amoncellements secondaires locaux, ni quelques accidents en creux, d'ordre décimétrique, liés à des tassements et des effondrements postérieurs à la fusion de culots de neige internes de l'éboulis.

Comparativement aux montagnes méditerranéennes la *fusion terminale du manteau neigeux est lente*, tant du fait de conditions énergétiques, radiatives et advectives différentes, que des caractères propres du manteau neigeux en fin de printemps. Le manteau neigeux alpin, constitué tout au long de l'automne-printemps présente une superposition de couches, qui au cours de leur histoire ont acquis des structures et des densités différentes. En « règle générale » toutefois les couches profondes, les plus anciennes, sont parmi les plus denses; elles disparaissent par fusion d'autant plus lentement. Certes il faut éviter tout schématisme; les propriétés et le comportement du manteau neigeux sont de ceux qui nécessitent le plus de prendre en considération la suite des états de l'atmosphère, et la crue catastrophique du Guil en juin 1957 (6) est là pour

(6) Cette crue de juin 1957, due aux précipitations paroxysmales survenues du 13 au 18 et assorties d'une fusion nivale, ne doit pas être confondue avec les crues généralisées sur l'arc alpin, et d'origine pluviale seule, du 21 au 26 juin.

nous rappeler que la coïncidence de précipitations pluvieuses et d'un manteau nival isotherme tardivement conservé peut provoquer une fusion exceptionnellement rapide de ce dernier.

Les avalanches peuvent modifier le profil classique de la neige, en amenant à mi-versant et en bas de versant, notamment, de la *neige compactée*. Pour les sites concernés cela ne fait que retarder la disparition du manteau nival puisque jouent concomitamment la suralimentation et une forte densité de la neige. Lors de la longue période de fusion, les blocs, mêlés à de la neige d'avalanche, sont lentement exhumés; à la faveur des nuits froides qui provoquent un regel suivi d'une fusion matinale, des glissements élémentaires et des réaménagements de position sont alors possibles sur une neige qui « porte ». Dans la journée chaque bloc s'enfoncé dans la neige ramollie, qu'il contribue, ponctuellement à faire fondre plus rapidement.

Ainsi, dans le contexte climatique des Alpes du Nord, je n'opposerais pas entraînement par avalanche et glissement individuel sur la neige. Il me paraît aussi probable que l'éboulis ordonné, avec des blocs disposés à plat, leur grand axe dans le sens de la pente, soit le résultat d'une suite de glissements élémentaires, secondaires, effectués ne serait-ce que sur une partie des blocs placés *d'emblée* dans, puis sur, le matériau (la neige), plutôt que l'effet d'une succession de chutes affectant des blocs isolés, détachés de la paroi par cryoclastie « individuelle », puis reçus sur une plaque de neige dont les conditions de densité et de rugosité se trouveraient alors être favorables au glissement. B. FRANCOU (1981) dans sa très intéressante étude sur les éboulis de la Combe de Laurichard (Lautaret) signale que les conditions de gélifraction par alternance de gel-dégel et les possibilités de glissement des blocs sur la neige ne se combinent qu'au cours d'un laps de temps fort réduit à l'échelle de l'année.

C'est peut-être du fait d'une abondante alimentation en neige, qui protège le sol des grands froids, que le vallon de la Vanoise n'offre, vers 2 500 m d'altitude que des lambeaux dégénérés et hypothétiques de glaciers-rocheux. L'étude des modifications qui s'opèrent sur la morphologie et sur le fonctionnement des éboulis lorsqu'ils sont relayés à leur aval par des glaciers-rocheux doit être menée ailleurs.

III. - ÉBOULIS ET GLACIERS-ROCHEUX D'APRÈS LES OBSERVATIONS ET LES MESURES SUR LANSERLIA

Le chaînon de Lanserlia en Maurienne offre une grande variété physiologique de talus d'éboulis, de même que de relations à d'autres formes majeures, glaciaires ou périglaciaires. La richesse des formes sur un petit espace de 4 km² environ, formes majeures comme les talus d'éboulis et les glaciers-rocheux, ou formes « mineures » comme les langues de gélifluxion et les buttes gazonnées, m'a incitée à réaliser une carte géomorphologique détaillée à 1/6 000 qui a été publiée dans un précédent volume des « Travaux Scientifiques du Parc National

de la Vanoise » (B. KAISER, 1975). De leur côté L. AMANDIER et J. GASQUEZ ont fait paraître dans « Boissiera » (n° 27, 1978) une contribution importante à l'étude phyto-écologique du vallon de la Rocheure, illustrée, notamment, par une carte de Lanserlia à 1/10 000. La confrontation de ces documents est intéressante pour l'étude des formations de pente mobiles.

A) STRUCTURE ET AGENTS MÉTÉORIQUES.

1 - Le chaînon de Lanserlia, calcaire et schisteux, a fourni de grandes nappes de blocs qui sont la dominante dans le paysage. Tous ces pierriers ne sont pas des éboulis. Dans la livraison et le transport des blocs ont joué non seulement les actions périglaciaires mais aussi, considérablement, les écroulements en masse.

L'un des arguments les plus forts est la disparition brutale de la corniche de calcaire marmoréen massif, roche peu gélive, à l'Est du chaînon calcaire, et l'épandage, en contrebas, de gros blocs de Malm, majoritaires sur la surface du pierrier, sauf au pied même de la paroi qui n'est plus constituée que de calcaires liasiques en plaquettes. De même valeur démonstrative est l'existence d'un vaste pierrier constitué de calcaires marmoréens du Malm au pied d'une minuscule paroi de Malm qui n'offre que 3 à 4 m de commandement (cote 2 588 de la carte topographique I.G.N. à 1/25 000); cet affleurement se poursuit par une vaste cicatrice d'arrachement qui fait apparaître à l'Est quelques débris de cargneule. Nombreuses autour du chaînon, des dépressions fermées, d'ampleur décamétrique ou hectométrique, développées dans des roches de nature variée, accréditent l'idée d'effondrements profonds; ceci vaut pour la plus vaste, « Le Trou du Chaudron », inscrite dans les micaschistes permien.

2 - La destruction des parois par gélifraction est très inégale suivant les types de roches.

En supposant qu'il est possible d'isoler les cas principaux de livraison brutale de matériaux par écroulement ou éboulement, *une échelle de gélivité des roches* peut être établie à partir des données de terrain; elle est fondée autant sur l'abondance des gélifractions vrais, éclats anguleux et plats, observés sur des affleurements rocheux en pente faible ou sur les (gros) blocs des pierriers, que sur l'abondance des blocs de toute taille, assemblés en talus d'éboulis. Je propose, du plus gélif au moins gélif, l'ordre suivant :

- les schistes lustrés, les schistes noirs de Pralognan (Eocène), les quartzites phylliteux (Permo-trias);
- les calcaires en plaquettes (Lias prépiémontais);
- les « marbres phylliteux » du Crétacé; les micaschistes permien;
- les calcaires marmoréens du Malm;
- les dolomies triasiques (à l'état de roche saine);
- les roches vertes (prasinites et ovaridites).

Pour d'autres roches, telles les gypses et les cargneules, la fourniture des débris passe simultanément, ou principalement, par des processus d'altération chimique.

Les premières expériences de cryoclastie expérimentale menées au Laboratoire de Géomorphologie du CNRS à Caen sur des échantillons de Vanoise confirment, en les nuanciant, ces positions dans l'échelle de gélivité. Suivant le nouveau protocole adopté en 1981, un cycle de gel-dégel passe, dans l'atmosphère de la chambre froide, par les extrema de -12° et $+15^{\circ}\text{C}$.

Les échantillons de schistes lustrés à l'affleurement (Lanserlia 2 900 m) sont parmi ceux qui livrèrent des gélifraacts à partir d'un petit nombre d'alternances gel-dégel : 0,3 % du poids initial représenté par des débris, pour 8 alternances seulement; 7,5 % pour 64 alternances.

Pour le calcaire marmoréen du Malm il fallut attendre la 64^e alternance pour obtenir les premiers débris, soit 0,1 % du poids initial de l'échantillon.

D'autres échantillons de schistes lustrés - prélevés sous forme de blocs dans l'éboulis pour la plupart - ne fournirent pas plus que le calcaire marmoréen au bout de 64 alternances; ils avaient cependant une porosité à l'eau nettement supérieure.

Les roches vertes (des serpentines du Pic Régaud) ne donnèrent aucun débris au bout de 64 alternances.

Un échantillon de cargneule (avec une porosité à l'eau de 20,6 % - déterminée après immersion simple dans l'eau 48 heures, suivie d'une immersion dans l'eau sous vide durant 24 heures -) fournit en débris 1 % de son poids initial à la suite de 15 alternances, 20 % après 42 alternances, et plus de 50 % dès la 64^e alternance !

3 - Tant sur le terrain qu'en laboratoire se trouve posée la grande question de la *fourniture des terres fines*, fraction inférieure à 2 mm, et principalement celle des limons. Sur le terrain, à faible distance de la paroi, c'est dans les formations colluviales issues des schistes lustrés que s'observe la plus grande abondance d'éléments fins à faible profondeur, sous 1 m ou même sous 10 à 20 cm seulement de blocs et de gélifraacts grossiers.

Il y a là un argument pour considérer que la production de ces éléments fins est suffisamment rapide, et abondante, encore aujourd'hui, pour que le « lavage des fines » lors de la fusion nivale n'entraîne pas tout vers la profondeur, ou vers l'aval. Certes il peut aussi y avoir réalimentation de la profondeur vers la surface à la faveur de cryoturbation dont j'ai eu démonstration au printemps 1979 avec une giclée de limons ocres depuis 1 m de profondeur, sur les schistes lustrés noirs. Les gélifraacts issus de la paroi, puis migrant, par solifluxion, sont dans la majorité des cas enrobés dans une matrice favorable à la rétention de l'eau, et donc à la cryoclastie (jusqu'à une certaine profondeur), comme à l'altération chimique. Des analyses d'argile (L.A. 141) en cours d'exploitation, montrent une différenciation fine selon la position dans le versant. L'équipe du Laboratoire de Géomorphologie du CNRS, dans ses études en collaboration avec P. GABERT au Chambeyron, a insisté sur le stock sablo-silteux d'origine pédologique (Rev. Géogr. alpine, 1980, fasc. 4). En laboratoire l'amenagement des gélifraacts peut être suivi jusqu'à l'état de poudre; mais il apparaît aussi que des limons sont libérés directement lors des premières ruptures d'échantillons par cryoclastie (information orale donnée par J.P. LAUTRIDOU, Laboratoire de Géomorphologie de Caen, février 1981).



PHOTO 4. Versant N.NE. de Lanserlia (2 800-2 500 m). Pierrier d'éboulement repris en « glacier-rocheux » actif. Sous la partie non couverte de pelouse il existe de la glace profonde, repérée par sondage électrique (Active « Rock-Glacier » with deep ice in the right part of the photo).

B) LA PLURALITÉ DES FACIÈS D'ÉBOULIS

Au total, à Lanserlia, la variété lithologique des affleurements détermine la pluralité des faciès d'éboulis. Interviennent en outre les effets d'exposition, d'altitude, et de site, ce dernier prenant en compte l'héritage morphologique glaciaire.

Sur la carte géomorphologique ont été distinguées les formes et formations de pente sous paroi de micaschistes et roches vertes, sous corniche calcaire et sous crête de schistes lustrés. Je propose ici quelques exemples :

1 - *Les éboulis issus de la crête sommitale (2 900m-2 850 m) sculptée dans les schistes lustrés présentent une remarquable opposition suivant l'exposition* : Au S.E., l'éboulis réglé, stabilisé. Au N.W., la nappe d'éboulis mobile, à lobes de gélifluxion.

Au NW et au SE les sites sont analogues; d'anciens cirques glaciaires très ouverts, à pente modérée, de 30 à 20 degrés aboutissant à des fonds plats. L'enneigement est aujourd'hui de longue durée, de 7 à 9 mois.

Le versant SE demeure aussi longtemps enneigé que le versant NW, car il bénéficie d'une suralimentation neigeuse sous le vent dominant; néanmoins il est beaucoup plus densément couvert de pelouse que le versant NW, les espèces présentes étant celles des associations de Combe à Neige, avec un taux de recouvrement inférieur à celui de l'association typique. A petite échelle *c'est un versant réglé*, tant longitudinalement que transversalement, et relativement bien « stabilisé »; peu de fourniture de débris depuis la crête rocheuse qui ne dépasse pas quelques mètres - et encore localement seulement - peu de migration sur les pentes, selon un processus d'auto-entretien : la pelouse freine le mouvement individuel des matériaux et elle-même n'a pu s'installer - et se maintenir - qu'à la faveur d'une mobilité d'ensemble réduite; celle-ci autorise toutefois le développement de formes mineures, telles les banquettes festonnées, ou les buttes gazonnées allongées, déformées dans le sens de la pente. En position de replat apparaissent les vraies buttes gazonnées ou « thufur », fonctionnelles aujourd'hui à 2 800 m d'altitude : j'y ai trouvé un 26 juillet 1978 une lentille de glace de plus de 10 cm d'épaisseur, sous le tissu racinaire et la pelouse, dense à cet emplacement.

Le versant NW est morphodynamiquement plus actif. La paroi, haute de quelques dizaines de mètres, libre des débris, qui, selon la topographie locale, peuvent être entraînés par de petites coulées de neige ou par simple reptation de la neige. *La masse colluviale qui prolonge le versant rocheux migre rapidement*, y compris sur une pente faible. *Par visée au théodolite*, nous avons mesuré avec C. CARL et M. VALLON, du Laboratoire de Glaciologie du CNRS, un déplacement allant jusqu'à 40 cm l'an, 2 800 m d'altitude pour une pente de 15 à 20 degrés (fig. 1 station haute du repérage planimétrique des potelets, type MORAND). Le mouvement crée une différenciation topographique, longitudinale et transversale : des lobes de grande ampleur (longs de quelques centaines de mètres, larges de quelques dizaines, et hauts de quelques mètres) fractionnent la nappe de l'éboulis et en modifient dans le détail la pente.

Les mesures de résistivité effectuées en novembre 1978 avec M. VALLON ne nous ont pas permis de trouver de permafrost bien que nous ayons ausculté les sites les plus propices : ceux dont le déneigement tardif avait assuré jusqu'à la fin juillet la présence de sols gelés superficiels. Le gel saisonnier du sol se développe, lui, sur plus de 80 cm d'épaisseur, comme en témoignent les enregistrements de température réalisés à 2 800 et 2 550 m d'altitude, et les mesures sporadiques effectuées au printemps entre 2 800 et 2 600 m d'altitude, à la faveur notamment de fosses creusées sous la neige et sous les blocs de surface ; le gel prend en masse les matériaux riches en graviers et terre fine qui retiennent l'eau, alors que les débris grossiers superficiels ne sont soudés entre eux que par une neige tassée, durcie localement par quelques strates de regel.

Aussi, pour ces versants, je conclus dans les conditions actuelles, à un mouvement de masse des éboulis important surtout lors du dégel du matériau : un mouvement de géelifluxion dans l'acception large du terme. On fera remarquer avec raison que certains lobes peuvent être nés sous un régime thermique du sol plus sévère que l'actuel, et n'être aujourd'hui qu'entretenus par la solifluxion et le gel.

Ce mécanisme d'entretien - de la forme et du mouvement - a été, démontré pour les *lobes minces*, les langues ou « loupes » de géelifluxion dont j'ai suivi saisonnièrement la mobilité, par des mesures inclinométriques sur tiges enterrées selon une technique adaptée de F. MORAND, et les teneurs en eau, jusqu'à 80 ou 90 cm de profondeur (B. KAISER, 1980). Seules des mesures à plus grande profondeur, jusqu'à 2, 4 ou 6 m ... permettraient de se prononcer pour les *lobes de grande épaisseur*.

2 - Pour les éboulis issus du chaînon calcaire de Lanserlia (2 850-2 800 m) les différences morphodynamiques tiennent autant au site qu'à l'exposition. Le matériau constitutif prépondérant est le calcaire liasique en plaquettes (7).

Dans la partie nord-est du chaînon les talus d'éboulis ne sont dominés que par des versants raides et courts, des clochetons de 50 à 100 m de commandement. Les avalanches de neige ne peuvent guère s'y développer et les éboulis sont alors principalement alimentés par les chutes de blocs individuels. Le profil des talus est presque rectiligne et, dans la majorité des cas, la rupture de pente est nette avec les formations qu'ils viennent recouvrir. Dans la partie sud-ouest du chaînon les éboulis apparaissent tous au débouché de couloirs qui ont jusqu'à 100 ou 150 m de dénivellée, et sont dominés, pour certains, par les hauts versants de la Pointe de Lanserlia. Les éboulis, bien alimentés, sont très mal stabilisés : un randonneur, un chamois, ou la neige, par son poids et sa reptation, peuvent remettre en mouvement des paquets d'éboulis. C'est là que j'ai vu se développer ce que j'appellerais la *vraie moraine de névé*, à savoir un bourrelet dans l'éboulis dû à une poussée de la neige.

(7) Pour garder l'impact physionomique de ces surfaces blanches qui viennent recouvrir les formations glaciaires anciennes, je les ai représentées cartographiquement, sous la rubrique, et dans la couleur, des « grands pierriers calcaires peu végétalisés » ; je n'ai retenu et la couleur, et le taxon de « glacier-rocheux » que pour les formes et les formations plus anciennes, densément couvertes de végétation herbeuse ou buissonnante. (B. KAISER, 1975, opus cité, Carte).

Les talus d'éboulis des versants nord-ouest et nord ont en commun d'être rattachés à l'aval à de grands pierriers festonnés, marqués par des bourrelets multiples (photo 4, 5, 6).

La filiation entre éboulis, pierriers festonnés et glaciers-rocheux est posée.

C) ÉBOULIS ET GLACIERS-ROCHEUX : QUELLES RELATIONS ?

La question, me semble-t-il doit être traitée sur plusieurs plans :

- à l'aide des *modèles conceptuels* de fonctionnement des éboulis et des glaciers-rocheux;
- à l'aide des *mesures* qui permettent de confirmer, ou d'infirmer, ces modèles;
- enfin, plus que pour d'autres questions isolées relatives au fonctionnement périglaciaire, les *échelles de temps et d'espace* doivent être précisées.

Nombre de malentendus et d'erreurs surviennent d'abord de la difficulté à assurer que telle forme, tel pierrier à bourrelets et festons, est un *glacier-rocheux*, et ensuite d'une tendance à généraliser telle démonstration qui a pu être faite localement de l'existence d'un glacier-rocheux et d'un type de relation à l'éboulis.

Ces démonstrations sont délicates, elles supposent des moyens matériels relativement lourds, et la pluralité des réponses m'apparaît comme la règle.

1 - A Lanserlia l'identification des glaciers-rocheux a reposé sur des critères

- de forme
- de mouvement
- de présence de glace (glace interstitielle ou corps de glace).

Mais tous ces critères n'ont pu être requis, bien sûr, pour chaque unité susceptible de rentrer dans la catégorie des glaciers-rocheux.

Pour le critère de forme j'ai porté une attention particulière, et j'accorde une grande importance, aux rebords frontaux et latéraux, sans compter les multiples bourrelets ou rides arquées internes, sensés traduire le mouvement. Au contraire du vallum morainique (glaciaire), le *glacier-rocheux doit-il présenter un talus bordier, latéral et frontal, sans contrepente interne*, à la manière d'un vaste lobe ? Ceci n'est pas réalisé pour tous les appareils à festons internes et nous assistons souvent à une modification morphologique du talus bordier latéral, d'amont en aval : à l'amont, il présente souvent une contrepente interne, tout comme une crête morainique latérale, et n'est plus à l'aval qu'un simple talus convexe qui réalise, sans solutions de continuité, la jonction avec le talus frontal; ainsi en va-t-il des « glaciers-rocheux » I et III portés sur la figure 1, dont l'un (I) est représenté sur la photographie n° 6. Ce changement a-t-il, d'une façon occasionnelle, ou générale, une signification fonctionnelle - et chronologique -, à l'image de ce que nous pouvons comprendre dans le cirque

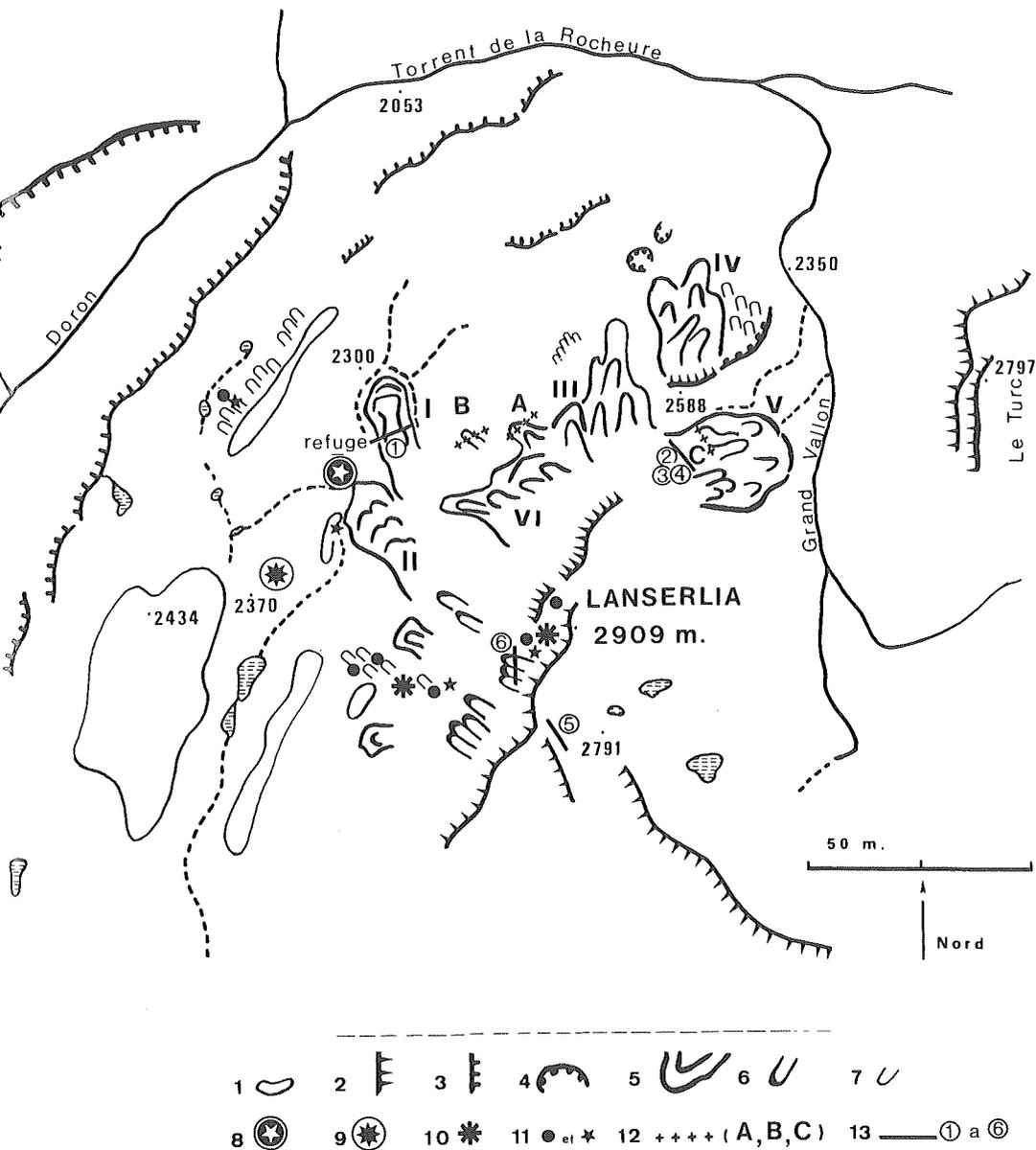


FIG. 1. — Mesures climatiques et morphodynamiques à Lanserlia.

- 1 : Butte convexe à noyau rocheux.
- 2 : Crête monoclinale (schistes lustrés ou calcaires).
- 3 : Abrupt rocheux.
- 4 : Niche d'arrachement dans la roche en place.
- 5 : I, II... Pierriers festonnés (glaciers-rocheux).
- 6 : Coulée de blocailles à lobe frontal supérieur à un mètre.
- 7 : Langue de gélifluxion.
- 8 : Thermographe et pluviographe.
- 9 : Pyranomètre (mesure du rayonnement solaire global).
- 10 : Thermosonde (dans le sol).
- 11 : Repérage inclinométrique des potelets enterrés, type MORAND, et mesure d'humidité dans le sol.
- 12 : A/C, Marquage de blocs et alignement au théodolite.
- 13 : 1/6, Sondage électrique.

d'Arsine (Briançonnais) du passage des moraines latérales d'un glacier à un appareil de type glacier-rocheux » ?

Les deux critères de présence de glace et de mouvement m'on paru être liés, en ce sens que la glace sous-jacente, ou interstitielle, aux débris minéraux, engendre un mouvement ordonné (sauf s'il s'agit de glace morte). Au contraire, et cela a été évoqué ci-dessus le mouvement n'implique pas la présence de glace pérenne. Aussi, sur les grands appareils, par économie, ai-je d'abord procédé, en collaboration avec le Laboratoire de Glaciologie du CNRS à des mesures de résistivité électrique pour rechercher une glace profonde.

la figure 1 localise ces profils de résistivité.

Sur le pierrier festonné I (2 350 m) considéré, à partir de critères morphologiques (l'aspect affaissé de la partie centrale) et biogéographiques, comme un glacier-rocheux fossile, inactif, la mesure n'a pas révélé l'existence de glace.

Sur le pierrier festonné V trois profils ont été réalisés aux altitudes 2 600-2 550 m. Le décryptage des enregistrements effectué par M. VALLON selon un modèle à trois couches démontre, pour deux profils, l'existence d'une glace profonde et épaisse : dans un cas 30 m de glace à partir de 4 m de profondeur, dans l'autre, dans une zone plus végétalisée, 8 à 20 m de glace, à partir de 18 m de profondeur (août 1978). Les fortes valeurs de résistivité rencontrées (plus de un megohm) sont celles de la glace, et non celles d'un sol gelé. La nature de la glace ne peut être précisée. Ces deux profils ne correspondent pas à la partie du pierrier festonné, ou glacier-rocheux, la plus proche de l'alimentation en blocs et en neige depuis la paroi, au contraire du troisième profil, ou, sauf erreur due à une défaillance technique possible, l'épaisseur de la glace *stricto-sensu* ne serait que de deux mètres, sous 6 m de matériaux rocheux, perméables et secs.

Réservant une discussion pour des comparaisons avec des valeurs de résistivité, assez rares il est vrai, obtenues par d'autres sur des amas rocheux (clapiers d'écroulement, glacier-rocheux...) et sur des formations gelées de toute nature, je souligne seulement ici l'hétérogénéité interne de ce vaste pierrier. Ce résultat suggère que soient multipliées les mesures... et conduit à la prudence en ce qui concerne les généralisations.

Prudence encore, au vu des derniers résultats sur la mobilité des matériaux. Dans le secteur à noyau de glace le plus épais ce pierrier V a été marqué de deux alignements de blocs - sur 100 et 170 m de long - dont les déformations ont été mesurées par visée au théodolite au bout de 3 ans (août 1978-octobre 1981) (fig. 1 C). Comparés à ceux des coulées de bloc (fig. 1 A), et à ceux des langues de gélifluxion les déplacements sont modestes : 8 cm au plus, pour 3 ans.

On peut estimer qu'un mouvement si faible n'est pas responsable, seul, du maintien - et encore moins de la genèse - de la forme d'ensemble.

De l'examen de surface, morphologique et biogéographique (des chapelets de bourrelets plus ou moins bien marqués, une colonisation par la pelouse plus ou moins importante, photo 4) comme des mesures de mobilité et des auscultations profondes il se dégage l'idée que cette forme ample, d'ordre kilométrique,

bien circonscrite par un talus bordier latéral et frontal sans contre-pente interne, n'est pas aujourd'hui une unité fonctionnelle, une et une seule. Cela a-t-il jamais été le cas ?

2 - Il ressort qu'il faut bien circonscire selon les échelles d'espace et de temps la relation de l'éboulis au glacier-rocheux.

Entre éboulis et glacier-rocheux y-a-t-il simple morphoséquence, ou bien continuum fonctionnel ?

L'existence de relais dans l'espace, dans le sens de la pente, est indiscutable, encore qu'il puisse y avoir éboulis sans glacier-rocheux aval, et aussi parfois glacier-rocheux sans éboulis amont.

Le talus d'éboulis et l'ensemble du glacier-rocheux ne sont, en général, pas contemporains. Cette règle est d'autant moins mise en défaut que le glacier-rocheux est long; les cas les plus simples sont ceux de la superposition d'un talus d'éboulis actif, bien alimenté en blocs et d'un glacier-rocheux fossile, ou inactif, dont les sédiments les plus éloignés de la paroi ont pu cheminer pendant 1 000 ans, ou plus, avant de stationner puis être colonisés par la végétation.

La filiation génétique, au sens strict, impliquerait que l'éboulis nourrisse le glacier-rocheux en matière minérale (blocs, graviers et limons), et en glace. C'est ce que B. FRANCOU suggère dans sa thèse de 3^e cycle (FRANCOU, 1981) lorsqu'il écrit que la base de l'éboulis est un piège à glace; c'est ce que L. LLIBOUTRY décrit, d'une certaine façon, avec des coupes de « glaciers d'éboulis » dans les Andes (LLIBOUTRY, 1965). Mais il ne suffit pas que l'éboulis, c'est-à-dire le matériau qui sous-tend le talus d'éboulis soit gelé, saisonnièrement, ou en permanence (?), pour que soit prouvée la filiation de l'éboulis au glacier-rocheux : le problème posé est celui d'un débit de matière, glace et fraction minérale. La production de glace au sein de l'éboulis est-elle suffisante pour que l'éboulis soit considéré comme le « bassin d'alimentation » du glacier-rocheux ? Je crois que si la réponse peut être positive pour les petits appareils de l'ordre d'une centaine de mètres de long elle est plus complexe pour les glaciers-rocheux amples, d'ordre kilométrique. Ces derniers, peuvent aussi résulter de la constitution progressive d'une glace profonde et durable (glace propre, ou glace chargée) au sein d'un stock de matériaux préexistants. D. BARSCH (1977), après G. ØSTREM (1971) décrit ce processus pour les glaciers-rocheux situés à l'aval de glaciers, ou latéralement à eux. Il m'apparaît qu'une hypothèse de ce type devrait être retenue même en l'absence de glaciers proches aujourd'hui, que le matériel concerné soit un ancien dépôt glaciaire (et l'espace qui le sépare des parois nourricières peut-être occupé par des dépôts postérieurs, non glaciaires, tels les éboulis), ou que le matériel soit « quelconque », (un terrain meuble glissé, ou un produit d'écroulement rocheux, sur glacier éventuellement).

A *Lanseria* pour les vastes « pierriers festonnés » éloignés de la paroi et riches en blocs de surface (Malm et Crétacé) dont on ne retrouve pas aujourd'hui la source dans cette paroi, je n'exclus nullement une telle hypothèse de produits d'écroulement repris en glacier-rocheux. L'écroulement serait responsable de l'enveloppe de la forme d'ensemble, et l'écoulement plastique responsable du fractionnement en une série de lobes.

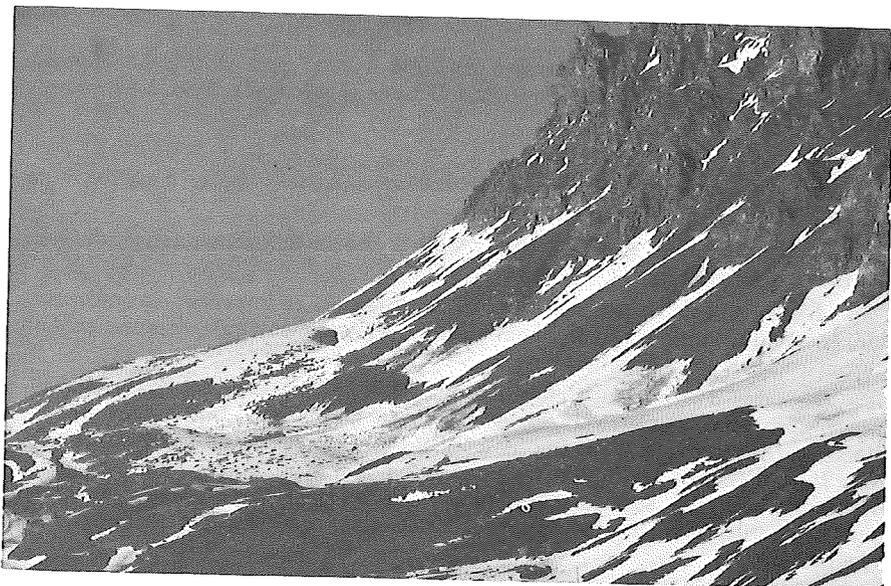


PHOTO 5. Versant N.W. de Lanserlia (2 800-2 650 m). Le talus d'éboulis se prolonge par le premier bourrelet du glacier-rocheux. Des blocs sont incorporés à la neige d'avalanche (mai 1976). (Talus-slope and young rock-glacier; snow avalanche with debris).

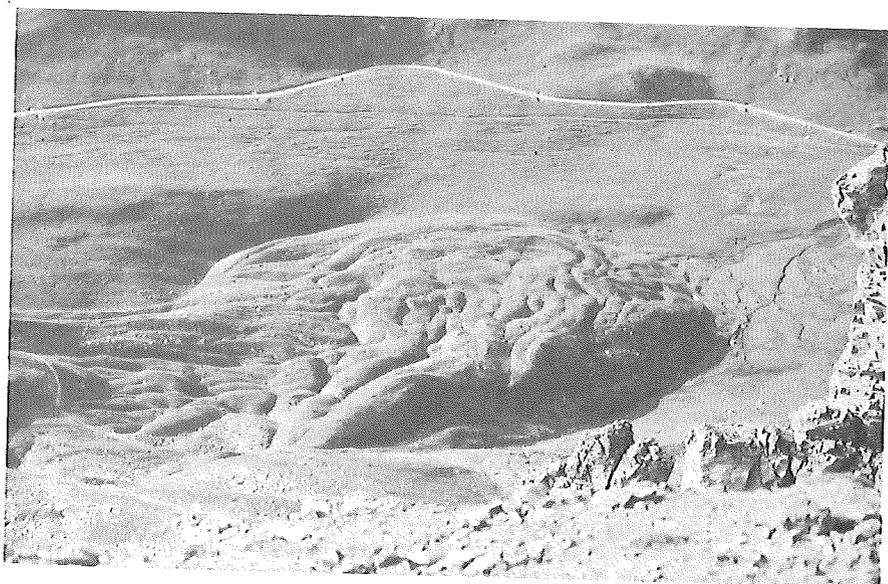


PHOTO 6. Versant N.W. de Lanserlia (2 350 m). Glacier-rocheux fossile à bourrelets multiples (Fossil rock-glacier).

Cependant, en versant nord-ouest notamment, je considère qu'il y a localement filiation génétique entre l'éboulis et une partie du glacier-rocheux, c'est-à-dire que les blocs tombés depuis peu de la paroi et mêlés à de la neige qui se transforme en glace, soit par tassement, soit par regel, alimentent aussi bien l'éboulis lui-même que les lobes les plus jeunes et les plus actifs du glacier-rocheux. La frontière entre éboulis et petit glacier-rocheux est alors une question de convention. Pour conserver une certaine cohérence à l'expression de talus d'éboulis je propose d'arrêter celui-ci vers l'aval à la première contrepente, au premier bourrelet, la transition entre le talus d'éboulis fonctionnel et le glacier-rocheux fonctionnel étant alors marquée par une convexité de bas de talus d'éboulis. Une telle transformation de l'éboulis en glacier-rocheux jeune apparaît très bien en profil sur la photographie n° 5.

CONCLUSION

L'observation même des formes, simples comme les talus d'éboulis, ou complexes comme les glaciers-rocheux, permet déjà de reconstituer quelques-unes des modalités de leur genèse et de leur évolution. Pour cela il convient d'être attentif au cadre topographique et structural dans lequel elles s'inscrivent. Ainsi la libération importante de débris depuis une paroi, et leur entraînement par avalanche, se lisent, l'une dans l'état même de cette paroi, l'autre dans la longue concavité basale du talus d'éboulis. Une référence aux conditions climatiques actuelles le long du versant, assortie d'une enquête sur la fréquence des avalanches, peut venir conforter les premières hypothèses explicatives, dont il convient de préciser qu'elles expriment seulement le possible, ou le probable, et non une certitude. Ces remarques valent particulièrement pour les formes, et leurs dépôts sous-jacents, qui impliquent une longue durée d'évolution. Les conditions actuelles de fonctionnement, observables ou mesurables sur quelques années, peuvent ne pas valoir pour le passé. Nous sommes amenés, alors, à distinguer les formes fonctionnelles, celles qui naissent ou sont maintenues sous les conditions morphodynamiques actuelles, des autres, les formes héritées, soumises à une dégradation lente ou rapide.

Dans de rares cas, non seulement les formes, mais aussi les agents morphodynamiques du passé, subsistent jusqu'à nos jours. L'un des meilleurs exemples est celui de la glace fossile associée à des formes de glaciers-rocheux identifiables aujourd'hui : glace de glacier, protégée de la fusion par un épais manteau de débris, ou glace intersticielle soudant les colluvions descendues du versant. Un tel pergélisol hérité peut être, pour son maintien, en équilibre avec les conditions climatiques actuelles, alors que, sous ces mêmes conditions, un

(8) le texte présenté ici a, pour l'essentiel, paru sous une forme plus étendue, en pré-publication à diffusion restreinte : « Notes et Comptes-Rendus du groupe de travail sur la Régionalisation du Périglaciaire », 1982, Fasc. 7. Strasbourg. Doc. Ronéo. 80 p., 10 fig., 33 photos.

pergélisol nouveau ne pourrait se constituer. C'est donc bien parfois une phase – ou une crise – climatique ancienne qui est inscrite dans le climat du sol et contribue au déplacement actuel des matériaux.

Au-delà des références climatiques, qui ne sont que dans une relation médiatisée avec les formes, il serait précieux de pouvoir associer directement une forme à une dynamique. Nous devons réfléchir aux conditions requises pour qu'une dynamique, un mouvement par exemple, crée une géométrie.

A observer des formes semblables dans des formats variés, formes homothétiques en quelque sorte (lobes, langues, glaciers-rocheux), nous sommes amenés à nous interroger sur la nature de la différence qui régit les processus responsables de ces formes : différence qualitative ou quantitative, concernant, par exemple, l'épaisseur d'un matériau gelé et le mouvement qui l'affecte.

Il est établi, d'autre part, que des formes d'apparence voisine peuvent résulter de processus divers. Ainsi, une des formes dont la genèse, et partant la signification morphoclimatique et dynamique, est parmi les plus difficiles à déchiffrer est celle de bourrelet(s) au pied de l'éboulis. Ce peut être un ancien dépôt glaciaire recouvert par l'éboulis, ou bien une protubérance née au sein de l'éboulis mobile. Pour faire disparaître un tel exemple de ce que l'on appelle une « convergence de forme », il faut s'attacher à une plus grande finesse d'observation morphologique, et à une meilleure connaissance des lois rhéologiques des matériaux.

C'est là ma principale conclusion. Les morphologues, qui depuis quelques décennies, travaillent avec les quaternaristes aux reconstitutions des paléoclimats inscrits dans les formes et les formations superficielles, se doivent aussi de mieux intégrer les modèles physiques et rhéologiques développés par les géophysiciens et les mécaniciens des sols ou des roches.

REMERCIEMENTS

Je remercie vivement ceux qui m'ont aidée pour la réalisation des diverses campagnes de mesures citées dans ce texte, particulièrement L. BANTIN du Parc National de la Vanoise, C. CARL et M. VALLON du Laboratoire de Glaciologie du C.N.R.S.

GLOSSAIRE

Colluvions : Ensemble des matériaux en déplacement sur un versant.

Clastique : Adjectif, lié à une brisure.

Cryoclastie, synonyme **Gélifraction** : Brisure par effet du gel de l'eau dans les pores et les micro-fissures des roches.

Pergélisol, synonyme **Permafrost** : Au sens propre, sol toujours gelé. Le sol est en fait une formation détritique quelconque.

Solifluxion : Ecoulement, en masse, d'une formation quelconque, même sur pente faible.

L'écoulement se produit lorsque, du fait d'une certaine teneur en eau, les limites de plasticité, ou de liquidité, du matériau sont franchies.

Gélifluxion : Ecoulement en masse faisant intervenir le gel ou le dégel d'un matériau, sans limitation d'épaisseur. La gélifluxion laminaire concerne plus précisément des couches minces de matériau, déformées et mobiles principalement lors de leur dégel.

Glacier-rocheux : Ne doit pas être confondu avec « glacier noir ». L'expression de glacier-rocheux est utilisée depuis le début du siècle pour désigner une masse de colluvions épaisses (une dizaine à plusieurs dizaines de mètres) animée d'un mouvement d'ensemble du fait de la présence de glace, sous-jacente, ou interstitielle aux débris. L'écoulement est censé se traduire par des bourrelets multiples, des rides et des creux allongés dans le sens de la pente ou transverses à elle. C'est cette morphologie particulière (Cf. photo n° 6) qui a d'abord fait repérer les glaciers-rocheux. Les sondages réalisés depuis une dizaine d'années montrent que la glace interstitielle est la plus fréquente (glace de regel souvent). Lorsque ni mouvement, ni glace ne subsistent le glacier-rocheux est qualifié de « inactif » et de « fossile ». Il est alors le plus souvent colonisé par la végétation.

BIBLIOGRAPHIE

- AMANDIER (L.), GASQUEZ (J.), 1978. - Contribution à l'étude phyto-écologique et floristique du Vallon de la Rocheure (Parc National de la Vanoise). *Boissiera*, 27, 1978, 153 p. (1 carte à 1/10 000).
- BARSCH (D.), 1977. - Nature and Importance of Mass-wasting by Rock-Glaciers in Alpine Permafrost Environments. *Earth Surface Processes*. 1977.2 . 231-246.
- BIROT (P.), 1981. - Creusement des vallées et néofracturation des roches compactes. *Bull. Ass. Géographes Français*. 1981, 139-143.
- Centre de Géomorphologie du C.N.R.S. - Caen/Institut de géographie d'Aix-en-Provence, 1980. - Observations sur quelques formes et processus périglaciaires dans le Massif de Chambeyron (Alpes de Haute-Provence). *Revue de Géographie Alpine*. 1980, fasc. 4, 349-382.
- ELLENBERGER (F.), 1958. - *Etude géologique du pays de Vanoise*. Mémoire de la carte géologique de France. Paris. Imprimerie Nationale. 561 p.
- FRANCOU (B.), 1981. - Etude Géodynamique des éboulis et formes associées dans la Combe de Laurichard (Hautes-Alpes). *Thèse de 3^e cycle*. Grenoble. 153 p.
- FRECHET (J.), 1978. - Sismicité du Sud-Est de la France, et une nouvelle méthode de sondage sismique. *Thèse de 3^e cycle*. Grenoble.
- GENSAC (P.), 1978. - Observations thermométriques de 1973 à 1976 dans le Parc National de la Vanoise. Conséquences biologiques. *Trav. sci. Parc. nation. Vanoise*, IX, 9-24.
- GOGUEL (J.), 1969. - Des failles d'âge quaternaire à Peisey (Savoie). *Bull. Soc. Géol. France*, 35-39.
- KAISER (B.), 1975. - Etude géodynamique de versants dans le massif de la Vanoise : orientations et résultats récents. *Trav. sci. Parc nation. Vanoise*, VI, 9-40. (1 carte à 1/6 000 de Lanserlia).
- KAISER (B.), 1980. - Observations et premières mesures sur la gélifluction en Vanoise : les loupes de Lanserlia (Alpes franç. internes). *Zeit. für Geomorphologie*, Suppl. band 35, pp. 118-141.
- KAISER (B.), 1981. - Rôle de la fragmentation tectonique et de la décompression en Vanoise. *Bull. Ass. Géographes Français*, 478, 156-161.
- LAUTRIDOU (J.P.), OZOUF (J.C.), 1982. - Experimental frost shattering. *Progress in Physical Geography*, 6, 2. Edward Arnold. Londres, 215-232.
- LLIBOUTRY (L.), 1965. - *Traité de Glaciologie*. Tome I et II. Paris, Masson, 1 040 p.
- ØSTREM (G.), 1964. - Ice-cored moraines in Scandinavia. *Geografiska Annaler*, 47, 282-337.

PARC NATIONAL DE LA VANOISE

- ØSTREM (G.), 1971. - Rock-Glaciers and ice-cored moraines, a reply to D. Barsch.
Geogr. Annaler, 53 A, 207-213.
- PEGUY (Ch.P.), 1973. - Etude sur la variabilité de l'enneigement en Vanoise. *Trav. Sci. Parc nation. Vanoise*, V, 41-55.
- VOGT (J.), 1979. - Les tremblements de terre en France. *Mémoire du B.R.G.M.* N° 96, 217 p.

(reçu pour publication, février 1983)

LES RÉGIMES NIVOMÉTRIQUES DE LA VANOISE

par Henri VOIRON (1)

Introduction	82
I. - La répartition spatiale des chutes de neige cumulées	87
II. - Évolution de la nivométrie au cours de l'hiver	91
III. - Variabilité de la nivométrie saisonnière	94
IV. - Les chutes de neige abondantes	95
Conclusion	98
Bibliographie	99

Résumé. - Dans le but d'apporter un complément à d'autres travaux scientifiques consacrés aux paramètres météorologiques pluie et température du Parc National de la Vanoise, on se propose ici d'entreprendre une étude sur les régimes nivométriques de la Vanoise d'après les hauteurs de chutes de neige cumulées. Exploitant plus de 20 ans de mesures, l'auteur analyse sous différents angles le paramètre « hauteur de chutes de neige cumulées mensuellement ». En outre, après avoir sélectionné les cas de chutes de neige quotidiennes « abondantes », on tente de faire ressortir les types de temps qui en sont à l'origine.

Mots-clés : *Vanoise - Nivologie.*

Summary. - THE CLIMATE OF THE VANOISE VIEWED THROUGH SNOWFALLS.

In the line of preceding works referring to other meteorological parameters (rain and temperature), we are examining here snowfalls in the limited mountainous area known as the french « Parc national de la Vanoise » and situated at the crossing of different atmospheric influences (oceanic, mediterranean and continental). Analysing more than 20 years of data, the author shows evolution of snowfall measures through space and time. To complete the paper, one tries to make-up the original weather-situations corresponding to heavy snowfalls.

Key-words : *Vanoise - Snowfalls.*

(1) *Ingenieur des travaux météorologiques, Bloye, 74150 Rumilly.*

INTRODUCTION

Le Parc National de la Vanoise mérite, à notre avis, qu'on lui consacre des travaux scientifiques pour une meilleure connaissance de son climat comme une approche de ce genre a déjà été faite pour le Parc National des Ecrins par M.E. ASCENCIO (1980). Dans cette discipline, on sait que plusieurs travaux ont été consacrés aux précipitations et à l'épaisseur du manteau neigeux par Ch. P. PEGUY (1973-74-75) et aux températures par P. GENSAC (1978) de zones situées dans ou près du Parc National de la Vanoise. D'autre part, on ne peut passer sous silence la thèse magistrale de H. ONDE (1938) où, plusieurs chapitres, très développés, sont consacrés à la climatologie de la Maurienne et de la Tarentaise, c'est-à-dire en majeure partie, la Vanoise.

On se propose ici de compléter les recherches citées par une étude sur les régimes nivométriques de la Vanoise qui devrait être dans notre esprit une partie de la contribution à l'étude du climat de la Vanoise, région située à un « carrefour d'influences climatiques différentes » comme a dit, à juste titre, Ch. MALY et comme nous l'avons montré par ailleurs (VOIRON, 1980).

On trouvera donc ci-après les divers aspects du paramètre « hauteur mensuelle des chutes de neige cumulées », ces dernières ayant été mesurées généralement dans des postes climatologiques de la Savoie faisant des observations nivo-météorologiques pour le CEDONIGLA (Centre de Documentation Nivologique et Glaciologique, organisme dépendant conjointement de la Direction de la Météorologie, d'Electricité de France et du CEMAGREF/Ministère de l'Agriculture et dont les archives se trouvent au Centre d'Etude de la Neige, D.M./E.E.R.M. à Saint-Martin d'Hères, Isère). Ce sont ces documents qui ont permis de faire le présent travail.

Exploitant approximativement plus de 20 ans d'observations quotidiennes s'étendant sur la période de 1957 à 1980, on a commencé par établir un tableau des chutes de neige cumulées mensuellement pour chacun des six postes du CEDONIGLA retenus. Ceux-ci ont été choisis parce qu'ils sont situés aux limites du Parc National de la Vanoise : Pralognan, Peisey-Nancroix, Bonneval, Aussois et le Thyl, ainsi que Valloire à proximité et au vu de la qualité de ses observations. En outre, on a associé à la documentation provenant du CEDONIGLA les données publiées dans l'excellent ouvrage de M. JAIL (1977) où l'on trouve page 28 un tableau très intéressant sur l'enneigement à Bessans d'après J.B. BARROUR, technicien des Eaux et Forêts (et surtout, comme le dit l'auteur) Bessanais d'origine.

Quelques autres postes climatologiques du CEDONIGLA, bien qu'également situés à la périphérie du Parc National de la Vanoise, comme Sainte-Foy-en-Tarentaise et Saint-Martin-de-Belleville n'ont, malheureusement, pu être exploités, soit parce que les renseignements transmis étaient incomplets, soit parce qu'ils étaient, à notre avis, de qualité douteuse.

Ainsi, les « données brutes » (extraites des feuilles hebdomadaires d'observations nivo-météorologiques) sur la nivométrie (hauteur de neige tombée en

TABLEAU I

Tableau des chutes de neige cumulées (en cm) à Pralognan (1 420 m)
Observateur S. FAVRE

Hiver	sept.	oct.	nov.	déc.	jan.	fév.	mars	avr.	mai	Total
60/61		45	50	53	83	130	9	20		390
61/62		15	28	25	25	60	73	79		305
62/63		15	25	194	41	67	166	26	14	548
63/64			48	10	3	12	56	10		139
64/65		27	18	54	103	52	39	45		338
65/66	6		188	227	118	50	73	10		672
66/67		9	75	115	36	15	50	tr	10	310
67/68		10	38	85	255	35	25	20	tr	468
68/69			25	190	50	90	10	10		375
69/70			40	110	25	290	(100)	(25)		(590)
70/71		10	30	15	60	45	160	10		330
71/72			105	0	35	70	(20)	(30)	5	(265)
72/73		10	(20)	(10)	50	95	15	60	5	(265)
73/74			20	35	(22)	(10)	50	10	15	(162)
74/75	20	85	95	40	80	8	119	94	15	556
75/76		tr	60	5	30	55	45	40		235
76/77			38	75	79	80	43	83	5	403
77/78			90	29	208	126	166	45	15	578
78/79		19	55	62	100	58	71	31	15	411
79/80			70	185	69	87	81	29	3	524*
tot. moy.	26 1,3	245 12,3	1118 55,9	1519 76,0	1472 73,6	1435 71,8	1371 68,55	677 33,85	102 5,1	20 ans 393,2

* dont 10 cm en juin 1980; tr = traces; (...) = valeur incertaine

TABLEAU II

Tableau des chutes de neige cumulées (en cm) à Peisey-Nancroix (1 350 m)
Observateur H. RICHERMOZ

Hiver	sept.	oct.	nov.	déc.	jan.	fév.	mars	avr.	mai	Total
57/58			6	31	50	109	59	15		270
58/59		6	25	75	131	0	5	22		264
59/60		27	20	131	34	45	36	9		302
60/61		6	36	37	101	107	tr	4		291
61/62			3	15	57	61	94	75		305
62/63			28	149	52	69	108	11		417
63/64			47	13	5	10	18	4		97
64/65		11	17	41	74	7	20	38	9	217
65/66			126	232	122	25	58			563
66/67		7	56	109	32	15	30	14	7	270
67/68		2	44	50	199	45	25	7	8	380
68/69			45	144	45	84	16	19		353
69/70			29	91	28	222	75	98		543
70/71		6	34	19	71	30	151			311
71/72			101	0	33	75	22	21	4	256
72/73	3	7	23	20	(21)	93	10	(14)		191
73/74			28	49	41	82	36	3	10	249
74/75	5	56	31	57	43	tr	59	48	8	256
75/76		13	61	3	21	67	50	41		256
76/77			15	98	55	73	24	14		279
77/78			48	24	170	103	142	8		495
78/79		4	17	67	124	40	50	26	10	338
79/80			45	133	77	85	91	tr		431*
tot. moy.	8 0,3	145 6,3	885 38,5	1588 69,0	1586 68,9	1447 62,9	1179 51,3	491 21,3	56 2,4	23 ans 318,9

* dont 7 cm en juin 1980.

TABLEAU III

Tableau des chutes de neige cumulées (en cm) à Bonneval-sur-Arc (1 690 m)
Observateurs O. ARNAUD, I. DAMEVIN et R. ANSELMET

Hiver	sept.	oct.	nov.	déc.	jan.	fév.	mars	avr.	mai	total
56/57		?	?	15	16	192	14	24	2	(263)
57/58			35	46	99	123	125	110		538
58/59		5	95	150	165	9	19	83		526
59/60		27	45	242	86	59	30	51		540
60/61		28	62	104	79	110	8	26		417
61/62		12	128	38	112	61	73	114		538
62/63		11	52	173	75	86	199	144		740
63/64			77	14	6	24	83	97		301
64/65		40	28	55	90	7	92	24		341
65/66			184	298	176	86	64	55		863
66/67		31	85	155	34	57	31	29	5	427
67/68		3	57	46	270	82	26	14		498
68/69			108	266	91	68	55	216	18	992
69/70			40	101	76	305	78	131	24	755
70/71		6	59	46	97	56	44	15	5	328
...										
74/75		121	231	124	207	30	245	130	130	1 218
75/76		26	148	41	32	187	43	119		595*
76/77	4	22	105	263	168	172	119	26	28	907
77/78	9	tr	56	37						
tot. moy.	13 0,7	332 17,5	1 595 83,9	2 214 116,5	1 879 98,9	1 714 90,2	1348 70,9	1408 74,1	(212) 11,1	19 ans 567,7

* dont 23 cm en juin 1976

TABLEAU IV

Tableau des chutes de neige cumulées (en cm) à Aussois (1 479 m)
Observateurs A. COL, M. GROS, O. ARNAUD

Hiver	sept.	oct.	nov.	déc.	jan.	fév.	mars	avr.	mai	total
56/57			12	19	19	168	2	3		223
57/58		2	17	29	115	103	68	40	4	318
58/59		4	49	87	153	9	9	62	6	364
59/60		45	44	145	56	41	43	24		398
60/61		6	43	52	62	174	3	10		344
61/62		3	25	14	84	17	75	90		308
62/63		5	21	128	35	43	119	10		361
63/64			23	12	4	9	49	13		110
64/65		2	22	50	72	20	11	23	20	202
65/66			111	277	154	58	58	5		663
66/67			67	122	37	13	50	14	5	308
67/68			54	45	269	35	16	8		412
68/69			60	200	45	63	11	24		403
69/70			8	100	23	290	59	71		631
70/71			13	20	76	34	156			230
71/72			133	1	46	96	20	26		226
72/73			12	15	43	103	2	39		214
73/74			34	32	29	142	39			303
74/75	17	51	90	39	67	2	61	65	27	424
75/76			76	20	24	66	38	55	32	279
76/77			34	120	57	68	29	17		265
77/78			30	24	231	115	120	14		534
78/79			8	27	86	92	72	50		335
79/80			44	195	121	100	90	22		572
tot. moy.	17 0,7	118 4,9	1030 42,9	1773 73,9	1908 79,5	1852 77,2	1200 50,0	685 28,5	94 3,9	24 ans 351,1

TABLEAU V

Tableau des chutes de neige cumulées (en cm) au Thyl (1 360 m)
Observateurs M. Ch. RECHU, A. JACOB

Hiver	sept.	oct.	nov.	déc.	jan.	fév.	mars	avr.	mai	total
57/58		3	4	24	81	113	60	26		221
58/59			14	38	104	2	(26)	57	11	(252)
59/60		37	33	145	42	36	25	(18)		(236)
60/61		(20)	27	36	74	124	7			(288)
61/62		(7)	25	19	65	54	61	87		(318)
62/63		10	17	209	44	61	101	8		450
63/64			44	18	8	8	34	13		125
64/65		26	23	42	82	48	24	34	27	306
65/66			102	244	112	23	106	(12)	6	605
66/67		9	80	138	41	(83)	(77)	18	9	455
67/68		3	22	58	272	25	16	8		404
68/69			33	175	56	84	13	24		385
69/70			25	97	18	235	73	56		504
70/71		5	17	12	40	71	147	7		299
71/72			136	1	47	91	18	29	19	341
72/73		3	26	8	50	133	11	92		323
73/74		33	(0)	39	(30)	116	42	3	17	(280)
74/75		72	45	64	(25)	(38)	60	61	9	374
75/76		23	50	29	29	80	65	32		308
76/77			47	71	85	86	44	46	10	389
77/78			101	34	282	161	168	35	2	781
78/79		6	23	34	124	41	68	33	20	349
79/80			55	192	92	70	96	20		535*
tot. moy.		257 11,2	949 41,3	1727 75,1	1803 78,4	1783 77,5	1342 58,3	717 31,2	130 5,6	23 ans 370,8

* dont 10 cm en juin 1980

TABLEAU VI

Tableau des chutes de neige cumulées (en cm) à Valloire-Leley (1 296 m) - Observateur
A. GIRAUD; Les Grandes (1 501 m) - Obs. J. ROL; Valloire (1 435 m)
Obs. E. RAMBAUD

Hiver	sept.	oct.	nov.	déc.	jan.	fév.	mars	avr.	mai	total
57/58		3	0	33	84	79	49	27		275
58/59			9	83	105	29	1	35		233
59/60		21	21	119	29	22	2	2		243
60/61			19	42	86	136	2			162
61/62		3	10	8	80	35	30	90		256
62/63			16	187	33	71	103	10		396
63/64			18	13	6	4	26			67
64/65		18	19	25	94	13	18	33	15	235
65/66			105	221	120	10	108		2	566
66/67		3	69	144	46	19	62	10	2	295
67/68					354	46	22	7		(429)
68/69			46	54	66	87	19	27		299
.....										
73/74					32	137	20	4	8	(201)
74/75		(49)	(29)	34	43	7	(55)	(51)	10	(278)
75/76		6	58	20	24	57	61	24		184
76/77			33	58	78	82	35	23	14	323
77/78			76	21	217	125	158	11	2	610
78/79		7	11	64	69	28	36	(13)	12	(240)
79/80			40	150	70	78	4			
tot. moy.		(110) 5,8	(579) 30,5	1276 67,1	1636 86,1	1043 54,9	831 43,7	367 19,3	65 3,4	19 ans 278,5

24 h et mesurée le matin vers 8 h) sont rassemblées dans des tableaux donnant la hauteur de neige cumulée au cours de chacun des mois d'hiver durant toute la période exploitée. On a pu alors établir des tableaux de « données élaborées » (les seuls publiés ci-après), c'est-à-dire les valeurs minimales, moyennes et maximales du paramètre neige tel que nous l'avons défini : hauteur de chutes de neige cumulées mensuellement.

Dans un premier temps, en reportant les moyennes mensuelles et saisonnières de la nivométrie sur des cartes appropriées — ne faisant état que du réseau hydrographique — on a tracé des « isonèves » mensuelles et saisonnières « normales » pour la Vanoise. Vu la faiblesse de la densité du réseau de mesures, ces cartes n'ont qu'une valeur indicative.

Dans une deuxième phase, les tableaux de la nivométrie mensuelle permettent d'obtenir une première série de graphiques concernant l'évolution « normale » de la quantité des chutes de neige cumulées mensuellement au cours de l'hiver pour chacun des postes exploités.

TABLEAU VII

Tableau des chutes de neige maximales cumulées mensuellement.

Poste clim.	oct.	nov.	déc.	jan.	fév.	mars	avr.	mai
Pralognan	85	188	227	255	290	166	83	15
Peisey	56	126	232	199	222	151	75	10
Bonneval	121	231	298	270	305	245	216	130
Aussois	51	133	277	269	290	156	71	32
Le Thyl	72	136	244	282	235	168	92	27
Valloire	49	105	221	354	137	158	51	15

Ensuite, les tableaux établis permettent de faire une deuxième série de graphiques concernant alors l'évolution chronologique de l'enneigement dans chaque poste durant pratiquement les vingt dernières années. De plus, l'élaboration de ces derniers graphiques a permis de déceler, donc d'éliminer, quelques erreurs de calculs dans nos statistiques.

Enfin, après avoir sélectionné les chutes de neige quotidiennes correspondant à des chutes de neige abondantes (50 cm de neige ou plus en 24 h en général et 40 cm ou plus pour Peisey-Nancroix on a analysé les types de temps ayant entraîné ces chutes de neige intéressantes.

Sans nier que les résultats obtenus ne peuvent être qu'indicatifs, on pense cependant fournir un schéma assez approximatif de la quantité de neige qui peut tomber en moyenne montagne située en majeure partie dans le pré-parc de la Vanoise. Ces résultats permettent surtout de voir, les différences des chutes de neige ainsi que de leur répartition, soit au cours de l'hiver en général, soit au cours d'une très courte période caractérisée par un type de temps bien qu'individualisé, et ce, d'une vallée à l'autre de la Vanoise.

I. - LA RÉPARTITION SPATIALE DES CHUTES DE NEIGE CUMULÉES (fig. 1 et 2)

A l'échelle de l'hiver, le maximum des chutes de neige cumulées se situe nettement en Haute-Maurienne avec, parmi les postes exploités, Bonneval où trois facteurs sont favorables à un enneigement abondant : 1) l'altitude, 2) zone très sensible à un type de temps particulier comme le régime de Lombarde et 3) fond de vallée. Avec cette dernière caractéristique on retrouve une analogie frappante avec le hameau du Tour, sur la commune de Chamonix (Haute-Savoie) qui est bien connu comme bénéficiant d'un enneigement très abondant. La différence d'altitude entre Chamonix-Ville et le Tour, soit près de 400 m ne suffisant pas à expliquer l'enneigement nettement supérieur du Tour, c'est, à notre avis, la configuration topographique du fond de vallée qui en est la cause. De même, le site de Bonneval constitue un creuset pour recevoir le maximum de précipitation lorsqu'un courant humide s'engouffre dans la vallée en remontant d'aval en amont, ce qui est le cas fréquent avec des courants perturbés d'Ouest et surtout de Sud-Ouest.

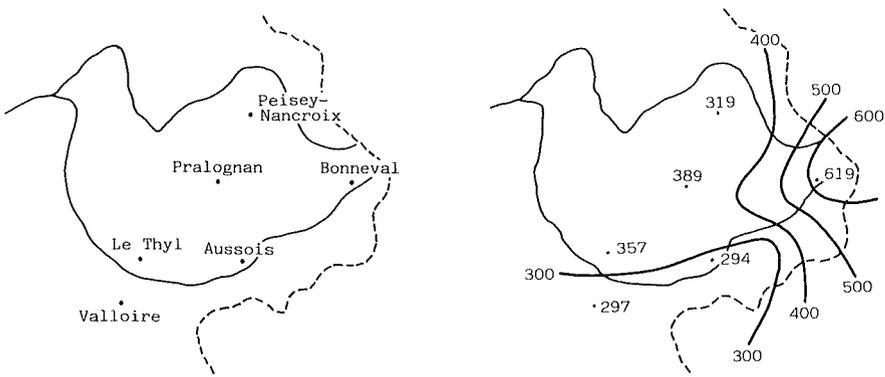
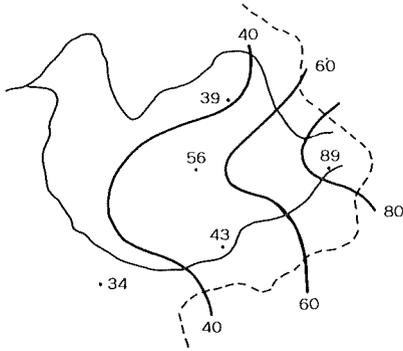


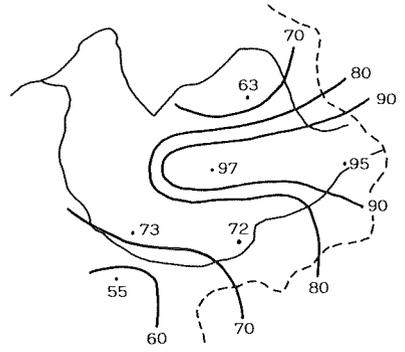
FIG. 1. - Situation géographique des postes nivo-météorologiques exploités et répartition spatiale moyenne des chutes de neige cumulées (en cm) au cours d'un hiver (nov. à avril).

Quant au minimum d'enneigement, il se situe à Aussois essentiellement parce que ce poste est le plus proche du « pôle de la sécheresse » bien connu de la Maurienne, donc le moins arrosé de la Vanoise et de ses environs. L'examen d'une carte des précipitations annuelles « normales » établie d'après les renseignements climatologiques publiés par R. GARNIER nous le confirme comme nous le montre la figure 3.

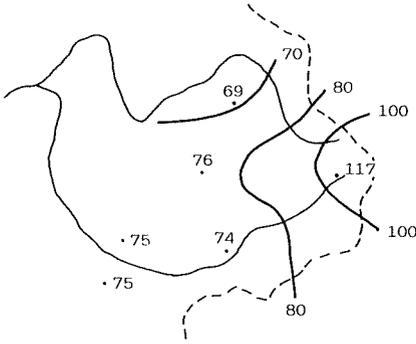
PARC NATIONAL DE LA VANOISE



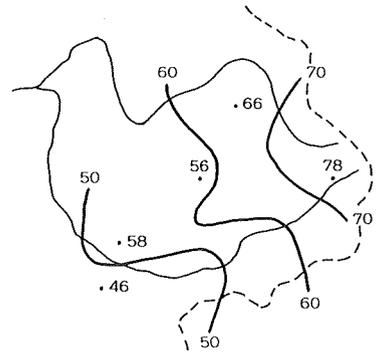
Enneigement de novembre



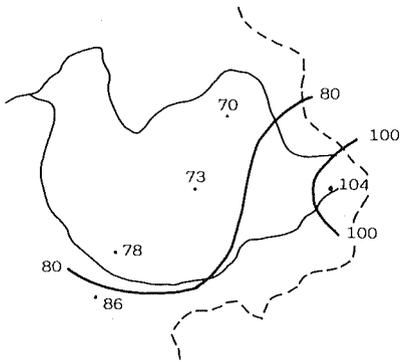
Enneigement de février



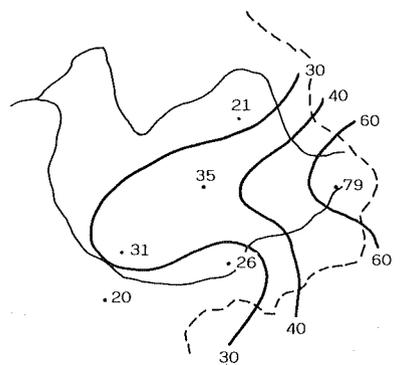
Enneigement de décembre



Enneigement de mars



Enneigement de janvier



Enneigement d'avril

FIG. 2. - Répartition spatiale moyenne des chutes de neige cumulées (en cm) au cours de chaque mois d'hiver.

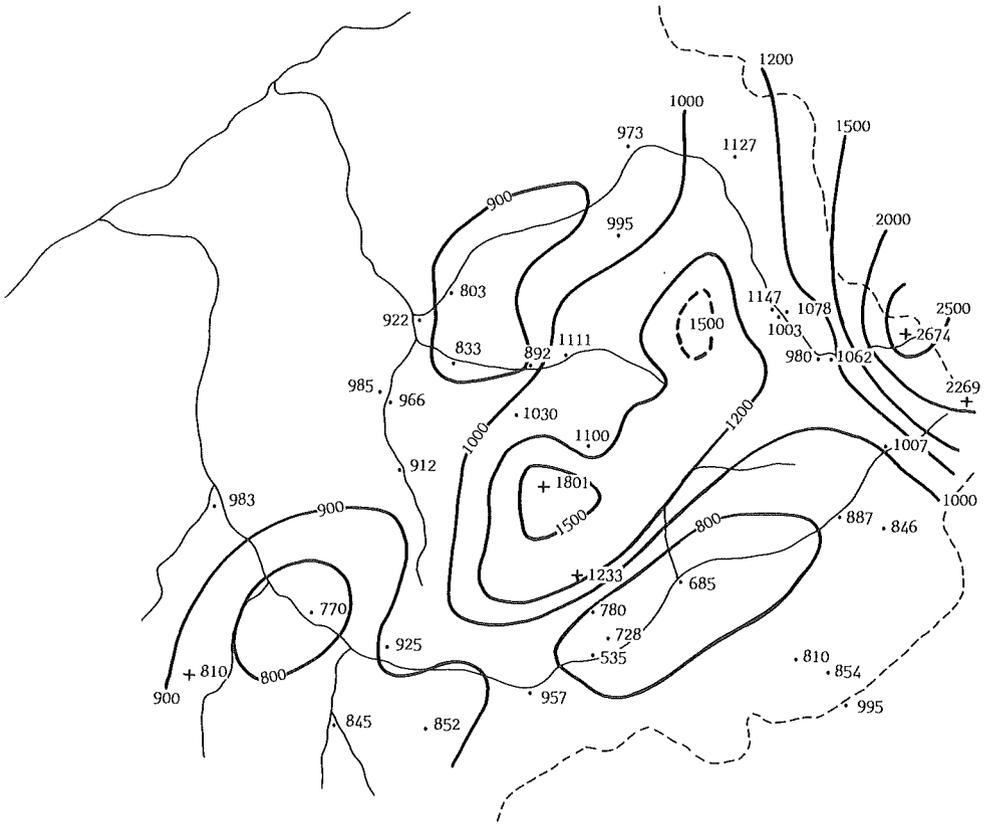


FIG. 3. - Carte des précipitations annuelles « normales » de la Vanoise et de ses environs (isohyètes cotées en mm) ● (R. GARNIER) + (H. ONDE).

Considérant que la majeure partie des chutes de neige tombe en moyenne montagne de novembre à avril (le semestre froid des géographes) on peut comparer la quantité des précipitations moyennes de ces six mois à l'enneigement moyen de l'hiver. Les résultats nous sont donnés par la figure 4 où la répartition des isohyètes du semestre froid présente une certaine analogie avec la carte des isonèves de l'hiver de la figure 1.

Revenant sur le maximum d'enneigement observé au cours de l'hiver à Bonneval, en ce qui concerne le deuxième facteur lié à ce poste climatologique exceptionnel dans le réseau des Alpes du versant français, c'est-à-dire le régime de Lombarde, on peut faire les observations suivantes :

Bien que les statistiques sur les précipitations de Bonneval en fonction des types de temps restent à faire à notre avis, on peut avancer que le régime

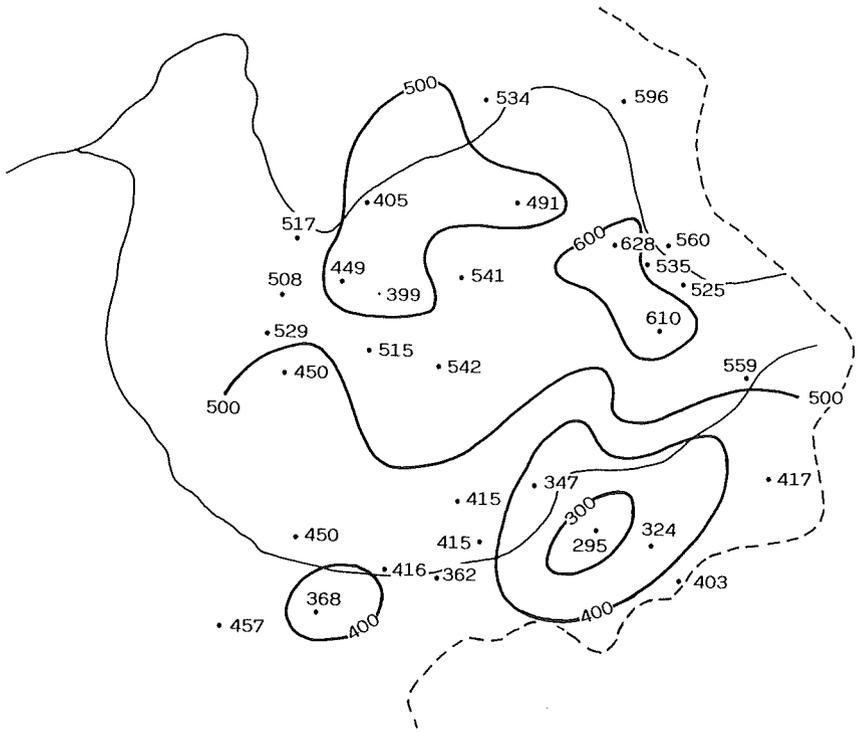


FIG. 4. - Précipitations (en mm) de novembre à avril inclus.

de Lombardie est la cause principale des abondantes précipitations lorsqu'elles ont lieu; deux arguments nous permettent de suggérer cette idée :

- d'une étude déjà citée (VOIRON, 1980) on sait que sur les « limites climatiques dans les Alpes » il apparaît que la zone d'influence de la Lombardie le long de la frontière italienne est généralement très étroite, notamment en Savoie, donc en Haute-Maurienne ainsi qu'en Haute-Tarentaise. Rappelons également à ce sujet les travaux de E. GRARD et P. MATHEVET (1969).

- la documentation concernant les abondantes précipitations dans les Alpes, extraite de la littérature spécialisée connue, nous apprend que ces abondantes précipitations ont pratiquement toujours eu lieu à Bonneval. En effet, selon H. ONDE (op. cité, p. 403) M. MOUGIN cite comme averse maximale à Bonneval celle du 25/9/1896 : 151 mm. D'autre part, de l'examen des feuilles d'observations hebdomadaires de Bonneval on voit que l'Observateur (à l'époque, M. ARNAUD) a mesuré successivement : le 13/6/1957 : 67 mm et, surtout le 14/6/1957 : 159 mm et encore 76 mm le 15/6/1957; il est alors intéressant de remarquer que ces dernières pluies, exceptionnelles, sont dues au régime de Lombardie particulièrement actif puisqu'à l'origine de crues dé-

sastreuses dans le Queyras bien connues. Enfin, comme on le verra ci-après, les plus fortes chutes de neige ont fréquemment eu lieu à Bonneval de 1957 à 1980.

II. - ÉVOLUTION DE LA NIVOMÉTRIE AU COURS DE L'HIVER

L'évolution du cumul des chutes de neige mensuelles, pour chaque poste au cours d'un hiver « normal » nous est donnée par la figure 5.

A première vue, la répartition de l'enneigement mensuel « normal » au cours de l'hiver n'est pas homogène pour l'ensemble des postes de mesure retenus. Cependant, on peut trouver dans l'examen des graphiques de la figure concernée quelques analogies ainsi que quelques anomalies dont on tentera de donner une explication.

En ce qui concerne les analogies on n'en voit guère que deux dont l'une semble assez nette :

- l'analogie assez marquée apparaît avec les graphiques d'Aussois et du Thyl, ce qui s'explique par des caractères communs pour ces deux postes : voisinage, altitude pratiquement identique, même vallée et surtout même exposition.

- la seconde analogie, moins évidente il est vrai, est celle du graphique d'Aussois ainsi que celui du Thyl avec Valloire ; en effet, si ce n'était l'enneigement mensuel « normal » de février qui est plus faible à Valloire que dans les deux autres postes, l'analogie serait assez bonne. La différence constatée pourrait peut-être s'expliquer par des types de temps différents entre, d'une part, Aussois et le Thyl et, d'autre part, Valloire mais il semble que deux hypothèses soient possibles (ou bien les précipitations sont plus faibles à Valloire qu'à Aussois et au Thyl, ce qui n'est pas le cas lorsqu'on consulte le mémorial de R. GARNIER (op. cité, p. 33) ou bien les températures de Valloire seraient plus douces en février qu'à Aussois et au Thyl, ce qui est assez vraisemblable, puisque faute de mesures connues de la température dans les deux postes de la rive droite de l'Arc on ne peut se prononcer sur le doute qui persiste).

Quant aux anomalies, après avoir regroupé les postes voisins des mêmes vallées, on est surpris de ne pas trouver plus de points communs entre l'évolution de l'enneigement au cours de l'hiver entre Pralognan et Peisey-Nancroix d'une part et entre Bonneval et Bessans d'autre part :

- le premier fait observé apparaît en février et mars ; les régimes perturbés de février donneraient donc beaucoup plus de neige à Pralognan qu'à Peisey alors que ce serait presque le contraire en mars (dans ce cas, l'orientation du courant-directeur dans lequel se déplacent les perturbations météorologiques serait le facteur déterminant ; on sait, en effet, que ces courants-directeurs sont plus fréquemment d'Ouest ou de Sud-Ouest en février et d'Ouest à Nord-Ouest, voire de Nord en mars) ;

PARC NATIONAL DE LA VANOISE

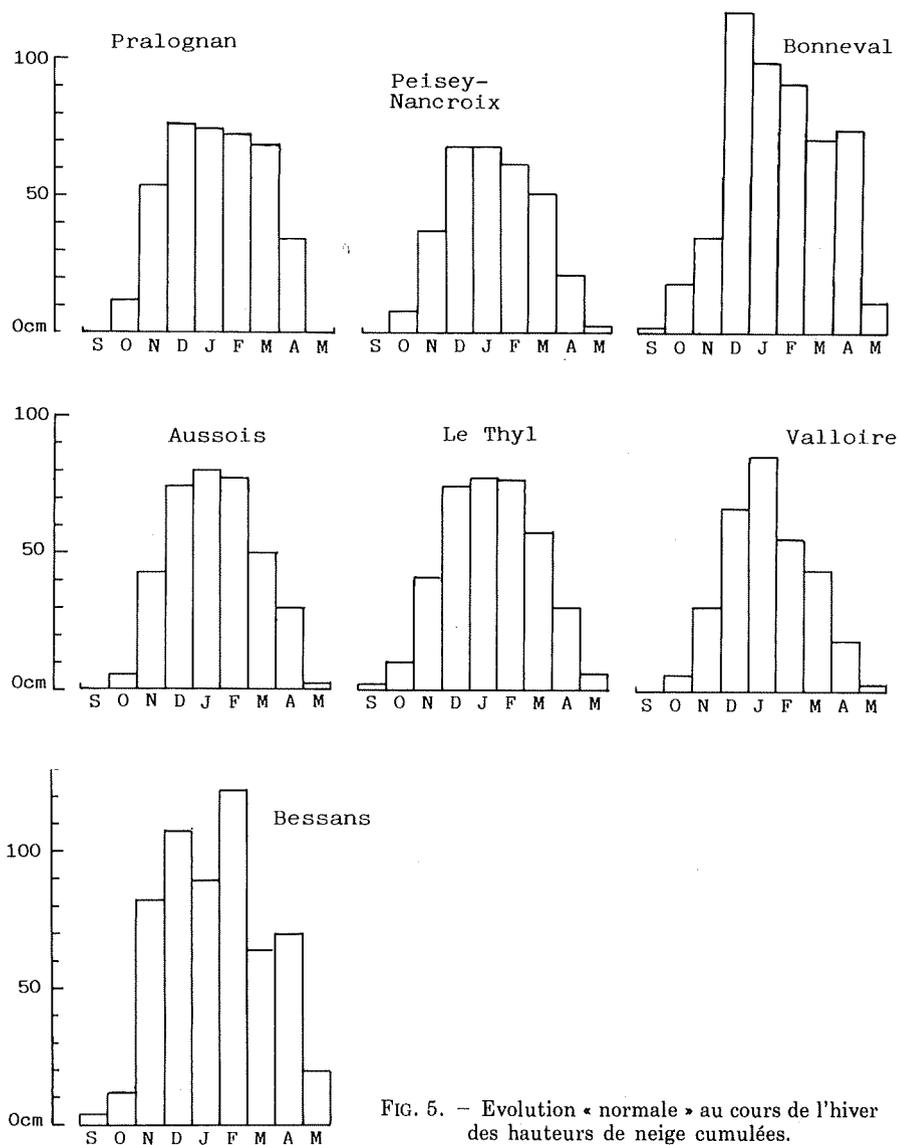


FIG. 5. - Evolution « normale » au cours de l'hiver des hauteurs de neige cumulées.

RÉGIMES NIVOMÉTRIQUES DE LA VANOISE

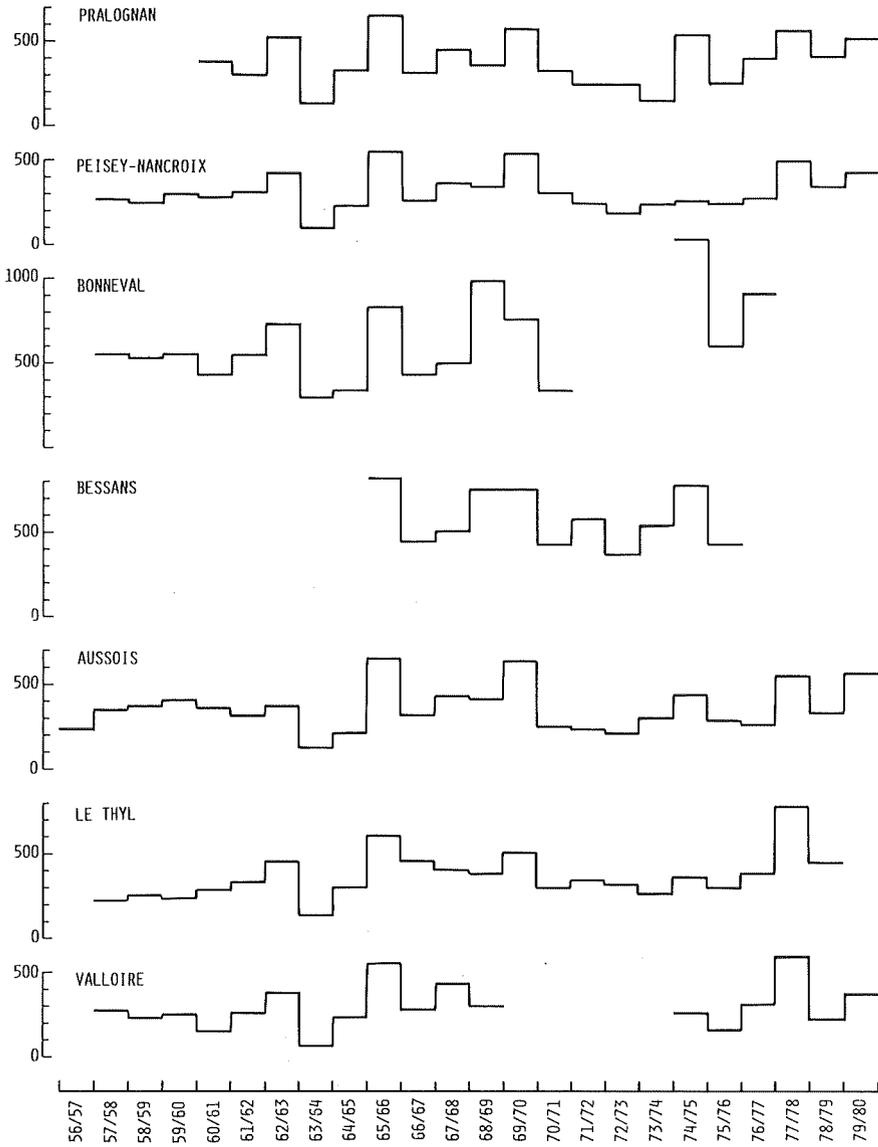


FIG. 6. - Evolution des chutes de neige cumulées au cours d'un hiver.

- la seconde observation, concernant les deux derniers postes de la Haute-Maurienne est plus étonnante lorsqu'on connaît la proximité de Bonneval et Bessans. Avant de tenter d'expliquer ce phénomène par des types de temps ou une climatologie différente, précisons que les statistiques de ces deux postes ne concernent pas la même période (période d'analyse pour Bonneval : 1957-1970 alors que celle de Bessans s'étend de 1965 à 1976). Il n'y a que six années consécutives communes, mais pendant cette période 1965-1971 les régimes nivométriques sont assez semblables (fig. 6) sauf peut-être pour 1968/1969 où cet hiver a été exceptionnellement enneigé à Bonneval. D'après R. GARNIER (op. cité) on sait que les précipitations normales mensuelles de ces deux postes se répartissent comme suit au cours de l'hiver (P en mm) :

Poste clim.	sept.	oct.	nov.	déc.	jan.	fév.	mars	avr.
Bessans 1 710 m	64	74	83	97	78	85	57	76
Bonneval 1 790 m	69	77	105	101	96	107	67	83

L'examen de ce tableau montre que les précipitations d'hiver sont toujours plus élevées à Bonneval qu'à Bessans et n'apporte donc aucune explication à l'anomalie constatée en particulier sur le mois de février (95 cm à Bonneval et 123 à Bessans !).

III. - VARIABILITÉ DE LA NIVOMÉTRIE SAISONNIÈRE

Examinons maintenant l'évolution de l'enneigement, à l'échelle de l'hiver, durant la période 1956 à 1979 dans chaque poste climatologique retenu pour notre étude (cf. fig. 6).

Contrairement à ce que nous avons constaté précédemment, l'examen des graphiques de cette figure indique une analogie d'ensemble assez bien marquée. En premier lieu, on constate en effet que les hivers à fort enneigement se retrouvent dans la plupart des postes de mesure (comme par exemple 1962/1963, 1965/1966, 1969/1970 et à un degré moindre 1974/1975 ainsi que 1977/1978). Il en est pratiquement de même avec les hivers à faible enneigement tels que 1963/1964, 1966/1967 et 1975/1976.

En second lieu, on remarque également quelques séquences (plusieurs hivers consécutifs) présentant beaucoup d'analogies comme par exemple la période 1961/1966, ou encore 1976/1979, bien qu'avec moins de netteté.

D'autre part, si l'on essaie de comparer des postes voisins ou de même secteur, on croit pouvoir observer que :

- l'évolution de l'enneigement à Pralognan et à Peisey-Nancroix a de nombreux points communs sauf durant l'hiver 1974/1975 où ce paramètre est nettement plus élevé à Pralognan qu'à Peisey;

- l'évolution de l'enneigement à Bonneval et à Bessans (bien que les périodes de mesure, ne correspondent pas tout à fait comme nous l'avons déjà vu) est encore sensiblement la même sauf durant l'hiver 1968-1969 où ce paramètre est anormalement élevé à Bonneval par rapport à Bessans (ou bien anormalement faible à Bessans par rapport à Bonneval);

- enfin, l'évolution de l'enneigement entre Aussois et le Thyl d'une part et entre ces deux postes et Valloire d'autre part, à quelques détails près entre 1957 et 1960, présente une très bonne analogie à notre avis.

En outre, l'examen plus approfondi des graphiques fait apparaître un enneigement exceptionnel (le double de sa valeur normale) à Bonneval durant l'hiver 1974-1975 alors qu'à Bessans ce même hiver est ressenti comme très enneigé, à Aussois comme normal ainsi qu'au Thyl et à peu près normal à Valloire. On mesure ainsi le caractère particulier de l'enneigement à Bonneval qui apparaissait déjà sur la carte donnant la répartition spatiale de l'enneigement saisonnier (fig. 1).

IV. - LES CHUTES DE NEIGE ABONDANTES

Nous allons essayer, dans ce paragraphe d'examiner, dans la mesure du possible, les types de temps correspondant aux chutes de neige abondantes que l'on pourrait même qualifier d'exceptionnelles vu parfois leur rareté (quelques-unes seulement en général de 1955 à 1980). Cette méthode de recherche devrait, apparemment, nous éclairer sur les types de temps pouvant risquer d'engendrer des intempéries pouvant être à l'origine de phénomènes naturels catastrophiques, avalanches notamment.

De l'examen des observations quotidiennes faites dans nos quelques postes on peut dresser le tableau ci-après des jours où l'on a observé plus de 50 cm d'un jour à l'autre (donc en 24 h) et seulement plus de 40 cm de neige à Peisey-Nancroix où il semble que les chutes de neige de plus de 50 cm en 24 h y soient très rares (1 seule observée en 20 ans).

Chronologiquement, l'analyse des types de temps correspondant aux chutes de neige abondantes se présente ainsi :

- 14/3/1958 (chute de neige abondante à Bonneval): passage d'une perturbation au voisinage Nord des Alpes occidentales dans un courant rapide à très rapide d'WNW et présence d'une dépression dans le golfe de Gênes engendrant donc un « régime de Lombarde » dans les basses couches de l'atmosphère (au-dessous de 5 500 m);

- 14/11/1958 (Bonneval): dépression quasi-stationnaire centrée de l'Italie du Nord au golfe de Gênes intéressant toute la basse troposphère (du sol à 500 mb) avec perturbation associée dont le front chaud est pratiquement

bloqué sur le versant Est des Alpes engendrant ainsi un « régime actif de Lombarde » ;

- 13/11/1961 (Bonneval) : dépression quasi-stationnaire centrée de la Corse au golfe du Lion et dont la circulation intéresse une vaste zone (Italie, France, Espagne), surmontée d'une « goutte d'air froid » en altitude, ce qui donne un courant rapide de Sud-Est sur les Alpes occidentales. On retrouve ainsi un « régime de Lombarde » très actif ;

- 6/4/1962 (Bonneval) : passage d'un front froid ondulant sur le quart Sud-Est de la France avec formation d'une dépression très marquée centrée de l'Italie du Nord à la Yougoslavie puis de nouveau sur l'Italie (Toscane) engendrant un « régime de Lombarde » dans les basses couches (jusqu'à 700 mb/3 000 m) et surmontée de courants très rapides d'W à rapides d'WNW sur les Alpes occidentales ;

- du 24 au 26/12/1968, l'évolution de la situation météorologique est extrêmement intéressante puisqu'on observe successivement durant ces trois jours des chutes de neige abondantes à Bonneval et Pralognan le 24, Bonneval le 25 et Pralognan le 26, les chutes de neige étant également assez abondantes partout le 1^{er} et le 2^e jour et moins abondantes localement en fin de période. Or, du 23 au 24, on note le passage d'un front froid ondulant sur les Alpes occidentales dans des courants modérés d'WNW à NW et suivi de la formation d'une dépression centrée sur le golfe de Gênes. Les 25 et 26, la perturbation précédente stagne au Sud des Alpes tandis que la dépression se creuse et engendre un « régime de Lombarde » dans les basses couches malgré des courants à 500 mb/5 500 m rapides de NNW à NW ;

- 6/4/1969 (Bonneval) où il est tombé 150 cm de neige en 24 h (!), représentant 50 mm de précipitation (valeur incertaine d'après l'Observateur). Remarquons que durant la même journée (du 5 au 6) il n'y a eu aucune précipitation à Aussois, Valloire, Pralognan ni à Peisey et seulement 2,2 mm de pluie au Thyl. Par contre, il est tombé 172 cm de neige à Bessans les 5 et 6 dont 147 dans la journée du 6 d'après M. JAIL (1977). Cette situation, tout à fait exceptionnelle à notre avis, correspond encore à un « régime de Lombarde » particulièrement actif dû à la conjoncture d'une vaste circulation dépressionnaire intense et très épaisse (on la retrouve vers 5 500 m) s'étendant de l'Espagne au Nord de l'Italie ainsi que d'une perturbation dont le « point triple » plus ou moins bien net stagne sur les Alpes occidentales du 5 à 07 heures au 5 à 19 h (cf. B.Q.E. des 5 et 6/4/1969) ;

- 11/2/1970 (Bonneval) : lors d'un régime perturbé bien établi (passage d'un front froid ondulant sur les Alpes du 9 au 10), une nouvelle perturbation traverse les Alpes au cours de la journée du 11 et ce, dans des courants d'W rapides (le 10) à WNW assez rapides (le 11).

Dans les basses couches, la circulation est dépressionnaire, tantôt centrée sur le golfe de Gênes, tantôt sur la Suisse, engendrant encore un « régime de Lombarde ».

- le 22/3/1971 (chutes de neige exceptionnelles à Pralognan et à Bonneval) : circulation dépressionnaire centrée du voisinage W de la Sardaigne au golfe de Gênes et se retrouvant à 5 500 m avec des courants modérés de Sud puis d'Est sur les Alpes. En outre, un front froid ondulant associé à la

dépression très marquée semble bloqué le long de la frontière italienne sur les Alpes occidentales, une branche à caractère de front chaud stagnant de Turin à Gênes. Ainsi, à un « régime de Lombarde » très actif qui intéresserait la zone française voisine de la frontière italienne (et à plus forte raison tout le versant italien des Alpes), s'associerait une « traîne » chargée après le passage du front froid ondulant sur la Savoie.

- 22/11/1971 (Pralognan, Peisey-Nancroix, Aussois) : associée à une dépression se déplaçant de la mer du Nord au Danemark, une perturbation active traverse la France dans des « courants rapides » de NNW à WNW, une circulation également dépressionnaire se formant sur le front froid qui se met à onduler lorsque la perturbation est sur le golfe de Gênes. Il en résulte un « régime de Lombarde » dans les basses couches (remarquons que l'observation de Bonneval faisant défaut ce jour il est probable qu'il y a eu d'abondantes chutes de neige).

- 6/2/1974 (Aussois) : de nouveau, lors d'un régime perturbé bien établi (passage du front froid ondulant sur les Alpes du 4 au 5) une nouvelle perturbation traverse les Alpes du 5 au 6 dans des « courants très rapides » d'Ouest (les observations de ce jour de Bonneval et Pralognan faisant défaut, il est encore vraisemblable qu'on y aurait également mesuré des chutes de neige abondantes);

- 8/2/1974, soit 48 heures plus tard, on observe des chutes de neige abondantes localisées seulement à Valloire, avec le même régime perturbé. Il est probable que ce fait soit dû à une « traîne » chargée par courants de Nord, favorables à l'établissement d'un phénomène local;

- 3/2/1978 (le Thyl) : fin d'un régime perturbé passagèrement très actif par « courants généralement rapides » d'WNW à NNW (ce type de temps entraîne d'abondantes chutes de neige en Haute-Savoie la veille, comme par exemple 60 cm le 2 aux Contamines-Montjoie. L'observation de Bonneval de ce jour faisant encore défaut, il est impossible de faire un commentaire sur cette chute de neige abondante mais apparemment localisée.

- enfin, le 30/12/1979, on observe encore d'abondantes chutes de neige au Thyl (pas d'observation à Bonneval) : régime perturbé bien établi (passage d'un front froid ondulant du 28 au 29 sur les Alpes). Nouvelle perturbation active le 29 et dont le front froid se met également à onduler, dans les « courants rapides » de Nord-Ouest.

L'examen des types de temps qui a été fait à l'aide des Bulletins Quotidiens de Renseignements de la Direction de la Météorologie, correspondant aux abondantes chutes de neige nous montre donc que :

- si les chutes de neige sont les plus abondantes à Bonneval, elles sont toujours dues à un « régime de Lombarde » lié à une circulation dépressionnaire centrée vers le Sud des Alpes occidentales tandis que;

- si les chutes de neige sont les plus abondantes ailleurs qu'à Bonneval, elles sont alors dues à un régime perturbé (généralement de secteur NW) mais avec des courants rapides en altitude, soit pour fixer un ordre de grandeur de 100 km/h ou plus vers 5 500 m.

- de même que l'enneigement saisonnier est le plus élevé à Bonneval

comme nous le montre la figure 1, on remarque également que les plus fortes chutes de neige y sont le plus souvent observées.

CONCLUSION

Compte-tenu d'une expérience de météorologie alpine, l'étude entreprise nous montre que l'enneigement de la Vanoise est le fruit des conditions climatiques des Alpes du Nord, mais de leur zone interne, c'est-à-dire sans les Préalpes. Si les précipitations hivernales de la moyenne montagne aux abords de la Vanoise sont moins abondantes que celles de la moyenne montagne des Préalpes, par contre, les précipitations de la haute montagne en Vanoise y sont au moins aussi abondantes qu'en moyenne montagne dans les Préalpes où elles sont relativement élevées. De relevés faits en haute montagne en Haute-Savoie durant près de 15 ans par l'E.D.F. (Centre Hydro-Météo de Lyon) nous ont montré que vers 2 000 à 2 500 m on pouvait mesurer de 150 à 200 % des précipitations mesurées vers 1 000 à 1 500 m, la topographie des lieux étant déterminante à ce sujet.

Mais si le Parc National de la Vanoise bénéficie d'un bon enneigement notamment comparé à celui de la Haute-Savoie (cf. « Climatologie de l'enneigement en Haute-Savoie » Bull. Clim. Ann. H^{te} Savoie, 1976, pp. 41-58) on est cependant frappé par l'hétérogénéité de sa répartition. Le fait que la Vanoise soit au carrefour de courants atmosphériques de différentes origines en est la raison essentielle. On sait qu'il suffit de parcourir certains lieux du Parc, même tardivement l'été, pour y trouver encore un enneigement conséquent vers 2 000 à 2 500 m; nous pensons en particulier à la haute vallée du Ponturin jusqu'au col du Palet ou encore au voisinage du refuge du Prarion mais il est vrai que dans ce dernier cas ne serions-nous pas vers le lieu où les précipitations, hivernales notamment, seraient les plus élevées des Alpes du Nord internes? Ainsi, d'un bord (Aussois) à un autre (Val d'Isère) nous nous sommes penchés sur un pays de contraste très marqué en matière d'enneigement.

N.B. - Nous remercions le Professeur Ch. P. PEGUY d'avoir lu notre manuscrit et de nous avoir fait part de ses observations judicieuses.

TABLEAU DES CHUTES DE NEIGE ABONDANTES (50 cm ou plus en 24 h) OBSERVÉES
DANS QUELQUES POSTES CLIMATOLOGIQUES DE LA SAVOIE :

- le 14/3/1958, c'est-à-dire du 13 au 14 au matin : 65 cm à Bonneval, tandis qu'on mesurait 23 cm à Aussois, 17 au Thyl, 16 à Valloire et 12 à Peisey-Nancroix. Pas d'observation de Pralognan.
- 14/11/1958 : 80 cm à Bonneval, 28 à Aussois, 10 à Peisey et 4 à Valloire. Pas d'observation de Pralognan.
- 5/2/1961 : 70 cm à Aussois, 45 au Thyl, 36 à Valloire, 31 à Peisey et 25 à Bonneval.
- 13/11/1961 : 84 cm à Bonneval, 28 à Aussois, 18 à Pralognan, 17 à Peisey, 15 au Thyl et 10 à Valloire.
- 6/4/1962 : 62 cm à Bonneval, 50 à Valloire, 42 à Aussois, 38 à Peisey, 33 au Thyl et 23 à Pralognan.
- 24/12/1968 : 70 cm à Pralognan et Bonneval, 64 à Aussois, 60 au Thyl et 42 à Peisey. Pas d'observation de Valloire.
- 25/12/1968 : 71 cm à Bonneval, 62 à Aussois, 45 au Thyl, 43 à Peisey et 40 à Pralognan. Pas d'observation de Valloire.
- 26/12/1968 : 60 cm à Pralognan, 26 à Aussois, 21 au Thyl, 20 à Peisey, 45 à Bonneval. Pas d'observation de Valloire.
- 6/4/1969 : 150 cm de neige à Bonneval, chutes de neige très abondantes à Bessans comme nous l'avons vu précédemment alors que l'on n'a enregistré aucune chute dans les autres postes : Pralognan, Peisey, Aussois (!) et Valloire, abstraction faite des 2,2 mm de pluie du Thyl qui ont dû représenter une chute de neige insignifiante à plus haute altitude.
- 11/2/1970 : 73 cm à Bonneval, 42 à Aussois, 30 à Peisey et 25 à Pralognan. Pas d'observation de Valloire (lendemain de l'avalanche catastrophique de Val d'Isère).
- 22/3/1971 : 100 cm à Pralognan et Bonneval, 96 au Thyl, 90 à Peisey et 83 à Aussois. Pas d'observation de Valloire.
- 22/11/1971 : 42 cm à Peisey, 41 à Aussois, 40 à Pralognan et 30 au Thyl. Pas d'observation de Bonneval ni de Valloire.
- 6/2/1974 : 56 cm à Aussois, 40 à Peisey et 36 au Thyl ainsi qu'à Valloire. Pas d'observation de Bonneval.
- 8/2/1974 : 52 cm à Valloire, 34 au Thyl, 30 à Aussois et 15 à Peisey. Pas d'observation de Pralognan ni de Bonneval.
- 3/2/1978 : 80 cm au Thyl, 37 à Valloire, 30 à Pralognan, 28 à Peisey et 18 à Aussois. Pas d'observation de Bonneval.
- 30/12/1979 : 52 cm au Thyl, 40 à Aussois, 36 à Valloire, 30 à Pralognan et 24 à Peisey. Pas d'observation de Bonneval.

BIBLIOGRAPHIE

A - Sources

Direction de la Météorologie, Paris. - *Bulletin Quotidien de Renseignements* (BQR) et *Bulletin Quotidien d'Etudes* (BQE).

- GARNIER (M.). – Valeurs normales des précipitations en France (1931-1960). *Monographie de la Météorologie Nationale*, n° 55.
- GARNIER (M.). – Valeurs moyennes des précipitations en France de 1951 à 1970. *Monographie de la Météorologie Nationale*, n° 91.
- CNRS. ER n° 30. – *Carte climatique détaillée de la France*. Coupure Annecy-Thonon. Edit. Ophrys, Gap et Paris 1980.
(La notice donne pour la station d'Aussois, 1951-1977, les probabilités de dépassement des précipitations mensuelles pour les % de 20, 50 et 80).

B - Travaux

- ASCENCIO (E.), 1980. – Etude climatologique du Parc National des Ecrins. *Note tech. Serv. Météor. Métrop. (DRSE) n° 7*, Paris 1980, 37 p.
- CLEMENT (R.), PAHAUT (E.), HAUDECOEUR (B.), 1979. – La neige et les avalanches de janvier 1978 dans les Alpes françaises. *Rev. Géogr. alpine*, **LXVII**, n° 1, 113-123.
- GENSAC (P.), 1978. – Observations thermométriques de 1973 à 1976 dans le Parc National de la Vanoise. Conséquences biologiques. *Trav. sci. Parc nation. Vanoise*, **IX**, 9-24.
- GRARD (R.), et MATHEVET (P.), 1969. – Extension des précipitations de Lombarde sur les Alpes françaises. *La Météorologie* n° 10-11, 285-296. (10^e Congrès Intern. Météor. Alpes, Grenoble 1968).
- JAIL (M.), 1969. – Un remarquable effet de la Lombarde : les chutes de neige de Pâques 1969 en Haute-Maurienne. Note préliminaire. *Rev. Géogr. alpine*, **LVII**, n° 3, 613-621.
- JAIL (M.), 1977. – Haute-Maurienne, Pays du Diable ? Grenoble, Allier, 241 p.
- MALY (Ch.), 1976. – *Le massif de la Vanoise – les 100 plus belles courses et randonnées*. Paris, Denoël, 231 p.
- ONDE (H.), 1938. – *La Maurienne et la Tarentaise. Etude de géographie physique*. Thèse Lettres, Grenoble, Arthaud, 623 p.
- ONDE (H.), 1939. – La distribution des précipitations solides dans les massifs savoyards internes. *Bull. Ass. Géogr. fr.*, n° 118, 11-14.
- PEGUY (Ch. P.), 1973. – Etude de la variabilité des précipitations de semestre froid en Vanoise. *Trav. sci. Parc nation. Vanoise*, **III**, 9-25.
- PEGUY (Ch. P.), 1974. – Etude sur la variabilité de l'enneigement en Vanoise. *Trav. sci. Parc nation. Vanoise*, **V**, 41-55.
- PEGUY (Ch. P.), 1975. – Quelques aspects peu connus de la pluviométrie en Tarentaise. *Trav. sci. Parc nation. Vanoise*, **VI**, 41-61.
- PEGUY (Ch. P.), 1975. – La variabilità interannuale del clima alpino durante la stagione fredda : l'esempio della Vanoise (Savoia). *Boll. Soc. Geogr. ital.*, Roma 1975, t. II, serie X, 119-142. (Atti della tavola rotunda sulla geografia della neve in Italia (28-29 maggio 1973)).
- RONCHAIL (J.) et LECOMPTE (M.), 1981. – Essai de climatologie dynamique dans les Alpes internes françaises. *Trav. Labo. Géogr. phys.*, n° 8, 108 p.
- VIVIAN (H.), 1964. – Données nouvelles sur l'hydrologie de l'Isère et de l'Arc supérieur. *Rev. Géogr. alpine*, **LII**, n° 2, 265-303.
- VOIRON (H.), 1980. – Limites climatiques sur les Alpes françaises in « *Montagnes et Montagnards* ». Mélanges jubilaires offerts au Doyen Paul VEYRET, Grenoble 1980, 33-43.

(Reçu pour publication, décembre 1981)

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DU GENRE *GENTIANA* DANS LE PARC NATIONAL DE LA VANOISE ET RÉGIONS LIMITROPHES

par André TROTÉREAU (1)

Résumé. – L'auteur fait la recension des espèces et des taxons infraspécifiques du genre *Gentiana* présents dans le Parc National de la Vanoise et plus généralement dans le Sud-Est de la Savoie. Cette étude comporte des notes sur la taxonomie, la nomenclature, la morphologie, la sociologie, la chorologie générale et régionale et la caryologie lorsque celle-ci a paru nécessaire.

Mots-clés : *Alpes de Savoie* – *Vanoise* – *Genre Gentiana* – *Recension*.

Summary. – CONTRIBUTION TO THE STUDY OF THE GENUS *GENTIANA* IN VANOISE NATIONAL PARK AND ADJACENT REGIONS.

The list of species and infraspecific taxon (genus *Gentiana*) which can be found in Vanoise National Park and usually in SE Savoie are drawn up. This study includes notes on taxonomy, nomenclature, morphology, sociology, general and regional chorology, and, when it was necessary, caryology.

Key-words : *Savoy Alps* – *Vanoise* – *Genus Gentiana* – *List of species*.

INTRODUCTION

Dans une note précédente (1974) à propos de *Gentiana orbicularis* nous avons dit le foisonnement biotypique du genre *Gentiana* dans le Sud-Est de la Savoie ou Savoie sud-orientale. Dix-neuf espèces, toutes présentes dans le Parc National vivent dans la région concernée. Certaines sont rares dans les Alpes françaises telle que *G. orbicularis*, *G. schleicheri*, *G. utriculosa*, *G. ramosa*. D'autres espèces plus communes comme *G. verna*, *G. bavarica*, *G. campestris* offrent la possibilité d'observations intéressantes, ainsi que diverses variétés ou

(1) Attaché du Muséum d'Histoire Naturelle. 364, rue de Vaugirard, F – 75015 Paris.

racés probablement écotypiques. Enfin existe un taxon remarquable, rapporté comme variété à *G. campestris*, il s'agit de *G. flagelliramis* Bvd. très distinct du type et dont le statut serait à préciser.

Aucune section de l'arc alpin de dimensions comparables, d'ailleurs relativement modestes, ne possède une telle richesse dans ce genre éminemment orophyte. Quelques auteurs ont apporté leurs contributions à la connaissance des espèces ou taxons infraspécifiques présents dans la région. On peut citer PERRIER DE LA BATHIE (1854, 1917), EVRARD et CHERMEZON (1917), EVRARD (1919), BEAUVERD (1927, 1931-1932), et plus récemment GENSAC (1974), TROTTEREAU (1974, 1978).

Nous n'avons pas répété ici les stations déjà citées dans le « Catalogue » de PERRIER DE LA BATHIE (1917), ni celles du « Catalogue écologique » publié dans le tome IV des « Cahiers du Parc National de la Vanoise » par GENSAC (1974). Les stations citées sont, sauf erreur, inédites. L'ordre que nous avons adopté est celui de *Flora Europa*, sans souscrire entièrement à la systématique et à la nomenclature adoptées par TUTIN (1972).

On sait que le genre *Gentiana* a fait l'objet d'un découpage relativement récent, la section *Gentianella* devenant une unité générique nouvelle avec les désaccords qu'entraînent souvent les changements taxonomiques. Les auteurs de ce découpage n'ont, semble-t-il, pas clairement justifié la nécessité de séparer cette section dont les espèces sont sans appendices entre les lobes et à gorges généralement ciliées. Ces caractères sont discriminants, mais la séparation des espèces les possédant peut paraître suffisante par le classement dans une section particulière, la division du genre en section trouvant ainsi sa raison d'être. Mais si l'on voulait rester dans une ligne logique irréfragable ne serait-il pas nécessaire de ne pas laisser dans le même genre *G. lutea* et les petites espèces à fleurs bleues de la section *Cyclostigma* Griseb ? (sect. *Calathianae* Froelich). Ce découpage paraîtrait au moins aussi justifié que celui dont il est question plus haut. Aussi de nouveaux démantèlements du genre sont-ils possibles dans l'avenir. Notons que les auteurs de plusieurs flores récentes ne paraissent pas d'accord avec ce nouvel aspect systématique puisque d'une part la flore d'OBERDORFER (1970) pour l'Allemagne du Sud, celle de HESS, LANDOLT et HIRZEL (1972) pour la Suisse et celle de R. de VILMORIN et GUINOCHET (1975) pour la France ne reconnaissent pas *Gentianella* en tant que genre. Un autre point peut provoquer des désaccords : comme dans beaucoup de genres multi-spécifiques, le classement au niveau spécifique ou infraspécifique de certains taxons peut être contesté entre taxons voisins surtout de même nombre chromosomique, le concept d'espèce toujours discuté variant selon les idées des auteurs.

Les notes qui suivent sur les espèces reconnues en tant que telles et les taxons infraspécifiques ne constituent pas une flore du genre *Gentiana* pour la région concernée. Nous avons surtout cherché à apporter des observations nouvelles ou peu connues. Certaines espèces sont donc traitées succinctement par rapport à d'autres. Enfin, nous n'avons pas fait mention des variétés à fleurs blanches sous leurs diverses appellations, étant entendu qu'elles sont signalées dans les grandes flores classiques, et pas rares dans la région pour la plupart des espèces.

En ce qui concerne les notations sociologiques que nous donnons, ce sont celles que nous avons vérifiées pour la dition concernée. La plupart de ces notations correspondent aux unités phytosociologiques du Catalogue écologique des plantes vasculaires du Parc National de la Vanoise et des régions limitrophes (tome IV, 1974). Nous en avons modifiées quelques-unes selon nos observations. Ceci n'exclut nullement que certaines espèces citées puissent parfois se trouver dans d'autres unités phytosociologiques.

SECTION *ASTERIAS* Griseb

Gentiana lutea L.

Cette espèce des montagnes de l'Europe centrale et méridionale est assez répandue dans la dition sur les terrains basiques, parfois mais rarement sur substrats faiblement acides. Elle s'élève jusqu'à 2 200 m en Maurienne et descend à moins de 300 m en plaine comme dans ses localités du plateau de Langres. Dans l'Est des Alpes elle peut atteindre 2 600 m, mais reste souvent stérile aux altitudes élevées.

L'hybride *G. lutea* × *G. punctata* = *G. × doerfleri* Ronn. = *G. × thomasii* Gil-laboz = *G. × charpentieri* Thomas, existait naguère au Mont Cenis. Lors de la Session de la *Société botanique de France* dans cette localité en 1964, certains participants ont pu voir cet hybride au Sud-Ouest du lac. Cette station est maintenant sous les eaux du nouveau barrage. C'était la seule station connue de cette plante rare dans le Sud de la Savoie.

SOCIOLOGIE : *Mesobromion*, *Seslerietalia variae*.

SECTION *CAELANTHE* Griseb

Gentiana punctata L.

Espèce des montagnes de l'Europe centrale et méridionale commune dans le Sud-Est de la Savoie où elle atteint 2 600 m. Elle trouve son optimum écologique dans les pelouses moyennement acides.

Dans les limites du Parc existe la variété *purpuracens* Vaccari et Melly. Cette variété se distingue même à une certaine distance par la couleur de ses fleurs jaunes lavées de bistre et par une floraison plus luxuriante, l'épi supérieur de forme subglobuleuse comportant jusqu'à 25 fleurs. Nous l'avons trouvée à l'Ouest de Bonneval-sur-Arc aux environs des chalets des Roches.

Pour mémoire rappelons qu'il existe un hybride *G. × purpuracens* Griseb. dont les parents sont : *G. lutea* × *G. purpurea*.

Un hybride *G. punctata* × *G. purpurea* existe aux environs de la Sassièrre de Sainte-Foy où ces deux espèces croissent presque ensemble. Il s'agit de



PHOTO 1. - *Gentiana punctata* L. Aspect typique.



PHOTO 2. - *Gentiana punctata* L. var. *purpuracens* Vaccari et Melly. Floraison nettement plus luxuriante; fleurs lavées de bistre.

G. × spuria Lebert = *G. × gaudiniana* Thomas = *G. × jaccardi* Wilczek. Cet hybride, très rare, n'était connu jusqu'ici en France que du massif des Bornes en Haute-Savoie.

SOCIOLOGIE : *Nardion*.

***Gentiana purpurea* L.**

Espèce des Alpes et de la Scandinavie non commune dans le Sud-Est de la Savoie où il en existe cependant quelques stations sur substrat acide.

Dans le massif du Mont Pourri et en dehors de nos limites dans la partie sud du Beaufortin voisin où elle est parfois très abondante, elle paraît suivre avec une relative fidélité la zone carbonifère du permo-houiller et ses terrains souvent très acides. Stations nouvelles : chemin de la Gure à la Martin, bords de la route peu avant la Sassièrè de Sainte-Foy. Les environs de Tignes paraissent être sa limite vers le Sud.

SOCIOLOGIE : *Nardion*.

SECTION PNEUMONANTHE (Gled.) Link.

***Gentiana asclepiadea* L.**

Espèce centrale et sud-européenne peu commune dans la dition. Quelques stations existent dans le Parc ou à sa périphérie dans l'étage subalpin.

Gentiana asclepiadea fréquente les pelouses humides, toujours sur les sols riches en bases, souvent pauvres en oxygène. On trouve parfois cette espèce dans la pénombre toute relative des bois clairs et humides. Stations nouvelles : Val d'Isère, dans la partie moyenne du ruisseau des Rouvines à l'Est de la station classique du Fornet traversée par la Nationale 202. Dans cette station plus élevée (2 100 m environ) la floraison est plus tardive. En Maurienne deux stations récemment découvertes à l'ubac de Lanslevillard, et plusieurs autres sur le côté ouest du col du Mont Cenis. Autre station nouvelle : la Lenta, pentes de l'Ouille des Trétêtes (2 200 m).

SOCIOLOGIE : *Molinion*, *Fagetalia sylvaticae*.

SECTION CRUCIATA Gaudin

***Gentiana crutiata* L.**

Cette espèce de l'Eurosibérie fréquente surtout l'étage subalpin. Elle est assez rare dans le Sud-Est de la Savoie et même très rare au-dessus de 1 500 m.

Nous n'en connaissons que deux stations qui dépassent cette altitude dans notre dition : à Pralognan où nous l'avons trouvée sur terrain basique en exposition sud dans les prés-bois un peu à l'Ouest des Fontanettes vers 1 600-1 650 m et à Sardières aux environs du village vers 1 550 m. Autre station nouvelle mais plus basse : aux environs de Bramans-le-Verney.

SOCIOLOGIE : *Erico-Pinion*, plus rarement *Geranion sanguinei*.

SECTION MEGALANTHE Gaud. (sec. THYLACITES Griseb.)

Gentiana clusii Perr. et Song.

Espèce centrale européenne peu commune dans le Sud-Est de la Savoie. Bien que notée par PERRIER (1928) dans son « Catalogue » comme présente dans la vallée des Allues, cette plante était presque inconnue autrefois en Vanoise. Depuis quelques décennies on l'a trouvée dans plusieurs localités situées dans les limites du Parc. En plus des stations citées par GENSAC (1974), nous l'avons découverte dans trois autres aux environs de Pralognan : terrasses saxi-terricoles à la base nord du Grand Marchet, le long du ruisseau d'Issertan au-dessus du Creux des Lauches (rare) et aux environs du col des Saulces vers 1 900-2 100 m.

Dans le vallon de la Rocheure, AMANDIER et GASQUEZ (1978) ont reconnu l'hybride $G. clusii \times G. kochiana = G \times digenea$ Jakowatz.

G. clusii, espèce presque exclusivement calcicole est une bonne indicatrice des sols riches en bases.

SOCIOLOGIE : *Seslerion variaae*.

Gentiana kochiana Perr. et Song. (*G. exisa* Koch).

Espèce sud-européenne répandue dans la dition. Curieusement PERRIER (1928) ne cite pas cette espèce, pour la région ici concernée, dans son « Catalogue ». Il paraît pourtant certain qu'il a vu cette gentiane dans le Sud-Est de la Savoie lors de ses itinéraires botaniques. Il s'agit probablement là d'un simple oubli rédactionnel.

G. kochiana est parfois très abondant dans les prairies mésophiles moyennement acides souvent dégradées par le surpâturage, dans les zones subalpines et alpines en compagnie presque constante de *Nardus stricta*, *Campanula barbata*, avec *Arnica montana* et *G. punctata*.

Il existe une forme de *G. kochiana* plus acaule et plus petite dans toutes ses parties qui se rapproche par l'aspect de *G. alpina*. Nous connaissions cette forme à Chamrousse vers la Croix. Nous l'avons trouvée récemment dans un herbier d'espèces alpines légué au Muséum par le Professeur HUMBERT. Il s'agissait de spécimens récoltés à Val d'Isère au Roc de la Tovière. L'examen des dents calicinales permet d'éviter toutes confusions avec *G. alpina*.

EVARD (1919) a signalé à Tignes, à la Revirette et aussi en montant de Val d'Isère à la Rocheure vers 2 200 m des cas tératologiques de cette espèce se rapportant à la phyllodie des sépales et des étamines. Il serait intéressant de rechercher si, dans ces deux stations, on peut encore trouver des exemplaires comportant ces anomalies ce qui permettrait de confirmer leurs caractères héréditaires.

SOCIOLOGIE : *Nardetalia*.

***Gentiana alpina* Vill.**

Espèce sud-ouest européenne, rare dans le Parc National de la Vanoise. Exclusivement silicicole. Se trouve depuis la partie supérieure de l'étage subalpin jusqu'à l'étage alpin supérieur. Paraît plus rare encore dans la Savoie sud-orientale. Nous n'avons pas retrouvé la station de l'Écot citée par GENSAC (1974) d'après RUFFIER-LANCHE.

SOCIOLOGIE : *Caricion curvulae*.

SECTION CYCLOSTIGMA Griseb.

***Gentiana verna* L.**

Espèce européenne commune dans toute la dition. Le polymorphisme de *G. verna* est bien connu. Lorsqu'on examine de nombreux spécimens en provenance de toute l'Europe dans un grand herbier, tel que celui du Muséum à Paris, on prend mieux conscience de la diversité morphologique de l'espèce, compte tenu des erreurs d'identification de certaines récoltes. Dans une même station on trouve parfois des spécimens quelque peu différents. C'est seulement dans des localités situées à basse altitude, où *G. verna* est le seul représentant de sa section, que l'on peut trouver des populations homogènes. C'est le cas de certaines localités de l'Auvergne et du Jura. Dans les Alpes les populations formant des gamodèmes isolés doivent être très rares. Soit par écotypie, par introgression possible ou encore par accommodation au milieu, cette espèce présente de nombreuses variantes avec ce que l'on considère habituellement comme la forme typique. A basse altitude, ces causes de variations ne paraissent jouer qu'un rôle très effacé.

G. verna existe dans les habitats les plus variés, c'est donc une plante d'écologie et de sociologie souple. On la trouve dans les terrains basiques ou acides, sur les sols assez secs ou relativement humides, les pelouses rocailleuses, les alluvions, les clairières des bois, les bords de route etc., depuis les étages inférieurs jusqu'à l'étage nival dans des régions montagneuses de climats différents. L'aire de l'espèce s'étend sur une grande partie des montagnes de l'Europe, d'une partie de la Sibérie et jusque dans l'Atlas. On ne saurait donc s'étonner de ses variations phénotypiques. Les caryologistes constatent pour-

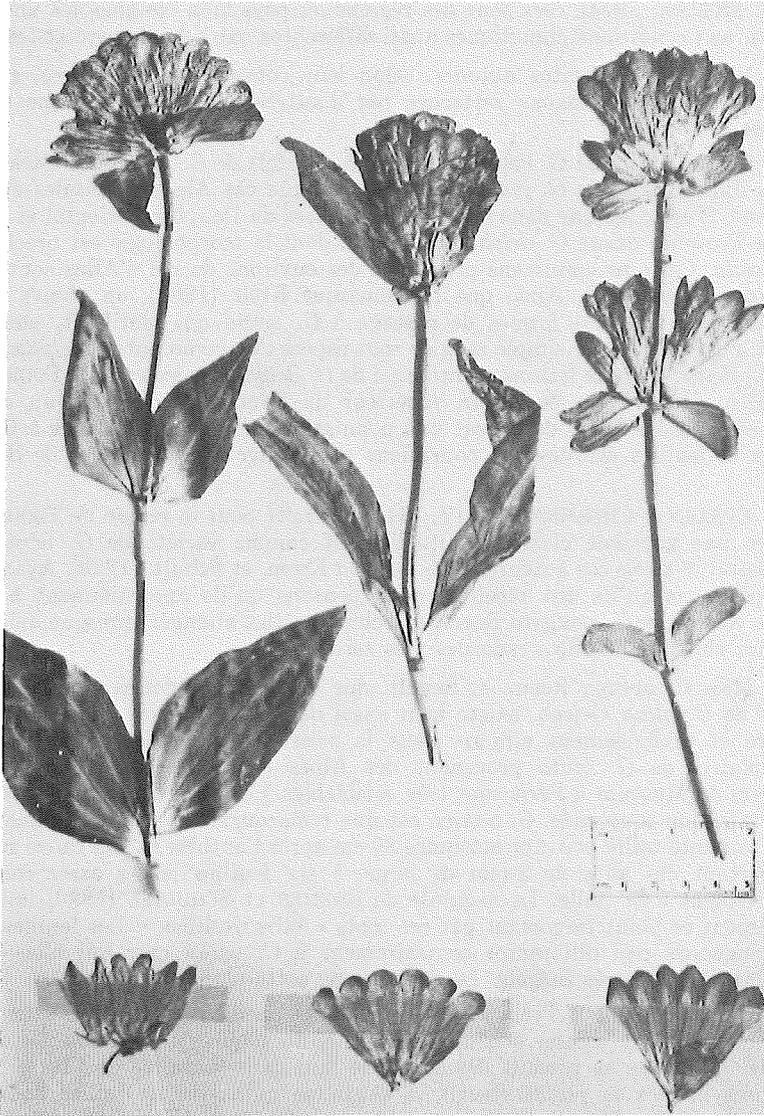


PHOTO 3. — A gauche : *Gentiana punctata* L. : dents du calice petites, presque égales —
A droite : *Gentiana purpurea* L. : calice spathiforme membraneux fendu jusqu'à la base
— Au milieu : l'hybride *G. purpurea* x *punctata*, calice formant une ébauche de spathe ;
dents très inégales.

tant une grande homogénéité chromosomique : $2n = 28$, (FAVARGER, 1949 et 1952; MÜLLER, 1974), ceci pour des régions ou pays bien éloignés les uns des autres, aux conditions climatiques aussi différentes que l'Angleterre et l'Atlas.

Notons que certains auteurs, selon leur conception de l'espèce, citent comme espèces des taxons rattachés par d'autres à *G. verna* comme sous-espèces.

La variabilité de *G. verna* la rapproche parfois de *G. tergestina* Beck. des Alpes Juliennes et de *G. pumila* Jacq. endémique des Alpes orientales et des Balkans. C'est ainsi que dans les Alpes françaises du Dauphiné oriental et de la Haute-Provence existe *G. delphinensis* Bvrd. dont la morphologie est proche de *G. pumila*. Certains spécimens provenant des environs du col d'Allos sont très probants à cet égard. Ainsi que l'a remarqué KUNZ (1963), on trouve dans certaines localités des formes de passage à *G. verna* qui justifient, pour ce taxon, l'attribution du simple rang de sous-espèce : *G. verna* subsp. *delphinensis* (Bvrd.) Kunz. Si nous faisons mention ici de *G. delphinensis* c'est que FOURNIER (1935) a signalé dans le bassin supérieur du Santon et du ruisseau de la Tovière, sous les Têtes de Borsat une population de petites gentianes à fleurs bleues et feuilles étroites qui pourraient s'identifier avec la plante de BEAUVERD.

EVARD et CHERMEZON (1917, 1918) ont noté pour la région de Tigne-Val d'Isère une gentiane classée habituellement comme variété de *G. verna*. Il s'agissait, d'après ces auteurs, de *G. aestiva* Roem. et Schult. (1820). Ayant vu les spécimens qu'ils ont récoltés, nous pensons qu'ils appartiennent à une forme voisine de *G. elongata* Roem. et Schult., à tige allongée, presque aphyllé, à calice oblong et feuilles radicales très serrées.

Mais *G. aestiva* Roem. et Schult. que HEGI (1927) donne comme synonyme de *G. alata* Griseb. existe bien aussi dans la région de Tignes - Val d'Isère et probablement ailleurs dans la zone subalpine de la Savoie. Les exemplaires de *G. alata* provenant des Alpes orientales détenus dans les herbiers du Muséum à Paris sont très semblables à ceux de *G. aestiva* présents dans la région concernée. *G. aestiva* est une remarquable gentiane reconnaissable à sa haute taille pouvant atteindre 20 cm après l'anthèse, à son calice renflé comportant des ailes de 2 mm de large, à ses feuilles larges assez courtes relativement à la taille. La diagnose de ROEMER et SCHULTES (1820) indique clairement ce point important par ces mots « foliis ovalibus ». Les feuilles ont des longueurs peu différentes contrairement à *G. verna* chez qui elles sont souvent de taille très inégale. Le stigmaté de cette plante est serrulé.

Contrairement à l'indication de HEGI, *G. aestiva* n'est pas automnale mais bien estivale comme son nom l'indique, du moins dans le Sud-Est de la Savoie. L'anthèse se produit dès la fin de juin dans la vallée de l'Isère. Aux altitudes élevées la plante fleurit la deuxième quinzaine de juillet dans les années normales. Elle est très rare au-dessus de 2 300 m. Un spécimen trouvé à 2 700 m avait encore une taille de 7 cm, ce qui indique assez la robustesse de cette gentiane.

Le statut actuel de cet intéressant taxon doit-il être maintenu ? *G. aestiva* n'a ni écologie, ni phytosociologie particulière. On trouve cette plante parfois en mélange avec *G. verna*. Ce n'est semble-t-il ni un écotype ni un

accomodat. Le fait que *G. aestiva* se maintient au milieu de population de *G. verna* bien typiques peut faire supposer un certain isolement génétique. A défaut d'une étude biosystématique, là encore indispensable, qui permettrait peut-être d'éclairer cette question, nous pensons qu'il serait possible au vu de ses caractères morphologiques bien différenciés de lui attribuer le rang de sous-espèce.

Comme *lusus* présent dans la dition, nous avons noté en Maurienne, versant ouest de Longecôte, des spécimens tétramères de *G. verna*.

Cette espèce a parfois une seconde floraison en automne, dans la zone subalpine inférieure en Maurienne et en Tarentaise.

Il sera question de son hybridation dans les notes relatives aux autres espèces de la section *Cyclostigma*.

SOCIOLOGIE DE GRANDE AMPLITUDE : *Seslerietalia variae*, *Mesobromion*, *Molinion*, *Caricetalia curvulae*.

***Gentiana brachyphylla* Vill.**

Espèce des montagnes C. et S. européennes assez répandue dans la dition sur les sols acides, plus rarement sur les sols neutres. *G. brachyphylla* est une plante mésophile des altitudes élevées de 2 200 à 3 000 m. On l'a trouvée exceptionnellement sous le sommet du Cervin vers 4 200 m (JACCARD ; 1895).

Cette gentiane présente après l'anthèse une accrescence des entrenœux parfois considérable; elle prend un aspect filiforme et atteint 15 cm. Cette accrescence paraît se produire seulement dans les stations situées à la limite inférieure de son amplitude altitudinale.

Un hybride de cette espèce avec *G. verna* a été reconnu. Il s'agit de x *G. ambigua* Hayek. Cet hybride se présente dans la dition sous deux formes :

- une forme intermédiaire entre les deux progéniteurs comme l'a décrite HEGI (1927),

- une forme à pétales étroits, calice assez court, tube de la corolle relativement long, étroit, sans ailes, d'aspect très grêle tel que celui bien connu de *G. brachyphylla*, mais avec les feuilles longues et inégales de *G. verna*. Nous pensons que *G. brachyphylla* s'hybride aussi avec *G. orbicularis* et *G. schleicheri* en raison des spécimens intermédiaires trouvés dans les habitats où ces espèces croissent ensemble (cas des schistes lustrés). Des cultures expérimentales seraient utiles pour confirmer ces hybridations probables.

SOCIOLOGIE : *Oxytropo-Elynion*, *Caricion curvulae*.

***Gentiana orbicularis* (*G. favrati* Ritten).**

L'aire de cette espèce s'étend sur une grande partie de l'arc alpin et vers l'Est jusqu'aux Carpates. Plante de la zone alpine, sa chorologie est encore mal précisée dans les Alpes françaises. Les auteurs de flores récentes : OBERDORFER

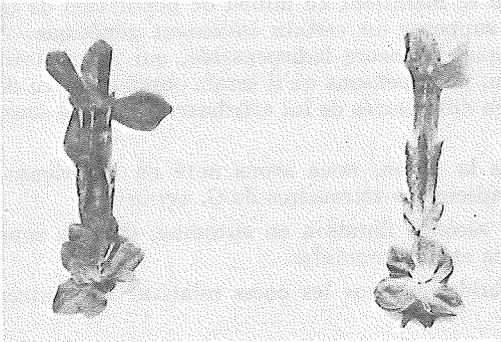


PHOTO 4. - *Gentiana orbicularis* Schur (*G. favrati* Ritten.): calice de *G. verna*, feuilles suborbiculaires, lobes de la corolle larges, suborbiculaires.

(1970), HESS, LANDOLT et HERZEL (1972), DE VILMORIN et GUINOCHET (1975), JOVET et DE VILMORIN (1977), classent *G. orbicularis* en tant qu'espèce. MÜLLER (1974) donne aussi le rang d'espèce à cette gentiane mais en gardant le binôme *G. favrati*. Cet auteur pense qu'il faudrait vérifier si le taxon décrit par SCHUR en 1852 provenant des montagnes de Transylvanie est bien le même que celui décrit par RITTENER (1887) et récolté à la Dent de Morcles. Nous croyons que si la plante des Carpates s'avérait différente de celle des Alpes Valaisannes, le binôme « *G. favrati* » pourrait reprendre toute sa valeur pour le taxon des Alpes occidentales.

Stations nouvelles : base du glacier de la Grande Casse, vallon supérieur du Santel.

SOCIOLOGIE : *Seslerion variae*.

Gentiana bavarica Vill.

Espèce des Alpes et des Apennins. Cette gentiane fréquente les pelouses humides, les bords des torrents et les sources depuis 1 500 m jusqu'à l'étage nival. Dans la dition concernée, où elle est assez fréquente, elle paraît indifférente au substrat. Elle peut monter tout à fait exceptionnellement aux très hautes altitudes lorsqu'elle peut trouver un peu de terre régulièrement humidifiée dans des rochers situés à plus de 3 000 m.

Parmi les espèces communes c'est une des plus intéressantes pour les observations dont elle peut être l'objet. Bien décrite dans sa forme typique dans les flores classiques, cette gentiane présente dans ses variétés de la zone alpine, des paires de feuilles très serrées se recouvrant en partie et formant une colonnette sur une tige presque acaule : variété *subacaulis* Schl. Elle diffère nettement de *G. schleicheri* par ses feuilles toujours très arrondies et sans marges scarieuses.

En ce qui concerne la nomenclature des variétés, le binôme *G. rotundifolia* Hoppe (binôme qui n'a pas prévalu) est synonyme de *G. subacaulis* Schl. Le nom

donné par HOPPE marque bien pour les spécimens des plus hautes altitudes l'aspect des feuilles serrées se recouvrant étroitement dont parfois seule l'extrémité arrondie est visible extérieurement.

Les cas tératologiques ne sont pas rares. En voici deux que nous avons notés voici quelques années, sur le trajet Prarion - col de la Galise : vers 2 400 m une petite population de *G. bavarica* de taille déjà réduite, à fleurs sexamères et vers 2 500 m quelques spécimens à double corolle.

MÜLLER (1974) a publié le nombre chromosomique de *G. bavarica* L. var *subacaulis* Schl., $n = 15$, comme le type. Cet auteur fait remarquer que malgré l'identité des nombres chromosomiques, cette variété n'est pas un accommodat mais un écotype fixé génétiquement. Cultivée à Neuchâtel, elle conserve tous ses caractères propres. Cet exemple d'écotypie pose quelques questions. Dans certaines localités où l'on peut trouver la Gentiane de Bavière à des altitudes progressivement plus élevées, à quelle altitude se situe le passage du type à l'écotype ? Il est évident qu'il doit varier selon les conditions écologiques, mais en toute hypothèse on peut penser qu'en un certain point il pourrait se trouver un biotope où le type et l'écotype existent conjointement ou presque. L'étude d'une telle station ne manquerait pas d'intérêt. Dans les stations élevées, l'écotypie se produit-elle toujours ? ou parfois seulement une simple accommodation au milieu ? On peut regretter que la vérification d'une différenciation génétique liée à l'altitude soit en pratique très difficile pour un grand nombre de stations. Quoi qu'il en soit, la confirmation de l'écotypie chez la variété *subacaulis* Schl. est pleine d'intérêt.

SOCIOLOGIE : *Motio-Cardaminetalia, Salicetea herbacea.*

***Gentiana schleicheri* (Vaccari) Kunz.**

Bien que découverte à Val d'Isère par PERRIER DE LA BATHIE en 1862, ce n'est que depuis peu d'années que l'on a commencé à préciser la chorologie de cette espèce dans la Savoie sud-orientale. Ceci, joint au fait que des recherches cytotoxonomiques ont été publiées assez récemment à son sujet et qu'elle est peu connue des botanistes français, nous incite à développer davantage la présente note sur cette intéressante gentiane rare dans les Alpes françaises. L'aire de *G. schleicheri*, espèce que l'on croyait encore récemment présente uniquement dans les Alpes occidentales, s'étend sur une partie des Alpes de France, de Suisse et d'Italie, et nous le savons depuis peu, sur une partie des Pyrénées françaises (MÜLLER, 1980). Semblable disjonction d'aire entre les Alpes et les Pyrénées existe pour d'autres plantes rares et ne saurait surprendre. Nous verrons plus loin sa chorologie dans les Alpes françaises.

HISTORIQUE

Nous ne rappellerons pas ici en détail l'histoire nomenclaturale et taxinomique de cette espèce. Elle est contenue dans les observations et notes de VACCARI (1911, 1917), dans celles de KUNZ (1939, 1940) ainsi que dans les

travaux plus récents de CREVELOT et MÜLLER (1974). Cela suffit à expliquer les péripéties ayant trait à sa reconnaissance. Commencées au début du siècle dernier avec SCHLEICHER, elles ont abouti voici quelques décennies à la distinguer définitivement comme espèce et à sa dénomination comme *G. schleicheri* (Vaccari) Kunz reconnue par les flores modernes. Actuellement, seul TUTIN (1972) dans *Flora Europaea*, a modifié la nomenclature et la systématique de cette gentiane, sans raison valable semble-t-il, en la subordonnant à *G. terglouensis* Hacq. des Alpes de l'Est comme ssp. *schleicheri* (Vaccari) Tutin stat. nov. Les travaux de caryologie de CREVELOT et MÜLLER ont démontré qu'il s'agit bien de deux espèces nettement séparées, à savoir d'une part *G. terglouensis* $2n = 38$ ou 40 et d'autre part *G. schleicheri* $2n = 30$ et ces auteurs concluent : « cela tend à démontrer que KUNZ (1939) avait vu juste en séparant *G. schleicheri* et *G. terglouensis*, et que les deux taxons méritent bien le statut d'espèces ».

Un autre intérêt de l'étude de CREVELOT et MÜLLER tient au fait que le nombre chromosomique $2n = 30$ de la gentiane de Schleicher ne se retrouve dans la section *Cyclostigma* que pour *G. bavarica* L. et *G. rostrati* Reuter. Comme *G. schleicheri* est très différente de ces deux espèces qui forment un groupe à part, ces auteurs concluent qu'il pourrait s'agir d'un phyllum distinct à la fois de *G. bavarica* ($2n = 30$) et de *G. verna* ($2n = 28$).

DESCRIPTION

Une des raisons qui ont pu faire hésiter longtemps à reconnaître le rang d'espèce à *G. schleicheri* provient de sa relative ressemblance morphologique avec *G. terglouensis* des Alpes de l'Est, décrit par HACQUET (1782) sur des spécimens de la Carniole. Cette ressemblance a pu, dans le passé, faire croire qu'il s'agissait de la même plante ou d'une simple variété occidentale de *G. terglouensis*. Nous savons maintenant que certaines espèces qui diffèrent peu morphologiquement, peuvent être physiologiquement différentes sur des aires de répartitions séparées. Bien que *G. schleicheri* ait été reconnue comme espèce depuis 1939, elle est confondue par nombre d'auteurs avec d'autres espèces de sa section. Cependant, malgré cette ressemblance relative avec *G. terglouensis* dont nous avons parlé, elle ne présente pas de notables difficultés d'identification. Elle est plus grande que cette dernière dans toutes ses parties. Ses feuilles courtes, pointues et imbriquées « en tuiles de toit » formant colonette ont un aspect particulier. Elles montrent sur le vivant une extrémité très caractéristique par la courbure vers le haut « en spatule de ski », ce qui, joint au caractère acaule de la plante ne laisse aucun doute sur son identification. Enfin, chez *G. schleicheri* la colonette de feuilles est moins longue et moins densément imbriquée que chez *G. terglouensis*.

On a signalé des formes que l'on a appelé « de transition » avec d'autres espèces de la section *Cyclostigma*. Nous pensons qu'elles ont une origine hybride probable. Une étude biosystématique serait nécessaire pour confirmer ou infirmer ce point de vue. On ne voit ces formes « de transition » que dans les localités, d'ailleurs nombreuses, où existent d'autres gentianes de la même section. Mais dans les Alpes, les localités où une seule espèce constitue un

gamodème préservé et stable sont rares. Rappelons qu'à l'Iseran et au Pays-Désert, on peut trouver mêlées *G. verna*, *G. aestiva* Roem. et Schult., *G. brachyphylla*, *G. orbicularis*, *G. bavarica*, *G. schleicheri*. Nous avons d'ailleurs trouvé à l'Iseran ainsi qu'aux Revers de Prarion l'hybride x *G. ambigua* Hayek, inter-parentès, et au Pays-Désert un spécimen de gentiane qui possède les feuilles typiques de *G. schleicheri* et le calice si caractéristique de *G. brachyphylla*. Il semble que dans les Alpes occidentales, dans les zones à schistes lustrés et autres roches métamorphiques voisines, la section *Cyclostigma* soit toujours représentée par plusieurs espèces comme c'est le cas en Savoie sud-orientale. Bien qu'aux altitudes élevées les insectes paraissent rarement visiter ces gentianes, un lépidoptère : *Zygaena exulans* les fréquentent par temps favorable, comme nous l'avons vu au Plan des Nettes de Val d'Isère et au Pays-Désert jusqu'à 2 800 m, et ceci peut favoriser l'hybridation.

Notons encore que dans la moraine du glacier des Fours, station princeps pour la France où PERRIER DE LA BATHIE (1928) trouva *G. schleicheri* qu'il nomma *G. imbricata* Froel. variété *occidentalis* Vaccari (synonyme qui n'a pas prévalu), nous avons récolté aussi cette espèce sous une forme singulière; les feuilles de la base ont une morphologie et une imbrication bien typique, mais la tige habituellement acaule atteint 10 cm et est dénudée avec 2 paires de feuilles espacées. S'agit-il d'un lusus ou plus simplement comme nous le croyons d'une accrescence très marquée de la tige après l'anthèse, les spécimens observés étant déflorisés ? Dans le vallon de la Lenta, nous avons précédemment trouvé des exemplaires de *G. verna* et de *G. brachyphylla* présentant une accrescence très accentuée après la floraison. *G. schleicheri* est une espèce des hautes altitudes, KUNZ (1939) l'a trouvée à Zermatt depuis le Riffelberg jusqu'au Rotenboden à 2 700 m en compagnie de *G. bavarica* et *G. brachyphylla* et nous-même presque au sommet du Gornergrat à plus de 3 000 m, ainsi qu'au Hörli vers la même altitude au pied du Cervin. KUNZ donne une longue liste de localités dont la plupart sont situées entre 2 500 et 2 800 m. A Val d'Isère, *G. schleicheri* monte au signal de l'Iseran jusque vers 2 900 m et à Bonneval-sur-Arc à l'Ouille du Midi à 3 000 m.

CHOROLOGIE

D'après KUNZ, *G. schleicheri* et *G. terglouensis* sont séparées par un intervalle assez grand. *G. terglouensis* ne s'avancerait pas à l'Ouest des Dolomites du Sud-Tyrol et *G. schleicheri* ne se présenterait vers l'Ouest qu'à partir du Valais. Précédemment, VACCARI (1911) reportait la lacune de séparation au niveau des Alpes Lépointiennes. C'est un des nombreux cas classiques de lacunes importantes entre les Alpes occidentales d'une part et les Alpes centrales et orientales d'autre part. Comme l'a fait remarquer FAVARGER (1972), la ligne ou le secteur plus ou moins étroit allant du lac Majeur au lac Léman constitue pour beaucoup d'espèces une barrière à leur propagation vers l'Est ou inversement vers l'Ouest. Mais d'autres hiatus existent plus à l'Est comme c'est le cas pour les gentianes dont il est question ici. Des recherches nouvelles seraient utiles pour mieux préciser les limites de leurs aires respectives.



PHOTO 5. - *Gentiana Schleicheri* (Vaccari) Kunz. Aspect des feuilles imbriquées en tuiles de toit et en forme de spatule de ski.



PHOTO 6. - *Gentiana ciliata* L.

G. schleicheri et *G. terglouensis* ne peuvent être considérées comme espèces vicariantes vraies au sens actuel. Le nombre chromosomique différent de ces espèces s'y oppose. Toutefois, on peut dire qu'il s'agit d'un cas de vicariance géographique de type occidental-oriental. Vers le Sud, *G. schleicheri* étend son aire au Queyras et aux Alpes maritimes et ligures (Mongioie à l'Est du col de Tende). Récemment, *G. schleicheri* a été trouvée dans des localités pyrénéennes par MÜLLER (1980) au Puigmal et au Cambre d'Aze ainsi que par ROESSLER au Canigou. Les plantes des Pyrénées orientales ont le même nombre chromosomique que les alpiennes : $2n = 30$. Le dessin de cette espèce donné par MÜLLER dans son article est tout à fait caractéristique de l'espèce. Dans la Flore de France, DE VILMORIN et GUINOCHET (1975), cette gentiane est aussi bien représentée.

Voici une liste non exhaustive des localités françaises actuellement reconnues :

Département de la Savoie :

- Région de Tignes-Val d'Isère : Rocaille des Fours (PERRIER DE LA BATHIE), Col de l'Iséran (PETITMENGIN), Plattes du Vallonnet de Val d'Isère, Pays-Désert, Cirque des Lessières, Tête du Grand-Plan et Grand-Vallon (TROTEREAU).

- Région de Bessans : Vallon de la Lombarde et col de l'Autaret, pentes S.O. du Clapier-Blanc, pentes S.O. de l'Ouillarse (WEIBEL).

- Région de Bonneval-sur-Arc : pentes nord de l'Ouille de la Jave (TROTEREAU), environs des Evettes, arête pointe d'Arpette-Ouille du Midi (WEIBEL).

- Région du Mont-Cenis : lac de Savine (CHARPIN).

Département des Hautes-Alpes :

- Région du Queyras : Col Vieux, entre les lacs de Malrif (WEIBEL).

Département des Alpes maritimes :

- Massif du Mont Mounier (GUINOCHET).

Le Conservatoire Botanique de Genève possède dans ses herbiers les récoltes de PERRIER DE LA BATHIE et de R. WEIBEL, ancien Conservateur (renseignements communiqués par A. CHARPIN).

ÉCOLOGIE

Cette espèce fréquente les terrains baso-neutrophiles, en particulier certains habitats situés sur les schistes lustrés dont la nature paraît favorable à son implantation. Les mesures de pH, que nous avons effectuées, varient de 6,5 à 7,5 pour plusieurs des stations savoyardes. A Zermatt l'espèce se trouve sur

les mêmes types de sols : schistes lustrés ou schistes calcarifères. En Savoie comme dans le Valais, elle croît souvent dans les pelouses ouvertes sur roche-mère presque nue à gélifractions de dimensions infradécimétriques, mais stabilisés avec faible épaisseur de terre humifère (lithosol). Sur ce type de substrat, qui paraît être son milieu optimal, elle s'épanouit en émettant de nombreux rejets formant des touffes. En bordure de ce biotope on la trouve, mais plus rarement, dans la pelouse fermée du *Curvuletum* ou du *Curvuletum elynetosum* à sol plus profond, plus acide et riche en matière organique. Dans ce type d'habitat *G. schleicheri* n'est visiblement pas dans son optimum écologique. Elle y est rare et ne forme que peu ou pas de touffes. LANDOLT (1977), dans ses tableaux des valeurs indicatrices, lui attribue la valeur 2 pour le besoin en substance nutritive, la classant ainsi dans les plantes à répartition principale dans les sols pauvres, indicatrice des sols maigres. Pour l'humidité, il donne la valeur 3, indicatrice de sols modérément secs à humides, donc d'humidité moyenne. La valeur indicatrice de réaction qu'il fournit est de 3 et correspond aux plantes à répartition principale sur sols peu acides. Dans notre dition, nous pourrions lui attribuer plutôt la valeur 4 correspondant aux sols riches en bases donc plutôt alcalins, ceci pour les conditions optimales. Enfin, elle est classée comme plante de pleine lumière. Les notations de LANDOLT nous paraissent bien correspondre dans l'ensemble à l'écologie de l'espèce dans le Sud-Est de la Savoie.

SOCIOLOGIE : *Thlaspion rotundifolii*.

Gentiana nivalis L.

Espèce arctico-alpine commune dans toute la dition. Elle trouve son écologie optimale dans les pelouses mésophiles sur sols neutres, mais elle se répartit aussi sur les sols peu acides ou peu alcalins, parfois en terrain marécageux. C'est avec *G. utriculosa*, l'une des deux espèces annuelles de la section *Cyclostigma*.

Plusieurs types chromogènes ont été signalés en Vanoise, les couleurs variant du blanc au bleu et au violet plus ou moins clair. Une variété « *versicolor* » a été notée par BEAUVERD (1927) à Pralognan, aux Nants et à Chavières, ainsi qu'une variété nouvelle « *ochroleuca* » au Mont Bochor à 2 050 m. Cet auteur a récolté une variété « *pseudotriculosa* » à calice plus large à Pralognan dans la vallée de Chavières. Nous l'avons trouvée dans le vallon du Santel vers 2 700 m.

Notons encore une forme aberrante tétramère trouvée au Sud d'Avrieux, au-dessus de l'Hortière, et à la Sassièrre de Val d'Isère.

Bien que les nombres chromosomiques de *G. nivalis* et *G. utriculosa* diffèrent : $n=7$ et $n=11$, ces deux espèces s'hybrident pour donner *G. x palezieuxi* Bvrd. (1931-1932), trouvée à Val d'Isère au « Jozeray » à 2 000 m. Nous avons récolté cet hybride inter-parental dans la même localité, mais dans une autre station : les pelouses inclinées sous Roche-Blanche vers 2 050 m *G. x palezieuxi* a aussi été récolté en Maurienne et il figure dans l'herbier GUILLET au Muséum. Ainsi que l'a observé BEAUVERD, il est relativement facile de distinguer l'hybride de la variété « *pseudotriculosa* » de *G. nivalis*, par l'inflores-

cence pauciflore à plus grandes corolles et calices sensiblement plus ventrus. L'holotype de cette plante est conservé dans l'herbier de l'Université de Genève.

SOCIOLOGIE : *Elyno-Seslerietea*, *Caricetalia curvulae*.

Gentiana utriculosa L.

Cette espèce des montagnes de l'Europe centrale et méridionale existe dans le Parc de la Vanoise et la zone immédiatement périphérique dans d'assez nombreuses localités. Nous avons recensé 17 stations, toutes sur sols basiques à pH neutre ou faiblement acide.

C'est une plante de la zone subalpine qui atteint 2 440 m à Zermatt au-dessus de Findelen. On sait qu'elle descend très bas en Alsace dans le *Schoenetum* de certains rieds de la plaine ello-rhénane entre Colmar et Strasbourg et en particulier aux environs des localités de Beufeld, d'Ohnenheim, de Herlesheim à moins de 150 m d'altitude. Une altitude aussi basse peut laisser supposer une adaptation écotypique qui serait à vérifier.

Dans le Sud-Est de la Savoie, *G. utriculosa* se comporte comme une espèce relativement sténohypse, son amplitude altitudinale étant assez restreinte sans qu'on en connaisse bien les facteurs limitants. On la trouve entre 2 150 m au-dessus de Lanslevillard et 1 550 m à Termignon. La très grande majorité des stations se situe autour de 2 000 m. Bien entendu, dans la dition concernée, il pourrait en exister d'autres dont nous n'avons pas connaissance. Nous pensons plus spécialement au côté adret de la vallée de l'Arc entre l'Ecot de Bonneval et Modane, où les terrains basiques ne sont pas rares. Nous avons recensé sur ce versant de la vallée plusieurs stations :

- en montant aux Chalets des Roches au-dessus de Bonneval,
- aux Grattais à Lanslevillard,
- la Fesse du Milieu,
- la Turra de Termignon (Fontaniou),
- au Coetet, sur le chemin d'Entre-deux-Eaux.

On peut constater que toutes ces stations sont sur des chemins plus ou moins fréquentés; entre elles peuvent en exister d'autres qui n'étant pas sur des lieux de passage sont restées inconnues.

L'écologie de *G. utriculosa* est intéressante. Elle est toujours citée dans les flores comme une espèce des terrains humides ou marécageux. Ce n'est pas toujours le cas dans certaines de nos stations savoyardes où le sol est simplement frais, entre autres pour deux stations de Val d'Isère : dans les pentes assez inclinées sous Roche-Blanche et au Chatelard. Même remarque au Coetet-sur-Termignon et sur le chemin de Champagny au col du Palet entre Laisonnay-le-Haut et la Glière. Il convient de noter qu'au printemps, à la fonte des neiges, ces habitats ne sont pas spécialement plus humides que les pelouses qui les environnent. Mais la plupart des stations que nous avons recensées sont bien constituées par des pelouses un peu humides sans être jamais marécageuses. L'on conçoit, par ce qui précède, que *G. utriculosa* puisse se trouver dans des groupements sociologiquement assez différents. C'est ainsi que sous Roche-



PHOTO 7. - *Gentiana utriculosa* L.



PHOTO 8. - *Gentiana ramosa* Hegetschw. Specimen de taille élevée (20 cm) n'ayant pas l'aspect habituel en touffe; dents du calice caractéristiques, longues, étroites, à bords presque parallèles.

Blanche elle se trouve en mélange en un point avec *Helianthemum oelandicum* D.C., espèce réputée pour fréquenter les lieux plutôt secs. Cette gentiane, comme *G. nivalis*, présente la particularité de s'ouvrir et de se fermer selon l'intensité lumineuse. Mais même en plein soleil elle reste fermée si la température est trop basse.

La floraison de cette espèce est parfois déconcertante. Des observations répétées des mêmes biotopes depuis plusieurs décennies ont montré une floraison très variable d'une année à l'autre et il ne s'agit pas là d'un simple retard de la végétation. Voici un exemple récent entre bien d'autres. En 1979 les pentes du versant adret de la vallée de l'Isère, traversées par le sentier-balcon partant du Fornet jusqu'à Val d'Isère, étaient, sur plus d'un kilomètre, couvertes de plusieurs milliers de pieds de *G. utriculosa*. Le sentier lui-même, bien que tassé par le passage, en comportait de nombreux exemplaires. En 1980, dans la même station, il fallait la chercher pour en voir quelques très rares spécimens. Il conviendrait peut-être de vérifier si dans certaines stations *G. utriculosa* ne deviendrait pas bisannuelle, par suite de variations climatiques défavorables, ainsi que cela se produit parfois pour certaines espèces orophytes habituellement thérophytes.

SOCIOLOGIE : *Caricetalia davalliana*, *Seslerion varia*.

SECTION *CROSSOPETALUM* Fröel.

Gentiana ciliata L.

Cette gentiane de l'Europe centrale et méridionale est la seule représentante en Europe de la section *Crossopetalum*. Les stations de cette espèce sont mal connues, au moins dans les Alpes françaises, en raison probablement de sa floraison tardive. Espèce assez strictement calcicole dans la dition, elle est rare dans la zone alpine. Le record d'altitude dans les Grisons est de 2 500 m. Elle descend très bas en plaine, comme à Montgueux près de Troyes à moins de 150 m d'altitude. Cette plante fréquente le plus souvent les prairies maigres et sèches surtout à basse altitude, et en altitude élevée les prairies mésophiles, rarement les sols un peu humides. Les fleurs réagissent à la lumière et comme *G. nivalis* et *G. utriculosa* restent fermées par temps froid.

On trouve parfois des spécimens rameux : var. *multiflora* Gaud. Stations nouvelles : Pralognan, pelouses aux bords du Doron de Chavière près du pont de la Pêche; Termignon, rive droite du Doron vers le camping des Arcannes; Bessans, camping des Chardonnettes.

SOCIOLOGIE ASSEZ AMPLE : *Mesobromion*, *Seslerietalia varia*.

SECTION *GENTIANELLA* Moench.

Gentiana tenella Rottb.

Espèce circumpolaire arctique relativement rare dans la Savoie sud-orientale, mais parfois localement assez abondante. De nouvelles stations ont été découvertes dans la dition concernée depuis deux décennies. Plante des milieux humides, elle pousse parfois dans les prairies mésophiles ou sur des biotopes plus secs, tels que le plateau avoisinant le barrage de la Sassièr de Tignes. Comme d'autres espèces à tendance hygrophile, elle peut supporter une certaine sécheresse sur des sols riches en humus et en substances nutritives.

Rarement citée autrefois par les phytosociologues, elle est maintenant reconnue comme espèce caractéristique des *Caricetalia davallianae*. On la trouve dans notre dition dans les marécages ou sur leurs bordures comme au Prarion à Val d'Isère, à la Sassièr de Tignes, aux bords du Ribon, au col de la Vanoise, autrefois au lac de Tignes, etc.

Comme pour d'autres espèces assez rares bien qu'ayant une relative amplitude écologique, il serait intéressant de rechercher au printemps cette petite gentiane dans la zone subalpine inférieure. Déjà peu visible en été au moment de sa floraison en altitude élevée, elle peut passer inaperçue l'été à plus basse altitude étant défleurie. C'est peut-être le cas pour la station signalée par RUFFIER-LANCHE à 1 500 m à Pralognan. Cet auteur ayant habité cette localité a pu voir *G. tenella* à faible altitude au printemps. A Val d'Isère nous connaissons cette plante jusqu'à 2 850 m sur le versant sud-ouest de la Tsanteleina.

La forme à fleurs pentamères et tétramères sur le même individu, *f. vergens* Wulf., existe dans la dition à la Sassièr de Tignes et au Prarion à Val d'Isère.

SOCIOLOGIE : *Caricetalia davallianae*, *Oxytropo-Elynion*.

Gentiana ramosa Hegetschw.

Cette espèce ouest-alpine est encore peu connue des botanistes français. *G. ramosa* fut citée en Savoie, pour la première fois à notre connaissance, par R. DE VILMORIN et C. GUINET (1951) dans un compte-rendu d'excursion botanique au col et au glacier des Evettes. En 1958, nous avions revu cette gentiane aux Evettes au voisinage du col et sur la rive gauche du glacier du même nom sous le col de l'Ouille du Midi. En 1964, au cours de la Session extraordinaire de la *Société botanique de France* au Mont-Cenis, LERREDDE en montra une station près de la Dhuis, peu avant l'endroit où le sentier des Sources de l'Arc monte brusquement vers les moraines; nous l'avons revue plusieurs fois à cet endroit. Par la suite E.-J. BONNOT (comm. verb.) en repéra une localité sur les pelouses sommitales du Roc de Pareis vers 2 600 m. En 1974, nous trouvions

une nouvelle localité sur une vaste surface qui va approximativement du Sud au Nord, depuis le lieu-dit « le Montet » vers 2 400 m, jusque vers la base de l'Aiguille de Gontière, et de l'Ouest à l'Est, de la base l'Ouille des Reys jusque vers l'Ouille des Pariotes avec un maximum d'abondance sur les pentes de Plan-Sec vers 2 450 m. Plus récemment, nous l'avons trouvé dans de nouvelles stations en particulier en plusieurs points sur le sentier qui monte vers la moraine du glacier du Mulinet, et en août 1981, pas rare très près de l'Écot, aux bords même du sentier montant aux Evettes et à son début, ainsi que dans les fissures des dalles de gneiss au-dessus du sentier côté sud.

Depuis plus de trois décennies, nous avons pris plusieurs fois le sentier des Evettes sans remarquer cette gentiane que nous connaissions pourtant bien puisque qu'elle est remarquable même à distance par sa couleur lilas très pâle et son aspect en touffe serrée, et de plus près par ses fleurs pentamères. Aucun des botanistes qui ont visité les Evettes ne paraissent l'avoir notée dans cet emplacement. Les botanistes qui se sont rendus autrefois aux Sources de l'Arc ne l'ont pas notée non plus dans leurs récoltes. La multiplication des stations nouvellement reconnues est due en partie aux recherches nouvelles dans des lieux sans doute jamais encore visités par les botanistes (cas probable de la moraine du Mulinet), mais le fait qu'elle soit passée inaperçue sur des itinéraires fréquentés depuis longtemps, permet d'émettre l'hypothèse d'une implantation relativement récente dans la haute vallée de l'Arc, suivie d'une extension rapide. Aucune confirmation de cette hypothèse ne paraît possible, mais l'on connaît des faits semblables.

G. ramosa est une orophyte d'amplitude altitudinale assez large, existant dans les zones subalpine, alpine et nivale depuis 1 700 m dans les Grisons jusqu'à 3 000 m à Zermatt où on la trouve comme en Maurienne sur les substrats acides. Dans cette localité nous avons reconnu cette espèce au-dessus de Sunegga dans des pelouses sèches vers 2 400 m, avec des espèces de l'*Androsace vendellii* près des rochers à *Androsace vandellii*. Nous avons dit l'écologie de cette gentiane en Haute-Maurienne dans le tome IX (1978) des « travaux scientifiques du Parc National de la Vanoise », à propos de *G. x schroeteri* Westst. hybride nouveau pour la flore française. L'écologie de *G. ramosa* en Haute-Maurienne est très proche de celle observée à Zermatt.

Nous avons remarqué des différences considérables dans la présence de cette espèce, selon les années. Il s'agit là d'un phénomène en rapport avec les conditions climatiques. En 1976, par exemple, elle était abondante à Plan-Sec par milliers de pieds. En 1977, elle était partout invisible dans cette vaste station même à la fin du mois d'août en exposition sud. LANDOLT (1977) la classe dans les thérophytes-hémicryptophytes, plantes capables de se comporter en thérophyte dans les années favorables ou en hémicryptophyte, donc pouvant être bisannuelle, dans les années de climat défavorable.

Nous avons dit plus haut la présence de *G. x schroeteri* en Haute-Maurienne. Il s'agit d'un hybride *G. campestris* x *G. ramosa*, facilement identifiable par la couleur intermédiaire des fleurs entre le violet de *G. campestris* et le lilas très clair de *G. ramosa* de sorte qu'il peut parfois attirer l'attention même à quelques mètres de distance. Le caractère le plus discriminant est la forme des dents calicinales le plus souvent intermédiaires entre la forme bien

différente de celles de chacun des progéniteurs. Certains spécimens pourraient être le résultat de croisements en retour, le pollen de cet hybride est normal et confirme pour une part la possibilité d'introgression des phénotypes nouveaux vers les caractères spécifiques de l'un des parents.

Nous avons décrit (1978) diverses aberrations qui marquent souvent ces spécimens hybrides.

SOCIOLOGIE : *Caricetea curvulae*, *Androsacion vandellii*.

***Gentiana campestris* L.**

Cette espèce de l'Europe centrale est répandue dans la région sous diverses variétés. Plusieurs auteurs et en particulier HEGI (1927) ont décrit le polymorphisme de cette gentiane en ce qui concerne les Alpes. *G. campestris* appartient à un groupe eurasiatique - nord-américain lui-même bien connu pour son polymorphisme élevé. Ce groupe a déjà fait l'objet de plusieurs révisions et divisions. De nombreux taxons sont reliés entre eux par des formes de transition. Pour les Alpes, la division de l'espèce en sous-espèces et variétés change quelque peu selon les auteurs. La systématique de *G. campestris* serait à revoir à la lumière de toutes les possibilités d'investigations : morphologiques, phytosociologiques, cytogénétiques. En ce qui concerne l'écologie on peut remarquer que certains auteurs donnent *G. campestris* comme calciphile, c'est le cas de HEGI (1927) et de FOURNIER (1936). D'autres comme OBERDORFER (1970) et GUINOCHET (1975) placent cette espèce dans les groupements baso-acidophiles des *Nardetalia*. Nous l'avons observée en Savoie sud-orientale sur des substrats différents : par exemple à Pralognan, au Bochor sur pelouses calcaires à pH 7 et à Plan-Sec en Haute-Maurienne dans des pelouses acides à pH 5 sur le chemin du Carro. Les flores classiques ne notent pas de variations phénotypiques selon les substrats. Cependant à Plan-Sec, sur substrat acide, nous avons remarqué quelques différences avec ce que les auteurs considèrent comme le type de *G. campestris* ssp. *campestris*. Les spécimens de Plan-Sec sont plus petits à altitude égale, les feuilles de la base et les caulinaires moins larges et moins spatulées, l'axe primaire et les rameaux plus rougeâtres, les fleurs d'un violet souvent plus foncé. L'ensemble prenant un aspect un peu différent du type calcicole.

Ainsi que nous l'avons écrit précédemment à propos de *G. x Schroeteri* Westtst. (TROTEREAU, 1978), à Plan-Sec *G. campestris* croît avec nombre d'espèces acidophiles de l'alliance *Androsacion vandellii*. Cette gentiane est ici probablement un écotype phénotypiquement un peu distinct, lié à l'habitat. L'écotypie a peut-être été favorisée à Plan-Sec par un certain isolement dû à la topographie locale. Comme pour beaucoup d'écotypes supposés, seule l'expérimentation pourrait apporter une certitude.

Parmi les taxons présents en Vanoise et se rapportant à *G. campestris*, l'un d'entre eux nous paraît des plus intéressants. Il s'agit de *G. campestris* var. *flagelliramis* Beauverd, plante découverte par cet auteur (BEAUVERD, 1918), pour la première fois dans le Valais à Lens et à Mont-Chemin. Par la suite le Dr CHRIST la découvrit dans les prés de Zermatt. Voici la description de cette variété peu connue : « ... forme printanière à fleurs violet foncé à rosettes

pourvues de longs rameaux flagelliformes atteignant au moins les 2/3 de la longueur de l'axe primaire ». J'ajoute que ce taxon se reconnaît même à une certaine distance par ces caractères bien discriminants.

Par la suite, BEAUVERD (1927) retrouva cette plante précoce dans les prairies des environs de Pralognan, dont une variété blanche était abondante au hameau du Plan, au milieu de vastes colonies de type normal.

Nous avons vu cette gentiane dans sa localité de Pralognan en 1957, 1958, 1960 dans une forme estivale beaucoup plus grande que le type et pouvant atteindre plus de 35 cm. En été, la forme de taille printanière décrite par BEAUVERD pouvait encore se trouver, ces dernières années, en altitude dans les rocailles entre le haut de la forêt d'Issertan et le Pas de l'Ane. Nos exemplaires de cette provenance sont en tous points semblables à ceux récoltés par BEAUVERD et déposés au Conservatoire botanique de Genève. En 1960, lors d'une excursion de la *Société botanique de France* à Mont-Denis en Maurienne, sur les pentes ouest du Perron des Encombres, nous avons retrouvé cette plante dans sa forme estivale de grande taille. Ainsi, l'aire de ce taxon qui paraissait exclusivement valaisanne lors de sa découverte s'étend par stations disjointes à la Tarentaise et à la Maurienne. Là encore l'expérimentation par des cultures serait des plus utiles pour préciser le statut de cette plante remarquable.

G. campestris peut exister sous d'autres variantes des plus curieuses. En 1961, un groupe de botanistes parisiens, dont nous faisons partie, a rencontré au Mont-Cenis, sur quelques mètres carrés, dans les prairies entre le chemin du Petit Mont-Cenis et le col, des exemplaires assez nombreux dont voici les caractéristiques principales :

- 1) un certain nombre d'exemplaires portaient à la fois des fleurs pentamères et tétramères;
- 2) d'autres exemplaires avaient, pour la totalité de leurs fleurs, de 3 à 6 pétales;
- 3) la couleur des fleurs variait du blanc au violet foncé;
- 4) la taille allait de l'acaulie accentuée (4 à 5 cm) jusqu'à une assez grande taille (20 cm).

On peut imaginer le nombre d'aspects différents que présentait la combinaison de ces diverses particularités. Pareil bouleversement génétique est certainement très rare.

Il existe aussi en Vanoise une variété naine dont nous avons découvert une station aux environs de Pralognan dans la partie moyenne de la vallée de Chavière. En pleine floraison fin août, elle est de petite taille 6 à 7 cm, non rameuse ou à un seul rameau supérieur, à une ou deux fleurs violettes. Ce taxon innomé se rapproche, par certains caractères, de la var. *islandica* Murbeck, de *G. campestris* ssp. *campestris*.

SOCIOLOGIE VARIABLE SELON LA PÉDOLOGIE : *Nardetalia*, *Androsacion vandellii*, *Mesobromion*, *Trisetum-Polygonum bistorti*.

BIBLIOGRAPHIE

- AMANDIER (L.) et GASQUEZ (J.), 1978. - Contribution à l'étude phytoécologique et floristique du vallon de la Rocheure. *Boissiera*, 27, 153 p.
- BEAUVERD (G.), 1918. - Excursions phytogéographiques aux environs de Viège et de Zermatt. Valais. *Bull. Soc. bot. Genève*, X, 304 p.
- BEAUVERD (G.), 1927. - Résultats d'une campagne d'herborisation dans le massif de la Vanoise. *Ibid.*, 2 s., 19, 355-358.
- BEAUVERD (G.), 1932. - Polymorphisme de quelques plantes du massif de la Vanoise. *Ibid.*, 2 s., 24, 439-464.
- CREVELOT (J.-L.) et MÜLLER (G.), 1974. - Note caryologique à propos de *Gentiana schleicheri* (Vaccari) H. Kunz. *Bull. Soc. Neuchâtel Sci. nat.*, 97, 261-266.
- EVRRARD (F.) et CHERMEZON (H.), 1917. - Sur la flore de la Haute-Tarentaise. *Bull. Soc. bot. Fr.*, 64, 163-202.
- EVRRARD (F.) et CHERMEZON (H.), 1918. - La végétation de la Haute-Tarentaise. *Ibid.*, 65, 153-209.
- EVRRARD (F.), 1919. - Sur un ensemble de cas tératologiques observés en Haute-Tarentaise pendant l'été 1913. *Ibid.*, 66, 206 p.
- FAVARGER (C.), 1949. - Contribution à l'étude caryologique et biologique des Gentianacées I. *Bull. Soc. bot. Suisse*, 59, 62-86.
- FAVARGER (C.), 1952. - Contribution à l'étude caryologique et biologique des Gentianacées II. *Ibid.*, 62, 244-257.
- FAVARGER (C.), 1965. - Notes de caryologie alpine. *Bull. Soc. Neuchâtel Sci. nat.*, 88, 5-60.
- FAVARGER (C.), 1969. - Notes de caryologie alpine V. *Ibid.*, 92, 13-30.
- FAVARGER (C.), 1972. - Guide du Naturaliste dans les Alpes. Chapitre III. *La Flore*, 113-183.
- FOURNIER (P.), 1935. - *Le Monde des Plantes*. 36^e année, 4^e série, n^o 211, p. 11.
- FOURNIER (P.), 1936. - *Les quatre flores de France*. Paris, Ed. Lechevalier, 1 105 p.
- GENSAC (P.), 1974. - Catalogue écologique des plantes vasculaires du Parc National de la Vanoise et des régions limitrophes. *Trav. sci. Parc nation. Vanoise*, IV, 232 p.
- GRISEBACH (A.H.R.), 1839. - *Genera et Species Gentianearum*. Stuttgart et Tubingen, 364 p.
- GUINOCHET (M.), 1936. - Riviera scientifique, Nice 1946.
- GUINOCHET (M.) et VILMORIN (R. de), 1975. - *Flore de France*, vol. II. Paris, C.N.R.S., 367-818.
- HACQUET (B.), 1782. - *Plantae alpinae carniolicae* 4. Vienne, 31 p.
- HEGI (G.), 1927. - *Illustrierte Flora von Mittel-Europa*, 5 (3), 1 979-2 047, München.
- HESS (H.E.), LANDOLT (E.) et HIRZEL (R.), 1972. - *Flora der Schweiz* 3. Bâle et Stuttgart, Ed. Birkhäuser, 20-27.
- JACCARD (H.), 1895. - *Catalogue de la flore valaisanne*. Neue Denksch. Schweiz. naturf. Ges. Bâle, Genève, Lyon.
- JOVET (P.) et VILMORIN (R. de), 1977. - *Flore de France*, supplément n^o 4 à la *Flore de France* de COSTE (H.). Paris, Ed. A. Blanchard, 360-364.
- KUNZ (H.), 1939. - Über *Gentiana schleicheri* (Vaccari) H. Kunz. *comb. nov. Bull. Soc. bot. Suisse*, 49, 157-167.
- KUNZ (H.), 1940. - Beitrag zur Revision einiger Gentianen. *Verh. Naturf. Ges. Basel*, 51 (2), 1-20.
- KUNZ (H.), 1963. - Petite contribution à l'étude de la flore française. *Le Monde des Plantes*, 339, 1-3.

- LANDOLT (E.), 1977. - *Ökologische Zeigerwerte zur Schweizer Flora Geobotanischen Institut*. Zurich, E.T.H. Stiftung Rübel, 64 p.
- MÜLLER (G.), 1974. - Recherches cytotaxonomiques sur les Gentianes de la section *Cyclostigma* Griseb. *Bull. Soc. Neuchâtel Sc. nat.*, 97, 249-260.
- MÜLLER (G.), 1980. - *Gentiana schleicheri* (Vaccari) Kunz. Une espèce nouvelle pour les Pyrénées orientales. *Le Monde des Plantes*, 402, 1-3.
- OBERDORFER (E.), 1970. - *Pflanzensoziologische Exkursions Flora für Süddeutschland*. Stuttgart, Ed. Ulmer, 707-713.
- PERRIER DE LA BATHIE (E.), 1854. - Revue critique des Gentianes section *Thylacites*. *Ann. Soc. Hist. nat. Savoie*, 153-198.
- PERRIER DE LA BATHIE (E.), 1917-1928 - Catalogue raisonné des plantes vasculaires de Savoie. *Mém. Acad. Sci. Belles-Lettres, Arts, Savoie*, sér. 5, vol. 4 (1917), vol. 5 (1928).
- RICHARD (J.-L.) et GEISSLER (P.), 1979. - A la découverte des bords de cours d'eau de l'étage alpin du Valais (Suisse). *Phytocoenologia*, 6, 183-201.
- RITTENER (Th.), 1887. - Note sur une variété de *Gentiana verna* L. *Bull. Soc. vaud. Sc. nat.*, 22, 198-201.
- ROEMER (J.-J.) et SCHULTES (A.), 1820. - *Systema vegetabilium*, V, 156. Stuttgart.
- ROUY (G.), 1908. - *Flore de France X*. Paris, Ed. Lechevalier, 250-272.
- SCHUR (F.), 1852. - Beiträge zur Kenntniss der Flora von Siebenbürgen. *Verh. Mitth. Siebenbürg. Vereins Naturwiss. Hermannstadt*, 3 (6), 84-95.
- SOLTOKOVIC (M.), 1901. - Die perennen Arten der Gattung *Gentiana* aus der Sektion *Cyclostigma*. *Österr. Bot. Z.*, 51, 161-172, 204-217, 258-266, 304-311.
- TROTIEREAU (A.), 1974. - *Gentiana orbicularis* Schur. (= *G. favrati* Ritten) en Savoie sud-orientale. *Trav. sci. Parc nation. Vanoise*, V, 113-119.
- TROTIEREAU (A.), 1978. - *Gentiana x schroeteri* Wettst. dans le Parc National de la Vanoise, hybride nouveau pour la flore française. *Ibid.*, IX, 53-57.
- TUTIN (T.G.), 1972. - Genre *Gentiana* in « *Flora Europaea* » 3. Cambridge, University Press, 59-63.
- VACCARI (L.), 1911. - Observations sur quelques Gentianes. *Bull. Murith. Soc. Valais Sci. nat.*, 36, 238-247.
- VACCARI (L.), 1917. - Note su alcune forme di *Gentiana* del gruppo *verna* L. *Nuovo Giorn. Bot. Ital.*, n.s., 24 (4), 215-244.
- VILMORIN (R. de) et GUINET (C.), 1951. - Haute-Maurienne. 78^e Session extraordinaire : « Coupe botanique des Alpes, du Tyrol à la France ». *Bull. Soc. bot. Fr.*, 98, 97-103.
- VILMORIN (R. de) et GUINOCHET (M.), 1975. - *Flore de France 2*. Genre *Gentiana*. Paris, Ed. C.N.R.S., 546-555.
- WETTSTEIN (R. von), 1896. - Die europäischen Arten der Gattung *Gentiana* aus der Sektion *Endotricha* Froel. *Denkschr. Akad. Wiss., math. nat. Kl. Wien*, 64, 309-382.

(Reçu pour publication, juin 1982)

FLORE ET VÉGÉTATION DU VALLON DE L'ISERAN ET DU VAL PRARIOND

par Pierre GENSAC (1) et André TROTTEREAU (2)

I.	- Le milieu	131
II.	- La flore	132
III.	- Les groupements végétaux	140
IV.	- Les mesures de protection pour la flore	147
Index bibliographique.....		148

Résumé. - Le grand intérêt que présentent le vallon de l'Iseran et le Val Prariond pour leur flore et leur végétation, doit susciter des mesures de protection particulières. Après une rapide présentation du milieu, les éléments floristiques et les groupements végétaux présents sont décrits, ces derniers faisant l'objet d'une carte à 1/25 000. Il en est déduit les mesures de protection à suivre pour la flore et la végétation.

Mots-clés : *Flore - Groupements végétaux - Vanoise - Protection - Zonage.*

Summary. - FLORA AND VEGETATION OF THE VALLON DE L'ISERAN AND THE VAL PRARIOND.

The very interesting flora and vegetation of the Vallon de l'Iseran and the Val Prarion (High Isère Valley) must raise up particular measure of conservancy. After a short presentation of the biotope, floristic element and plants communities are described, the last ones being mapped at a scale of 1/25 000. From that are infered the necessary measures of flora and vegetation's conservancy for this area.

La coexistence entre zones protégées et stations hivernales pose de nombreux problèmes le long des limites d'un parc national, à plus forte raison à l'intérieur de réserves quand les possibilités d'aménagement y ont été maintenues. C'est ainsi que le désir d'expansion de la station de Val d'Isère se heurte à la nécessité de maintenir une certaine protection à l'intérieur de la réserve de l'Iseran et aux règles strictes imposées dans le Val Prariond inclus dans le Parc

(1) Département d'Écologie, Université de Savoie, BP. 1 104, 73011 Chambéry Cedex et Laboratoire associé au CNRS n° 242 (Grenoble) : Ecologie et Biogéographie des grands systèmes montagneux.

(2) Attaché du Muséum d'Histoire naturelle. 364, rue de Vaugirard, 75015 Paris.

National de la Vanoise. La réserve de l'Iseran constitue une zone où la faune et la flore sont protégées, mais la nécessité de relier les installations du glacier du Grand Pisaillas avec la station en assurant la sécurité des skieurs, ainsi que l'exploitation des pistes à l'intérieur du vallon de l'Iseran, impliquent l'installation d'un réseau de remontées mécaniques et donc une transformation du sol et du paysage. Le Val Prariond par ses immenses champs de neige non équipés contribue fortement à l'image de marque que la station a voulu se donner dans le domaine du ski hors-piste. Il a été également l'objet des convoitises de promoteurs qui envisageaient, il y a quelques années, la construction d'une route qui en le traversant, et grâce au tunnel de la Galise, aurait permis le passage vers l'Italie. Or le col de l'Iseran et le Val Prariond sont depuis longtemps reconnus comme des zones d'un très haut intérêt floristique; elles jouent également un rôle de zone de transit pour la grande faune entre le Parc National du Grand Paradis qui leur est contigu et le cœur du massif de la Vanoise. Comment concilier les intérêts à très court terme d'une commune qui s'estime légalement, à juste raison, et il faut bien souligner les imperfections de la législation française en ce domaine, propriétaire et la nécessité de protéger un milieu naturel d'une grande richesse biologique et paysagère, et ceci pour un très long terme, dans l'intérêt général? A l'espoir de bénéfices substantiels immédiats que vaut la protection de la faune et de la flore? Pour plaider le dossier de la nature, il faut citer des faits précis, des arguments scientifiques décisifs, il faut proposer des solutions, on doit donc connaître ce qui doit être protégé et quelles sont les conditions de cette protection. Une telle connaissance repose sur un inventaire précis des espèces devant bénéficier d'une telle protection et, comme il est bien reconnu maintenant, des milieux (biotopes) susceptibles de les abriter afin que ceux-ci soient protégés en priorité. Une analyse bibliographique et une analyse fine de la flore sur le terrain fournissent la liste des plantes et les lieux à protéger. A. TROTTEREAU a parcouru pendant de nombreuses années le territoire en question et il fait dans ce mémoire la synthèse de ses recherches. Pour les groupements végétaux, il est obligatoire de les identifier et de les cartographier, plusieurs campagnes de terrain ont permis à P. GENSAC de dresser une représentation à 1/25 000 de leur répartition. Ces résultats doivent permettre la délimitation de zones particulièrement riches et sensibles aux actions humaines, zones devant être protégées par une réglementation très stricte pouvant aller jusqu'à la création de réserves intégrales. A côté de ces milieux exceptionnels, existent des domaines où une très bonne connaissance de la flore de haute montagne peut s'acquérir facilement, zone d'intérêt pédagogique d'accès aisé qu'il faut délimiter. Un tel zonage fait cependant courir un gros risque pour toutes les portions du territoire non incluses dans ces limites de protection. Ce ne doit donc pas être un zonage-alibi qui en dehors des parties protégées permet toutes les exactions vis-à-vis du milieu montagnard et ainsi compromet l'avenir même des éléments susceptibles d'une protection. Tout aménagement à l'intérieur de la réserve de l'Iseran (il ne peut être question d'aménagement à l'intérieur du Val Prariond, partie intégrante du Parc National) doit être assorti de mesures conservatrices et de restauration, tout en émettant dès maintenant de plus extrêmes réserves quant à leur réalisation étant données l'altitude, et les conditions climatiques qui en découlent, très défavorables à une cicatrisation du sol et des groupements végétaux.

I - LE MILIEU

La zone étudiée se situe dans la partie supérieure de la Tarentaise, sur la commune de Val d'Isère et comporte deux compartiments principaux :

- le Val Prariond, vallée supérieure de l'Isère qui rejoint la frontière par le glacier des Sources de l'Isère. Cette partie est entièrement comprise dans le Parc National de la Vanoise et est contigüe au Parc National italien du Grand Paradis;

- le vallon de l'Iseran, vaste combe suspendue de 2 400 à 2 750 m menant par le col de l'Iseran, 2 764 m (le plus haut col routier européen) jusqu'en Maurienne.

Une étude géologique récente (NIEMEYER, 1979) en précise la nature du substrat et sa structure. En simplifiant, on peut distinguer :

- une zone calcaire, au nord de l'Isère et à l'ouest du torrent du Niolet, ne se retrouvant au sud de l'Isère qu'au niveau des Plates du Vallonnet. Cette zone est essentiellement représentée par la série calcario-dolomitique de Vanoise;

- une zone de calcschistes, zone de schistes lustrés constituant le substrat du vallon de l'Iseran et la plus grande partie de Revers du Prariond. Ces calcschistes sont formés de minces lits de calcite alternant avec des lits de phyllites (mica blanc, chlorite, albite, quartz). Ces calcschistes sont les faciès prédominants dans la nappe des schistes lustrés qui comporte également des roches vertes, prasinites riches en calcium et en magnésium. La pédogenèse subie par les calcschistes a été décrite dans la combe de l'Iseran (GENSAC, 1977).

Le climat correspond à une zone de haute montagne profondément enfoncée dans le massif, d'où une pluvio-niviosité modérée (BALSEINTE, 1966). Pour la décennie 1951-1960 la moyenne annuelle est de 1 000 mm à Val d'Isère (1 850 m) et de 1 060 mm au Fornet (1 940 m), les plus hauts sommets devant recevoir 2,5 m d'eau atmosphérique. Les hauteurs de neige sont considérables, Belvedere au-dessus de Val d'Isère (2 750 m) totalisant 1 858 cm d'enneigement hebdomadaire alors que la durée du manteau neigeux à Val d'Isère est de plus de 6 mois. La station climatologique installée par le Parc au chalet de surveillance du Grand Vallon (2 340 m) donne comme dates moyennes limites d'enneigement le 10 octobre et le 22 mai : durée 7,5 mois. Cette durée constitue un des facteurs les plus sélectifs vis-à-vis de la flore et de la faune. L'exploitation des enregistrements thermométriques réalisés dans cette station grâce aux moniteurs-gardes du parc a permis d'établir le tableau I où pour la période 1974-1980 la moyenne annuelle est de 0,6 degré ce qui correspond bien à la partie inférieure de l'étage alpin, zone de végétation où se situe la station. Le mois de janvier est le plus froid avec une moyenne de - 5,4 degrés, le mois d'août le plus chaud (8,8 degrés). Les moyennes des températures du sol relevées à 10 cm de profondeur sont plus élevées pour l'année et surtout pour l'hiver, le manteau neigeux jouant le rôle protecteur, alors qu'en été, les racines des plantes se trouvent dans un sol dont la moyenne des températures

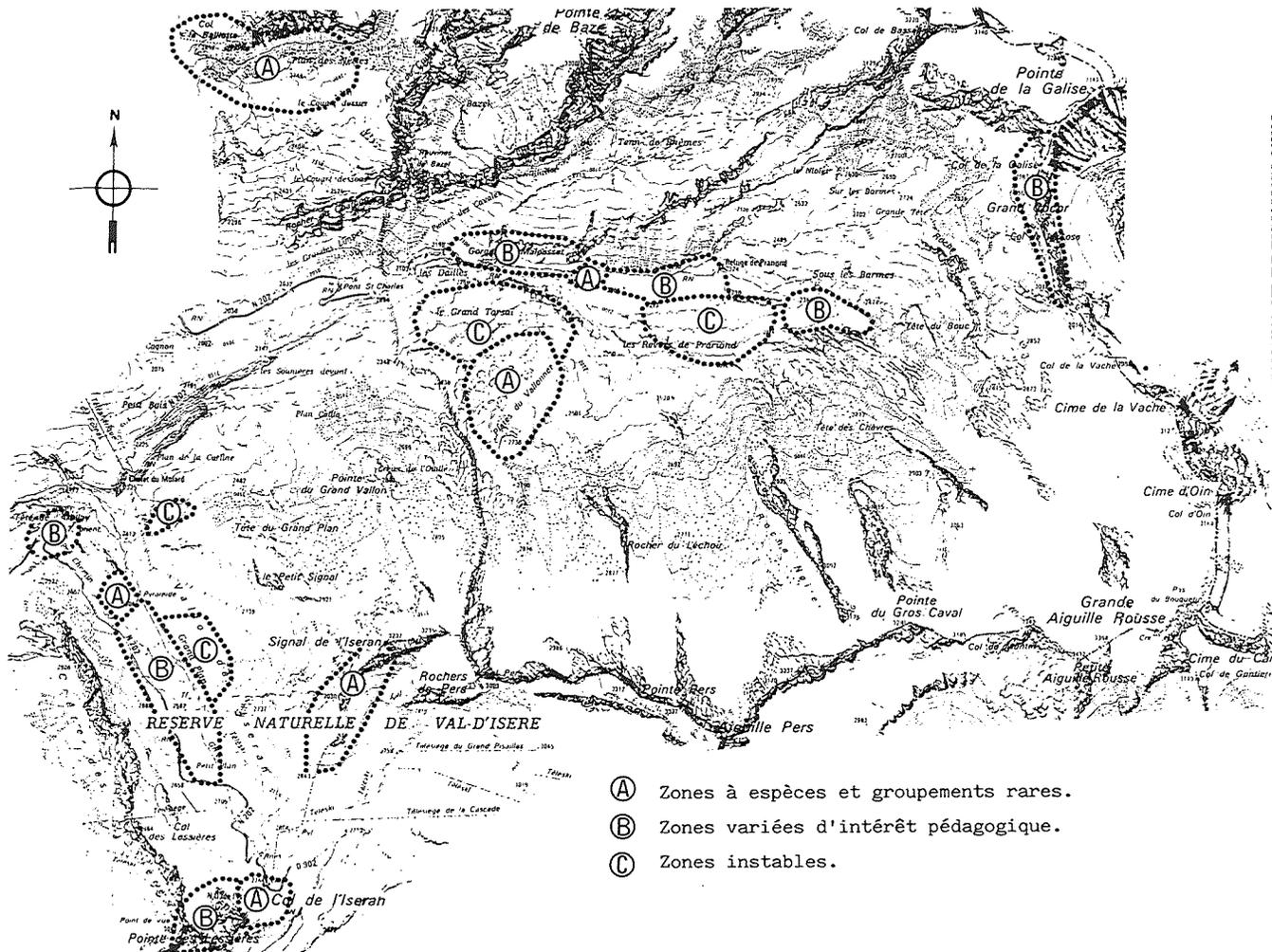
TABLEAU I
Moyennes mensuelles et annuelles des températures de l'air mesurées à 2,50 m au-dessus du sol à la station du Grand Vallon (2 340 m).

	J	F	M	A	M	J	Jt	At	S	O	N	D	Année
1974	- 2,9	- 6,5	- 4,9	- 2,9	+ 1,2	+ 4,1	+ 8,1	+ 10,1	+ 5,2	- 6,3	- 4,2	- 3,7	- 0,2
1975	- 2,6	- 3,7	- 6,1	- 0,6	+ 2,6	+ 4,4	+ 9,6	+ 8,9	+ 7,5	+ 2	- 3,3	- 1,9	+ 1,4
1976	- 6,1	- 3,5	- 3,5	- 1,9	+ 4,7	+ 9,6	+ 9,9	+ 7,9	+ 4,5	+ 2,5	- 4,8	- 6,6	+ 1,1
1977	- 6,3	- 4,6	0	- 1,2	+ 1,9	+ 5	+ 8,9	+ 8	+ 6,2	+ 5,2	- 3,6	- 1,2	+ 1,5
1978	- 5,1	- 6,7	- 4,2	- 2,5	- 0,1	+ 3,9	+ 7,1	+ 7,8	+ 6,3	+ 3,4	+ 0,2	- 4,3	+ 0,5
1979	- 7,5	- 6	- 4,9	- 3,5	+ 2,3	+ 6,8	+ 8,5	+ 7,9	+ 4,7	+ 3,4	- 2,6	- 3,8	+ 0,5
1980	- 7,1	- 3,5	- 4,1	- 4,0	+ 1,2	+ 4,4	+ 7,6	+ 10,6	+ 8,4	+ 1,7	- 2,0	- 7,2	+ 0,5
	- 5,4	- 4,9	- 4,0	- 2,4	0	+ 5,5	+ 8,5	+ 8,8	+ 6,1	+ 1,7	- 2,9	- 4,1	+ 0,6

est d'environ 10°. Si l'on prend comme référence pour la « période de végétation » la somme des jours où la température moyenne de l'air est supérieure ou égale à 5 °C, la moyenne annuelle est de 110 jours, avec des oscillations comprises entre 91 et 128 jours. On comprend alors comment peut s'opérer une sévère sélection parmi les végétaux et les difficultés d'une restauration du tapis végétal après destruction, difficultés auxquelles viennent s'ajouter celles liées à la reconstitution d'un sol.

II - LA FLORE

Depuis que l'exploration botanique des Alpes a débuté voici plusieurs siècles, les cols ont toujours été des lieux privilégiés de recherches, la flore y étant souvent riche et diversifiée. C'est assez dire que les botanistes n'ont pas attendu d'avoir de bonnes routes et des moyens mécaniques de transport pour y accéder. C'est le cas pour le col de l'Iseran visité depuis le milieu du siècle dernier, il y a plus de 130 ans. On y venait surtout par la Haute-Maurienne depuis Bonneval-sur-Arc et parfois en partant de Bessans. Certains de ces précurseurs ont laissé des notes manuscrites ou imprimés sur leurs visites à ce qu'il appelaient parfois le Mont-Iseran. Sur un plan général, les travaux des phytogéographes commencés vers le début de notre siècle ont expliqué le rôle biogéographique important joué par les cols en ce qui concerne la flore, et les causes de leur richesse floristique. Sans être forcément alpiniste, les botanistes d'autrefois ont pu explorer toutes les Alpes grâce aux cols permettant de passer



PARC NATIONAL DE LA VANOISE

- Ⓐ Zones à espèces et groupements rares.
- Ⓑ Zones variées d'intérêt pédagogique.
- Ⓒ Zones instables.

FIG. 2. - Les zones devant bénéficier d'une protection pour leur intérêt botanique.

d'un massif à un autre et commencer ainsi, entre autres recherches, une recension des espèces trouvées sur ces lieux de passage. La botanique pratiquée sur les cols élevés et leurs versants donne déjà une bonne idée de la végétation d'une région en ce qui concerne la floristique, la phytosociologie et la phytogéographie et ceci d'autant mieux qu'à la montée et à la descente on passe par les différents étages de la végétation. Sur les cols élevés, mais très accessibles comme l'Iseran, les botanistes arrivent à la limite de la zone alpine supérieure encore riche en espèces intéressantes et ont ainsi toutes facilités pour se livrer à de multiples observations qui peuvent être aisément répétées sur plusieurs saisons estivales ce qui est plein d'enseignement. Les crêtes et les sommets d'accès difficiles et long de la zone nivale, mais toujours une flore marquant un appauvrissement progressif de la végétation, qui n'est plus alors qu'un médiocre reflet de ce que les cols et pentes de la zone alpine qui montent vers les cimes offrent comme espèces caractéristiques dans la grande variété des biotopes qu'on peut y rencontrer. Après bien des années d'alpinisme nous n'avons jamais noté d'espèces originales propres à la zone nivale, mais toujours des espèces qui peuvent se trouver et être étudiées dans des pentes élevées ou des rochers d'accès plus faciles situés sous cette zone. Nous n'avons connaissance que d'une exception à cette règle dans toute la chaîne des Alpes. Il s'agit d'*Artemisia nivalis* Br. Bl. petite endémique néogène détachée de l'*Artemisia genipii* Web., connu à Zermatt au sommet du Rothorn de Findelen à plus de 3 400 m. Encore ne sommes-nous pas sûrs que cette plante n'existe pas dans des habitats plus accessibles dans le proche Val d'Hérémente où ce très rare taxon a été signalé également à haute altitude. Il reste indispensable toutefois que les botanistes qui peuvent le faire, étudient la végétation de l'étage nival pour reconnaître les associations de cet étage, telles que l'*Artemisio-Saxifragetum muscoides* des Alpes centrales (RICHARD, 1981) ou l'*Androsacetum alpinae* moins rare. Mais pour le botaniste non phytosociologue les taxons de ces associations peuvent se trouver et être étudiés dans l'étage alpin toujours plus accessible. Quant aux espèces qui atteignent ou dépassent exceptionnellement 4 000 m et sont présentes dans les fissures des rochers de quelques très hauts sommets grâce à leur plasticité écologique, tels que *Gentiana brachyphylla*, *Saxifraga muscoides*, *Saxifraga biflora*, *Ranunculus glacialis*, elles ne sont pas là dans leurs conditions de vie optimale. Si leur situation peut, dans ces cas particuliers, être intéressante comme étude d'adaptation à des conditions de vie des plus rigoureuses induisant parfois l'écotypie et toujours le nanisme, ce qui est bien connu, leur étude phytosociologique, écologique et biologique dans des habitats plus conformes à leurs exigences climatiques et édaphiques est aussi du plus grand intérêt. D'ailleurs les stratégies adaptatives de nombreuses espèces peuvent déjà être étudiées à l'étage alpin, adaptations entraînant des modifications physiologiques très nettes : cellules plus petites, membranes et utricules plus épais, tissu extérieur plus différencié, poils nombreux, teneur en glucides plus élevée etc... Enfin on ne saurait oublier que de nombreux problèmes de biosystématique et de phytoécologie reste à résoudre pour beaucoup de taxons appartenant aux étages alpin et subalpin.

La construction des routes franchissant les cols des hautes montagnes de l'Europe et l'intensification du trafic amenant sur ceux-ci un nombreux public, inconscient des dégâts qu'il peut causer par ignorance ou indifférence, a créé des conditions défavorables et parfois désastreuses pour les habitats diversifiés

présents sur ces cols, causant ainsi la disparition ou la régression rapide de nombreuses espèces. Les engins de remontée mécanique et plus encore leur construction sans ménagement pour l'environnement ont dégradé ces milieux naturels parmi les plus attachants, d'une façon peut être irréversible. Il serait grand temps d'essayer de sauver ce qui peut l'être encore. A l'Iseran plusieurs espèces de haut intérêt ont disparu depuis peu d'années ou sont en voie de disparition complète. Nous pouvons citer à ce sujet : *Potentilla nivallis*, *Potentilla frigida*, *Sesleria ovata*, *Gentiana orbicularis*. D'autres espèces typiques de la végétation des calcschistes, telles que *Gentiana schleicheri* et *Crepis rhaetica*, parmi les plus rares, sont aussi en régression très importante.

Si l'on compare la richesse floristique de la région dont il est question ici : le col de l'Iseran et le vallon de l'Iseran ainsi que le Val Prariond et ses deux versants, par rapport à son étendue restreinte (approximativement 33 km², dont un tiers de glacier ou de névé permanent) il apparaît que la flore de cette partie de la Savoie sud-orientale est une des plus riches de toutes les Alpes. Le col et le plateau du Mont Cenis, réputés pour leur flore, lui sont inférieurs, et d'ailleurs la construction du nouveau barrage a fait disparaître le très beau marécage de la Grand'Croix et ses associations d'hygrophytes nordiques ainsi qu'une des stations de *Saponaria lutea*. De même le secteur Galibier-Lautaret très connu pour sa flore nous paraît nettement inférieur en espèces rares ou de grand intérêt. Nous ne voyons dans les Alpes occidentales que la région du Gornergrat à Zermatt qui puisse pour une superficie à peu près identique lui être comparée. Avec un léger avantage au Gornegrat sous le rapport de l'endémisme, compensé par un avantage assez net à notre dition savoyarde en ce qui concerne les espèces artico-alpines des lieux humides. Il n'est pas douteux qu'une flore aussi précieuse devrait pouvoir être mise au moins en partie en réserve intégrale.

RECENSION DE LA FLORE

Les listes commentées qui suivent ne comprennent que les taxons les plus remarquables, soit par leur rareté, soit par leur intérêt en tant qu'espèces ou sous-espèces représentatives de certaines phytocénoses, soit qu'il s'agisse de variétés peu communes.

On comprendra que pour nombre d'espèces rares dont certaines sont très menacées, aucune précision sur leurs emplacements ne soit donnée.

Col de l'Iseran (y compris les montées au Signal, au col Pers, à la crête des Leissières) et vallon de l'Iseran.

Sesleria ovata (Hoppe) Kern. presque entièrement disparue
Trisetum spicatum (L.) Richter
Carex rupestris All.
Carex juncifolia All. rarifié.
Carex bicolor All. très rarifié.

Carex lachenalii Schkuhr.
Carex capillaris L.
Juncus triglumis L.
Luzula sudetica (Willd.) DC.
Chamorchis alpina (L.) Rich.
Salix caesia Vill.
Salix reticulata L.
Salix myrsinites L. ssp. *breviserrata* Flod.
Arenaria ciliata L.
Sagina intermedia Feuzl. (= *S. nivalis* Fr.).

Lychnis alpina L. en régression.
Pulsatilla vernalis (L.) Miller en régression.
Anemone baldensis Turra.
Callianthemum coriandrifolium (Barrelier) Rehb.
Ranunculus glacialis L.
Petrocallis pyrenaica (L.) R. Br. en régression.
Hutchinsia brevicaulis Hoppe.
Draba carinthiaca Hoppe. var *glabrata* Koch, rare.
Arabis caerulea (All.) Haenke.
Saxifraga ascendens L.
Saxifraga biflora All.
Saxifraga muscoides All.
Saxifraga diapensioides Bell.
Saxifraga biflora All.
Potentilla frigida Vill. non retrouvé récemment.
Potentilla nivea L. non retrouvé récemment, existait encore en 1970.
Potentilla crantzii (Crantz) Beck.
Geum reptans L.
Trifolium pallescens Schreb.
Oxytropis gaudini Bunge.
Oxytropis lapponica (Wahl.) J. Gay.
Primula pedemontana Thomas.
Androsace helvetica (L.) All.
Androsace pubescens D.C., déjà trouvé autrefois par J. GUILLET (référence d'herbier) et retrouvé par nous, cette station fait le relais avec celles du Mont Lamet et de l'Aiguille de Scolette entre les stations des Alpes du Nord, surtout Aravis et massif des Bornes, et des stations dauphinoises les plus proches : Grand Galibier, Aiguilles d'Arves et Aiguille du Goléon.
Androsace alpina (L.) Lam., en régression.
Androsace alpina variété *atropurpurea* Byrd. très rare. taxon méconnu à fleurs rouges et feuilles plus petites.
Androsace carnea L.
Veronica allionii Vill.
Pedicularis rosea Wulf.
Gentiana nivalis L. var. *humilis*.
Gentiana brachyphylla Vill.
Gentiana verna L. var. *aestivalis* avec le type mais bien distinct, rare en altitude.
Gentiana orbicularis Schur, rare.
Gentiana schleicheri (Vaccari) Kunz en régression par rapport au début des années 60.

Gentiana ambigua Hayek.
Gentiannella tenella (Rottb.) C. Boern.
Phyteuma pauciflorum L.
Campanula cenisia L.
Leontopodium alpinum Cass. en très forte régression.
Saussurea alpina (L.) DC.
Leontodon montanus Lam.
Crepis rhaetica Heget.
Hieracium glacialis Reyn.
Hieracium piliferum Hoppe ssp. *subnivale*, G.G.

Pont Saint Charles (côté ouest exclu)

Helictotrichon sempervirens (Vill.) Pilger.
Carex nigra (L.) Reich (= *C. fusca* All.)
Carex davalliana Sm.
Carex atterima Hoppe.
Carex frigida All.
Carex liparocarpos Gaud. (*C. nitida* Host).
Juncus arcticus Willd.
Salix caesia Vill.
Aquilegia vulgaris L. (forme d'altitude différente de *A. alpina*).
Lilium martagon L.
Aconitum paniculatum LK.
Anemone baldensis Turra très précoce ici.
Thalictrum foetidum L.
Viola pinnata L.
Viola pyrenaica Ramond.
Androsace carnea L. très précoce ici.
Cortusa matthioli L.
Pedicularis recutita L.
Phyteuma halleri All.
Saussurea alpina (L.) DC.

Au Couart et sur le Couart

Sesleria ovata (Hoppe) Kern.
Carex bicolor All.
Eriophorum scheuchzeri Hoppe.
Saxifraga caesia L.
Saxifraga diapensioides Bell.
Androsace vitaliana (L.) Lap. pas rare.
Androsace helvetica (L.) All.
Gentiana orbicularis Schur.
Crepis rhaetica Heget très rare ici.

Gorges du Malpasset

Saxifraga caesia L.
Saxifraga diapensioides Bell.
Viola pinnata L.

Viola pyrenaica Ramond.
Potentilla caulescens.
Astragalus sempervirens Lam.
Oxytropis foetida (Vill.) DC.
Oxytropis lapponica (Wahl.) J. Gay.
Athamantha cretensis L.
Pedicularis gyroflexa Vill.
Asperula aristata L. ssp. *jordani*.
Leontopodium alpinum Coss. en voie de
 disparition.

Artemisia glacialis L. en régression.

**Pentes des Cavales vers Tenn de
 Rhône**

Carex liparocarpos Gaud. rare ici.
Viola pinnata L. devient très rare en mon-
 tant jusqu'à 2 400 m (très petite
 taille).
Androsace vitaliana (L.) lap. floraison pré-
 coce ici.

Val Prariond

A l'entrée du Val Prariond, l'Isère naissante forme une glière très riche en espèce boréo-arctiques. Entre les bras du torrent se sont formées des parvo-caricaies à hygrophytes nordiques. Si l'on compare la composition floristique de cette hydrosérie avec quelques-unes des plus réputées des Alpes de l'Est, étudiées par plusieurs auteurs, et surtout par BRAUN-BLANQUET, on s'aperçoit que la glière du Val Prariond est supérieure en espèces rares caractéristiques. Les deux associations de l'alliance *Caricion bicoloris-atrofuscae* : d'une part le *Kobresietum simpliciusculae*, d'autre part le *Caricion juncifoliae* sont ici mêlées étroitement et à ces groupements s'ajoutent des espèces transgressives d'autres groupements voisins. Cette hydrosérie, une des plus précieuses d'Europe comme témoin de l'histoire de la flore depuis le retrait glaciaire, mériterait d'être préservée intégralement et, ainsi que l'a dit J.L. RICHARD (1978) pour un cas semblable en Suisse : « Toute modification artificielle du régime du torrent ou toute augmentation de la pression anthropogène (installations touristiques même modestes) risquerait de faire disparaître des milieux devenus rarissimes dans toute la chaîne des Alpes, de même que les organismes (reliques boréo-arctiques) qui leur sont liés ».

Comme d'autres sociétés d'espèces glaciaires des lieux humides, elle atteint son maximum de développement et d'intérêt les années à végétation précoce. Lors des années tardives quelques espèces importantes peuvent passer inaperçues même vers la fin de l'été.

Selaginella selaginoides (L.) Link.
Equisetum variegatum Schl.
Koeleria reuteri Rony.
Kobresia simpliciuscula (Wahl.) Mack.
Carex rupestris All. ici comme à la Sas-
 sière en milieu humide !
Carex microglochîn Wahl.
Carex juncifolia All.
Carex bicolor All.
Carex nigra (L.) Reich.
Carex flava L.
Carex frigida All.
Carex capillaris L.
Scirpus alpinum Schl.
Trichophorum caespitosum L.
Eriophorum angustifolium Roth.

Triglochîn palustre L.
Juncus alpino-articulatus Chaix.
Tofieldia calyculata (L.) Wahl. et variété
ramosa gaud.
Tofieldia pusilla (Michx.) Pers. rare ici.
Salix reticulata L.
Salix herbacea L.
Salix retusa L.
Salix serpyllifolia Scot.
Salix foetida Willd.
Polygonum viviparum. L.
Arabis soyeri Reuter et Huetl.
Saxifraga aizoides L.
Parnassia palustris
Oxytropis gaudini Bunge.
Oxytropis lapponica (Wahl.) rare.

Primula farinosa L. J. Gay.
Pedicularis gyroflexa Will.
Pedicularis kernerii DT.
Pinguicula alpina, L.
Gentiana nivalis L. et var. pentamère.
Gentianella tenella (Rothb.) C. Boern.
Artemisia borealis Pall. pas rare dans les parties plus sèches au milieu du Prariond.

Vers le fond du Val Prariond

Koeleria reuteri Romy.
Androsace carnea L.
Pedicularis rosea Wulf.
Achillea herba-rotta All. var *genuina* Heimerl et var. *morisiana* Reichb.
Achillea nana L. var. *laxiuscula* Heim. taxon bien différencié, en voie d'extinction.
Artemisia borealis Pall. pas rare.
Artemisia mutellina Vill.
Artemisia genipii Web.
Artemisia pampanini rarissime.

Vers le col de la Galise et au col.

Iberis ssp.
Eritrichum nanum. (Amann.) Schrad.
Gentiana bavarica L. var. *subacaulis* Schl. et var. *hemaxère*.
Campanula cenisia L.

Val Prariond rive gauche du torrent et pentes tournées vers le nord (Les Dailles)

Selaginella selaginoides (L.) Link.
Equisetum variegatum Schl.
Molinia coerulea (L.) Moench.
Kobresia simpliciuscula (Wahl.) Mack.
Carex davalliana Sm.
Carex parviflora Host.
Carex ferruginea Scop.

Carex frigida All.
Carex sempervirens Vill.
Carex liparocarpos Gaud.
Trichophorum coespitosum L.
Eriophorum augustifolium Robb.
Salix caesia Vill.
Salix foetida Willd.
Juncus triglumis L.
Pedicularis kernerii DT.
Saussurea alpina (L.) DC.

Revers du Prariond et Plan des gentianes

Selaginella selaginoides (L.) Link.
Equisetum variegatum Schl.
Kobresia simpliciuscula (Wahl.) Mack. très localisé.
Carex rupestris All.
Carex bicolor All. très localisé
Carex capillaris L.
Carex atrofusca Schkuhr. peu abondant, très localisé.
Carex ornithopodioides Hausm. rare.
Juncus triglumis L.
Anemone baldensis Turra
Callianthemum coriandrifolium (Barrelier) Rehb.
Draba dubia Suter.
Arabis caerulea (All.) Haenke.
Bupleurum ranunculoides L.
Veronica allionii Vill.
Pedicularis rosea Wulf.
Gentiana verna L. et var. *aestivalis*. (variété rare à cette altitude).
Gentiana schleicheri (Vaccari) Kunz et var. *hexamère*, rare.
Gentiana ambigua Hayek. Très rare.
Gentianella tenella (Rottb.) C. Boern.
Valeriana celtica L. ssp. *pennina* Vier.
Leontopodium alpinum Cass.
Gnaphalium hoppeanum Koch.
Artemisia genipii Koch.
Leontodon montanus Lam.
Crepis rhaetica Heget. très rare ici.

Il est possible que quelques plantes intéressantes aient pu échapper aux recherches menées depuis plusieurs décennies dans le territoire ici concerné, ainsi que tend à le prouver les découvertes encore récentes de *Carex atrofusca* et *Valeriana celtica* espèces très rares et nouvelles pour la Tarentaise. On notera que parmi les plantes citées dans cette très riche recension certaines n'existent probablement en France que dans la Haute-Tarentaise et la Haute-Maurienne. C'est sans doute le cas pour *Sesleria ovata*, *Cortusa matthioli*, *Pedicularis*

recutita. D'autres plantes sont très rares même pour l'ensemble des Alpes, on peut citer à cet égard *Carex atrofusca*, *Cortusa matthioli*, *Valeriana celtica* ssp. *pennina*, *Androsace alpina* var. *atropurpurea*, *Asperula aristata* ssp. *jordani*, *Achillea nana* var. *luxiuscula* et les hybrides *Gentiana ambigua* et *Artemisia pampanini*.

III - LES GROUPEMENTS VÉGÉTAUX

Les altitudes étant supérieures à 2 050 m (Pont Saint-Charles), les groupements végétaux sont entièrement supraforestiers et correspondent à la partie supérieure de l'étage subalpin, à l'étage alpin (pour la plus grande part) et à l'étage nival.

A) ÉTAGE SUBALPIN

Il se limite aux gorges de Malpasset et à la base de l'adret du Val Prariond et n'est donc que très faiblement représenté. Les groupements végétaux correspondants peuvent être rattachés :

- aux landes à Rhododendron (*Rhododendro-Vaccinietum*) en mosaïque avec des pelouses à nard raide tout au long de la route de l'Iseran du Pont Saint-Charles jusqu'au virage 2 225 m tout en notant que le substrat principalement constitué par des schistes lustrés imprime une note calciphile en beaucoup d'endroits. D'une très grande diversité floristique, ces groupements présentent des couleurs très chatoyantes au début de juillet alors qu'à la floraison des rhododendrons viennent s'ajouter les teintes vives des pulsatilles, pédiculaires, biscutelles. Ces groupements sont relayés en altitude, vers 2 200 m par :

- les landines à airelle des marais (*Nardo-Vaccinietum* (3)) qui font la transition avec l'étage alpin et qui sont marquées par un très fort contingent d'espèces acidophiles ;

- aux pelouses à séslerie (*Semperviro-Seslerietum*) qui seront étudiées plus spécialement dans l'étage alpin mais présentant parfois des faciès particuliers comme au sommet des Dailles (2 268) où l'on trouve en abondance *Thalictrum minus* ;

- aux pelouses à fétuque violacée et gentiane des champs (*Gentianello-Festucetum*) sur les sols plus évolués avec *Centaurea nervosa* souvent très abondante ;

- aux bords de ruisseau à saule fétide comme en-dessous des Saunières derrière.

(3) La nomenclature adoptée est celle du mémoire de P. GENSAC (1979) sur les pelouses supraforestières de Vanoise.

B) ÉTAGE ALPIN

La présence des carbonates dans le substrat étant pratiquement constante la seule série représentée est la série baso-neutrophile de *Elyna myosuroides*. Ce n'est que sur les roches vertes (d'une grande richesse en Ca^{2+} au départ) qu'une évolution plus poussée peut permettre, en de rares points, d'atteindre des groupements de la série acidophile à *Carex curvula*, comme sur les pointements du talweg du Niollet où se trouve un ensemble fragmentaire pouvant être attribué au *Festuco-Curvuletum juncetosum trifidi* (encore faudrait-il vérifier la composition minéralogique de ces pointements).

L'abondance des schistes lustrés fait très largement dominer sur le territoire considéré le faciès sur calcschistes, le faciès sur calcaire n'étant représenté que dans le Val Prariond.

1. Faciès sur calcschistes

Les pelouses de ce faciès paraissent très différentes suivant l'exposition. Sur les ubacs, ce sont les pelouses à élyne et carex de Rosa (*Rosaeo-Elynetum*) qui dominent alors que les adrets sont occupés par celles à fétuque violacée et potentille dorée (*Potentillo-Festucetum*). A ces pelouses représentant le type moyen terminal (climacique ?) viennent s'ajouter, là où un facteur écologique devient prédominant, des associations spécialisées.

a) mode humide : pelouse à élyne et carex de Rosa

L'orientation du vallon de l'Iseran favorise l'extension de ce type de pelouse dont les grands caractères ont été définis dans les travaux précédents (GENSAC, 1977 et 1979), la plupart des relevés, alors utilisés ayant été dressés dans la région actuellement étudiée.

Il s'agit d'un groupement principalement localisé dans l'alpin supérieur de 2 600 à 2 800 m, en sommet de croupe, ou en exposition nord. On y relève une forte dominance de *Carex rosae*, que les caractères morphologiques et écologiques nous font complètement séparer de *Carex curvula*. Les espèces acidophiles, dont *Festuca halleri* constitue le chef de file, sont largement représentées ainsi que les chamaephytes en coussins, *Silene exscapa* et *Minuartia sedoides*. Aux espèces communes à ces altitudes viennent se joindre au niveau du col un certain nombre d'espèces pouvant être qualifiées de nivales dont *Trisetum spicatum* et *Saxifraga muscoïdes*, accompagnées d'arctico-alpines comme *Juncus triglumis*, *Carex bicolor* et surtout *Carex juncifolia* (= *C. incurva*) qui confèrent à ce groupement un très grand intérêt floristique. Sa stabilité a permis l'installation et la conservation d'espèces rares, reliques de l'époque glaciaire, l'ouverture découlant des aménagements risquant d'y provoquer de profonds remaniements très préjudiciables à la conservation de la flore.

b) mode sec : pelouse à fétuque violacée et potentille dorée

La rareté des expositions au sud dans le vallon de l'Iseran explique la faible extension de ces pelouses relativement héliophiles. On ne les rencontre effectivement qu'à la faveur du talweg secondaire dû au torrent descendant du Signal de l'Iseran et sur le versant sud du col au voisinage du lac de Cema.

La composition floristique de cet ensemble est assez banale et on peut rapprocher ce groupement du *Festuco-Trifolietum thalii* décrit tout le long de la chaîne des Alpes, le substrat rapidement décarbonaté en surface favorisant la présence des espèces acidophiles au détriment des basophiles.

La pelouse à fétuque violacée et à gentiane des champs s'installe dans des conditions plus thermophiles et montrent souvent des traces de pâturage; on la rencontre particulièrement dans le Val Prariond dans la partie inférieure de la remontée au col de la Galise.

c) les associations spécialisées

- Pâturages

Le pâturage a surtout transformé les pelouses de l'alpin inférieur entre 2 400 et 2 600 m en un groupement à trèfle alpin et plantain alpin, où souvent le jonc de Jacquin est dominant, (*Plantago-Trifolietum juncetosum jacquini*), que l'on rencontre principalement à l'entrée du vallon de l'Iseran et à la base du Revers du Prariond. Le sol décarbonaté et acidifié y favorise les espèces acidophiles du Nardion et donc une flore assez banale. Parmi ces espèces, *Avenochloa versicolor* a fréquemment des recouvrements importants.

- Combes à neige

On les trouve en mosaïque avec les pelouses à élyne et carex de Rosa et leur distinction au moment du report cartographique est souvent difficile.

Le groupement à saule rétuse et élyne riche en soldanelle alpine (*Elyno-Salicetum soldanelletosum*) se développe sur tout le revers du Prariond. Il est installé sur les pentes relativement fortes soumises à la solifluxion. Son sol très grossier laisse apparaître de nombreux cailloux et graviers en surface. Le renouvellement constant des horizons superficiels permet le maintien d'un pH élevé, si bien que seules les espèces basophiles d'ubac sont bien représentées. La présence de ce groupement révèle l'existence d'une pente instable, toute intervention humaine risquant d'y provoquer une catastrophe.

Les combes à neige où le manteau nival persiste le plus longtemps sont occupées par les pelouses à saule herbacé riches en paturin alpin (*Salicetum herbaceae poetosum*) ou riches en carex à petites fleurs (*Sal. herb. caricetosum parviflorae*). Ces groupements se distinguent nettement des combes à neige typiques par la présence d'espèces mésophiles, et même par quelques basophiles dues à la cryoturbation sur fond plat ou à la solifluxion sur pentes peu accentuées. Ces groupements très caractéristiques de l'étage alpin présentent un sol gorgé d'eau en été, leur stabilité risque donc d'être fortement compromise par une intervention humaine. Ils peuvent présenter des espèces peu

fréquentes comme *Saxifraga muscoides* et surtout *Potentilla brauniana* (= *P. minima*) présente sous le col de la Baillette.

Le groupement à vulpin de Gérard et saule herbacé (*Salici-Alopecuretum*) se trouve sur les pentes d'exposition N dans le vallon de l'Iseran et sous les Plates du Vallonnet. L'absence de solifluxion favorisant l'évolution du sol, celui-ci s'acidifie ce qui entraîne un enrichissement en espèces du Nardion et donc une banalisation.

Le groupement à vulpin de Gérard et renoncules (*Ranunculo-Alopecuretum*) se situe en exposition intermédiaire jusqu'en exposition S comme sous les Barmes du Val Prariond, fréquemment en position de bas de pente donc de colluvionnement. La composition floristique est surtout marquée par un riche cortège d'espèces acidophiles avec en abondance *Ranunculus montanus* qui supplée souvent à l'absence de *Ranunculus pyreneus*.

- Croupes ventées

Sur le sommet des croupes correspondant vraisemblablement à des moraines anciennes s'installent des pelouses dominées par *Elyna myosuroides* et marquées par l'abondance des lichens (*Cetraria islandica*, *Cladonia* div., etc...), ce sont les groupements à élyne et cétrarie. Sur les schistes lustrés du vallon de l'Iseran, ces groupements sont encore très riches en calcicoles malgré un sol très acidifié si bien que les stations présentent une grande diversité. Le sol est alors riche en matière organique, signe d'une longue évolution et il est vraisemblable que dans de telles conditions la cicatrisation à la suite d'une intervention humaine soit très longue.

Sur roches vertes, l'acidification est davantage poussée et on parvient à des groupements à avoine versicolore et élyne comme sur la Tête de Bouc du Val Prariond, où les espèces basophiles sont complètement absentes.

Il faut également signaler l'extrême rareté des groupements à loiseleurie dans la région étudiée, cette espèce ayant été rencontrée en peuplement dense à l'entrée du vallon de l'Iseran sur le versant est, dans une portion soumise aux vents du N. On la rencontre également en mosaïque dans les groupements de solifluxion à saule rétuse et élyne du Val Prariond.

2. Faciès sur calcaire

On le rencontre uniquement dans le Val Prariond où il est surtout représenté par des groupements d'adret. Ce sont principalement des calcaires dolomitiques qui lui servent de substrat, les gypses et cargneules étant strictement limités à des gorges le long des ruisseaux du Léchoir et du Niolet et à des pointements comme dans le vallon suspendu de Rhône-Calabre.

a) mode humide : pelouse à élyne et minuartie printanière (*Minuartio-Elynetum*).

Il s'agit du groupement le plus proche de l'*Elynetum medio-europeaeum* décrit par BRAUN-BLANQUET. Il se distingue du *Rosaeo-Elynetum* par une moindre abondance de *Carex rosae*, et par l'importance des espèces calcicoles :

Sesleria varia, *Minuartia verna*, *Pedicularis verticillata*. Le sol décarbonaté en surface permet l'installation de quelques acidophiles comme *Avenochloa versicolor*. Ce groupement occupe d'assez grandes surfaces dans le vallon du Niolet sur la rive droite ainsi que sur le revers du Prariond, de part et d'autre du ruisseau du Léchoir. Il présente une grande diversité floristique et il peut abriter, comme espèce rare, *Chamorchis alpina*.

b) mode sec

Les pentes trop fortes ne permettent pas l'installation du *Seslerio-Elynetum* qui correspond aux groupements terminaux du mode sec sur calcaire, seul subsiste donc la pelouse en gradin à sésliérie et carex toujours vert (*Semperviro-Seslerietum*) voisin de la sous-association *typicum* décrite dans les Grisons, passant en altitude au groupement à sésliérie et carex de Rosa.

c) les associations spécialisées

– Pâturages

Ils sont également réduits à cause de la pente. On peut en rencontrer quelques surfaces correspondant à la pelouse à fétuque violacée et à gentiane des champs.

– Combes à neige

Elles appartiennent au groupement à élyne et saule rétuse riche en saule réticulé (*Elyno-Salicetum reticuletosum*) très proche du *Salicetum retuso-reticulatae*, mais s'en distinguant par l'absence complète d'espèces des *Salicetea herbaceae*. Il s'agit d'un groupement occupant les prairies calcaires longuement enneigées, principalement en exposition nord et dont on rencontre un échantillon remarquable dans le vallon de l'Iseran, en face de la pyramide du bas ainsi qu'en plusieurs endroits du Revers du Prariond. D'une grande diversité spécifique, il peut abriter des espèces rares, mais dans la région étudiée, *Carex ornothopodioides* n'a pas encore été trouvé. Ses conditions d'installation sont très strictes et donc très fragiles.

On ne rencontre pas de groupements anémophiles particulier, mais on peut signaler le grand intérêt de la mosaïque karstique des Plats du Vallonnet, grand plateau en faible pente où, au milieu des surfaces dénudées des affleurements calcaires se trouvent des plaques herbacées correspondant au *Minuartio-Elynetum* mélangées à d'infimes parcelles pouvant être rattachées au *Caricion bicolorie-atrofuscae*, leur extrême rareté interdisant toute cartographie précise.

C) ÉTAGE NIVAL

En s'élevant en altitude, on assiste à un morcellement progressif des groupements précédents de pelouses qui ne persistent plus qu'à l'état de lambeaux au milieu des éboulis et des rochers. On atteint alors l'étage nival bien marqué dans le paysage par la permanence des névés. Sur la carte ont été

figurés les névés persistant le 26 août 1970, date de prise de vue d'une mission de photographies aériennes correspondant bien à un état moyen des névés dans la région. La limite se situe vers 2 600 m sur les pentes menant au col de la Galise qui sont bien exposées aux vents d'ouest porteurs de neige. Dans le vallon de l'Iseran elle se trouve au niveau du col soit vers 2 750 m, la violence des vents provoquant une répartition très inégale. Sur le Revers du Prariond, elle se situe vers 2 800 m.

1. Les rochers calcaires

Les gorges de Malpasset constituent un terrain de choix pour leur étude. On peut y noter à côté de *Potentilla caulescens* la présence d'un grand nombre d'espèces habituellement présentes dans les rochers calcaires : *Saxifraga caesia*, *Athamanta cretensis*, *Saxifraga oppositifolia*, *Globularia cordifolia* auxquelles s'ajoutent *Artemisia glacialis* et *Viola pinnata*. Il est vraisemblable qu'une étude approfondie des escarpements qui vont du rocher du Charbon au col de Rhône Calabre livrerait une liste très complète des espèces caractéristiques des rochers calcaires.

2. Les rochers et éboulis de schistes lustrés

Les calcschistes sont facilement délittables si bien qu'il est difficile d'y distinguer une flore particulière aux rochers. Cette propriété permet un passage rapide de la terre fine ce qui favorise une installation rapide d'une pelouse à séslerié. Cette évolution a été étudiée dans la réserve de la Grande Sassièr (GENSAC et ROTHE, 1974). Les espèces les plus fréquentes sont : *Saxifraga oppositifolia*, *S. muscoides*, *Cerastium latifolium*, *Sedum atratum*, *Silene exscapa*, *Draba dubia* et *Petrocallis pyrenaica*, cette dernière espèce abondante dans la région de l'Iseran, étant beaucoup plus rare dans les portions plus occidentales du Parc National de la Vanoise. Au niveau des crêtes et des cols, en particulier le long de la ligne frontière entre le col de la Galise et le col de la Vache d'accès assez facile, on note fréquemment la présence d'espèces liées aux hautes altitudes comme *Trisetum spicatum*, *Artemisia genipi*, *Achillea nana*, *Herniaria alpina*, *Campanula cenisia*.

3. Les moraines jeunes

L'ensemble de la région a été affecté par les phénomènes glaciaires. Sur les moraines les plus anciennes, l'évolution pédologique a permis l'installation de pelouse, alors que sur les moraines récentes vestiges du « petit glaciaire » du siècle dernier (1850) la colonisation est encore très fragmentaire et en reste au stade d'une flore d'éboulis. Les espèces caractéristiques les plus fréquentes restent *Saxifraga oppositifolia* et *Linaria alpina* alors que *Saxifraga biflora*, *Cerastium latifolium*, *Campanula cenisia*, *Artemisia genipi* et *Trisetum spicatum* constituent leur cortège habituel. Les moraines où les roches vertes prédominent, présentent les mêmes espèces, on peut cependant y remarquer une abondance plus grande de *Saxifraga bryoides*, espèce acidiphile.

D) HYDROSERIES

L'eau peut être le facteur déterminant d'un certain nombre de groupements végétaux, soit qu'elle en imprègne le sol de façon permanente, c'est le cas des marécages ou des sources, soit que l'irrégularité de son régime provoque une sévère sélection des espèces végétales, c'est le cas des glières, groupements des rives de torrents ou des cônes torrentiels.

1. Les marécages

La présence de carbonates de calcium dans la plupart des substrats font dominer un type de marécage alcalin appartenant au *Caricion davallianae*, c'est le cas du Plan des Nettes, de l'aval du Prariond et du petit marécage du Plan des Gentianes. Les espèces constantes sont *Equisetum variegatum*, *Juncus triglumis*, *Carex frigida*.

2. Les sources

Plusieurs niveaux de sources se situent dans le vallon de l'Iseran et le Val Prariond, les espèces dominantes étant *Saxifraga aizoides* et *Arabis soyeri*.

3. Les éboulis suintants et les bords de torrents d'altitude

Les schistes lustrés, par la rapidité avec laquelle ils libèrent de la terre fine, favorisent l'existence de zones constamment humides alimentées par la fonte des neiges ou la proximité d'un ruisseau. Ces zones humides, à végétation très éparse sont caractérisées par la présence de *Saxifraga stellaris*, *Ranunculus glacialis*, *Arabis soyeri* auxquelles viennent se joindre rapidement des espèces plus communes comme *Poa alpina*, *Saxifraga oppositifolia* et *Taraxacum alpinum*.

4. Les glières, groupements ripicoles des torrents

L'ombilic du Val Prariond a permis l'installation d'un vaste champ où le torrent peut divaguer d'une année sur l'autre. Le substrat est donc très grossier, soumis à des phases d'immersion à la fonte des neiges, d'humectation au voisinage des bras temporaires, de sécheresse loin de ces sources d'humidité à cause de l'extrême facilité de filtration. Les bords du torrent sont marqués par l'abondance de *Saxifraga aizoides* et *Arabis soyeri*, alors que les chenaux temporaires sont bordés par *Salix foetida*, *Carex foetida* et même *Dryas octopetala*, les parties centrales et sèches des îlots étant fixées par *Epilobium fleischeri*, en mélange avec *Artemisia borealis*, *Campanula cenisia*, *Oxytropis gaudini*,

Achillea nana, Linaria alpina, Gypsophila repens, Trifolium thalii, Doronicum grandiflorum.

IV - LES MESURES DE PROTECTION POUR LA FLORE

Il semble important de définir des mesures diversifiées en fonction de l'objectif à atteindre. Des zones méritent des *mesures très restrictives*, fonction de la rareté des espèces qu'elles abritent et du grand intérêt des groupements végétaux qui y sont installés. Ce sont des zones où toute altération du milieu risque de créer des perturbations telles que les espèces ou groupements disparaîtraient à plus ou moins brève échéance. Il faut se garder d'y intervenir et, si possible, veiller à ce que les visiteurs (pédestres) éventuels ne puissent causer des dégâts, quitte à la canaliser sur des sentiers évitant les zones trop sensibles.

Ces zones à protection rigoureuses sont :

1. Le col de l'Iseran qui comporte un grand nombre d'espèces rares et où il convient dans l'immédiat de limiter le parcage des voitures aux espaces déjà aménagés à cet objet.

2. Le vallon de l'Iseran sur sa rive gauche face à la pyramide 2 510 m pour les groupements et les espèces qui s'y trouvent.

3. Les Plates du Vallonnet d'un intérêt exceptionnel comme étendue karstifiée et présentant des groupements relictuels.

4. La partie aval de l'ombilic de Prariond pour les espèces rares des marécages d'altitude.

5. Le secteur Col de la Bailletta-Plan des Nettes pour la flore des rochers et éboulis calcaires, des atterrissements de lac d'altitude, des pelouses situées à la limite de l'étage nival.

A côté de ces zones à protection maximum, des secteurs méritent une *protection moins rigoureuse*, mais cependant suffisante pour en respecter autant que possible les biotopes. Il s'agit de zones où la flore caractéristique de la haute montagne présente une grande variété si bien qu'elle peut servir d'exemple pour une sensibilisation dans le domaine de la floristique et de la phytosociologie de la zone alpine. Les aménagements doivent donc y être très discrets et, en particulier, le sol doit être respecté, les sentiers, en nombre limité, devront s'efforcer d'éviter les risques d'éparpillement et de piétinement des groupements végétaux.

Ces zones d'intérêt pédagogique à protection limitée pourraient être dans le même ordre géographique que précédemment.

1. Le versant oriental de la pointe des Lessières, chemin d'accès depuis le col de l'Iseran où la fréquentation touristique est élevée, zone d'éboulis et de rochers dans les calcschistes.

2. La partie centrale du vallon de l'Iseran, secteur où sont intriqués les différents groupements végétaux de l'alpin supérieur sur calcschistes.

3. Les abords de la table d'orientation dont la flore est très variée et où il conviendrait d'endiguer le flot des visiteurs (sentier écologique ?).

4. Les gorges du Malpasset pour la flore des rochers et éboulis calcaires mélangée à celles des groupements de source.

5. La glière de Prariond où la mosaïque des groupements liés au fonctionnement du torrent est très riche.

6. Les moraines inférieures du glacier des Sources de l'Isère, excellent exemple du peuplement et de la colonisation des moraines.

7. La crête frontière du Grand Cocor entre le col de la Galise pour les groupements de rochers et d'éboulis au niveau de l'étage nival.

Enfin des secteurs méritent des mesures de protection à cause de l'instabilité de leur sol le plus souvent imbibé d'eau et soumis à la cryoturbation et la solifluxion.

Ces **zones instables** où tout aménagement doit être précédé d'une étude très sérieuse des risques de glissement de terrain sont principalement localisées.

1. Au niveau de Grand Plan dans le vallon de l'Iseran.

2. A la base du Revers du Prariond.

Ce zonage botanique très incomplet ne recouvre pas les zones d'intérêt paysager et on sait qu'elles sont nombreuses en montagne ainsi que les secteurs indispensables à un bon état de la faune.

Tout zonage voulant délimiter des secteurs, où des mesures de protection sont indispensables, présente le risque d'un trop grand développement des aménagements en dehors. Il ne faut cependant pas oublier que dans le grand écosystème que constitue la haute montagne, toutes les facettes écologiques dépendent les unes des autres et qu'il ne suffit pas de garder certaines d'entre elles intactes pour que l'ensemble du diamant garde toute sa valeur.

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE

- BALSEINTE (R.), 1966. — *Climats montagnards et stations climatiques d'altitude en France*. Thèse Grenoble, 523 p.
- BRAUN-BLANQUET (J.), 1954. — La végétation alpine et nivale des Alpes françaises in *Etude botanique de l'étage alpin. VIII^e Congr. Int. Bot. Paris*, 26-96, Bayeux. R. Colas et SIGMA, Montpellier, Comm. n° 125, 96 p.
- GENSAC (P.), 1977. — Sols et groupements végétaux de la zone des schistes lustrés dans l'étage alpin (Combe de l'Iseran — Val Prariond). *Trav. sci. Parc nation. Vanoise*, VIII, 29-40.
- GENSAC (P.), 1979. — Les pelouses supraforestières du massif de la Vanoise. Contribution à l'inventaire et à l'étude écologique des groupements végétaux du Parc National de la Vanoise. *Trav. sci. Parc nation. Vanoise*, X, 111-243.

- GENSAC (P.) et ROTHÉ (B.). - Carte de la végétation de la réserve de la Grande Sassièrè.
Trav. sci. Parc nation. Vanoise, V, 77-103.
- NIEMEYER (H.), 1979. - Contribution à l'étude géologique de la haute-vallée de Tarentaise entre les massifs de Vanoise et du Grand-Paradis, région de Val d'Isère, Alpes graies, Alpes franco-italiennes. Thèse de spécialité, Paris VI, 175 p.
- RICHARD (J.L.), 1978. - La végétation du Haut Val de Rechy. *Bull. de la Murith.* 95, 3-8.
- RICHARD (J.L.), 1981. - *l'Artemisiето-Saxifragetum muscoidis*, une association de l'étage nival des Alpes centrales. *Bull. Soc. neuch. de Sc. nat.*, 104, 119-129.

(Reçu pour publication, février 1982)

Durant l'été 1982, la Société des remontées mécaniques de Val d'Isère a procédé à l'installation d'une télécabine dans l'axe du vallon de l'Iseran. Ces travaux ont dénaturé en grande partie le site, en particulier au niveau du col (zone A de la carte fig. 2). A la suite des réactions officielles, des mesures compensatoires ont été votées par le Conseil municipal; celles-ci n'ont pas été suivies d'effets à la date de parution de cet article, alors que les travaux de réhabilitation sont en cours sur le site.

ÉTUDE DES POTENTIALITÉS ÉCONOMIQUES DE LA CULTURE DES PLANTES MÉDICINALES EN SAVOIE (FRANCE)

par Robert FRITSCH (1)

I.	- Le marché des plantes médicinales en France	152
II.	- Les cultures extra-départementales	153
III.	- Les espèces compétitives préconisées pour le département	155
IV.	- L'information locale en milieu montagnard	156
V.	- Les banques de graines et de replants	157

Lors de sa session du 13 juin 1978, le Conseil d'Administration du Parc National de la Vanoise, confiait au titulaire de ce rapport la charge d'une étude, autour du Parc de la Vanoise, des potentialités économiques de la culture des plantes médicinales.

Les termes du contrat définissaient eux-mêmes l'objet, l'étendue et les limites de l'investigation, sur un terrain vierge d'une telle approche jusqu'à nos jours. Il s'agit donc d'une innovation dans l'esprit du Parc, soucieux de l'intérêt économique des populations riveraines, en même temps que d'un sondage dont l'issue ne dépend pas seulement de la proposition mais, en dernier ressort, de la prise en charge par la population.

L'étude, durant quatre ans, a porté

- sur l'éventail de la demande sur le marché français des plantes médicinales;
- les cultures extra-départementales pouvant entrer en concurrence;
- les espèces compétitives propres au département;
- l'information locale sur la question;
- l'amorce d'une banque de graines ou de replants en vue des fournitures.

(1) Centre privé d'Enseignement horticole « Le Bocage », 339, rue Costa de Beauregard - 73000 Chambéry.

I. - LE MARCHÉ DES PLANTES MÉDICINALES EN FRANCE

La consommation française des plantes médicinales, du fait de la demande thérapeutique en même temps que de l'herboristerie, n'a fait que s'accroître d'une manière accélérée pendant la dernière décennie. En 1970 la demande s'élevait à 15 000 tonnes, en 1978 elle en atteignait 25 000.

Le volume des plantes utilisées ne provient pas cependant d'un apport uniquement national. En plus des espèces exotiques, beaucoup de plantes indigènes jadis élevées ou récoltées en France sont aujourd'hui importées, tributaires de la main-d'œuvre à meilleur marché des pays méditerranéens ou du dumping pratiqué par certains pays de l'Est (Hongrie, Roumanie, Pologne, Yougoslavie). Les deux tiers de la consommation de 1976 provenaient ainsi de l'extérieur (14 000 tonnes d'importations d'une valeur totale de 126 millions de francs environ, contre 3 000 tonnes d'exportations d'une valeur de 15 millions de francs).

En fait, la couverture quasi totale de la consommation française serait possible, avec un contrôle plus serré de la qualité et du marché interne : 28 % des espèces importées sont productibles immédiatement en France par une culture aménagée, et 34 % sont ramassables dans l'hexagone; chez les exotiques, le tiers même pourrait être acclimaté en métropole, en réduisant ainsi le chiffre d'importation jusqu'à 15 %.

La notion de qualité, devant la demande pharmaceutique, joue de plus en plus chez les espèces. Des organismes de contrôle, comme l'Association française de normalisation (Afnor), se consacrent à la diffusion de fiches signalétiques pour les plantes aromatiques et les épices. Mais un facteur important leur échappe, touchant à la qualité physique et chimique des espèces récoltées. La digitale cultivée ne produit pas la même teneur en essence que la plante sauvage, et les thymys ne se valent pas tous dans l'exagone : ceux de type géraniole ou de type linalol sont pratiquement impropres à la consommation, de même que la Menthe citronnée (forme aromatique de la Menthe hybride dite poivrée) pourtant recommandée dans nombre de « Livres de bonnes herbes ». La cueillette à l'état sauvage de ces plantes ne peut tenir compte de ces variations chimiques, alors qu'une forme éprouvée mise en culture présente un intérêt évident. Le contrôle de la matière première s'avère donc nécessaire à différents niveaux (maîtrise de la souche sélectionnée au niveau de la culture; contrôle des composants par l'industrie galénique).

Le circuit des plantes du producteur au consommateur se présente, comme dans le domaine agricole, avec une chaîne de commercialisation. Les plantes récoltées en culture (cultivateurs) ou à l'état sauvage (ramasseurs) sont stockées au niveau local en coopératives ou chez des collecteurs, puis centralisées au niveau régional chez des négociants ou herboristes en gros qui les livrent à l'industrie de transformation et de conditionnement (distilleries, laboratoires pharmaceutiques, confectionneurs de mélanges ou de sachets-doses, etc.). Celle-ci, par des intermédiaires et détaillants (herboristes, officines, etc.),

les distribue aux consommateurs. Dans cette chaîne, la seule réglementation se révèle au niveau de la vente au public, dans un but de protection de la santé, alors que les transactions intermédiaires échappent presque entièrement au contrôle. Dans ces conditions, en ce qui touche la qualité, on ne peut absolument pas se fier aux facteurs déterminants que sont la provenance, la date de récolte, les méthodes de culture ou de cueillette, la durée de stockage.

La demande française est suffisamment diversifiée de nos jours pour justifier une production en pleine expansion. L'herboristerie écoule principalement les plantes en l'état, c'est-à-dire séchées, soit seules, soit en mélange. Les cinq plantes classiques à infusion : camomille, tilleul, menthe, verveine, feuille d'oranger, relèvent de cette catégorie, ainsi que l'hysope, la mauve, la pensée sauvage, la mélisse, la saponaire. D'autres industries utilisent les plantes pour extraits, soit en vue d'obtenir des jus, par broyage et centrifugation, soit pour récupérer les essences par distillation, à la demande de la parfumerie et de l'aromathérapie. L'homéopathie fait également appel aux extraits secs ou alcooliques, et la cosmétologie aux macérations et filtrations. L'industrie pharmaceutique est de nos jours la plus exigeante, par l'emploi des principes actifs d'origine végétale (colchicine, digitaline), non toujours concurrencés par la synthèse chimique.

La production des plantes médicinales et aromatiques, qu'elles soient toxiques ou non, est libre en France, et non soumise à un monopole de l'Etat. Seule l'utilisation de vente au détail est interdite, la livraison devant passer par un négociant ou un laboratoire pharmaceutique. La culture relève du régime agricole, en matière d'assurances sociales comme de la déclaration de revenus. De même la cueillette sur terres n'appartenant pas au ramasseur, si elle dépasse en quantité l'usage personnel, relève du droit agricole (cotisation aux assurances, déclaration des revenus). En pharmacopée, plantes et drogues sont classées par le Codex en différents tableaux : A = substances toxiques (colchique, aconit, etc.), B = stupéfiants (pavot, cannabis), C = substances dangereuses (Lobellia, Adonis, etc.); la vente de ces plantes, strictement réglementée et délivrée sur ordonnance, relève de la seule officine du pharmacien. On comptait en France, en 1978, 18 300 pharmaciens d'officine, pouvant posséder et vendre la totalité des espèces médicinales, tandis que les herboristes, tombés au chiffre de 350, sont privés de la vente des espèces du Codex.

II. - LES CULTURES EXTRA-DÉPARTEMENTALES

Pour mieux cerner le problème local de la production des plantes médicinales, il convient d'examiner les chaînes de production déjà existantes ailleurs.

Plusieurs régions se sont consacrées en France à la culture ou au ramassage. Les trois plus actives sont :

1 - la région de Chemillé, dans le Maine-et-Loire, qui compte un millier de producteurs et de ramasseurs, souvent occasionnels. Les principales

productions sont la Camomille romaine (*Anthemis nobilis*) exigeant, de préférence, le climat atlantique, la Menthe poivrée (variété de Maine-et-Loire), la Digitale laineuse (*Digitalis lanata*), l'Artichaut feuille, le Frêne feuille, etc. Une coopérative centralise les récoltes d'une centaine de producteurs.

2 - la région de Milly-la-Forêt (2), dans l'Essonne, dont le nombre de producteurs a baissé depuis les années 60, mais dont le chiffre d'affaires est toujours important. On cultive la menthe (*Mentha piperita* L. variété Mitcham de Milly), le fenouil, la petite absinthe (*Artemisia pontica*), l'angélique (*Angelica archangelica*, non sauvage en France). La région s'oriente de plus en plus vers les plantes condimentaires : persil, cerfeuil, estragon...

3 - la région du Sud-Est, depuis la Drôme jusqu'en Provence. La production est orientée principalement vers les plantes aromatiques : fenouil, thym, romarin, sarriette, sauge sclarée, sauge officinale, anis vert (*Pimpinella anisum* L.), tilleul (à Buis-les-Baronnies).

La région rhônalpine s'est mise de son côté à produire des plantes médicinales. Le secteur de Morestel, dans l'Isère septentrionale, cultive la menthe, la sauge, le carvi (*Carum carvi*), et en Haute-Savoie on pratique le ramassage de la feuille de frêne, dont plus de 100 tonnes sont récoltées annuellement en comptant les cueillettes du Maine-et-Loire.

La région lyonnaise s'est spécialisée dans le traitement industriel des plantes (industrie galénique) ou la commercialisation des espèces pharmaceutiques (3).

Au terme de cette étude régionale, et vue la concurrence étrangère pour les espèces communément cultivées en plaine ou à basse altitude en France, nous pensons qu'il vaut mieux se tourner vers un matériel plus spécifiquement régional, en l'espèce des niveaux montagnard et alpin, qui excluerait par conséquent les espèces précitées comme la menthe, la sauge, le frêne, le tilleul, au profit de plantes moins communes dont la liste fut soumise, en partie, aux entreprises précitées.

(2) Le Syndicat national des producteurs, ramasseurs et collecteurs de plantes médicinales, aromatiques et industrielles (SNPPM) fondé en 1942, possède son Siège à Milly-la-Forêt. Le Service technique de cet organisme, appelé Centre National d'Expérimentation, s'occupe du développement des cultures et publie des comptes-rendus à cet effet (Direction : 4, boulevard du Maréchal Joffre, 91490 Milly-la-Forêt).

(3) - l'Etablissement Gifrer et Barbezat (rue Paul-Bert, 69150 Decines) comptait, en 1978, 440 salariés et un chiffre d'affaires de 67,8 millions de francs. En plus de la transformation des plantes, on y trouve un important département de commerce en gros d'herboristerie.

- la Société Filab S.A., grossiste en herboristerie (Lyon), comptait 120 salariés pour un chiffre d'affaires de 12,7 millions.

- les Etablissements Givaudan-Lavirotte et Cie (50-56, rue Paul Cazeneuve, 69008, Lyon) emploient 130 personnes pour un chiffre d'affaires de 33,3 millions.

- chez Gattefossé (Etablissements Produits chimiques, Bureaux, Usine, Siège social, 36, chemin Genas, 60 800 Saint-Priest) on compte 70 personnes et un chiffre d'affaires de 33,3 millions.

III. - LES ESPÈCES COMPÉTITIVES PRÉCONISÉES POUR LE DÉPARTEMENT

Le relief et les niveaux élevés du département de la Savoie favorisent une flore naturelle d'altitude, montagnarde et alpine, susceptible d'un apport spécifique et original dans l'industrie des plantes aromatiques ou médicinales.

L'industrie traditionnelle des vermouthisers et les liquoristes a déjà prouvé de longue date, malgré son empirisme, l'emploi de nombreuses espèces locales (*Artemisia genepi*, *Artemisia laxa*, *Achillea nana*, *Gentiana lutea*, *Hypericum nummularium*, *Hyssopus officinalis*).

Un contrôle plus rationnel des propriétés chimiques et physiques des plantes permet aujourd'hui d'élargir leur emploi à des fins thérapeutiques dûment contrôlées. Beaucoup de médicaments actuels, très efficaces, font appel soit aux principes anciennement découverts, comme ceux hémostatiques de *Sanguisorba officinalis* ou *Geranium robertianum*, soit aux propriétés nouvellement mises en évidence, comme la piloselline inhibant les agents de la fièvre de Malte.

Dans le choix des plantes particulièrement favorisées en Savoie, en particulier en Maurienne et en Tarentaise, puisque l'étude des potentialités concerne essentiellement ces deux régions, il faut tenir compte cependant des facteurs secondaires limitants, tel que le prix du marché à la récolte. Le cas de l'Armoise absinthe est typique : l'espèce, à laquelle on ne connaît aucun prédateur ou parasite, abonde en Maurienne et Tarentaise internes, où elle monte en pieds luxuriants le long des routes jusque vers 1 700 mètres dans la vallée des Belleville (amenée jusqu'aux Ménuires à l'occasion de leur création), et au-delà de 1 800 mètres en direction du col du Petit-Saint-Bernard. La France est exportatrice de la plante, avec une demande de 50 tonnes par an. Or la récolte nationale dépasse à peine 5 à 6 tonnes : la cause de ce désintérêt est le bas prix du kilogramme de plante sèche, pratiqué 2 à 2,20 francs en 1979.

Il en est de même pour l'Hysope officinal (*Hyssopus officinalis*) dont la Savoie possède quelques peuplements en Haute-Maurienne et ailleurs, sur sol chaud et calcaire. Les besoins français de cette plante s'élèvent de 50 à 70 tonnes par an. Le marché étranger fait également appel à la production française. Mais, depuis quelques années, l'hysope plante est encore moins prisée que l'hysope feuilles achetée au prix de 8 F/kg.

Il faut donc se tourner vers des espèces plus rentables financièrement. Parmi les macrophytes, l'Aconit Napel (*Aconitum napellus*) paraît bien placé. Bien que moins fréquent à l'état spontané qu'en Haute-Savoie, il peut faire l'objet de cultures alignées. La partie utile de la plante concerne non seulement les feuilles, mais également la souche en forme de tubercule charnu, coniforme, à écorce noire. Chaque souche produit d'une année à l'autre de deux à cinq tubercules de remplacement qui produiront des tiges l'année suivante. Les tubercules sont récoltés la troisième ou quatrième année de végétation. Les besoins annuels de la France réclament de 10 à 15 tonnes de racines, à raison de 12 à 14 F le kilo en 1979.

Le Cumin des prés, *Carum carvi* L., élevé de semis, est également rentable. Une culture bien menée fournit jusqu'à 2,5 tonnes de graines à l'hectare. Le rendement moyen est de 1,5 tonne. Les besoins annuels dépassent en France les 50 tonnes de graines, importées jusqu'à nos jours pour la majeure partie, à un prix variant de 4,50 à 12 F.

La Gentiane jaune est à sa place en de nombreux terrains de Savoie. Elle est cependant aussi fréquente en certaines régions des Vosges, du Massif Central, des Pyrénées. Les besoins français en racines sont couverts actuellement pour la presque totalité par la récolte à l'état sauvage : celle-ci atteint 1000 tonnes de racines fraîches et 600 tonnes de racines sèches. Des essais de multiplication accélérée se réalisent en plusieurs centres spécialisés.

D'autres macrophytes comme la Livèche (*Levisticum officinale* Koch), l'Impératoire ou Benjoin français (*Peucedanum ostruthium* Koch) l'Armoise commune (*Artemisia vulgaris* L.), la Marjolaine sauvage (*Origanum vulgare* L.), le Géranium Robert (*Geranium robertianum* L.) sont également compétitifs pour la Savoie, le climat périphérique ou même interne du massif de la Vanoise leur convenant parfaitement.

Mais nous pensons que certains nanophytes de hauts niveaux sont à conseiller de même. On souhaite actuellement traiter les Genépis (*Artemisia laxa* et *Artemisia spicata*), le Serpolet (*Thymus serpyllum*), le Pied-de-chat (*Antennaria dioica*), l'Achillée musquée (*Achillea mischata* Jacq.), l'Achillée naine (*Achillea nana* L.), *Achillea erba-rotta* Allioni. A titre d'exemple, plus de 5 tonnes de fleurs sauvages de Pied-de-chat sont consommées en France chaque année : jusqu'à présent, la récolte provenait en majeure partie de l'Ardèche, où le kilo de fleurs sèches était payé 25 F. Cultivée, la plante se propageait facilement de semis ou mieux de division de touffes. C'est la méthode qu'il faut préconiser pour toutes les plantes précitées.

IV. - L'INFORMATION LOCALE EN MILIEU MONTAGNARD

Les aspects précédemment examinés n'engageaient pas leur prise en considération par le milieu montagnard qui nous intéresse. Leur intégration appelait un premier stade d'information que nous avons échelonné en plusieurs temps.

Des conférences et des journées de rencontres furent organisées successivement dans les hautes vallées de la Maurienne et de la Tarentaise, où l'économie est essentiellement pastorale et par tradition, les cultures réduites à la stricte économie privée. Ouvrir un champ à une production commerciale est une notion quasi étrangère aux hautes vallées.

Nous pensons cependant que les produits essentiellement montagnards comme les plantes aromatiques ou médicinales d'altitude pourraient solliciter les gens en place, du fait qu'elles font partie de leur environnement natal et sont perçues comme un patrimoine local. Un sondage pratiqué à propos de la culture du Chardon bleu s'est révélé positif en Maurienne comme en Tarentaise.

Concrètement, nous avons exposé le problème à la mairie de Lanslebourg, lors d'une assemblée intercommunale des Maires, puis, en 1979, devant la population locale. En juillet 1981, une première « Semaine botanique » organisée au Centre International de Séjour par les Amis du Mont-Cenis et les Associations réunies des Naturalistes de la Savoie incluait dans son programme un exposé de M^{me} LAPIERRE, de la Faculté de Pharmacie de Grenoble, sur la cueillette et l'intérêt des plantes médicinales en montagne. En Haute-Tarentaise, la commune de Val d'Isère s'est mobilisée pour le même sujet en organisant un Colloque, au début de juillet 1981, sur la phytothérapie et l'usage des plantes en homéopathie. Le Professeur G. NÉTIEN, de la Faculté de Médecine et de Pharmacie de Lyon, présidait les réunions et nous-même, à l'invitation du Maire de la Commune, avons dirigé avec lui les sorties de reconnaissance sur le terrain. Plusieurs praticiens (homéopathes, cancérologues) venus de Lyon, de Paris, de Liège, ont participé à ces journées. Le professeur NÉTIEN préconise, en particulier la culture de l'aconit dont l'examen des pieds, élevés ornementalement, permet d'augurer du succès dans les hautes stations de l'Isère. En Maurienne comme en Tarentaise, les communes ont demandé à reconduire en 1982 ces mêmes journées, où les touristes, il faut l'avouer, ont trouvé leur part d'intérêt, mais où le moyen de se faire entendre est tout de même démultiplié.

Il reste que le problème sur le terrain n'a pas encore abouti, en partie pour les raisons précitées, mais également, peut-être, pour certaines lacunes auxquelles l'avenir peut remédier.

V. - LES BANQUES DE GRAINES ET DE REPLANTS

Il nous paraît nécessaire, en effet, de soutenir l'impulsion précédente, par des opérations concrètes, dans le sens d'une amorce de culture en pépinière et la création de banques de graines pouvant répondre à la demande. Cette solution répond à l'absence quasi totale de la profession de multiplicateur ou pépiniériste pour les espèces concernées, les produits de plaine étant différents pour les besoins des niveaux inférieurs.

Une expérience récente, loin de nos départements savoyards, vient encourager cette orientation. Pour une promotion identique de la culture des plantes médicinales dans la chaîne des Vosges, l'Institut National de la Recherche Agronomique de Colmar (Haut-Rhin) s'est consacré à la production des replants. Il était en mesure, au printemps 1981, d'offrir près de 1 800 pieds de Gentianes jaunes, élevés en milieu contrôlé de l'Institut, dont plusieurs centaines ont pris place dans la vallée de Munster, et d'autres en Haute-Saône à quelques 700 mètres d'altitude; 4 000 autres pieds ont été plantés durant l'automne 1981 sur les hauts sommets vosgiens. En Savoie, nous ne disposons pas, pour l'heure d'une telle source de matériel, mais il n'est pas exclu qu'un jour des établissements spécialisés soient en mesure de combler ce vœu.

Nous faisons appel, en attendant, à une expérience plus limitée, moins ambitieuse, testée chez des cultivateurs de plantes alpines. La culture sur *Sphagnum*, à partir de semis, permet l'obtention de plantules à 80 % de levée chez le genre *Artemisia* et d'autres espèces naines de haute altitude (4). Signalons qu'une culture de grande envergure (plus d'un hectare) a été tentée pour *Artemisia laxa* et *Artemisia genepi* par un vermouthier du Piémont pour ses besoins industriels, vers 2 100 mètres d'altitude, sur territoire français en Haute-Maurienne (massif du Mont-Cenis) laquelle, malgré l'envahissement des mauvaises herbes et les soins négligés, offre une belle vitalité (semis fait sur place). Nous disposons là, du moins, d'un essai de domestication.

Il nous semble que des banques de graines et de replants, obtenus par l'intermédiaire de jardins alpins situés en altitude, seraient favorables pour la mise en route de cultures d'espèces alpines. Nous avons nous-même bénéficié jusqu'à ce jour de récoltes de graines pour certaines espèces (Chardon bleu !), faites à partir de telles implantations. En Savoie, la création d'un Jardin Alpin au Mont-Cenis (à l'altitude de 2 040-2 080 mètres), en l'année 1981, où des cultures sur *Sphagnum* ou des pieds-mères contrôlés pourraient servir au repeuplement, faciliterait l'impulsion locale et dispenserait d'une récolte sauvage à laquelle nous nous refusons.

(Reçu pour publication, juin 1981)

(4) Expériences de Pierre BISCH, de la Frette 38260 la Côte Saint-André, présentées dans la revue « Plantes de Montagne », 43, rue Buffon, 75005 Paris, 1977, n° 103 et cultures plus récentes sur *Sphagnum* chez Edmond BOUVARD, 75, boulevard des Anglais, 73100, Aix-les-Bains, confirmées en altitude, 1 600 mètres, par Fernand-ANCENAY †, LE ROUX, près Saint-Martin-de-Belleville.

PRÉSENCE DE BACTÉRIES LIBRES FIXATRICES D'AZOTE DANS LA LITIÈRE DE *DRYAS OCTOPETALA* L.

par André MOIROUD et Jean-Claude DEBAUD (1)

Introduction	160
I. - Milieux et techniques d'étude	160
II. - Résultats	162
III. - Discussion	164
Conclusion	165
Bibliographie	166

Résumé. - La présence de microorganismes fixateurs d'azote a été recherchée chez *Dryas octopetala* L. (Rosacées). Aucune activité fixatrice n'a pu être décelée au niveau des racines, du sol et de la phyllosphère. Seule la litière présente une activité réductrice d'acétylène. Celle-ci est surtout localisée dans la couche superficielle de la litière et elle est de l'ordre de 2 nanomoles de $C_2H_4 \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1}$ P.S. Les bactéries responsables de cette fixation d'azote n'ont pas pu être isolées. Elles n'appartiennent cependant pas au genre *Azotobacter*.

Mots-clés : *Dryas octopetala* - Rosacées - Fixation d'azote - Bactéries - Parc National de la Vanoise - Alpes françaises.

Summary. - OCCURENCE OF FREE-LIVING NITROGEN FIXING BACTERIA IN *DRYAS OCTOPETALA* L. LITTER.

The occurrence of nitrogen fixing microorganisms has been investigated in *Dryas octopetala* L. (Rosaceae). No fixing activity could be revealed at roots, soil and phyllosphere levels. Only the litter shows an acetylene reducing activity. This mostly takes place in the surface layer of the litter and raises to about 2 nanomoles $C_2H_4 \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1}$ dry wt. The nitrogen fixing bacteria could not be isolated, however they do not belong to the genus *Azotobacter*.

Key-words : *Dryas octopetala* - Rosaceae - Nitrogen fixation - Acetylene reduction - Bacteria - Vanoise National Park - French Alps.

(1) Département de Biologie Végétale - Université Claude Bernard Lyon I, 43, Boulevard du 11 Novembre 1918 - 69622 Villeurbanne Cedex (France).

INTRODUCTION

L'azote, élément indispensable à la vie des plantes et à l'activité des microorganismes, est souvent limitant dans les écosystèmes pionniers de haute altitude (MOIROUD, 1976). En effet, par suite des conditions climatiques très rigoureuses, les processus de dégradation et de minéralisation de la matière organique sont très lents. Une grande partie des éléments nutritifs indispensables à la production de biomasse végétale se trouve donc immobilisée au niveau des litières (BUNNEL et coll., 1975). En outre les pertes par lessivage pendant les périodes de fonte du manteau neigeux peuvent être importantes. Dès lors tout apport de composés azotés, soit par les eaux météoriques, soit par la fixation biologique de l'azote atmosphérique, peut jouer un rôle important dans le fonctionnement de ces écosystèmes (BUNNEL et coll., 1975).

Sachant que dans ces zones les faibles teneurs en azote facilement utilisable et les grandes quantités de carbone accumulées sont des facteurs qui leur sont favorables, nous avons été amenés à rechercher la présence de microorganismes fixateurs d'azote. Cette recherche a été faite dans un écosystème de haute altitude bien représenté dans certaines parties du Parc National de la Vanoise : la dryadaie à *Dryas octopetala* L.

I. - MILIEU ET TECHNIQUES D'ÉTUDE

A) MILIEU D'ÉTUDE

La dryadaie étudiée est située à la partie inférieure de la moraine latérale qui descend le long de la rive droite du glacier de l'Epena (ou Lepena). Ce glacier se trouve sous la face nord de la Grande Casse, à l'intérieur du Parc National de la Vanoise (fig. 1). Cette station située à 2 100 m d'altitude est accessible par le chemin de la vallée du Doron de Champagne qui permet d'atteindre l'ancien lac de la Glière au niveau duquel vient se terminer cette moraine. La végétation installée sur cette moraine est un groupement largement dominé par *Dryas octopetala* L. D'autres espèces ligneuses sont présentes, en particulier les saules nains : *Salix reticulata* L. et *Salix retusa* L. Cette végétation pionnière est installée depuis environ un siècle. En effet le front du glacier a reculé depuis le lac de la Glière qu'il atteignait encore en 1857 ; en 1904 il se trouvait à 2 127 m d'altitude et depuis il s'est encore retiré et se situe actuellement vers 2 400 m. Ces renseignements se trouvent dans une fiche très bien documentée avec illustrations photographiques concernant ce glacier de Lepena et ses moraines, qui a été établie par VIVIAN (1969).

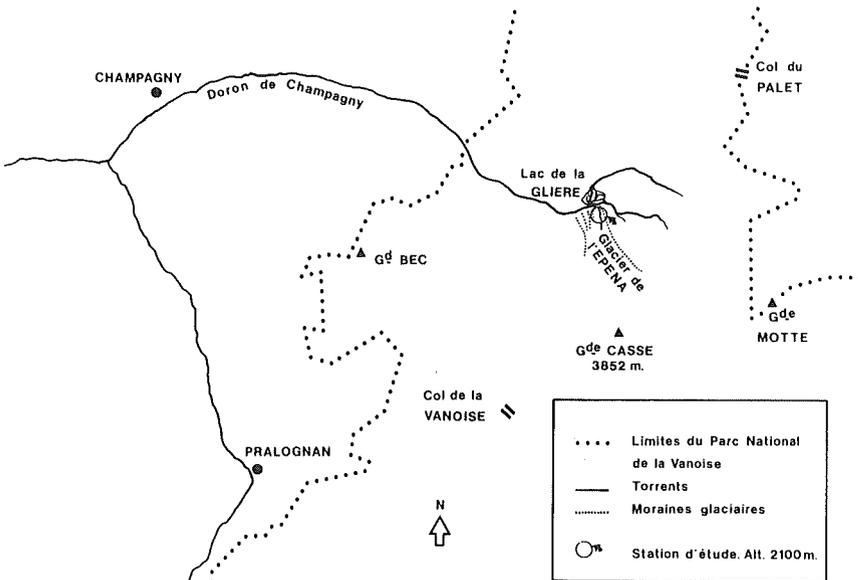


FIG. 1. - Localisation des moraines du glacier de l'Epéna d'après la carte « Massif et Parc National de la Vanoise » de l'Institut Géographique National, échelle 1/50 000. Ed. Didier et Richard, Grenoble.

B) TECHNIQUES D'ÉTUDE

1) Mesure de l'activité fixatrice.

L'activité fixatrice d'azote a été déterminée par la méthode classique de réduction d'acétylène (STEWART et coll., 1967) sur des échantillons placés dans des flacons de 250 ml à fermeture hermétique et incubés dans de l'air contenant 10 % d'acétylène pur. Après des temps d'incubation variés (de quelques heures à 3 jours) 5 ml du mélange gazeux du flacon sont prélevés et stockés dans des tubes vides d'air pour être ensuite analysés par chromatographie en phase gazeuse. Cette analyse est effectuée à l'aide d'un appareil Girdel à ionisation de flamme avec une colonne de 1,50 m remplie de Porapak R. La température de l'injecteur, de la colonne, et du détecteur est de 50 °C. Le gaz vecteur est de l'azote, le volume injecté est de 100 μ l et les temps de rétention sont de 42 s pour C_2H_4 et de 54 s pour C_2H_2 . La détermination quantitative de l'éthylène produit est réalisée à l'aide d'une gamme étalon.

Les mesures ont été effectuées sur des échantillons de feuilles prélevées directement sur la plante (feuilles vertes de l'année et feuilles sèches des années précédentes), sur des échantillons prélevés soit dans la couche superficielle (de 0 à -2 cm), soit dans la couche profonde (de -2 cm à -5 cm) de la litière, ainsi que sur des échantillons de sol sous-jacent (de -10 à -20 cm).

2) Isolement et activité réductrice d'acétylène des souches bactériennes.

Des souches bactériennes ont été isolées à partir des échantillons présentant une activité réductrice mesurable. L'isolement a été effectué par la technique des suspensions-dilutions (POCHON et TARDIEUX, 1962) avec étalement sur boîte de Pétri contenant un milieu gélosé dépourvu d'azote (DASTE et coll., 1968) et dont nous avons fait varier la nature et la concentration de la source carbonnée. L'activité réductrice éventuelle de ces souches a été recherchée par la méthode à l'acétylène à partir de cultures sur milieu solide.

3) Dosage du carbone et des hydrates de carbone.

Carbone total : méthode de Anne à chaud.

Dosage des sucres : une première extraction par l'eau (1 g de matériel sec dans 50 ml d'eau à 80 °C pendant 24 h) permet d'une part le dosage de l'ensemble des sucres hydrosolubles par l'anthrone et d'autre part le dosage des sucres simples (essentiellement du glucose par le glucostat). Cette extraction par l'eau est suivie d'une extraction à l'acide (50 ml de H₂SO₄ 3N à 80 °C pendant 24 h) qui permet le dosage par l'anthrone de l'ensemble des sucres non hydrosolubles.

II. - RÉSULTATS

1) Activité réductrice d'acétylène (A.R.A.) des échantillons de sol, de litière et de feuilles de *Dryas octopetala* L.

Les nombreuses mesures effectuées en 1978 et en 1979 nous ont montré que l'A.R.A. est essentiellement liée à la litière. En effet, nous n'avons jamais pu déceler la moindre activité réductrice à partir des échantillons de feuilles - vertes ou sèches - et du sol sous-jacent (tabl. I).

TABLEAU I
Activité réductrice d'acétylène (A.R.A.) des échantillons de sol, de litière et de feuilles de *Dryas octopetala*

	Activité réductrice nMoles C ₂ H ₄ /24h/g sec
Feuilles vertes	0
Feuilles sèches	0
Litière superficielle	8 - 70
Litière profonde	0 - 9
Sol - 10 cm	0
Sol - 20 cm	0

L'A.R.A. moyenne au niveau de la litière superficielle est d'environ 50 nMoles de $C_2H_4/24$ h/g sec. Cette A.R.A. présente toutefois des variations très importantes en fonction de l'origine de l'échantillon et des dates de prélèvement. Les mesures effectuées n'ont pas permis de dégager une cinétique de ces variations. L'activité au niveau de la litière profonde est en moyenne 10 fois plus faible que celle notée dans la litière superficielle. Les échantillons de litière présentent une activité réductrice qui se maintient *in vitro* pendant plusieurs jours (fig. 2).

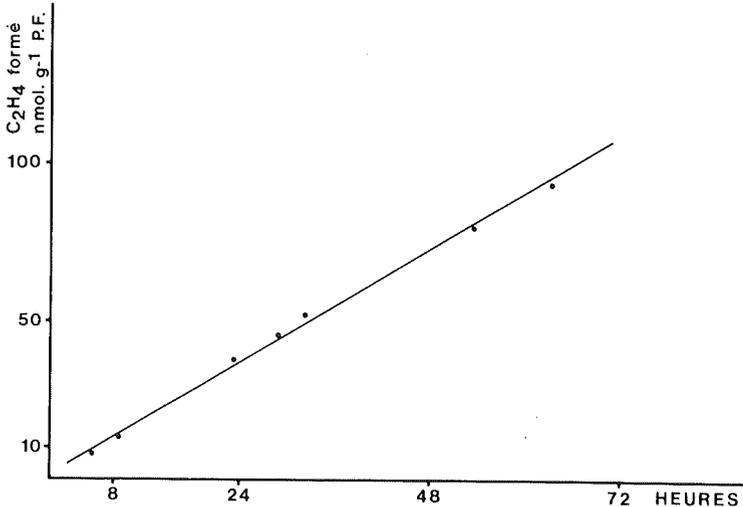


FIG. 2. - Activité réductrice d'acétylène à 20 °C d'un échantillon de litière de *Dryas octopetala* en fonction du temps d'incubation

2) teneur en carbone et en hydrates de carbone du sol, de la litière et des feuilles de *Dryas octopetala* (tabl. II).

Ces teneurs sont importantes dans les feuilles vertes, qu'il s'agisse des teneurs en substances hydrosolubles ou non. La teneur en hydrates de carbone non hydrosolubles varie peu entre les feuilles vertes, les feuilles sèches et la litière (50 à 65 mg par g) alors que la teneur en sucres hydrosolubles chute très fortement (de 107 à 6 mg par g). Dans les couches superficielles du sol la teneur en carbone et en hydrates de carbone (hydrosolubles ou non) diminue considérablement, elle est en moyenne 10 fois plus faible dans le sol à 10 cm de profondeur que dans la litière. Cet appauvrissement est encore plus marqué à 20 cm de profondeur. L'évolution des teneurs en sucres simples présents aux différents niveaux se fait dans le même sens.

TABLEAU II
Teneur en carbone et en hydrates de carbone du sol, de la litière et des feuilles de Dryas octopetala

	Feuilles vertes	Feuilles sèches	Litière	Sol - 10 cm	Sol - 20 cm
Carbone total % P.S.	38	33	23	3	1
Sucres non hysolubles	a 50,2	65	51,3	4	0,97
mg g-I P.S.	b 5,2	5,4	4,4	-	0,07
Sucres hydrosolubles	a 107,4	8,6	6	0,5	0,14
mg g-I P.S.	b 23,8	0,8	1,1	0,02	0,01
Sucres simples hydrosolubles	a 6,1	1,8	1,6	0,16	0,08
mg g-I P.S.	b 1,1	0,5	0,5	0,01	0,01

a : moyenne de 13 mesures effectuées entre juin et octobre 1978.
b : écart-type.

3) Microorganismes responsables.

Une incubation des échantillons de litière de *Dryas octopetala* pendant plusieurs jours à l'obscurité complète ne provoque aucune diminution ni arrêt de l'A.R.A. Cette activité est donc le fait de bactéries libres vivant essentiellement dans les couches superficielles de la litière. Les essais d'isolement à partir des eaux de lavage de la litière nous ont permis d'obtenir plus d'une centaine de souches bactériennes capables de se développer sur un milieu sans azote. Toutes ces bactéries se sont montrées incapables, en culture pure, de réduire l'acétylène et ceci quelle que soit la source de carbone utilisée (mannitol, glucose, galactose, lactose) et sa concentration. De même l'addition de vitamines au milieu de culture n'a donné aucun résultat. La diminution de la pression partielle d'oxygène dans l'atmosphère d'incubation n'a pas apporté non plus d'amélioration, par contre certaines cultures mixtes, obtenues par ensemencement massif des eaux de lavage non diluées de la litière, ont montré une A.R.A. mesurable mais qui a disparu après deux ou trois repiquages successifs.

III. - DISCUSSION

Nous avons pu mettre en évidence une activité fixatrice uniquement dans la litière de *Dryas octopetala*. A ce niveau, le coût énergétique très élevé du

processus de réduction de l'azote moléculaire (MULDER, 1976) pourrait être satisfait grâce aux fortes teneurs de la litière en composés carbonés hydrosolubles facilement métabolisables. L'absence de bactéries fixatrices sur les feuilles vertes de *Dryas octopetala* peut paraître surprenante car la phyllosphère a souvent été décrite comme le siège d'une activité réductrice intense (RUINEN 1975, GRANHALL et LINDBERG, 1978).

Les températures très élevées auxquelles peuvent être portées les feuilles de *Dryas* par temps clair (47 °C pour une température de l'air ambiant comprise entre 5 °C et 10 °C, BLISS, 1975) ainsi que les grandes variations d'humidité à leur surface peuvent être la cause de cette absence (GRANHALL et LINDBERG, 1978). De même l'absence de germes fixateurs libres au niveau des feuilles sèches en cours de dégradation est à noter, bien que celles-ci contiennent des quantités importantes de sucres hydrosolubles. Comme dans le cas de la phyllosphère, ce fait est vraisemblablement lié aux conditions très défavorables régnant au niveau des feuilles mortes (teneur en eau inférieure à 20 % par rapport au poids sec au cours de certaines périodes estivales et température d'environ 45 °C relevée au niveau des feuilles sèches lors de belles journées ensoleillées de juillet et d'août).

L'A.R.A paraît très faible par rapport à celle citée pour des sols de plaine (VLASSAK et REYNDERS, 1978). Par contre elle est tout à fait comparable à celle observée dans des écosystèmes arctiques (BLISS, 1975, KALLIO, 1975) ou dans certaines litières forestières (O'CONNELL et coll., 1979). On peut en effet estimer — bien que l'extrapolation des mesures d'A.R.A. à la fixation d'azote soit très hasardeuse (SHUBERT et EVANS, 1976) — à environ 5 à 8 mg par m² et par saison végétative, les apports d'azote par fixation libre.

Les bactéries fixatrices d'azote dans la litière de *Dryas octopetala* n'ont pu être isolées et caractérisées. Cependant il ne s'agit pas de germes appartenant au genre *Azotobacter*, car ces derniers sont facilement identifiables par leurs caractères morphologiques et culturels. Leur absence dans cet écosystème alpin n'est pas étonnante car c'est souvent le cas dans les zones froides (JENSEN 1951, MATVEYEVA et coll., 1975, MOIROUD, 1976).

On peut également signaler que *Dryas octopetala* contrairement à l'espèce américaine *Dryas drummondii* (LAWRENCE et coll., 1967) ou à d'autres Rosacées (HEISEY et coll., 1980) n'est pas porteur en France d'actinorhizes fixatrices d'azote.

CONCLUSION

Cette étude a permis de mettre en évidence la présence de bactéries libres fixatrices d'azote dans la litière de *Dryas octopetala* L. Les apports d'azote par fixation biologique, calculée à partir de mesure de réduction de l'acétylène, paraissent faibles. Ces apports pourraient être importants pour cette plante pionnière qui s'installe sur des sols très pauvres tels que ceux des moraines glacières, sols qui sont particulièrement pauvres en azote (0,01 à

0,03 % selon MOIROUD, 1976). Pour estimer plus précisément cette fixation d'azote il faudrait par ailleurs effectuer une étude pendant toute la période déneigée (du 15 juin au 15 octobre en moyenne) et en particulier lorsque la combinaison des facteurs température et humidité est la plus favorable dans la litière de *Dryas*.

Cette étude devrait être poursuivie afin de mieux apprécier le rôle de la fixation libre dans le fonctionnement de cet écosystème et d'en connaître les microorganismes responsables.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le Parc National de la Vanoise de l'aide financière qu'ils ont reçue pour réaliser les études sur le terrain.

BIBLIOGRAPHIE

- BLISS (L.C.), 1975. - Devon Island, Canada. In "Structure and function of tundra ecosystems". *Ecol. Bull.*, **20**, 17-60.
- BUNNEL (F.L.), MAC LEAN (S.F.) et BROWN (J.), 1975. - Barrow, Alaska, U.S.A In "Structure and function of tundra ecosystems". *Ecol. Bull.*, **20**, 73-124.
- DASTE (Ph.), FUSTEC-MATHON (E.), NEUVILLE (D.), RAYNAUD (M.), GROSSIN (F.), 1968. - Considérations critiques sur l'isolement, la détermination et la culture de l'*Azotobacter*. *Ann. Inst. Pasteur*, **115**, 689-700.
- GRANHALL (U.), LINDBERG (T.), 1978. - Nitrogen fixation in coniferous forest ecosystems in "Environmental role of nitrogen-fixing blue-green algae and asymbiotic bacteria". *Ecol. Bull.*, **26**, 178-192.
- HEISEY (R.M.), DELWICHE (C.C.), VIRGINIA (R.A.), WRONA (A.F.), BRYAN (B.A.), 1980. - A new nitrogen-fixing non-legume: *Chamaebatia foliolosa* (Rosaceae). *Amer. J. Bot.*, **67**, 429-431.
- HERA (C.), 1978. - Effects of management practices on dinitrogen fixation in temperate regions. In "Isotopes in biological dinitrogen fixation". I.A.E.A., 191-209.
- JENSEN (H.L.), 1951. - Note on the microbiology of soils from Northern Greenland. *Meddr. Grønland*, **142**, 23.
- KALLIO (P.), 1975. - Kevo, Finland. In "Structure and function of tundra ecosystems". *Ecol. Bull.*, **20**, 193-223.
- LAWRENCE (D.B.), SCHOENIKE (R.E.), QUISPTEL (A.), BOND (G.), 1967. - The role of *Dryas drummondii* in vegetation development following ice recession at Glacier Bay, Alaska, with special reference to its nitrogen fixation by root nodules. *J. Ecol.*, **55**, 793-813.
- MATVEYEVA (N.W.), PARINKINA (O.M.), CHERNOV (Y.I.), 1975. - Maria Prouchitsheva Bay, U.S.S.R. In "Structure and function of tundra ecosystem". *Ecol. Bull.*, **20**, 61-72.
- MOIROUD (A.), 1976. - *Etude écologique des marges glaciaires, en particulier de leur micropeuplement*. Thèse Doct. D'Etat, Univ. Lyon, 168 pp.
- MULDER (E.G.), 1975. - Physiology and ecology of free-living nitrogen fixing bacteria. In "Nitrogen fixation by free-living microorganisms" *I.B.P.*, n° 6, 3-28, Ed. Stewart.
- O'CONNELL (A.M.), GROVE (T.S.) et MALACZUK (N.), 1979. - Nitrogen fixation in litter layer of eucalypt forests. *Soil Biol. Biochem.*, **11**, 681-682.

- POCHON (J.), TARDIEUX (P.), 1962. - *Techniques d'analyse en microbiologie du sol*. Ed. La Tourelle, Paris, 111 p.
- RUINEN (J.), 1975. - Nitrogen fixation in the phyllosphère. In "Nitrogen fixation by free-living microorganisms". *I.B.P.*, n° 6, 85 - 100. Ed. Stewart.
- SCHUBERT (K.R.), EVANS (H.J.), 1976. - The relation of hydrogen reactions to nitrogen fixation in nodulated symbionts. In "Recent development in nitrogen fixation", 469-485. Ed Newton, Postgate et Rodriguez - Bazznero.
- STEWART (W.D.P.), FITZGERALD (G.B.) et BURRIS (R.H.), 1967. - In situ studies on N₂ fixation using the acetylene reduction technique. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, **58**, 2 071-2 078.
- VIVIAN (R.), 1969. - Fiches des glaciers français. Le glacier de Lepena. *Rev. Géogr. alpine*, **LVII**, n° 1, 225-227.
- VLASSAK (K.), REYNDERS (L.), 1978. - Associative dinitrogen fixation in temperate regions. In "Isotopes in biological dinitrogen fixation". *I.A.E.A.*, 71-87.

(reçu pour publication, mars 1981)

MICROLÉPIDOPTÈRES DE HAUTE-MAURIENNE PEU CONNUS DE FRANCE OU NOUVEAUX POUR NOTRE FAUNE

par Roger BUVAT (1)

Résumé. — Les forêts de la rive gauche de l'Arc abritent une faune certainement riche et mal connue quant aux microlépidoptères. Cette note signale deux espèces de l'Aune vert, dont l'*Ectoedemia viridicola* Weber, qui n'avait pas été pris en France. Le Nepticulide des Hélianthèmes, *Trifurcula helianthemella* H.S. non connu de France avec certitude, existe également dans ces forêts, ainsi que l'*Ectoedemia mediofasciella* HW. du Bouleau, connu seulement d'Angleterre, et peut être co-spécifique de l'*E. viridicola* Weber, de l'Aune vert.

Mots-clés : *Microlépidoptères mineurs de feuilles* — *Alnus viridis*.

Summary. — MICROLEPIDOPTERA FROM HAUTE-MAURIENNE; SOME UNUSUAL AND NEW VARIETIES IN FRANCE

Two species, living on *Alnus viridis*, have been observed in the forests of the left bank of the river Arc. One was not yet known in France (*Ectoedemia viridicola* Weber) but is perhaps co-specific with *E. mediofasciella* Hw, living on *Betula*, known in Great Britain, and also found in "Haute-Maurienne". *Trifurcula helianthemella* H.S. also exists in this country.

Key-words : *Leaf miner microlepidoptera* — *Alnus viridis*.

I. ESPÈCES MINEUSES DE FEUILLES DE L'AUNE VERT

Les forêts humides qui couvrent les versants de la rive gauche de l'Arc, entre Termignon et Bonneval, recèlent apparemment une faune intéressante et mal connue, si l'on en croit les quelques explorations, bien ponctuelles, qui ont été menées en ce qui concerne les Lépidoptères.

Ce paragraphe sera limité à la faune des chenilles mineuses de l'Aune vert, qui est particulièrement bien représenté dans la région.

(1) Université d'Aix-Marseille. Centre de Marseille-Luminy. Institut de Cytologie et de Biologie cellulaire. 70, route Léon-Lachamp — 13288 Marseille Cedex 9.

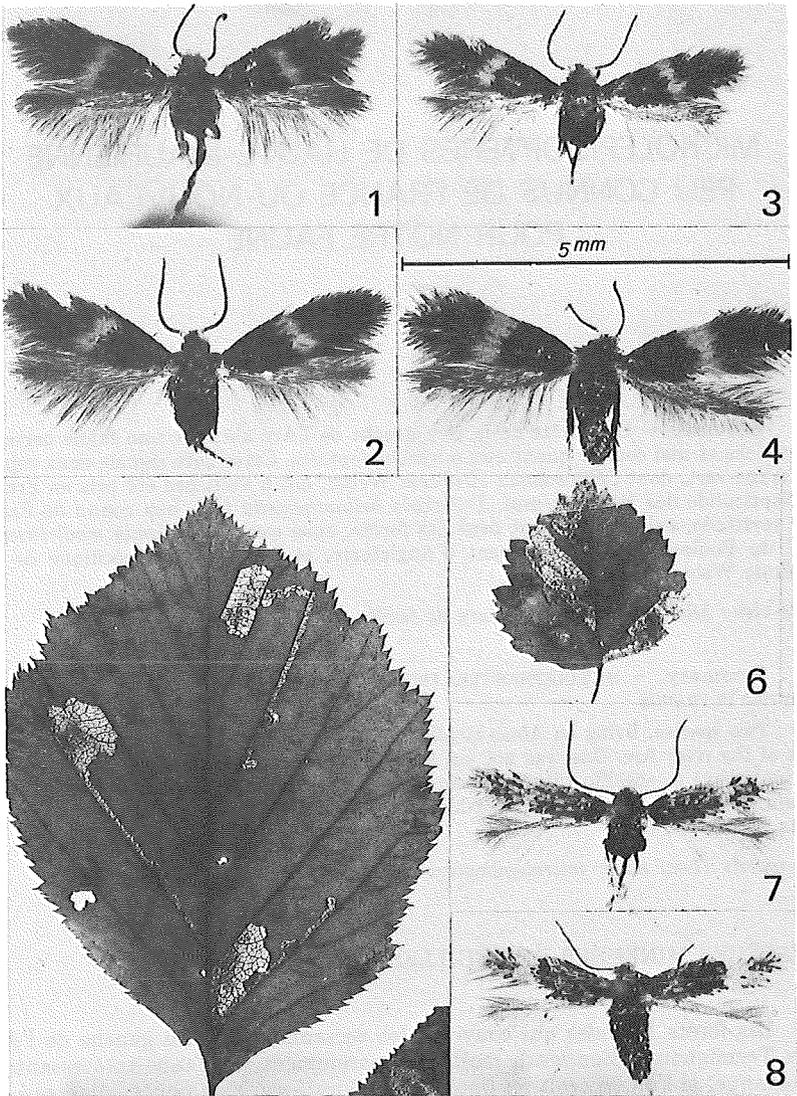


FIG. 1. - *Ectoedemia (Nepticula) viridicola* WEBER 1938, ♂
 FIG. 2. - *Ectoedemia (Nepticula) viridicola* WEBER 1938, ♀
 FIG. 3. - *Ectoedemia (Nepticula) mediofasciella* HAWORTH (1828), ♂
 FIG. 4. - *Ectoedemia (Nepticula) mediofasciella* HAWORTH (1828), ♀
 FIG. 5. - Mines d'*Ectoedemia viridicola* sur *Alnus viridis*.
 FIG. 6. - Mines d'*Ectoedemia mediofasciella* sur *Betula*.
 FIG. 7. - *Tifurcula (Ex Nepticula) helianthemella* HERRICH SCHÄFFER, ♂
 FIG. 8. - *Trifurcula (Ex Nepticula) helianthemella* HERRICH SCHÄFFER, ♀

1. *Ectoedemia viridicola* Weber [6] (Genitalia in KLIMESCH [4]).

Au début du mois d'août en des lieux très restreints de peuplement d'Aune vert, des groupes d'arbustes présentent de nombreuses mines d'un Nepticulide qui fut décrit d'Europe centrale en 1938 par WEBER [6] sous l'appellation de *Nepticula viridicola*.

La chenille, jaune verdâtre clair, creuse une galerie bien caractéristique (fig. 5). Elle débute par quelques replis serrés, en forme de pustule, puis se continue par une galerie plus ou moins rectiligne, souvent repliée une fois sur elle-même, longeant une nervure secondaire, et se termine par un élargissement en forme de place.

L'espèce ne se nymphose pas très aisément. Les élevages ont été conservés tout l'hiver en plein air, mais il n'a pas été possible de réaliser l'environnement naturel, constitué de plusieurs décimètres de neige, pendant environ six mois. Aussi le rendement en imagos est-il faible. Les figures 1 et 2 présentent un couple de l'espèce en question. Les papillons éclosent, en plaine, en avril et mai.

Aujourd'hui baptisée *Ectoedemia viridicola* Weber, ce microlépidoptère n'était pas connu de France. Les mines peuvent être nombreuses par endroits, mais l'espèce paraît localisée. Nous l'avons récoltée dans la forêt de Lanslevillard et avons observé des mines dans les pentes forestières de Bessans, en ubac.

2. *Lithocolletis hauderiella* Rebel - (*alpina* Frey ?) (fig. 9)

Les peuplements d'Aunes verts de la forêt de Lanslevillard sont abondamment parasités par le *Lithocolletis hauderiella* qui ne paraît avoir été signalé de France que par PRAVIEL en 1944, dans le massif de Belledonne. La mine, infra, est allongée entre deux nervures et porte un ou plusieurs plis longitudinaux. La nymphose s'effectue dans la mine, à l'intérieur d'un cocon blanchâtre.

L'espèce est voisine de *L. rajella* L. qui vit sur l'*Alnus glutinosa*. FREY distingue une forme d'altitude (entre 1 200 et 2 000 m) sous le vocable *L. alpina*.

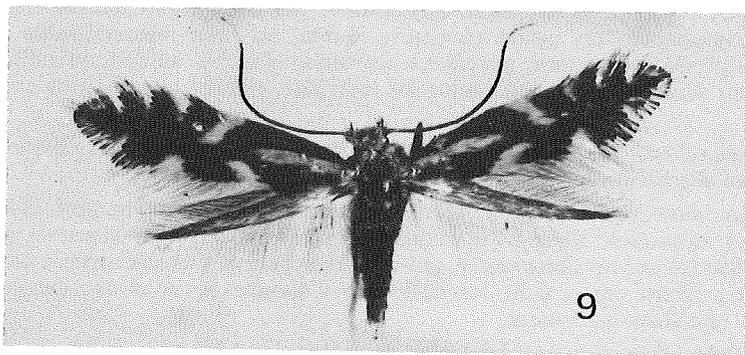


FIG. 9. - *Lithocolletis hauderiella* Rebel, provenant de mines récoltées sur *Alnus viridis*.

Frey, qui devrait correspondre aux individus en question ici. Elle se distinguerait à sa teinte moins brillante et à la réduction de la bordure noire des stries blanches costales et dorsales.

II. UN NEPTICULIDE MINEUR DU BOULEAU, QUI POSE UN PROBLÈME DE SPECIATION NON RÉSOLU

Un plant de *Betula pubescens* de la forêt de Bessans portait des mines (fig. 6) d'une chenille de Nepticulide, jaune verdâtre, semblable en apparence à celle de l'*Ectoedemia viridicola*, mais correspondant parfaitement à l'espèce *Ectoedemia whoolopiella* Stainton (= *mediofasciella* Haworth) (connue seulement d'Angleterre). Les papillons issus de ces récoltes ont éclos dans la deuxième quinzaine d'avril et se sont révélés pratiquement identiques aux *viridicola* de l'Aune vert (fig. 3 et 4). Nous n'avons pas voulu sacrifier le peu de matériel disponible pour une étude microscopique des pièces génitales, qui d'ailleurs risquerait d'être peu fructueuse, mais, actuellement, il semble qu'il s'agisse d'une même espèce, et que la priorité revienne à la dénomination d'*Ectoedemia mediofasciella* haworth (1828).

De toute manière, aucun des deux taxons n'était signalé de France.

III. TRIFURCULA (PARAFOMORIA) HELIANTHEMELLA HERRICH SCHÄFFER [3] (= NEPTICULA HELIANTHEMELLA H.S.) (fig. 7 et 8)

Cette espèce a été signalée, à notre connaissance, et avec doute, d'une localité de la Gironde, à Gazinet, sur la seule foi de mines récoltées par BROWN.

Nous avons trouvé de telles mines, très localisées, mais abondantes dans ses localités, sur les *Helianthemum* de la forêt de Bessans, au cours de trois années consécutives. Elle paraît donc bien installée dans la région. Bien qu'en sous-bois, il semble qu'elle ne se trouve qu'en des places relativement ensoleillées. L'imago, de très petite envergure (3 mm) est bien reconnaissable à ses écailles grises et blanches, grossières. La bande blanche, au-delà du milieu de l'aile, est plus ou moins nette selon les individus, elle est plus discrète chez les mâles.

Les éclosions, en plaine, ont eu lieu dans la seconde quinzaine d'avril. La mine est décrite et figurée dans l'ouvrage de M. HERING [2].

La faune des microlépidoptères de nos montagnes recèle probablement d'autres inconnues. Nous n'en voulons pour preuve que l'existence de mines fort élégantes sur les *Cotoneaster*, qui ne correspondent pas aux espèces décrites sur cette plante, mais dont les difficultés d'élevage ne nous ont encore pas permis une étude suffisante.

L'obtention d'un matériel plus abondant est nécessaire pour une étude précise des mines de Nepticulides de l'Aune vert, du Bouleau et du *Cotoneaster*.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] HAWORTH (A.H.), 1803-1829. - *Lepidoptera britannica* - Londres.
- [2] HERING, (E.M.), 1957. - Bestimmungstabellen der Blattminen von Europa. W. Junk, 'sGravenhage.
- [3] HERRICH-SCHÄFFER, 1860. - *Stigmella helianthemella*. Correspondenzblatt für Sammler von Insekten etc... Regensburg, 60.
- [4] KLIMESCH, (J.), 1948. - Zur frage der verwandtschaftlichen Beziehungen einiger *Stigmella* Arten auf Grund des Baues des männl. Kopulationapparates - Zeitch. der Wiener Ent. Ges., **33**, 49-82.
- [5] STAINTON (H.T.), 1887. - *Stigmella woolhopiella*. Monthl. Mag, **24**, 62.
- [6] WEBER (P.), 1938. - *Nepticula viridicola*. Mitt. Schweiz. Ent. Ges., **18**, 5.

(Reçu pour publication, juin 1982)

L'AIGLE ROYAL (*AQUILA CHRYSAËTOS*) DANS LE DÉPARTEMENT DE LA SAVOIE, PLUS PARTICULIÈREMENT DANS LE PARC NATIONAL DE LA VANOISE (FRANCE)

par Jean-Pierre MARTINOT (1)

Introduction	176
A) Distribution des aires	176
B) Les territoires	178
C) Calendrier de la reproduction	179
D) Le régime alimentaire	179
E) Conclusions et perspectives	180
Références bibliographiques	181

Résumé. – La présente étude porte sur le suivi de 9 couples d'Aigles royaux (*Aquila chrysaëtos*) du Parc National de la Vanoise depuis sa création. Le nombre moyen d'aires par couple ($4,4 \pm 1,7$), leur distribution relativement à la zone protégée et la moyenne d'altitude des nids ($1\,995 \pm 255$ m) sont discutés ainsi que la superficie des territoires (de l'ordre de 100 km^2) influencée par la topographie. Des considérations sur le succès de la reproduction sont données ainsi que sur le régime alimentaire. Enfin le devenir de cette population dont les effectifs paraissent stables depuis une vingtaine d'années est envisagé alors que pèsent des menaces d'activités humaines directement et indirectement sur plusieurs couples établis en zone périphérique du Parc National.

Mots clés : *Aigle royal – Parc National de la Vanoise – Alpes de Savoie.*

Summary. – The Golden Eagles in the Savoy department, specially in the Vanoise National Park (France).

– The present study reports some results of the continued surveillance of 9 couples of Golden Eagles (*Aquila chrysaëtos*) in the Vanoise National Park since its creation. The average number of eyries per couple ($4,4 \pm 1,7$), their distribution in relation to the protected area and the average altitude of nests ($1\,995 \pm 255$ m) are discussed as well as the territorial zones (on the order of 100 km^2) as influenced by relief. Reproductive success and food habits are also considered. Finally, the future of this population, apparently stable over the last 20 years, is discussed in relation to that of

(1) Direction du Parc National de la Vanoise, 135, rue du Docteur JULLIAND, BP 705, 73007 Chambéry cedex.

several couples established in the peripheral park zone where they are subjected to considerable direct and indirect human pressure.

Key-words : *Golden Eagle – Vanoise National Park – Alps of Savoy.*

Riassunto. – Il lavoro riguarda osservazioni relative a 9 coppie di Aquila reale (*Aquila chrysaetos*) del Parco Nazionale della Vanoise dalla sua istituzione (1963). Sono discussi il numero medio di nidi per coppia ($4,4 \pm 1,7$), la loro distribuzione relativamente alla zona protetta e l'altitudine media ($1\,995 \pm 255$ m), come pure l'area dei territori (dell'ordine di 100 km^2) che é influenzata dalla topografia. Sono molte alcune considerazioni sul successo della riproduzione e sul regime alimentare. E infine esaminato l'andamento di questa popolazione, i cui effettivi sembrano stabili da una ventina d'anni e si accenna infine alle minacce che derivano direttamente e indirettamente dalle attività umane a diverse coppie della zona periferica del Parco.

Zusammenfassung. – Diese Studie befaßt sich fortlaufend mit den 9 Steinadler-Paaren des Nationalparks der Vanoise seit seiner Gründung. Die Durchschnittszahl der Horste je Paar ($4,4 \pm 1,7$), ihre verteilung in Bezug auf die geschützte Zone und ihre durchschnittliche Höhlenlage ($1\,995 \pm 255$ m) werden besprochen, ebenso die durch die Topographie beeinflusste Flächengröße der Territorien (an die 100 km^2). Betrachtungen über den Bruterfolg, ferner über die Nahrung werden angestellt. Endlich wird die Zukunft dieser Population ins Auge gefaßt; ihr bestand scheint seit ungefähr 20 Jahren stabil zu sein. Allerdings sind mehrere im peripheren Gebiet des Nationalparks angesiedelten Paare direkt oder indirekt durch menschliche Tätigkeit bedroht.

INTRODUCTION

Dans le Département de la Savoie, la répartition de l'Aigle royal est étroitement tributaire des grandes structures de la chaîne alpine. Faiblement représentée dans les massifs pré-alpins (Bauges et Nord-Est de la Chartreuse), l'espèce s'affirme dans les massifs externes (Belledonne et Beaufortin) et culmine dans la zone de la Vanoise où la population est en continuité avec celle du massif du Grand Paradis, de l'autre côté de la frontière franco-italienne.

Une estimation générale portant sur l'ensemble du département en 1981 a permis de dénombrer 14 couples « territoriaux certains » – dont 11 pour le seul massif de la Vanoise –, 6 couples « territoriaux probables » et 4 couples « possibles ». Nous traiterons ici essentiellement des couples territoriaux du Parc National de la Vanoise pour lesquels nous disposons du maximum de renseignements grâce, en particulier, aux observations consignées de façon précise par les agents du Parc depuis 1965.

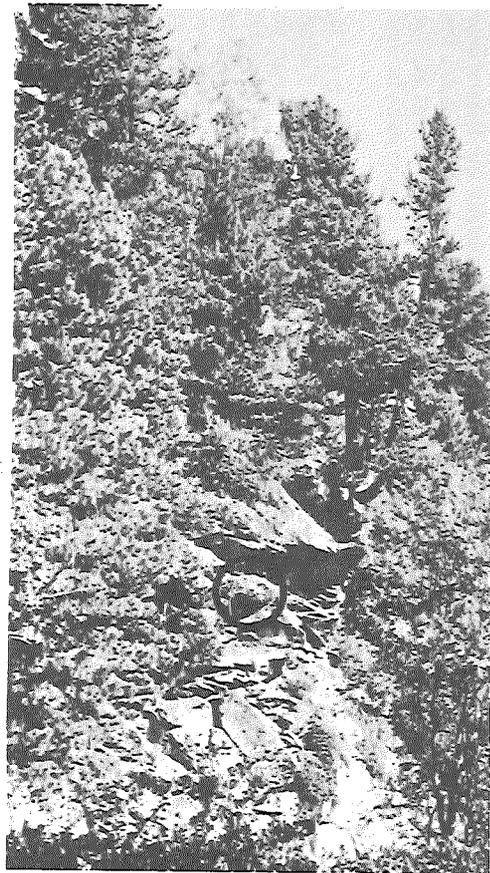
A) DISTRIBUTION DES AIRES

Pour 9 couples territoriaux suivis dans le Parc National de la Vanoise et dans sa zone périphérique (4 en Maurienne et 5 en Tarentaise), 40 aires ont été



Aiglon photographié à l'aire quinze à vingt jours avant l'envol (9 juillet 1972). Ce sera le dernier Aigle royal à pouvoir bénéficier de ce site de nidification (photo ci-dessus) car dès l'année suivante, consécutivement à des travaux d'aménagements touristiques (tracé d'une piste de ski entre autres), l'aire sera abandonnée.

On notera l'environnement de l'aire : Cembraie à Rhododendron, située à 1 950 m d'altitude. Depuis cette époque le couple territorial qui nichait classiquement en limite supérieure de forêt a été contraint de rechercher des sites dans l'étage alpin (falaises vers 2 500 m) et son succès de reproduction est devenu particulièrement faible eu égard aux autres couples territoriaux du massif de la Vanoise. (Clichés : Jean-Pierre MARTINOT).



L'AIGLE ROYAL.

répertoriées. L'une de ces aires est située 3 km à l'intérieur du Parc *stricto sensu*, deux autres appartenant à un autre couple étant respectivement à 1 km et 0,5 km à l'intérieur du Parc; 8 autres nids sont établis sensiblement sur les limites du Parc, ce qui revient à dire que 28 aires (70 %) se situent dans la zone périphérique ou pré-Parc.

Le nombre moyen d'aires par couple est de $4,4 \pm 1,7$ (extrêmes 2 et 7), chiffre un peu inférieur à celui cité par FRAMARIN (1981): 5,2, pour le Grand Paradis; il est possible que quelques aires, notamment anciennes, aient pu échapper à notre recensement. 7 nids d'un même groupe se trouvent répartis sur 1 km à peine, et les aires les plus rapprochées ne sont distantes que de quelques dizaines de mètres. Dans un autre cas, 3 aires occupées alternativement par un couple entre 1975 et 1981, dessinaient un triangle, de part et d'autre d'une vallée, ayant pour base 2,5 km et comme côtés 1,7 et 1,5 km.

L'altitude moyenne des aires est de 1995 ± 255 m ($n = 36$) (extrêmes 1 600 et 2 500 m). La cote 2 500 mètres a été également notée dans le Grand Paradis (FRAMARIN, *op. cit.*) et constitue apparemment un record, le maximum de 2 200 mètres étant cité dans la littérature (*in* GEROUDET, 1979). L'altitude moyenne du groupe d'aires le plus élevé en Vanoise est de 2 350 mètres (2 aires), celle du groupe le plus bas 1 720 mètres (3 aires).

Aucune influence de l'exposition générale de la paroi abritant une ou plusieurs aires n'a été décelée; de même la lithologie n'a pas été retenue comme facteur écologique déterminant, les aires étant indifféremment situées dans des rochers ou parois de gneiss, de calcaires dolomitiques, de schistes lustrés ou de houiller métamorphique.

B) LES TERRITOIRES

La distance moyenne établie de proche en proche entre les barycentres des divers groupes de nids permet d'évaluer la surface des territoires en nidification; en Vanoise, elle vaut en moyenne $11,9 \pm 2,6$ ($n = 8$) (extrêmes 9 et 15 km). En assimilant le territoire à un cercle de rayon 5,9 km, on obtient une surface de 110 km², chiffre corroborant celui généralement admis pour les Alpes (TERRASSE, 1978). Une autre approche peut être faite en prenant en considération les contacts notés par les agents de terrain du Parc, et en délimitant les territoires à partir des nuages de points cartographiés en période de nidification de l'espèce. Numériquement plus imprécise mais biologiquement plus réaliste, cette seconde approche conduit sensiblement au même résultat, soit à considérer des territoires de l'ordre de 100 km².

D'ailleurs, la répartition de l'espèce paraît dépendre étroitement de la topographie, le système des vallées transversales de Tarentaise favorisant l'implantation de l'Aigle royal: on compte en effet 7 couples certains (+ 2 probables) en rive gauche de l'Isère jusqu'à Moûtiers, alors qu'il n'y a que 4 couples certains en Maurienne (encore certains ont-ils établi leurs aires en rive gauche de l'Arc, hors du massif de la Vanoise).

Les stratégies d'occupation des différentes aires d'un même groupe peuvent différer considérablement d'un couple à l'autre, et l'alternance n'être en

aucune façon systématique. Une aire a été occupée 7 ans de suite; dans un autre cas, la séquence suivante a été observée sur 7 années consécutives : A, C, C, A, A, B et C (A, B et C étant les trois aires du groupe considéré).

C) CALENDRIER DE LA REPRODUCTION

En 1980, des accouplements d'Aigles royaux ont été notés les 20 février et 13 mars, en 1981 au début de février, dates normales pour l'espèce (GEROUDET, *op. cit.*).

Les envols précisément datés ont été constatés entre le 22 juillet et le 17 août (n = 9, dont 5 au tout début d'août). Le cas le plus précoce (22 juillet 1975) se rapporte à un aiglon incapable de voler correctement; récupéré par des randonneurs et replacé deux jours plus tard au pied de l'aire par des gardes, cet individu a été revu ensuite, volant normalement.

Succès de la reproduction

Sur 30 cas suivis, 8 concernaient 2 aiglons au nid ou/et à l'envol. Pour 35 reproductions réussies, 41 aiglons ont été observés à l'envol, soit un succès moyen de 1,17 aiglon/couple; mais ce chiffre ne tient pas compte des années où la reproduction n'a pas été suivie ou n'a pas eu lieu. Le nombre de jeunes à l'envol par reproduction réussie est assez variable selon les couples. Dans le meilleur cas, sur 7 années consécutives (1975-1981), 11 aiglons ont été notés à l'envol, soit un succès de 1,57 : hasard ou corrélation, il s'agit du couple dont les aires ont la cote moyenne la plus basse. Dans un autre cas, sur 7 années non consécutives (entre 1972 et 1981), 6 aiglons seulement ont été notés à l'envol, soit un succès moyen de 0,86, et même de 0,60 si l'on envisage qu'il n'y ait pas eu d'aiglons lors des années où la nidification n'a pas été dûment constatée.

D) LE RÉGIME ALIMENTAIRE

En hiver, on observe fréquemment en Vanoise les Aigles royaux adultes et immatures se nourrissant de cadavres, en particulier de chamois *R. rupicapra*; ainsi, en 1979 en Maurienne, 2 aigles furent dérangés par 2 renards alors qu'ils dépeçaient les restes d'un cadavre de chamois. La mise à mort d'Ongulés sauvages est chose plus rare et concerne souvent de jeunes individus chétifs ou/et malades dans leur premier hiver : observation au début de décembre 1978 de deux Aigles royaux achevant une éterle (jeune femelle de chamois) particulièrement maigre et petite pour son âge. Plusieurs cas de prédation de Lièvres variables *Lepus timidus* levés par des randonneurs ou skieurs hors piste nous ont été rapportés.

En ce qui concerne les proies trouvées à l'aire, elles n'ont pas été consignées systématiquement : marmottes en tout premier lieu, mais aussi

lièvres bruns, écureuils, tétras-lyres, lagopèdes; des pattes de cabris de chamois ont été identifiées dans un cas à l'aplomb d'une aire.

Toutes les réclamations pour dégâts d'Aigles en Vanoise ($n = 10$) depuis 1975 se rapportent à la même vallée (où la nidification n'a d'ailleurs pu encore être prouvée!) dans 8 cas pour des ovins et dans 2 cas pour des caprins. Les plaintes ont été notées pour la plupart en octobre-novembre. Si, dans 8 cas sur 10, les aigles ont pu être observés sur des cadavres, la mort de l'animal ne semble pouvoir leur être imputée que dans 2 cas seulement.

E) CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

La plupart des couples territoriaux étudiés semblent implantés depuis une vingtaine d'années au moins. Aucune augmentation numérique ne semble s'être produite depuis les premières estimations faites par TOURNIER et LEBRETON (1972, 1973, 1974); tout porte à penser que la population d'Aigles royaux du Parc National de la Vanoise et de sa zone périphérique est stable, et que tous les territoires potentiels sont pratiquement occupés.

Les menaces directes sur l'espèce sont sans doute réduites en Vanoise, grâce au contexte du Parc National (au Sud et au Nord de celui-ci néanmoins, malgré la protection légale, un Aigle royal a été tué en mars 1979 à Valloire, un autre en février 1982 dans le Beaufortin). Par contre, les perturbations « indirectes », par destruction du biotope, peuvent compromettre à moyen terme l'avenir de l'espèce en Savoie. On doit citer au premier chef les aménagements touristiques lourds, notamment en Haute-Tarentaise, qui oblitèrent le territoire de 2 couples au moins. Toujours en Tarentaise, un projet de retenue hydro-électrique met en cause le site d'un troisième couple. Enfin des équipements tels que câbles et/ou lignes électriques occasionnent trop fréquemment la mort d'individus : ainsi, en 1981, un immature fut trouvé mort sous la ligne électrique du Perron des Encombres, commune de Saint-Martin la Porte.

Un programme de suivi des couples d'Aigles royaux de Vanoise et de Savoie est en cours, qui s'inscrit dans le cadre des recherches interrégionales définies par le 1^{er} Colloque international sur l'Aigle royal, tenu à Montpellier le 8 novembre 1981.

REMERCIEMENTS. - Nous tenons à remercier sincèrement ici tous les agents du Parc National de la Vanoise et les membres du groupe Ornithologique Savoyard qui ont bien voulu nous transmettre leurs observations; sans eux, la connaissance et la protection de l'Aigle royal en Savoie n'auraient transcendé le cadre de l'anecdote et du règlement. Nous devons par ailleurs à Ph. LEBRETON et à H. TOURNIER de précieux conseils pour l'exploitation des résultats et la présentation du manuscrit; nous les en remercions vivement.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- FRAMARIN (F.), 1981. - Indagine sulla popolazione dell' Aquila Reale (*Aquila Chrysaetos*) nel Parco Nazionale Gran paradiso. Rapport du Parc National du Grand Paradis, 8 p.
- GEROUDET (P.), 1979. - *Les rapaces diurnes et nocturnes d'Europe*. Edit. : Delachaux et Niestlé - Neuchatel, 463 p.
- LEBRETON (Ph.), TOURNIER (H.) avec la participation de BARRUEL (P.), 1972. - Etude de l'Avifaune du Parc National de la Vanoise I - Inventaire des Oiseaux de la Haute-Maurienne. *Trav. sci. Parc nation. Vanoise*, II, 153-172.
- MATHIEU (R.), CHOISY (J.-P.) et coll., 1982. - L'Aigle royal (*Aquila chrysaetos*), dans les Alpes méridionales françaises de 1964 à 1980. *Bièvre*, 4 (1), 1-32.
- TERRASSE (J.F), (M.), 1978. - Je découvre les rapaces. Document multigraphié Paris, 153 p.
- TOURNIER (H.), LEBRETON (Ph.), 1973. - Etude de l'Avifaune du Parc National de la Vanoise. II - Activités ornithologiques durant l'année 1971. *Trav. sci. Parc nation. Vanoise*, III, 167-178.
- TOURNIER (H.), LEBRETON (Ph.), 1974. - Etude de l'Avifaune du Parc National de la Vanoise. III - Inventaire des oiseaux de la Haute-Tarentaise. *Trav. sci. Parc nation. Vanoise*, V, 199-211.

(Reçu pour publication, décembre 1982)

LES ENSEIGNEMENTS
D'UN TRANSECT ORNITHOLOGIQUE EN MAURIENNE
IX – ÉTUDE DE L'AVIFAUNE
DU PARC NATIONAL DE LA VANOISE
II – CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DES RELATIONS
AVIFAUNE/ALTITUDE

par Joël BROYER, Philippe LEBRETON et Hubert TOURNIER (1)

Introduction	184
I. – Partie expérimentale	185
II. – Résultats et discussion	190
A) Profils systématiques	190
B) Profil de l'avifaune	196
C) Profil biocénotique	203
Conclusions générales	208
Références bibliographiques	209

Résumé. – 236 points d'écoute ornithologique (en présence/absence spécifiques), répartis en Maurienne dans le Parc et Pré-Parc national de la Vanoise, entre 300 et 3 000 m d'altitude, ont permis d'étudier l'influence du milieu de montagne sur l'avifaune nidificatrice.

La distribution des principales espèces et familles a été étudiée par tranches d'altitude correspondant sensiblement aux étages (et sous-étages) bioclimatiques. Le nombre d'espèces, la biomasse spécifique moyenne, l'indice de sédentarité, etc, subissent des variations dont la liaison avec l'altitude est parfois directe (Sylviidés par exemple), le plus souvent indirecte (surtout par le biais de la végétation).

En fin de compte, trois pôles avifaunistiques peuvent être distingués : le pôle alpin-nival, le pôle des boisements résineux, le pôle anthropisé (milieux feuillus et ouverts), respectivement symbolisés par l'Accenteur alpin *Prunella collaris*, la Mésange noire *Parus ater* et le Moineau domestique *Passer domesticus*.

Mots-clés : Alpes de Savoie – Transect altitudinal – Avifaune.

(1) Centre Ornithologique Rhône-Alpes (Université Lyon-I, 69622 Villeurbanne); Groupe Ornithologique Savoyard, (Centre Universitaire de Savoie, Jacob-Bellecombette, 73011 Chambéry).

Summary. - RESULTS OF AN ORNITHOLOGICAL TRANSECT STUDY IN MAURIENNE. IX - A STUDY OF THE BIRD POPULATIONS IN VANOISE NATIONAL PARK. II - CONTRIBUTION TO THE STUDY OF RELATIONSHIPS AVIFAUNA/ALTITUDE.

236 ornithological sampling points, translated as presence/absence for each species, in the Maurienne (Vanoise National Park and surroundings) from 300 to 3 000 m altitude, have provided data on influence of the mountain environment on bird community life.

The distribution of the main species and families has been studied at altitudes corresponding to bioclimatic levels. The number of species, the mean specific biomass and the sedentarity index sometimes vary directly with altitude (Sylviidae), but more often vary indirectly being influenced by vegetation.

Finally, three ornithological types can be distinguished in this mountain environment: arctic-alpine, coniferous and man-modified, respectively represented by the Alpine Accentor *Prunella collaris*, the Coal Tit *Parus ater* and the House Sparrow *Passer domesticus*.

Key-words: *Alps of Savoy - Altitudinal transect - Avifauna.*

Zusammenfassung. - In der Maurienne, und zwar im Nationalpark der Vanoise und seiner vorgelagerten Zone waren in Höhenlagen von 300 bis 3 000 m 236 ornithologische Horchposten zur Ermittlung der quantitativen An- und Abwesenheit der Arten verteilt. Sie erlaubten, den Einfluß des Berg-Milieus auf die Brutvogelwelt zu studieren.

Die Verteilung der wichtigsten Arten und Familien wurde nach Höhen-Abschnitten entsprechend den bioklimatischen Stufen (und Unterstufen) untersucht. Die Artenzahl, die mittlere spezifische Biomasse und der Artengemäße Index der Ortsgebundenheit u.s.w. unterliegen Variationen, die manchmal direkt an die Höhenlage gebunden sind (Beispiel: Sylviiden), meistens aber nur indirekt (auf dem Weg über die Vegetation).

Im wesentlichen kann man drei verschiedene Bereiche unterscheiden: den alpin-nivalen, den der Nadelgehölze, den anthropisierten (Laubgehölze und offene Flächen). Die drei Bereiche sind jeweils gekennzeichnet: durch Alpenbraunelle *Prunella collaris*, Tannenmeise *Parus ater* und Haussperling *Passer domesticus*.

INTRODUCTION

L'un des charmes de la montagne réside dans la rapidité avec laquelle la flore ou la faune se modifient aux yeux du promeneur, au gré d'un versant, du substrat et, plus encore, de l'altitude. Ainsi, certains oiseaux se cantonnent, ou « décrochent », à des niveaux bien définis, si bien que le Lagopède n'a guère de chances d'entendre un jour le Rossignol...

Plus globalement considérée, l'avifaune accuse diverses variations, dont certaines n'ont pas manqué d'être depuis longtemps soulignées: dès 1850, TSCHUDI (cité dans l'Atlas des Oiseaux nicheurs de Suisse, 1980, p. 27) note une diminution du nombre des espèces lorsqu'augmente l'altitude. Plus récemment, citons les études conduites par WARTMANN et FURRER (1977-1978) dans les

Grisons, par BLONDEL (1978) au Mont Ventoux, par AFFRE (1980) qui établit des « profils d'espèces » dans les Pyrénées orientales et ariégeoises; à une autre échelle, THIOLLAY (1980) a recensé les oiseaux, et étudié les variations de l'avifaune le long d'un transect népalais, sur près de 5 km de dénivellée.

Après une étude plus générale conduite au niveau de la région Rhône-Alpes (LEBRETON et BROYER, 1981), nous rapportons et discutons ici les résultats obtenus en Maurienne, entre 300 et 3 000 m d'altitude, dans le cadre des travaux de recherche conduits au sein du Comité Scientifique du Parc National de la Vanoise.

I. - PARTIE EXPÉRIMENTALE

A) LES MILIEUX

Plusieurs attitudes (plus ou moins distinctes) sont à priori possibles concernant l'échantillonnage des milieux : la première consiste à placer les stations « au hasard » ou - ce qui revient au même en pratique - à l'intersection de coordonnées topogéographiques déterminées (voir par exemple BOURNAUD et CORBILLE, 1979); nous ne l'avons pas adoptée compte-tenu de son coût chronologique élevé en haute montagne. Une deuxième démarche, moins aléatoire, a pour ambition de fournir une image aussi fidèle que possible de la réalité de terrain : elle exige de délimiter sur cartes les surfaces occupées par les différents milieux, afin de leur proportionner le nombre des stations d'étude (2). Il est à noter que cette manière de faire rejoint en principe la précédente, dans la mesure où le hasard et les grands nombres consentent à bien faire les choses... Une troisième méthode, assez formelle dans le contexte, consiste à placer un nombre égal de stations dans chaque tranche d'altitude, ce qui revient à construire une « montagne théorique » à pente régulière.

La réalité s'est inscrite entre ces extrêmes : à partir d'un premier échantillonnage de quelque 400 stations, saupoudrant l'ensemble de la Maurienne, de la plaine aux cimes, une extraction mi-empirique mi-rationnelle nous a conduits à retenir 236 stations incluant la totalité des formations paysagères et végétales, les diverses orientations, etc.; ainsi, chaque milieu forestier (mélèze, pessière mésohygrophile, pinède sylvestre...) est-il représenté par 8 stations (3). Plus globalement, 7 types de milieux ont été étudiés, des plus simples aux plus complexes : pelouses alpines, idem + rochers, villages, landes, brous-

(2) Plus « régionaliste », cette approche expérimentale pourra faire l'objet d'un dépouillement et d'un traitement particuliers de la matrice générale par le Groupe Ornithologique Savoyard.

(3) Chiffre permettant de penser que 80 % environ de l'avifaune a été qualitativement inventorié (calculé d'après FERRY, 1976), et semi-quantitativement recensé (par le biais des fréquences).

TABLEAU I
Répartition des milieux dans les sous-étages

Sous-Étages	Cotes (en m)	Villages	Bocage Prés-Bois	Boisements	Brousses	Landes	Pelouses	Pelouses rocailles	Nombre stations
VIII. Nival	≥ 2400	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	67 %	33 %	9
VII. Alpin	2100-2399	0 %	0 %	0 %	9 %	9 %	36 %	45 %	11
<u>Subalpin</u>									
VI. supér.	1800-2099	2 %	7 %	43 %	5 %	18 %	23 %	2 %	60
V. infér.	1500-1799	15 %	12 %	60 %	0 %	13 %	0 %	0 %	52
<u>Montagnard</u>									
IV. supér.	1200-1499	13 %	22 %	41 %	0 %	25 %	0 %	0 %	32
III. infér.	900-1199	30 %	30 %	20 %	0 %	20 %	0 %	0 %	10
II. Collinéen	600- 899	8 %	15 %	46 %	0 %	31 %	0 %	0 %	13
I. Planitiaire	300- 599	18 %	49 %	16 %	12 %	4 %	0 %	0 %	49
Moyenne des sous-étages		11 %	17 %	28 %	3 %	15 %	16 %	10 %	-
Moyenne des stations		11 %	19 %	36 %	4 %	15 %	10 %	4 %	-

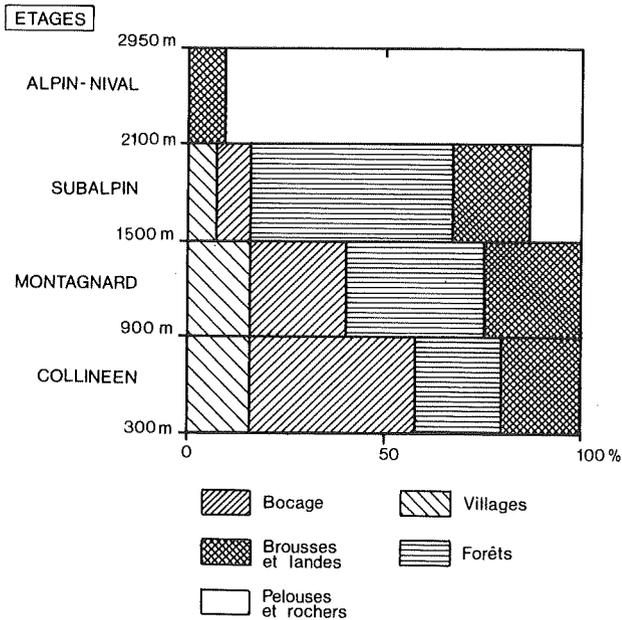


FIG. 1. - Répartition des milieux végétaux dans les étages bioclimatiques.

ses, prés-bois + bocage, boisements; dans le même ordre, les chiffres qui suivent sont relatifs au pourcentage des 236 stations étudiées pour chaque milieu, la valeur entre parenthèse traduisant la réalité de terrain en Maurienne: 10 (40) %; 4 (15) %, 11 (2) %, 15 (9) %, 4 (5) %, 19 (13) % et 36 (16) %. Pour le traitement de données, les observations ont été regroupées en tranches de 300 m (300-599 m, 600-899 m, ..., > 2 400 m), comparables à des sous-étages bioclimatiques. Regroupées 2 à 2, ces tranches d'altitude correspondent en effet en gros aux étages dits collinéen, montagnard, subalpin et alpin, ainsi représentés par 26 %, 18 %, 47 % et 9 % des stations respectivement.

Le tableau I et la figure 1 rendent compte plus en détail de cette répartition, qui traduit surtout une sous-représentation des milieux alpins, que peuvent justifier leur simplicité et leur homogénéité; les raisons inverses s'appliquent aux milieux boisés, tandis que l'importance prise par les villages dans nos relevés est sans doute d'ordre anthropocentriste... En toute rigueur, nos conclusions ne concernent que la montagne ainsi « reconstituée »; on peut néanmoins penser qu'elles ont valeur absolue au moins partiellement locale, voire régionale.

En ce qui concerne la répartition feuillus/résineux, tributaire de l'altitude, on note logiquement une nette prédominance des premiers aux basses cotes, l'inverse pour les résineux (tabl. II): la cote moyenne des formations feuillues est égale à 965 m (écart-type 640 m, 64 stations), celle des formations

TABLEAU II
Physionomie des formations boisées en fonction de l'étagement

Sous-Etages	Cotes (en m)	Feuillus	Mixtes	Résineux
<u>Subalpin</u>				
VI. supér.	1800-2099	0 %	0 %	100 %
V. infér.	1500-1799	+ 43 %	0 %	57 %
<u>Montagnard</u>				
IV. supér.	1200-1499	24 %	33 %	43 %
III. infér.	900-1199	100 %	0 %	0 %
II. Collinéen	600- 899	100 %	0 %	0 %
I. Planitiaire	300- 599	100 %	0 %	0 %

+ dont 27 % dûs à la ripisylve à Aune blanc de Bessans

résineuses à 1 740 m (210 m, 55 stations), celle des formations mixtes à 1 390 m (160 m, 7 stations). La représentation est bien moins équitable pour les versants, la Maurienne s'orientant d'ouest en est sensiblement; le tableau III rend compte du spectre obtenu, les versants sud et nord l'emportant

TABLEAU III
Répartition des orientations sur l'ensemble des stations

Orientation	Nombre de stations, et pourcentage	
Sud-Est	28 - 12 %	} +28 % ++ 43 %
Sud	37 - 16 %	
Sud-Ouest	7 - 3 %	} 11 % 17 %
Ouest	19 - 8 %	
Nord-Ouest	20 - 8 %	} 18 % 28 %
Nord	23 - 10 %	
Nord-Est	4 - 2 %	} 8 % 11 %
Est	13 - 6 %	
A plat ⁺⁺⁺	85 - 36 %	36 %
		100 %

Calculé + sur l'ensemble des stations

++ sur les stations obliques

+++ surtout dans les sous-étages planitiaire et nivel

logiquement sur les autres. Ainsi, au niveau de chaque station ont été notés, outre l'altitude : l'exposition, le paysage et/ou la formation végétale, ainsi que le degré d'ouverture de la végétation.

B) L'AVIFAUNE

Les 236 points d'écoute ornithologique retenus ont été traités par la méthode des EFP (BLONDEL, 1975) : la liste comporte ainsi a priori les espèces aviennes observées et/ou entendues pendant 20 mn consécutives en un point fixe. Les relevés, étalés sur plusieurs années (4), conduisent à l'établissement d'une matrice exprimée en présence/absence. Sans permettre évidemment des études fines, d'ordre quantitatif, cette démarche se caractérise par sa commodité, et autorise des comparaisons d'ordre fréquentiel entre espèces et/ou milieux.

Sur l'ensemble des stations, une liste d'une centaine d'espèces a été obtenue (la Maurienne en son ensemble compte 120 espèces nidificatrices), ramenée à 72 par l'élimination i. des Rapaces (dont les grands territoires ne s'inscrivent pas à l'échelle de notre étude), du Faisan et de la Corneille (relevant d'un biais anthropique), ii. des espèces qualifiées ici **d'accidentelles** en raison d'une fréquence stationnelle égale au plus à 2 % (il en est ainsi du Lagopède, noté dans 2 stations seulement, ainsi que du Grand Corbeau, du Bruant proyer, etc.). On obtient ainsi une liste où la moitié des espèces peuvent être qualifiées de **constantes** ($\bar{F} \geq 10\%$) sur l'ensemble des relevés (depuis le Pinson des arbres, $\bar{F} = 69\%$, jusqu'au Pouillot de Bonelli, $\bar{F} = 10,2\%$), tandis que 37 espèces sont ici **accessoires** (depuis le Bruant fou, $\bar{F} = 9,7\%$, jusqu'à l'Etourneau, $\bar{F} = 2,0\%$). La moyenne du nombre d'espèces notées par station est ainsi égale à 9,55.

Pour chaque station (et, consécutivement, pour chaque formation, sous-étage, etc) ont été calculés i. la biomasse spécifique moyenne $\bar{B}_{sp.}$, moyenne des biomasses des espèces présentes (valeurs tirées de GEROUDET, 1957-1961), ii. l'indice moyen de sédentarité \bar{I}_s , moyenne des indices de sédentarité des espèces présentes (par exemple 1 pour l'Accenteur alpin, 0,5 pour la Mésange noire, 0 pour la Fauvette des jardins ; voir LEBRETON *et al.*, 1976).

Nous disposons ainsi d'un corps de données et de paramètres permettant d'aborder l'étude des relations milieu/avifaune en fonction de l'altitude.

(4) Les EFP forestiers résultent de la conversion des I.P.A. obtenus dans notre précédent travail (LEBRETON *et al.*, 1976); les autres données proviennent d'ornithologues savoyards, que nous remercions ici de leur contribution (par ordre d'importance numérique décroissante) : Marc DOMENGET et Bernard MOREAUX, Gérard COTRON, Elisabeth TOURNIER, Bruno RONCATO et Catherine BOUCHUT, Jean-Pierre MARTINOT, Bernard COUTAZ, Marc BETHMONT.

II. - RÉSULTATS ET DISCUSSION

A) PROFILS SYSTÉMATIQUES

1. Au niveau des espèces et des genres

Une démarche simple, adoptée par exemple par AFFRE (1980), consiste à éprouver la répartition des espèces *une à une* dans les diverses stations : il s'agit d'autécologie. Une première condensation de l'information est obtenue en calculant la moyenne altitudinale des diverses stations occupées par chaque espèce; pour les oiseaux à distribution unimodale - la majorité -, l'écart-type renseigne en outre sur l'amplitude de la distribution. Le tableau IV

TABLEAU IV
Répartition altitudinale des espèces aviennes constantes
(F > 10 %) en Maurienne

Espèces aviennes	Fréquence stationnelle	Cote moyenne	Ecart-type	
1. Pipit spioncelle	15,3 %	2124 m	291 m	} Etage alpin
2. Traquet motteux	11,0 %	2069 m	196 m	
3. Merle à plestron	18,6 %	1821 m	200 m	
4. Sizerin flammé	13,1 %	1815 m	145 m	} Etage subalpin
5. Bec-croisé	10,6 %	1756 m	197 m	
6. Roitelet huppé	12,3 %	1753 m	205 m	
7. Traquet tairier	16,1 %	1687 m	287 m	
8. Mésange noire	18,2 %	1653 m	185 m	
9. Rougequeue noir	22,0 %	1635 m	568 m	
10. Mésange huppée	10,6 %	1614 m	207 m	
11. Pipit des arbres	18,2 %	1602 m	363 m	
12. Pouillot de Bonelli	10,2 %	1562 m	333 m	
13. Pic épeiche	19,1 %	1559 m	406 m	
14. Accenteur mouchet	44,9 %	1530 m	514 m	} Répartition bimodale avec maximums à 300-599 et 2100-2399 m
15. Mésange boréale	30,1 %	1496 m	534 m	
16. Linotte mélodieuse	17,8 %	1493 m	447 m	
17. Pinson des arbres	68,6 %	1376 m	549 m	
18. Troglodyte	35,6 %	1352 m	629 m	
19. Alouette des champs	17,8 %	1314 m	711 m	
20. Rougegorge	32,6 %	1304 m	566 m	
21. Fauvette des jardins	22,5 %	1301 m	593 m	
22. Bouvreuil	26,3 %	1210 m	587 m	
23. Bergeronnette grise	10,6 %	1191 m	644 m	
24. Grive draine	19,5 %	1187 m	579 m	
25. Coucou	19,9 %	1114 m	709 m	
26. Pouillot véloce	25,4 %	1113 m	678 m	
27. Chardonneret	21,6 %	1051 m	493 m	
28. Pie-grièche écorcheur	10,2 %	1036 m	412 m	
29. Merle noir	51,3 %	1023 m	571 m	
30. Pic vert	10,2 %	1006 m	580 m	
31. Moineau domestique	15,3 %	909 m	512 m	
32. Serin cini	11,4 %	877 m	493 m	
33. Mésange charbonnière	27,1 %	710 m	395 m	} Etage collinéen-planitiaire
34. Fauvette à tête noire	25,0 %	627 m	352 m	
35. Rossignol	14,4 %	429 m	137 m	

rapporte les résultats ainsi obtenus pour les 35 espèces dites constantes (plus de 24 stations) dans le contexte, classées par altitude moyenne décroissante.

Seules les espèces à cote moyenne faible ou forte sont affectées d'un faible écart-type (inférieur à 400 m) et peuvent être considérées comme relativement sténiques, donc *caractéristiques* des étages correspondants (respectivement collinéen, subalpin et alpin). Quant aux autres oiseaux, il s'agit d'euryques notoires (Pinson, Troglodyte, Rougegorge, etc.) que leur barycentre altitudinal rattache à un étage donné au simple titre d'espèces-*compagnes* : Serin cini pour l'étage collinéen, Bouvreuil pour le montagnard, etc.

Cependant de telles valeurs sont entachées d'un biais résultant de l'inégale répartition altitudinale des stations; mieux vaut donc exprimer les résultats *en fréquences* : pourcentage des stations occupées dans chaque étage, ou sous-étage, le graphe correspondant emportant bien plus d'information que précédemment. La figure 2 illustre le propos pour 12 espèces, regroupées 2 à 2 afin de mettre en évidence le phénomène de *vicariance altitudinale*, particulièrement explicite pour les genres *Anthus*, *Prunella*, *Turdus* et *Acanthis*. La notion

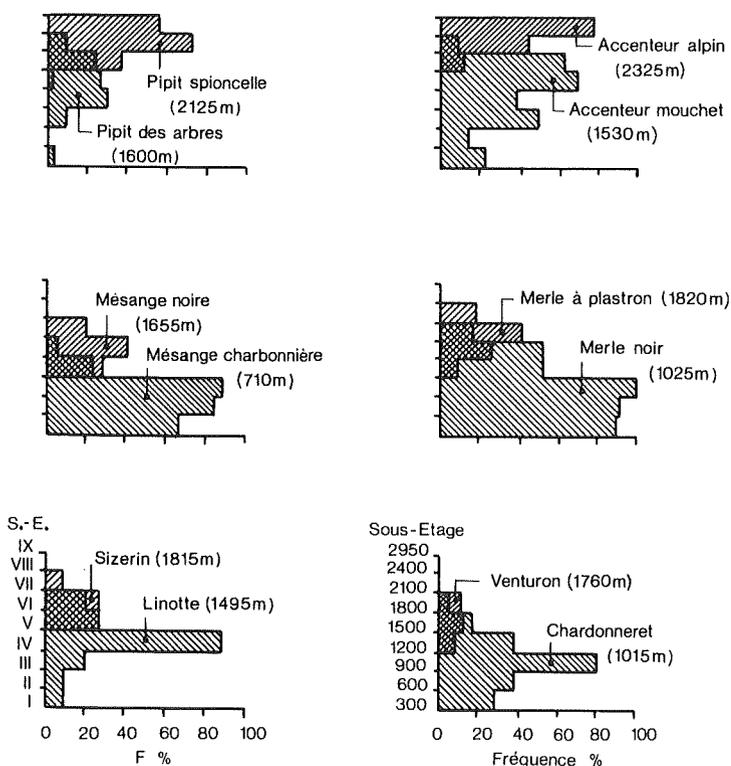


FIG. 2. - Quelques vicariances aviennes altitudinales.

est peut-être plus discutable pour la paire Venturon/Chardonneret (le vicariant *sensu stricto* du premier est en fait le Serin cini; cf. tableau IV) et pour la paire Mésange noire/Mésange charbonnière (la première méritant éventuellement mieux d'être comparée à la Mésange bleue : cote moyenne 640 m, écart-type 340 m, 22 stations).

La séparation écologique de deux espèces apparentées peut d'ailleurs faire appel à d'autres paramètres de milieu que l'altitude. Ainsi, Sizerin et Venturon, relativement peu distincts à cet égard (1 815 et 1 760 m respectivement), le sont bien davantage selon les versants : alors que le premier est noté 9 fois en versant W (sur 20 stations obliques), le second l'est 10 fois en versants S et SE (sur un total de 17 stations); le phénomène tient à la nature des formations concernées, aunaies vertes et blanches pour le premier, pinèdes sylvestres et pessières pour le second.

Toutefois, nous ne détaillerons pas ici l'écologie des Passeraux forestiers de Vanoise, ce sujet ayant déjà reçu un traitement plus approfondi (LEBRETON *et al.*, 1976). Seuls quelques oiseaux feront ici l'objet de quelques remarques : le record d'altitude est détenu par la Niverolle (2 520 m; $\sigma = 415$ m; $n = 12$), tandis que la Pie (412 m; 45 m; $n = 13$) est la plus planitiaire des espèces; le Merle de roches (1 933 m; 250 m; $n = 13$) connaît 10 de ses 13 stations en versants SW-S-SE; 7 des 12 stations du Bruant ortolan (1 425 m; 230 m) et 14 des 24 stations de la Pie-Grièche écorcheur (1 035 m; 412 m) sont en versant S; 26 des 36 stations du Moineau domestique sont des villages (*tous* les villages), les autres relevant de la catégorie « Bocage », etc.

2. Au niveau des familles

Quatre familles, regroupant 38 espèces (53 % de l'avifaune considérée), sont à elles seules responsables de près des 2/3 des observations : Turdidés (12 espèces; 21,4 %), Fringillidés (9 espèces; 10,2 %), Paridés (8 espèces; 11,8 %), Sylviidés (9 espèces; 11,4 %). Le tableau V (par sous-étages) et la figure 3 (par étages) traduisent l'évolution de cette répartition en fonction de l'altitude, et permettent les remarques suivantes :

- les Turdidés ont une fréquence sensiblement constante ($20,8 \pm 1,0$ %) dans tous les sous-étages I à VI (300 à 2 099 m) et gardent un poids honorable au-delà : 11 % dans le sous-étage nival, et même 37 % dans le sous-étage alpin *sensu stricto*, phénomène dû au Rougequeue noir et au Traquet motteux;

- les Paridés par contre, bien représentés jusqu'à 1 500 m ($\bar{F} = 15,6 \pm 3,2$ %), diminuent déjà dans le subalpin ($9,5 \pm 1,1$ %) et sont totalement absents, en tant qu'arboricoles stricts, de l'étage alpin *sensu lato*;

- un peu faibles dans le collinéen ($\bar{F} = 15,5 \pm 0,5$ %), les Fringilles égalent les Turdidés dans le montagnard et le subalpin ($22,4 \pm 2,6$ %) mais disparaissent rapidement au-delà;

- quant aux Sylviidés, leur fréquence diminue ici régulièrement de la plaine aux cimes (relation : $\bar{F} = 18,8 - 2,0 \times (\text{rang du sous-étage})$; $r = 0,95$, $p \leq 1\%$), phénomène qu'il est sans doute possible d'attribuer au gradient thermique. Les Sylviidés sont en effet une famille de faibles biomasses, dont

TRANSECT ORNITHOLOGIQUE EN MAURIENNE

TABLEAU V
Répartition des familles aviennes dans les divers sous-étages

Sous-Etages	Cotes (en m)	Turdidés	Fringillidés	Paridés	Sylviidés	Autres Familles
VIII. Nival	≥ 2400	11,1 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	+ 88,9 %
VII. Alpin	2100-2399	36,7 %	3,3 %	0,0 %	5,0 %	++ 55,0 %
Subalpin						
VI. supér.	1800-2099	22,1 %	19,2 %	8,6 %	8,0 %	42,1 %
V. infér.	1500-1799	20,9 %	24,8 %	10,4 %	11,0 %	32,9 %
Montagnard						
IV. supér.	1200-1499	21,5 %	21,5 %	15,8 %	10,2 %	31,0 %
III. infér.	900-1199	19,4 %	24,2 %	12,9 %	11,3 %	32,2 %
II. Collinéen	600- 899	20,0 %	15,7 %	20,0 %	15,7 %	28,6 %
I. Planitiaire	300- 599	20,7 %	15,2 %	13,6 %	15,7 %	34,8 %
Moyenne des sous-étages	-	21,6 %	15,5 %	10,2 %	9,6 %	-
Moyenne des stations	-	21,4 %	19,2 %	11,8 %	11,4 %	-

+ dont Plocéidés : 30 %

++ dont Motacillidés : 15 %

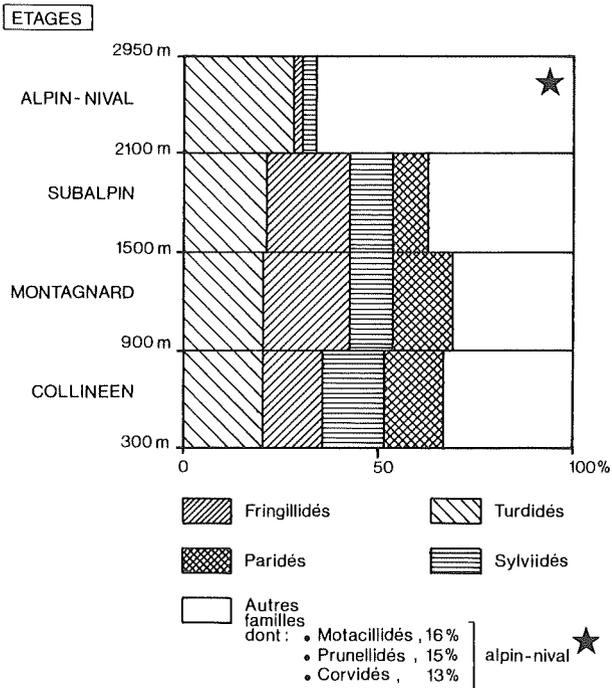


FIG. 3. - Etagement des principales familles aviennes.

TABLEAU VI
*Paramètres écologiques et biologiques (moyenne des espèces)
 des 4 principales familles aviennes*

	Cote moyenne	Biomasse moyenne	Indice moyen de sédentarité
Sylviidés	1080 \pm 515 m	12,6 \pm 4,8 g	0 %
Turdidés	1400 \pm 470 m	56,5 \pm 41,2 g	17 %
Paridés	1035 \pm 470 m	13,1 \pm 4,9 g	88 %
Fringillidés	1340 \pm 400 m	19,9 \pm 7,3 g	44 %

toutes les espèces sont ici migratrices intégrales; d'ailleurs, avec une biomasse moyenne bien plus élevée (tabl. VI), les Turdidés atteignent une cote supérieure, bien qu'avec un indice de sédentarité encore faible. Une stratégie thermique inverse de celle des Sylviidés est toutefois adoptée par les Paridés qui, avec une cote et une biomasse moyennes identiques, ont un indice de sédentarité très élevé (88 %); les régimes alimentaires sont sans doute en cause;

- pour les autres familles, l'importance cumulée reste constante ($31,0 \pm 2,3$ %) jusqu'à 1 800 m, et croît au-delà jusqu'à représenter près des 9/10^e des notations dans le sous-étage nival; Accenteur alpin, Pipit spioncelle, Niverolle et Chocard sont alors responsables du poids relatif important pris par les 4 familles correspondantes (tabl. V et fig. 3).

Enfin, la composition spécifique des avifaunes permet d'éprouver la validité des sous-étages, et étages, ci-dessus délimités avec un certain arbitraire; on calcule à cet effet leurs affinités successives, telles que les rapporte le tableau VII (les calculs sont effectués sur les espèces de fréquences supérieures à 10 % dans chaque sous-étage, afin d'éliminer le « bruit de fond » des espèces marginales, et de réduire le biais dû au nombre inégal de stations).

Si les sous-étages planitiaire et collinéen d'une part, subalpins inférieur et supérieur d'autre part, présentent logiquement de fortes affinités ($J > 70$ %), il est à priori plus surprenant de constater les affinités élevées ($J > 70$ %) des sous-étages collinéen et montagnard inférieur d'une part (il est vrai que les feuillus montent haut en Maurienne), montagnard supérieur et subalpin inférieur d'autre part (il est vrai que le Hêtre, hôte fréquent du montagnard, est absent de Maurienne); corrélativement, l'affinité est faible ($J = 62$ %) entre les 2 sous-étages constitutifs de l'étage montagnard (5).

(5) Cependant, le fait d'élever la barre de fréquence à 15 % modifie quelque peu ces conclusions.

TABLEAU VII
Coefficients d'affinité avifaunistique entre sous-étages consécutifs
(calculé selon SØRENSEN, $J \% = 2c/a + b$) $\bar{F} > 10 \%$

Sous-Étages	Cotes (en m)	Coefficient d'affinité J %
VIII. Nival	≥ 2400	} ——— 44 %
VII. Alpin	2100-2399	
<u>Subalpin</u>		} ——— 64 %
VI. supér.	1800-2099	
V. infér.	1500-1799	} ——— 76 %
<u>Montagnard</u>		
IV. supér.	1200-1499	} ——— 74 %
III. infér.	900-1199	
II. Collinéen	600- 899	} ——— 62 %
I. Planitiaire	300- 599	

Ce dernier résultat ne fait que souligner « l'ambiguïté » de cet étage, déjà dénoncée par l'un d'entre nous (6), et dont le déterminisme relève certainement de l'opposition feuillus/résineux (cf. tabl. II) : dans le présent contexte éco-géographique, les feuillus sont en effet largement majoritaires jusqu'à 1 200 m, tandis que les formations mixtes et résineuses forment les 3/4 du montagnard supérieur, permettant donc l'accueil d'oiseaux « subalpins ». De telles remarques tendent à souligner la sensibilité de l'oiseau à la physionomie végétale, ce paramètre l'emportant donc ici sur la dénivellation proprement dite, bien que celle-là dépende de celle-ci, évidemment.

De même, la présence « contaminante » des strates buissonnante (landes : Accenteur mouchet, Troglodyte) et arbustive (brousses : Fauvette des jardins, Sizerin), jointe à celle d'arbres plus ou moins isolés (« zone de combat », à la limite supérieure de la forêt proprement dite : Pinson, Pipit des arbres) permet-elle de comprendre un coefficient d'affinité du sous-étage alpin plus élevé avec le sous-étage subalpin supérieur ($J = 64 \%$) qu'avec le sous-étage nival ($J = 44 \%$) ; ce dernier ouvre en outre la strate herbacée, seule présente, à l'élément minéral. Inversement, le déboisement, ou l'absence locale de boisement, en-dessous de 2 100 m, permet l'implantation de certains oiseaux non-arboricoles (Spioncelle, Traquet motteux, Rougequeue noir) à de tels niveaux. Le fait d'éliminer plus sévèrement encore les espèces marginales en élevant la barre fréquentielle à 15 % amène d'ailleurs les affinités respectives à 34 et 53 %, en meilleur accord avec l'impression immédiate.

(6) « Ne peut-on penser que l'étage montagnard est en fait pour l'oiseau une zone de transition, subordonnée aux deux formations que sont forêts caducifoliées et forêts sempervirentes ? » (LEBRETON, 1973, p. 202).

B) PROFIL DE L'AVIFAUNE

Au-delà des espèces et autres taxons, il convient également d'examiner la structure globale du peuplement avien, ainsi que les modifications se manifestant avec l'altitude ou autres facteurs afférents.

1. Effets de l'altitude

Le nombre d'espèces, ou richesse spécifique S , est un indicateur très simple, souvent efficace, de la richesse (qualitative) du milieu lui-même. Comme les auteurs précités (7), nous avons constaté une diminution du nombre d'espèces lorsqu'augmente l'altitude, qu'il s'agisse de la richesse stationnelle moyenne ou de la richesse totale (espèces de fréquence au moins égale à 10 % ; cf. 1.2.) par sous-étage (tabl. VIII). Une relation linéaire ($\bar{S} = 14,0 - 1,14 \times (\text{rang du sous-étage})$) parfaitement significative ($r = -0,88$, $p < 1\%$) relie d'ailleurs la richesse moyenne à l'étagement (fig. 4a, droite continue).

Quelques nuances sont néanmoins possibles. On peut ainsi retrouver, bien que ténue, la distinction entre zone feuillue (sous-étages I à III, 300 à 1 199 m) et zone résineuse (sous-étages IV à VI, 1 200 à 2 099 m) : richesse moyenne ($11,6 \pm 0,8$ et $9,3 \pm 0,9$ espèces respectivement), richesse totale (34 ± 1 et 30 ± 3 espèces respectivement), nombre de familles ($15,5 \pm 0,5$ et $12,7 \pm 1,0$ familles respectivement) (8).

On peut également noter le décrochement des points VII et VIII (étage alpin) par rapport à la droite moyenne traduisant la richesse stationnelle (cf. fig. 4a) et préférer résoudre celle-ci en deux segments (droites pointillées) rendant compte de la discontinuité des étages boisés et non-boisé. Le nombre de familles est également affecté par ce phénomène de diminution altitudinale, moins fortement que celui des espèces toutefois, si bien que diminue également le nombre moyen d'espèces par famille (cf. tabl. VIII).

Plus sophistiquée que la notion de richesse spécifique, celle de la diversité (quali-quantitative) informatrice H' de Shannon rend bien compte également du hiatus fondamental existant entre étages boisés et non-boisé, passant de 4,8 bits environ à 3,8 puis 2,8 bits (9) (tabl. III) ; il en est de même de l'équitabilité J' ($= H'/H_{\text{Max}}$), qui permet en outre de déceler à nouveau la distinction feuillus vs. résineux ($94,5 \pm 1,2\%$ vs. $96,2 \pm 0,6\%$ $p = 5-10\%$), ces derniers de peuplement avien un peu mieux « équilibré ».

En ce qui concerne la biomasse spécifique moyenne \bar{B}_{sp} , la courbe représentative (fig. 4b) de son évolution altitudinale n'est pas univoque, mais passe

(7) Ainsi BLONDEL (1978) voit-il l'avifaune passer de 12 à 6 espèces entre la base (300 m) et le sommet (1 900 m) du Mont Ventoux.

(8) Différences significatives aux seuils de risques respectifs $\sim 3\%$, $\geq 10\%$ et $< 1\%$ au test t de Student.

(9) Ici calculée à partir des fréquences par sous-étage, elles-mêmes en relations avec les densités, non mesurées dans cette étude.

TABEAU VIII
Paramètres avifaunistiques dans les différents sous-étages

Sous-Étage	Cotes (en m)	Richesse stationnelle moyenne	Nombre espèces F > 10 %	Nombre familles F > 10 %	Nombre espèces /famille	Diversité fréquentielles	Equitéabilité fréquentielles	Biomasse spécifique moyenne	Indices moyens sédentarité	Nombre de stations
VIII. Nivel	> 2400	3,0 ± 1,2	7	5	1,2	2,81	87,5 %	50 ± 29 g	0,76 ± 0,24	9
VII. Alpin	2100-2399	5,4 ± 2,2	20	10	2,0	3,81	88,1 %	56 ± 15 g	0,36 ± 0,10	11
Subalpin										
VI. supér.	1800-2099	8,7 ± 3,6	33	14	2,4	4,85	96,2 %	50 ± 41 g	0,43 ± 0,16	60
V. infér.	1500-1799	10,3 ± 2,7	30	12	2,5	4,69	95,7 %	38 ± 25 g	0,44 ± 0,14	52
Montagnard										
IV. supér.	1200-1499	8,3 ± 2,4	27	12	2,3	4,60	96,8 %	34 ± 14 g	0,42 ± 0,17	32
III. infér.	900-1199	12,4 ± 2,6	34	15	2,1	4,73	93,1 %	37 ± 8 g	0,47 ± 0,12	10
II. Collinéen	600- 899	10,8 ± 3,3	33	15	2,2	4,79	94,9 %	42 ± 13 g	0,42 ± 0,13	13
I. Planitiaire	300- 599	11,5 ± 3,3	35	16	2,2	4,89	95,4 %	48 ± 17 g	0,44 ± 0,12	49

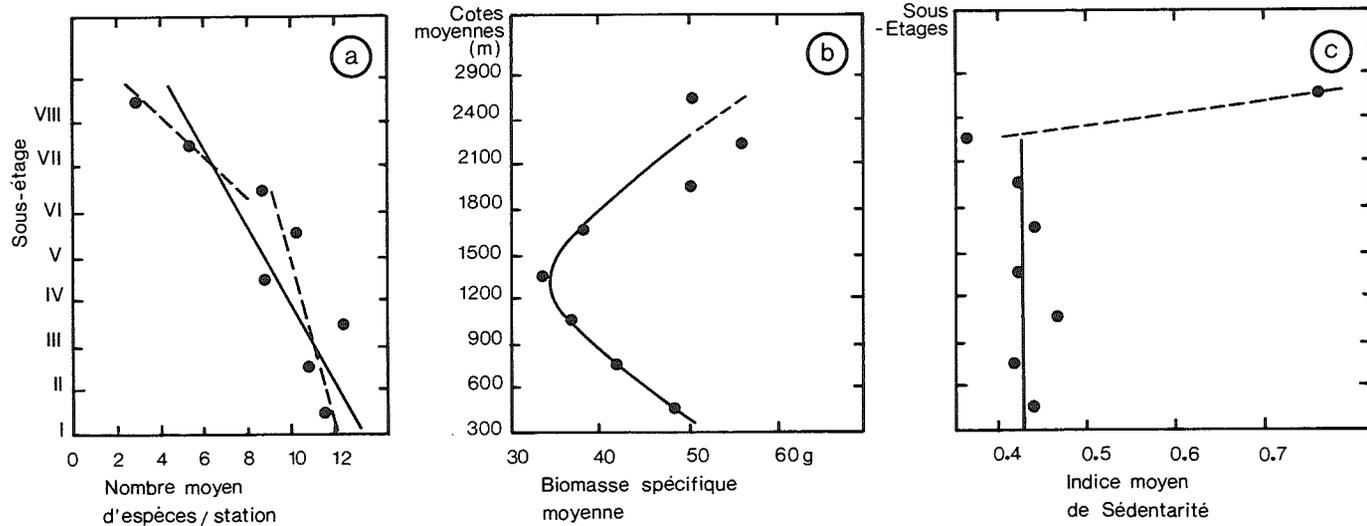


FIG. 4a, b, c. - Evolution de quelques paramètres avifaunistiques en fonction de l'altitude.

par un minimum aux cotes moyennes; le phénomène n'est donc pas à relier directement à la dénivellation, mais correspond à la distinction entre milieux forestiers (pluristrates et fermés) et non-forestiers, partiellement (étage planitiaire-collinéen, sous l'influence de l'homme) ou totalement (étage alpin-nival) ouverts et/ou paucistrates. La référence au tableau I et à la figure 1 n'est évidemment pas inutile à cet égard, qui permet en outre de justifier la biomasse élevée du sous-étage subalpin supérieur VI, en raison de l'importance y prise par les landes et pelouses (41 % des stations).

Cette différence de biomasse avienne entre milieux forestiers et non-forestiers a été déjà notée par l'un d'entre nous dans un contexte tout différent, celui de la Dombes (LEBRETON, 1979); elle s'explique probablement par des considérations d'ordre « mécanique », traduisant les contraintes liées au déplacement tridimensionnel (vol) des individus dans le milieu boisé.

Enfin, il n'est jusqu'à l'indice de sédentarité I_s qui, très sensiblement constant ($0,425 \pm 0,035$) dans tous les sous-étages ligneux (sous-étage alpin *sensu stricto* compris, par le biais des landes supraforestières), ne prenne une valeur significativement différente : 0,76, dans le sous-étage nival. Le fait témoigne bien de l'extrême spécialisation des oiseaux des niveaux les plus élevés (Niverolle, Accenture, voire Chocard), et serait même plus marqué si nous n'avions écarté de la discussion le Lagopède (en raison d'une trop faible fréquence); la même remarque vaut d'ailleurs pour la biomasse précédemment discutée. De plus, il est certain que biomasse et sédentarité élevées dans le sous-étage nival sont des phénomènes cohérents du point de vue de l'économie thermo-énergétique.

2. Effets de versants

Le regroupement des stations selon 4 secteurs auxquels s'ajoute la situation horizontale, amène à constater de légères différences dans les richesses stationnelles moyennes (tabl. IXa). Cependant, les altitudes moyennes pouvant différer fortement selon les versants (10), un nouveau calcul a été conduit, restreint aux stations subalpines (qui regroupent la moitié environ des observations (tabl. IXb), ce qui n'amène d'ailleurs que des variations faibles, inférieures ou égales à 0,3 espèces/station.

La relative pauvreté et une certaine richesse des stations NE + E d'une part, SE + S d'autre part (respectivement 7,2 et 9,9 espèces/station) sont des faits climatiquement justifiables. Plus surprenante de ce point de vue est la richesse du quadrant NW + N (en moyenne 10,1 espèces/station) : il s'agit d'un biais résultant de l'existence de formations résineuses bien fournies (mélèzein, sapinière, pessière humide) (cf. tabl. XI).

Biomasses et Indices de Sédentarité n'accusent pas de différences bien marquées, si ce n'est que le quadrant NW + N, là encore, présente un Indice de Sédentarité légèrement supérieur à la moyenne générale, dû à certains résineux (fig. 5).

(10) En outre, la situation horizontale regroupe 48 des 49 stations planitiales, et 8 des 9 stations nivales, d'où un caractère éminemment hétérogène.

TABLEAU IX
Richesse stationnelle selon les versants
 a - toutes cotes; b - étage subalpin seulement (1 500-2 100 m)

Orientation	Nombre de stations	Cote moyenne	Richesse moyenne
a/			
Nord-Est + Est	17	1790 \pm 525 m	6,9 \pm 3,0
Sud-Est + Sud	66	1410 \pm 450 m	10,0 \pm 3,3
Sud-Ouest + Ouest	30	1845 \pm 345 m	8,8 \pm 3,3
Nord-Ouest + Nord	39	1695 \pm 270 m	9,9 \pm 3,4
A plat	84	1020 \pm 800 m	9,9 \pm 3,9
b/			
Nord-Est + Est	9	1840 \pm 195 m	7,2 \pm 3,4
Sud-Est + Sud	26	1810 \pm 190 m	9,9 \pm 3,5
Sud-Ouest + Ouest	29	1900 \pm 200 m	8,6 \pm 3,2
Nord-Ouest + Nord	30	1750 \pm 150 m	10,1 \pm 3,3
A plat	21	1765 \pm 130 m	9,6 \pm 3,1

3. Effets du milieu végétal

Reste à considérer l'action *directe* du milieu, ou paysage, végétal sur l'avifaune, même si son propre déterminisme est d'ordre fondamentalement thermique, donc altitudinal.

A cet égard, notre échantillonnage nous a permis de distinguer, pour plusieurs milieux, des variantes respectivement « basses » et « hautes » : villages, bocage, ripisylve, pelouses rocheuses et non-rocheuses (tabl. X). Sauf pour le bocage, il est flagrant que la dénivellation s'accompagne - toutes choses égales d'ailleurs - d'une diminution du nombre des espèces, comme au plan général. En ce qui concerne les boisements résineux, qui paraissent très légèrement moins riches que leurs homologues feuillus (effet possible des cotes

TABLEAU X
Paramètres avifaunistiques des différents milieux étudiés

Milieu (nombre de stations)	Biomasse spécifique moyenne	Indice moyen de sédenterité	Richesse stationnelle moyenne	Cote moyenne
Villages "Bas" (9) "Hauts" (17)	53 ± 13 g 30 ± 8 g	0,46 ± 0,08 0,43 ± 0,15	11,0 ± 4,3 9,5 ± 3,3	435 ± 80 m 1385 ± 290 m
Prés-Bois et bocage "Bas" (24) "Hauts" (22)	55 ± 17 g 34 ± 7 g	0,45 ± 0,14 0,36 ± 0,10	11,4 ± 3,2 11,5 ± 3,3	385 ± 95 m 1465 ± 335 m
Boisements résineux (56)	(53 ± 25 g)	(0,57 ± 0,05)	(10,1 ± 1,4)	1730 ± 220 m
Boisements feuillus				
- Ripisylve (6) planitiaire	38 ± 18 g	0,44 ± 0,09	12,3 ± 3,5	355 ± 35 m
- Ripisylve (10) subalpine	32 ± 9 g	0,45 ± 0,08	9,3 ± 1,8	1730 ± 25 m
Pelouses				
"Basses" (16)	39 ± 16 g	0,28 ± 0,11	4,8 ± 1,4	2015 ± 80 m
"Hauts" (6)	32 ± 9 g	0,74 ± 0,30	2,7 ± 1,4	2800 ± 110 m
Pelouses rocheuses				
"Basses" (5)	62 ± 16 g	0,42 ± 0,08	4,8 ± 0,8	2170 ± 70 m
"Hauts" (3)	87 ± 11 g	0,82 ± 0,07	3,7 ± 0,6	2790 ± 55 m

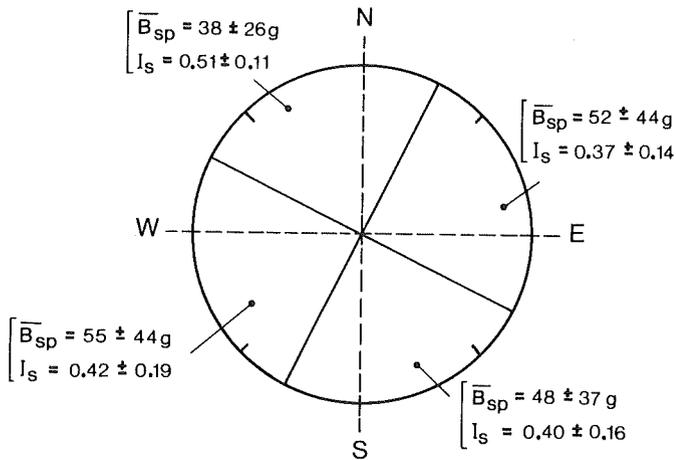


FIG. 5. - Effet de versants sur la biomasse et l'indice de sédenterité aviens (94 stations subalpines).

TABLEAU XI
Paramètres avifaunistiques des différentes formations forestières étudiées

Boisement	Biomasse spécifique moyenne	Indice moyen de sédentarité	Richesse stationnelle moyenne	Cote moyenne	Versant principal
Mélèze	67 ± 55 g	0,53 ± 0,08	11,4 ± 4,1	1860 ± 45 m	7/8 Nord-Ouest
Pin sylvestre	65 ± 52 g	0,59 ± 0,08	10,1 ± 1,6	1470 ± 35 m	8/8 Sud-Est
Pin à crochet	20 ± 6 g	0,61 ± 0,07	7,5 ± 1,5	1515 ± 135 m	8/8 Nord-Ouest
Pin arole	93 ± 60 g	0,66 ± 0,06	8,9 ± 2,5	2030 ± 30 m	8/8 Nord-Ouest
Sapin	49 ± 27 g	0,53 ± 0,07	10,4 ± 2,0	1560 ± 40 m	7/8 Nord
Epicéa ["humide"]	28 ± 8 g	0,52 ± 0,08	11,3 ± 2,0	1765 ± 50 m	8/8 Nord
Epicéa ["sec"]	47 ± 44 g	0,56 ± 0,06	10,9 ± 3,1	1915 ± 90 m	6/8 Sud-Est
Moyenne des résineux	53 ± 25 g	0,57 ± 0,05	10,1 ± 1,4	-	-

respectives), le tableau XI rapporte les résultats obtenus; ils ne seront pas davantage discutés ici, ayant fait l'objet d'une étude quantitative plus approfondie (LEBRETON *et al.*, 1976).

D'une manière générale - sauf pour les pelouses rocheuses -, la biomasse moyenne diminue lorsqu'augmente l'altitude dans les formations homologues. Le phénomène est parfois limité (- 15 % environ pour ripisylves et pelouses non rocheuses) mais peut être plus accusé (- 40 % environ pour villages et bocage); il peut surprendre du point de vue thermo-énergétique. Nous constatons que la biomasse élevée précédemment reconnue à l'étage nival provient en fait des pelouses rocheuses, dont 7 stations sur 8 sont peuplées par le Chocard; les deux types de pelouses sont par contre co-responsables de l'Indice de Sédentarité élevé du sous-étage nival (à partir de 2 400 m).

Pour les résineux (détaillés dans le tableau XI) dont la biomasse avienne moyenne est proche de celle du bocage planitiaire, l'Indice de Sédentarité est élevé, phénomène à relier à la sempervirence des formations. La sédentarité de l'avifaune des pinèdes ($0,62 \pm 0,04$) est plus élevée que celle des pessières et sapinières ($0,54 \pm 0,02$), ce qu'explique l'importance prise par les Mésanges dans les premières formations.

Ainsi voyons-nous comment physiognomie végétale et altitude combinent leurs effets pour conduire au résultat globalement constaté.

C) PROFIL BIOCÉNOTIQUE

« L'informatique nous aide à découvrir et à exprimer, parfois de façon graphique, des structures, des relations qui n'avaient dans les situations biologiques proposées aucun caractère d'évidence. Ce pas, à la fois méthodologique et technique... permet d'extraire une information interprétable de corps de données qui autrement resteraient parfaitement obscurs »

J.M. LEGAY, in « Bio-Informatique », *Encyclop. Univers.*, Suppl. 1980, p. 290

Il est devenu presque inutile de souligner l'intérêt des méthodes d'analyse *multivariée* pour l'interprétation des données biologiques, par essence complexes. Comme dans plusieurs travaux antérieurs du même ordre, où nous avons pu éprouver sa puissance, nous avons utilisé ici l'Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) (11), dont nous ne mentionnerons pas les modalités. La figure 6a rend compte de la répartition des points-stations, non-figurés indivi-

(11) Traitement effectué par le CCILS (Centre de Calcul Inter-universitaire de Lyon-Saint-Etienne), sur programme fourni par le Laboratoire de Biométrie de l'Université Lyon-I.

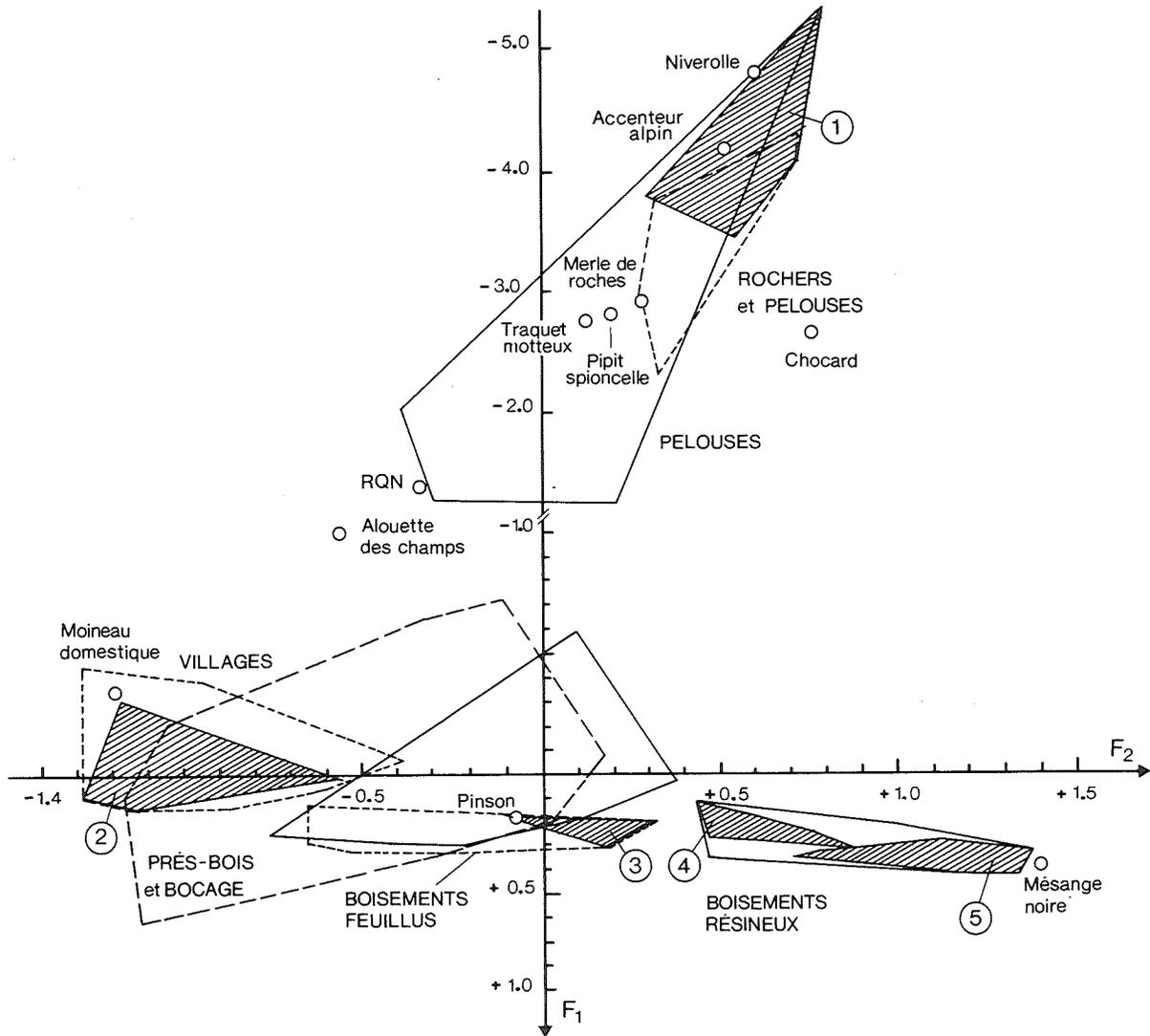


FIG. 6a. - Représentation des Polygones stationnels (A.F.C.) des divers milieux de Maurienne (les points « landes », très dispersés, n'ont pas donné lieu au tracé de leur enveloppe). Les oiseaux supraforestiers ont été figurés, ainsi que les 3 autres espèces à titre indicatif.

Le sous-polygone 1 est relatif aux pelouses (rocheuses ou non) de cote supérieure à 2 750 m.

Le sous-polygone 2 est relatif aux villages de cote inférieure à 1 000 m.

3 correspond à la ripisylve subalpine à Aune blanc, 4 au Mélézein, 5 à la Pinède sylvestre.

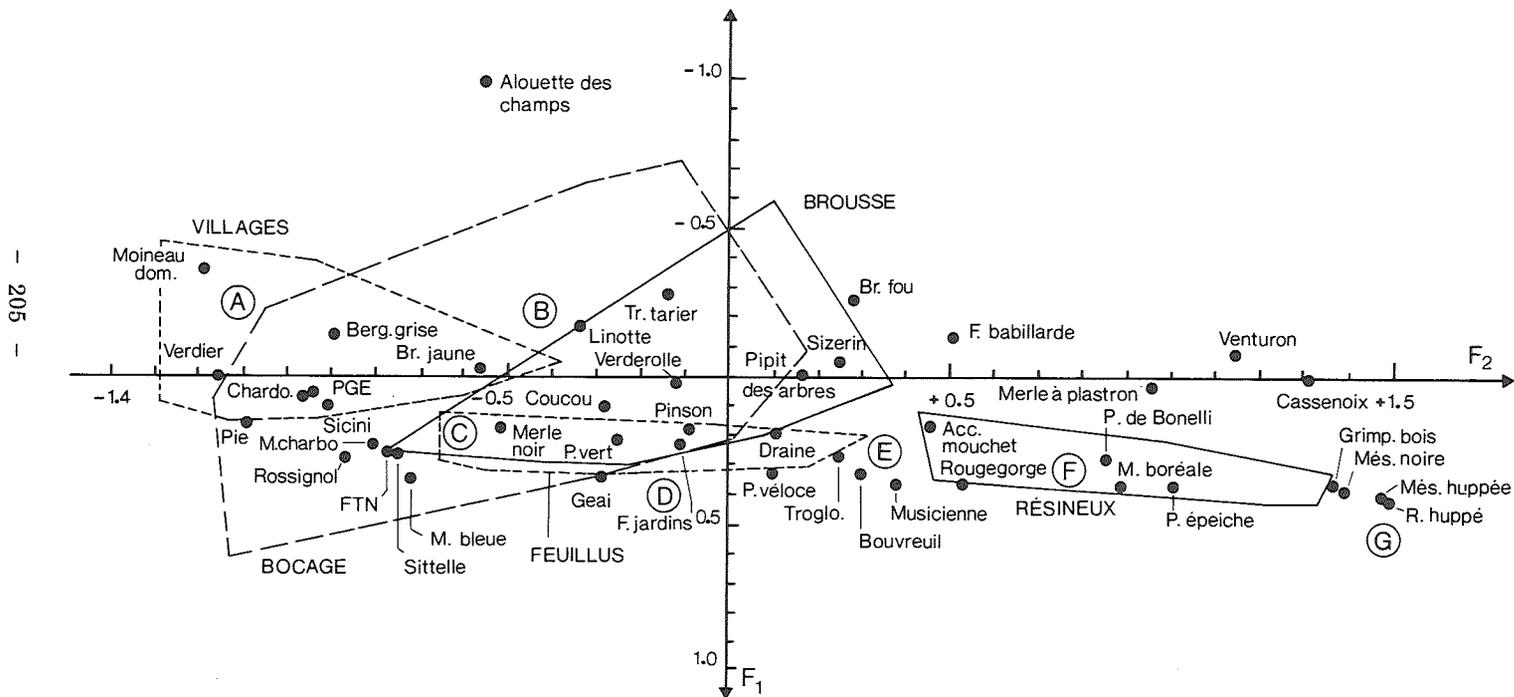


FIG. 6b. - Représentation des polygones stationnels (A.F.C.) des divers milieux ligneux de Maurienne, ainsi que des points-oiseaux correspondants ($F \geq 5\%$). A, B, ... G localisent les « groupes aviens » (voir texte).

duellement mais traduits par leurs enveloppes polygonales, dans le plan des deux premiers axes de l'AFC (12). La figure 6b permet de détailler la situation — points-oiseaux y compris — pour les stations des étages collinéen à subalpin.

A première vue, l'altitude semble être le paramètre déterminant qui, non seulement oppose sur F_1 l'étage alpin *sensu lato* aux autres étages mais qui, sur F_2 , sépare les boisements résineux (= étage subalpin) des autres formations (étage collinéen, montagnard *pro parte*). De plus, à l'intérieur même des polygones de pelouses (rocheuses ou non), les stations de haute altitude, franchement nivales, se caractérisent par les plus fortes valeurs (négatives) sur F_1 (et F_2) (13). D'ailleurs, selon F_2 , il existe une relation linéaire statistiquement significative ($r = +0,905$; $p = 1\%$) entre la cote des stations et leur ordonnée factorielle (calculé pour les seules stations ligneuses, d'ordonnées factorielles supérieures, en valeur algébrique, à $-1,00$ sur F_1).

Un examen plus attentif de la situation amène néanmoins à nuancer cette analyse. D'une part en effet, F_1 oppose — plus qu'il ne gradue — les étages boisés et non-boisé; d'autre part, le tracé de la courbe (fig. 7) rendant compte de la relation Altitude/ F_2 permet de reconnaître, pour le moins, une « saturation » de la réponse aux cotes les plus élevées. Bien plus, deux des formations résineuses, le mélèzein (sous-polygone n° 4 de la figure 6a) et la pinède sylvestre (sous-polygone n° 5) dénoncent formellement l'assimilation pure et simple de l'axe F_2 à un gradient d'altitude: la première en effet, d'ordonnée inférieure à la seconde ($\bar{F}_2 = 0,67 \pm 0,16$ vs. $1,02 \pm 0,25$), se situe à une cote moyenne supérieure à celle-ci: $1\ 860 \pm 45$ m vs. $1\ 470 \pm 35$ m (différences significatives aux seuils de risque statistique respectifs 5% et 1%). Sans doute la situation « anormale » du mélèzein, proche des feuillus, met-elle en cause la caducité de son feuillage.

Dès lors, l'ensemble de la situation s'interprète mieux en termes de physionomie de la végétation et du paysage. Le plan F_1 - F_2 nous révèle ainsi l'organisation « tripolaire » de l'avifaune de montagne: le pôle nival, réduit à la seule strate herbacée, de surcroît largement ouverte à l'élément minéral, et caractérisé par la Niverolle et l'Accenteur alpin; le pôle subalpin, dont la Mésange noire peut être présentée comme espèce-type, présente dans les forêts résineuses sempervirentes; le pôle « domestique », établi par l'homme par ouverture des formations feuillues caduques de moyenne et de faible altitude; le Moineau domestique en est l'oiseau éminemment symbolique... Et s'il fallait décrire linéairement cet ensemble, ce serait en allant des valeurs négatives aux valeurs positives de F_2 puis, de là, des valeurs positives de F_1 aux valeurs négatives du même axe.

L'étude de la distribution fine des oiseaux le long de l'axe F_2 permet de mieux comprendre encore cette influence du milieu sur l'avifaune. Les villages et leurs abords (jardins, cultures, haies plus ou moins arborées) abritent, outre

(12) Qui, avec des corrélations canoniques élevées (0,834 et 0,724) n'emmènent que 10,5 et 8,0 % de l'information globale (F_3 : 0,630 et 6,0 %).

(13) Si bien que l'on peut même reconnaître valeur d'axe altitudinal à la diagonale F_1 - F_2 (cf. aussi position du sous-polygone des villages de basses cotes).

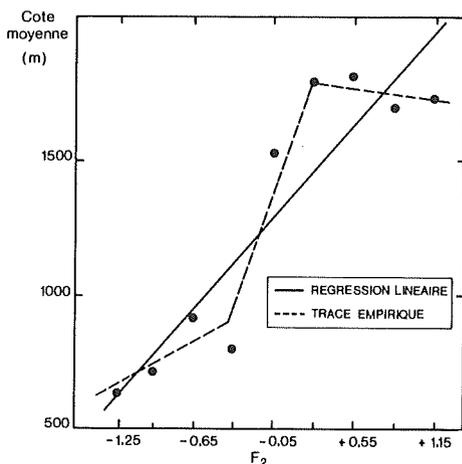


FIG. 7. - Relation entre F_2 (A.F.C.) et altitude.

le Moineau domestique, le Verdier, le Chardonneret, le Serin cini, la Pie et la Bergeronnette grise (groupe A de la figure 6b). Le groupe B correspond aux landes de cotes modérées, avec le Bruant jaune et la Linotte, voire la Pié-grèche écorcheur : nous sommes déjà à quelque distance du milieu anthropisé. Plus loin, la végétation climacique collinéenne reprend ses droits; timidement tout d'abord, avec les prés-bois et bocages : Mésanges charbonnière et bleue, Rossignol et Fauvette à tête noire (groupe C); pleinement ensuite, avec le Geai et le Pic vert, la Fauvette des jardins et le Pinson, typiques du milieu forestier (groupe D). Un groupe « ambigu » (E) est constitué par le Troglodyte, le Bouvreuil, la Grive musicienne, l'Accenteur mouchet, indifféremment rencontrés dans les feuillus et les résineux (dont le mélézein, bien entendu); la remarque est encore partiellement valable pour le groupe F : Pouillot de Bonelli, Mésange boréale, Pic épeiche. Le climax résineux est atteint avec le Grimpereau des bois, les Mésanges noire et huppée, le Roitelet huppé : c'est le groupe G.

Mention particulière peut être réservée aux oiseaux d'ordonnées F_1 légèrement négatives : Venturon ou Fauvette babillarde, Pipit des arbres ou Bruant fou; un trait écologique leur est commun, celui de peupler les boisements lâches ou les lisières, voire les arbustes de la brousse. Une fois encore, la physionomie végétale s'affirme comme un paramètre essentiel de la distribution de l'avifaune.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Ainsi, l'exploitation de 236 points d'écoute répartis entre 300 et 3 000 m d'altitude en Maurienne nous a-t-elle permis de « reconstituer » un transect ornithologique à travers les divers (sous-)étages bioclimatiques alpestres. L'utilisation de diverses méthodes statistiques nous a conduits à une « lecture » du paysage de montagne considéré dans ses rapports avec l'avifaune.

Bien que la forêt et les pelouses supraforestières n'échappent pas à l'influence de l'homme, passée ou actuelle, nous conviendrons d'abstraire celui-ci dans un premier temps : la plus nette dichotomie dans l'avifaune alpestre s'exerce en effet entre milieux boisé et non-boisé. L'étage alpin-nival se caractérise par des espèces aviennes originales (Niverolle, Chocard, Lagopède, ...), comme par certains traits plus globaux de l'avifaune : faible nombre d'espèces (et d'individus), biomasse spécifique et indice de sédentarité moyens relativement élevés. Tout concorde à faire de cet étage un milieu hautement spécialisé, phénomène évidemment dû à des conditions climatiques particulièrement sévères ; un tel déterminisme ne serait certainement pas démenti par le botaniste ou l'entomologiste.

Le statut des étages boisés (collinéen, montagnard, subalpin) est plus complexe : non seulement l'homme s'y s'est souvent établi, de manière permanente ou temporaire, mais l'arbre y subit les influences pluviothermiques de l'altitude, les résineux — très généralement sempervirents — surmontant ainsi les feuillus, caducifoliés. D'une manière générale, les boisements d'altitude des Alpes moyennes étant considérés comme forêts *de protection*, leur caractère est resté relativement naturel, ce dont témoigne par exemple la diversité des essences. L'avifaune reflète cette qualité, par le nombre comme par l'équilibre des différents taxons (espèces, familles) observés aux étages subalpin et montagnard supérieur.

Aux cotes moins élevées, à l'effet physionomique des feuillus s'ajoute l'influence de l'homme agro-pastoral défricheur. Son intervention s'accompagne sans doute de la restriction de certaines espèces, mais la diversification — même par banalisation — qui en résulte pour le milieu compense nettement une telle influence. Le meilleur symbole en est sans doute le Rougequeue noir, pour qui nos maisons constituent un substitut des rochers alpins ; de même Moineau domestique, voire Soulcie, sont-ils à considérer comme les vicariants altitudinaux de la Niverolle, autre Plocéidé. Globalement, une diminution relativement faible, mais statistiquement assurée de la richesse avienne se fait jour avec l'altitude à travers les étages boisés ; le cas des Sylviidés est particulièrement démonstratif à cet égard. Au sein d'un même étage, l'influence de la physionomie végétale, voire des versants, est manifeste, comme en témoigne la répartition des principales espèces (Mésanges, Fringilles, ...) entre les diverses formations.

Ainsi, à l'image simpliste des relations avifaune/altitude considérées à priori (fig. 8a), peut se substituer un schéma plus complet et plus nuancé, où la

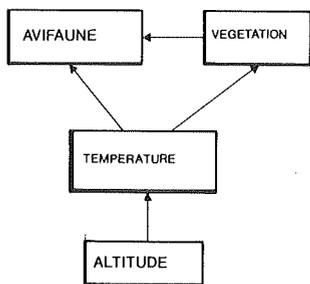


FIG. 8a. - Relations Avifaune/Altitude (schéma simplifié).

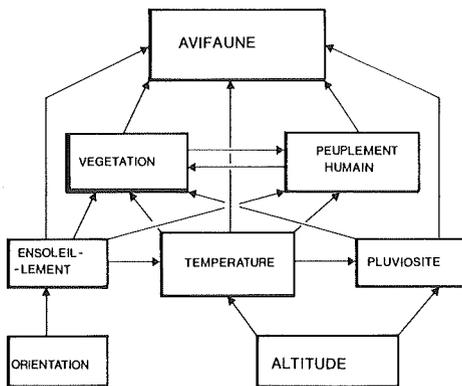


FIG. 8b. - Relations Avifaune/Altitude (schéma élaboré).

température cède le premier rôle à la végétation, bien que celle-ci procède de celle-là, directement et indirectement (fig. 8b).

Certes, nous ne prétendons pas avoir fondamentalement innové en matière d'avifaune alpestre, tout au plus formalisé et précisé ce que ressent ou peut connaître tout ornithologue bénéficiant d'une expérience suffisante de la montagne. L'oiseau est bien le reflet de son milieu; sa valeur indicatrice voire prédictive est particulièrement appréciable alors que la montagne se voit soumise à l'impact grandissant des aménagements (tourisme d'hiver et d'été, grands travaux de routes et barrages). Néanmoins, seuls des moyens dépassant nettement ceux actuellement octroyés à la recherche scientifique dans les Parcs nationaux permettraient de dépasser le stade qualitatif, et de valoriser les possibilités ouvertes par la présente contribution.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AFFRE (G.), 1980. - Distribution altitudinale des oiseaux dans l'Est des Pyrénées françaises, *Ois. Rev. fr. Ornith.*, **50** : 1-22.
- BLONDEL (J.), 1975. - La méthode des échantillonnages fréquentiels progressifs (E.F.P.), *Terre et Vie*, **29** : 533-589.
- BLONDEL (J.), 1978. - L'avifaune du Mont-Ventoux. Essai de synthèse biogéographique et écologique. *Terre et Vie*, suppl. 1978 : 111-145.
- BOURNAUD (M.) & CORBILLE (M.C.), 1979. - Richesse comparée des peuplements d'oiseaux en milieux hétérogènes pour différentes densités de points d'écoute. *Terre et Vie, Rev. Ecol.*, **33** : 71-94.
- FERRY (C.), 1976. - Un test facile pour savoir si la richesse mesurée d'un peuplement se rapproche de la richesse réelle. *Jean-le-Blanc*, **15** : 21-28.

PARC NATIONAL DE LA VANOISE

- GEROUDET (P.), 1957-61. - *Passereaux I, II et III*. Delachaux et Niestlé Edit.
- LEBRETON (Ph.), 1973. - *Savoie vivante*, S.A.E.P. Edit.
- LEBRETON (Ph.), 1979. - Analyse et synthèse de l'écosystème dombiste, à partir de son avifaune nidificatrice. *Le Bièvre*, 1 : 27-44.
- LEBRETON (Ph.), TOURNIER (H.) & LEBRETON (J.D.), 1976. - Recherches d'ordre quantitatif sur les oiseaux forestiers de Vanoise. *Trav. Sci. Parc nation. Vanoise*, VII : 163-243.
- LEBRETON (Ph.) & BROYER (J.), 1981. - Contribution à l'étude des relations Avifaune/Altitude. I. - Au niveau de la région Rhône-Alpes. *Ois. Rev. fr. Ornith.*, 51, 265-285.
- PRODON (R.) & LEBRETON (J.D.), 1981. - Breeding avifauna of a Mediterranean succession : the holm oak and cork oak series in the eastern Pyrenees. 1. Analysis and modelling of the structure gradient. *Oikos*, 37 : 21-38.
- SCHIFFERLI (A.), GEROUDET (P.) & WINKLER (R.), 1980. - *Atlas des Oiseaux nicheurs de Suisse*. Schweiz. Vogelw. Sempach. Edit.
- THIOLLAY (J.M.), 1980. - L'évolution des peuplements d'oiseaux le long d'un gradient altitudinal dans l'Himalaya central. *Rev. Ecol. (Terre et Vie)*, 34 : 199-269.
- WARTMANN (B.) & FURRER (R.K.), 1977/1978. - Zur Struktur der Avifauna eines Alpenteales entlang des Höhengradienten. *Ornith. Beob.*, I. Veränderungen zur Brutzeit, 74 : 137-160, II. Ökologische Gilden, 75 : 1-9.

(Reçu pour publication, octobre 1981)

L'HABITAT SAISONNIER DU BOUQUETIN (*CAPRA IBEX* L.) DANS LE PARC NATIONAL DE LA VANOISE (1)

par Gerbrandt WIERSEMA (2)

Introduction	212
I. - Aire d'étude	212
II. - Méthodes	214
III. - Résultats	214
IV. - Discussion	217
Bibliographie	221

Résumé. - Les habitats utilisés par le bouquetin (*Capra i. ibex* L.) dans le Parc National de la Vanoise montrent de nettes différences entre le printemps, l'été et l'hiver. L'habitat de printemps s'étage entre 1 600 et 2 400 m et suit en altitude le développement de la végétation. En juin, les aires de mise-bas se restreignent à une bande comprise entre 2 300 et 3 200 m, sur des pentes rocheuses et raides. L'habitat d'hiver s'étend de 1 800 à 3 000 m et concerne 15 différents types de végétation; il est caractérisé par des pentes raides et bien exposées avec une faible couverture neigeuse et un fort ensoleillement. De ces besoins saisonniers des critères peuvent être déduits qui concernent la détermination de la qualité de l'habitat du bouquetin.

Mots-clés : Bouquetin. Utilisation de l'habitat. Analyse de la végétation à petite échelle. Vanoise.

Summary. - SEASONAL HABITATS USED BY THE *IBEX* IN THE VANOISE NATIONAL PARK.

The habitats used by the ibex (*Capra i. ibex* L.) in the Vanoise National Park, show distinct differences between the spring, summer and winter seasons. Spring habitat ranges from 1 600-2 400 m, and follows, in altitude, the onset of the vegetation season. In June, calving areas are found in a limited zone between 2 300-3 200 m, on steeply dissected rocky slopes. Summer habitats lie in the extensive alpine zone between 2 250-3 200 m. Their winter habitat is found between 1 800-3 000 m and shows a great range of 15 different vegetation types. Winter habitats is characterised by steep, sun-

(1) Cette recherche est soutenue par une Subvention Scientifique et Technique attribuée par la Commission des Communautés Européennes.

(2) Adresse de l'auteur : Hasmanlanden 62, 7542 J.L. ENSCHEDE. PAYS-BAS.

Traduction : Michel DELMAS, Direction du Parc National de la Vanoise.

exposed slopes with a low snow cover and high solar irradiation. From these seasonally changing habitat requirements, criteria can be derived for the quality assessment of Ibx habitat.

Key-words : *Ibx - Habitat use - Small scale vegetation analysis - Vanoise.*

INTRODUCTION

Depuis le début du siècle, le bouquetin a été réintroduit, à partir de son dernier bastion des Alpes franco-italiennes dans de nombreuses parties des Alpes européennes. Ces efforts ont abouti à une population de plus de 15 000 animaux répartis en 110 colonies (GRAF & SCHRÖDER, 1978). Cependant, les réintroductions se sont toujours heurtées aux problèmes de la recherche d'un environnement favorable à l'implantation de nouvelles colonies. Ce problème avait été simplement mentionné dans la littérature (BÄCHLER, 1935; COUTURIER, 1962) mais c'est seulement en 1966 qu'une importante étude sur les besoins du bouquetin en ce qui concerne son habitat a été publiée par NIEVERGELT (1966). Les recherches de cet auteur sur les colonies suisses du bouquetin décrivent l'importance du (micro) climat, de l'altitude, de la pente, de l'exposition, de la couverture neigeuse et de zone refuge. Les aspects concernant l'écologie de la végétation qui sont également importants dans la détermination de la qualité de l'habitat du bouquetin, ont été récemment étudiés par HOFMANN & NIEVERGELT (1972), TEN HOUTE de LANGE (1978) et KOFLER (1981). Ces études ont été entreprises dans les Alpes centrales et de l'Est. Cependant, une recherche similaire sur le biotope du bouquetin n'a pas encore été entreprise dans les Alpes franco-italiennes bien que cette région héberge la seule population autochtone qui, avec quelques 4 000 sujets, représente la plus nombreuse des Alpes européennes. Cet article présente, pour la partie française de cette région, une description à petite échelle de l'habitat saisonnier du bouquetin et discute de la détermination de la qualité de cet habitat.

I. - AIRE D'ÉTUDE

Cette recherche a été conduite dans le Parc National de la Vanoise créé en 1963 sur une surface de 53 000 ha (lat. 50° 40' N; long. 5° E), bordant le Parc National Italien du Grand Paradis. Son altitude varie entre 2 000 m environ et 3 855 m; la végétation consiste principalement en pelouses alpines, les forêts se rencontrant seulement en zone périphérique. La couverture édaphique, très variée, montre des sols calcaires, neutres et acides (GENSAC, 1970). Les parties septentrionales (Tarentaise et Grande Sassière) sont plus froides et montrent des précipitations plus importantes (1 013 mm à 1 300 m) que les parties

méridionales (Maurienne) (694 mm à 1 300 m) (DOBREMEZ et VARTANIAN, 1974). L'épaisseur des chutes de neige est faible en Maurienne, avec une moyenne annuelle de 2 m à Termignon, à 1 300 m (BOISVERT, 1955 *in* AMANDIER et GASQUEZ, 1978).

La population de bouquetins s'élève à 424 animaux environ (comptages de juin 1981), distribuée sur 7 différentes aires du Parc. D'année en année et de saison en saison, les bouquetins sont retrouvés sur leurs aires respectives et représentent donc des colonies distinctes. Deux des sept colonies ont été réintroduites par l'homme. Les cinq autres se sont spontanément formées, depuis 1963, à partir d'une population relictuelle de 51 animaux (BIANCHETTI, 1971). Des échanges ont lieu entre ces colonies. Ils sont en cours d'étude grâce à des marquages réalisés et suivis par les agents du Parc National.

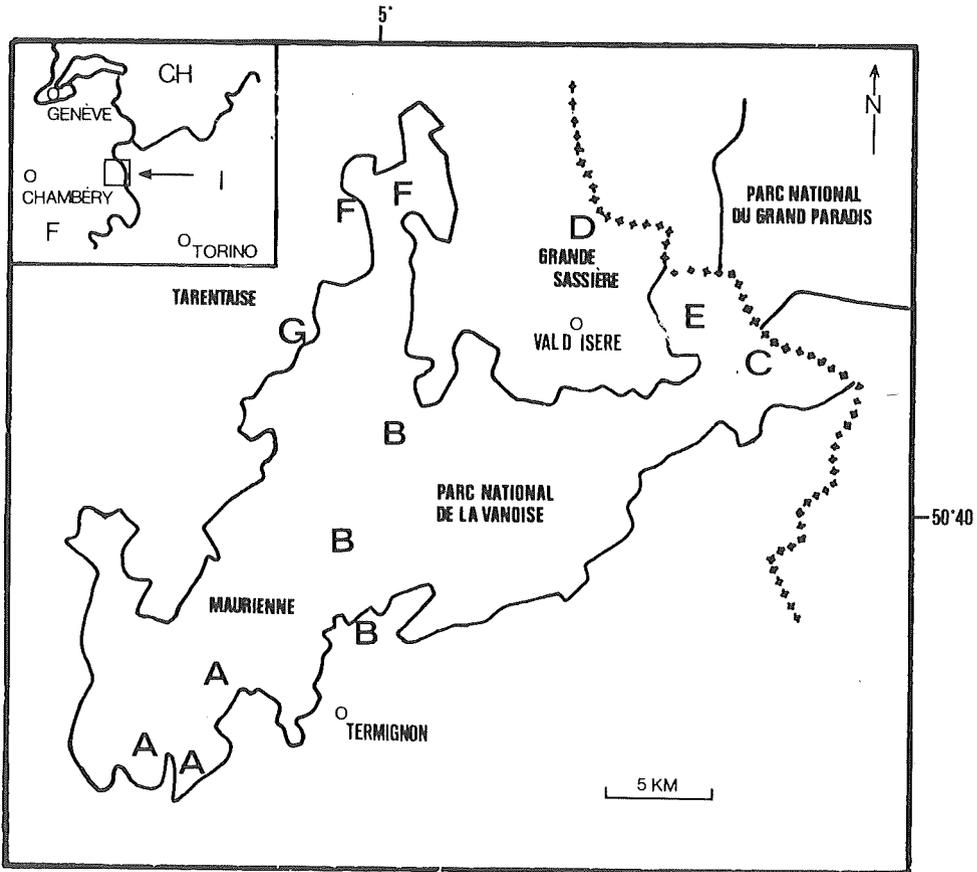


FIG. 1. - Localisation des aires de bouquetin (A-G) dans le Parc National de la Vanoise.

II. - MÉTHODES

En 1981, les 7 colonies (notées de A à G, fig. 1) ont été étudiées. Des relevés sur la distribution des bouquetins ont été fournis par les agents du Parc et complétés par mes propres investigations. Dans les zones d'habitats saisonniers bien connus, des recherches ont été faites concernant la physionomie du terrain, le sol et la végétation, en accord avec la méthode d'étude du paysage décrite par ZONNEVELD, VAN GILS & THALEN (1979). Basée sur l'interprétation des photos aériennes de l'aire d'étude, la végétation a été décrite après échantillonnage stratifié.

Dans la présente description à petite échelle de l'habitat, en relation avec les types de végétation, référence est faite à la carte de végétation à 1/100 000 (GENSAC, 1972).

III. - RÉSULTATS

L'habitat du bouquetin est synthétisé dans le tableau I en relation avec les types de communautés floristiques. Les habitats d'hiver et d'été montrent le plus grand développement à la fois dans les types de végétation et l'altitude, avec une préférence pour des altitudes élevées dans les étages subalpin et alpin. A l'inverse, en juin, les aires de mise-bas sont les plus restreintes. Elles s'étagent de 2 300 à 2 900 m sur des pentes très rocheuses et raides avec une végétation principale de *Androsacion alpinae* et *A. vandellii*.

Au printemps, le bouquetin suit le développement de la nouvelle végétation. D'avril à mi-juin, mâles et femelles sont observés sur des hauteurs situées entre 1 600 et 2 100 m en Maurienne (photo 1). Vers la fin du mois de juin, ils se trouvent aux environs de 2 250 m; en été, les pelouses alpines sont pâturées jusqu'à 3 200 m (photo 2). Ces déplacements, de Termignon jusqu'aux flancs de la Grande Casse et de la Grande Motte, s'étendent sur une distance d'environ 13 km (photos 3 et 4). A la fin de l'automne, les bouquetins réintègrent, par les mêmes flancs de montagne, leurs quartiers de rut et d'hiver. En été, le bouquetin se rencontre presque exclusivement dans l'étage alpin, entre 2 300 et 3 200 m, caractérisé par des pelouses de *Caricetea curvulae* et *Elyno-seslerietea*.

L'habitat d'hiver s'étage entre 1 600 et 2 800 m et montre une grande disparité, avec 15 différents types de végétation. Les pentes des habitats d'hiver sont généralement raides et présentent, en conséquence, une faible couverture de neige (photo 5). Toute l'année, la plupart des habitats se rencontrent sur des pentes bien ensoleillées (photo 6).

L'HABITAT SAISONNIER DU BOUQUETIN

		ÉTAGE MONTAGNARD (1500 - 1700 m)		ÉTAGE SUBALPIN (1800 - 2200 m)		ÉTAGE ALPIN (2300 - 3200 m)	
Série	Groupement	Piceababies		Pinus cembra-Larix decidua		Carex curvula	
		a	b	e	f	l	m
	exp *						
Habitat de mise-bas (Juin)	E 16						
	SE 17						
	S/SE 38 SO/O 41						
Habitat de printemps (Avril- juin)	S 9						
	SO 37						
	SE 11						
	SE 12						
	SE 13						
	S 33 S 24						
Habitat d'été (Juillet- Octobre)	SO 37						
	SE 10						
	E 16						
	S 35						
	S/SE 39						
	SE 1						
	SO 5						
	S/SO 6						
	S/SO 7						
	S/SO 36						
Habitat d'hiver (Novembre- Mars)	S 18						
	S/SE 31						
	S/SE 19						
	S/SO 25						
	S 26						
Habitat d'hiver (Novembre- Mars)	SO 34						
	SO 2						
	SO 8						
	SO 3						
	E 14						
	E 20 S/SE 39 S 22						

TABLEAU I

Utilisation de l'habitat saisonnier en relation avec les types de végétation. Classification des types de végétation selon GENSAC (1972);
Exp = exposition * habitat saisonnier (numéro de site).

Groupements de végétation.

a	<i>Deschampsio-Pinetum sylvestris</i>	l	<i>Caricetum curvulae</i>
b	<i>Mesobromion</i>	m	<i>Eu-Nardion</i> (pâturage supérieur à Nard raide)
c	<i>Sileno-Piceetum abies</i>	n	Pelouse héli-acidiphile
d	<i>Trisetetum flavescens</i>	o	<i>Androsacion alpinae</i>
e	<i>Junipero-Cembretum</i>	p	<i>Androsacion vandellii</i>
f	<i>Festucetum spadicaceae</i>	q	<i>Elynetum</i>
g	<i>Rhododendro-Cembretum</i>	r	<i>Seslerio-Semperviretatum</i>
h	<i>Rhododendro-Vaccinietum</i>	s	Pâturage neutrophile
i	<i>Eu-Nardion</i> (pâturage inférieur à Nard raide)	t	Pelouse héli-basophile
J	<i>Erico-Pinetum uncinatae</i>	u	<i>Thlaspeion rotundifolii</i>
k	<i>Alnetum viridis</i>	v	<i>Androsacetum helveticae</i>

La population de bouquetins du Parc National de la Vanoise est distribuée sur 7 différentes aires (A à G) (voir fig. 1). A l'intérieur de ces aires, les habitats saisonniers sont distingués par leur numéro de site.

Aire	N° de site	Aire	N° de site
A Le grand Planay	1-10	D Grande Sassièr	22-27
B Termignon et Dôme de Chasseforêt	11-20	E Prariond	28-33
C Ouille de Gontière	21	F Peisey-Nancroix	34-37,41
		G Champagny	38-40

Habitat de mise-bas.

Site	Altitude (m)	Spécifications
16 Dôme de Chasseforêt	2 300-2 500	
17 Mont Pelve	2 700-3 200	
38 Le Dégoteil	2 400-2 650	
	(Aire probable)	
41 Dôme des Platières	2 600-2 900	

Habitat de printemps.

Site	Altitude (m)	Spécifications
9 Bois du Bourget	1 600-2 000	Mâles, avril juin
11 l'Esseillon	1 600-2 100	Mâles et femelles, avril-juin
12 Dôme de Chasseforêt	1900	Mâles et femelles, début juin
13 l'Arpont	2 100-2 250	Mâles et femelles, fin juin, début juillet
24 Rocher du Charbon	2 100-2 400	Mâles, juin, début juillet
33 Pointe de Calabre	2 900-3 200	Mâles et femelles, mai
37 Montagne du Carro	2 200-2 300	Femelles

Habitat d'été.

<i>Site</i>	<i>Altitude (m)</i>	<i>Spécifications</i>
1 le Grand Planay	2 250-2 600	Femelles
5 Col de la Masse	2 700-3 100	Femelles
6 Le Rateau d'Aussois	2 500-2 700	Mâles
7 Le Rateau d'Aussois	2 700-3 100	Femelles
10 Cime des Planettes	ca. 2 600	Mâles
16 Dôme de Chasseforêt	2 300-2 500	Femelles
18 Roche Ferran	2 650-2 900	Femelles
19 Grande Casse-Grande Motte	2 700-3 200	Mâles et femelles
21 Ouille de Gontière	2 700-3 100	Femelles. Saline
25 Pointe de la Traversière	2 900-3 200	Femelles
26 Aiguille de la Grande Sassièrè	2 900-3 200	Mâles et femelles
31 Prariond	2 400-2 800	Mâles
35 Mont Pourri	2 700-3 200	Mâles
36 Dôme de la Sache	3 400-3 600	Femelles
37 Berthoud	2 200-2 300	Femelles. Saline
39 Point des Charde	2 400-2 900	Mâles et femelles

Habitat d'hiver.

<i>Site</i>	<i>Altitude (m)</i>	<i>Spécification</i>
2 Polset	1 800-2 200	Mâles et femelles
3 Aiguille Doran	2 000-2 500	Rut
8 l'Orgère	2 100-2 400	Mâles et femelles
14 Dôme de Chasseforêt	2 000-2 800	Rut
20 Dôme de Chasseforêt	2 000-2 400	Mâles et femelles
27 Le Grand Santel	2 500-3 000	Rut
34 Rochers des Sétives	1 900-2 000	Mâles et femelles
39 Point des Charde	2 400-2 900	Rut

IV. - DISCUSSION

Les différences dans l'habitat sont plus apparentes dans les zones alpines qui s'étendent bien au-delà de la limite de la forêt et qui offrent des paysages à physionomies variées (NIEVERGELT, 1966; HOFMANN & NIEVERGELT, 1972, SCHAERER, 1977). Un tel environnement offre, de bas en haut, une succession de nouvelles plantes. La période de végétation dure 5 mois dans l'étage subalpin et 3 mois dans l'étage alpin de la Maurienne (GENSAC, 1978). Ces périodes sont environ plus courtes d'un mois dans les parties septentrionales du Parc. Les bouquetins restent d'avril à début juillet dans l'étage subalpin et, par conséquent, y sont présents trois mois et demi sur les cinq mois de la période de végétation. Dans les Alpes centrales européennes, il a été montré que lorsque l'altitude s'élève de 500 m, la croissance est retardée d'environ 4 semaines (GEYGER, 1977).

Si un taux semblable est applicable à la différence de 1 400 m existant entre la base de l'étage subalpin et le sommet de l'étage alpin en Vanoise, les

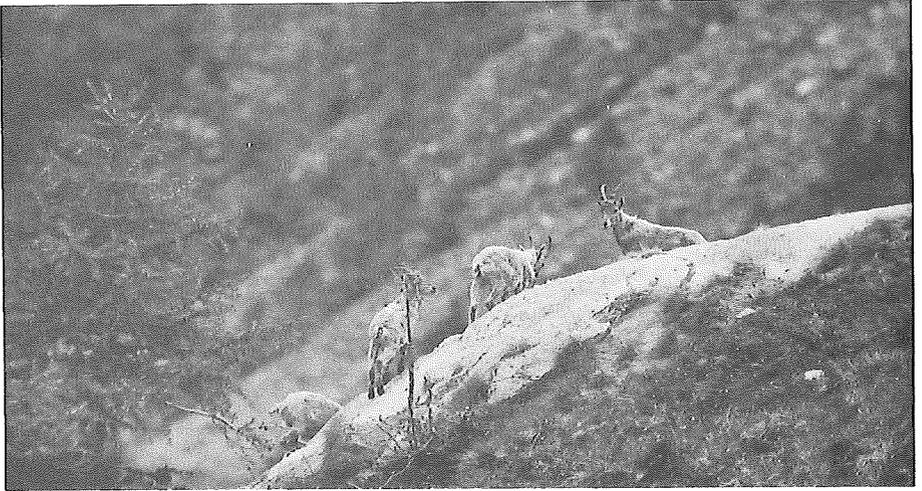


PHOTO 1. - Au printemps, le bouquetin peut être rencontré dans les bois de *Pinus cembra-Larix decidua*, dans l'étage subalpin. (Cliché G. DEN DAAS)

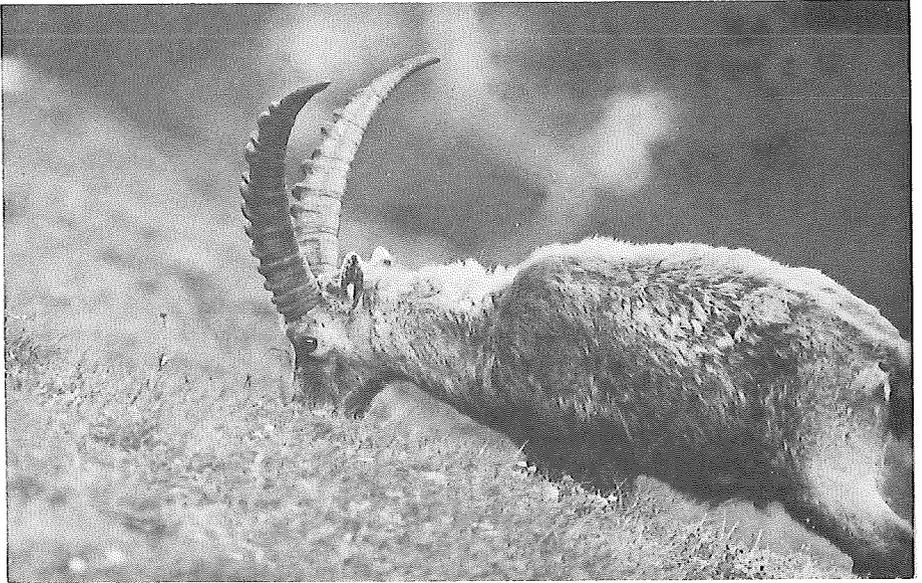


PHOTO 2. - Les pâturages d'été sont presque exclusivement des pelouses de l'étage alpin (2 300-3 200 m). (Cliché G. DEN DAAS)



PHOTO 3. - Les pelouses alpines des flancs sud de la Grande Casse et la Grande Motte (à droite; 3 653 m) représentent d'importants pâturages d'été, pour les mâles comme pour les femelles.

(Cliché G.J. WIERSEMA, septembre 1981)



PHOTO 4. - Les pâturages d'été des pentes sud - sud-est de la Grande Casse (à l'arrière-plan 3 855 m) s'élèvent de 2 700 à 3 200 m. Ces pelouses appartiennent au cortège socio-écologique de *Elyna myosuroides*, sur substrat baso-neutrophile.

(Cliché G.J. WIERSEMA, septembre 1981)



PHOTO 5. - L'habitat d'hiver est constitué de pentes raides et rocheuses, à faible couverture neigeuse et fort ensoleillement.
(Cliché G.J. WIERSEMA, Grande Sassièra)

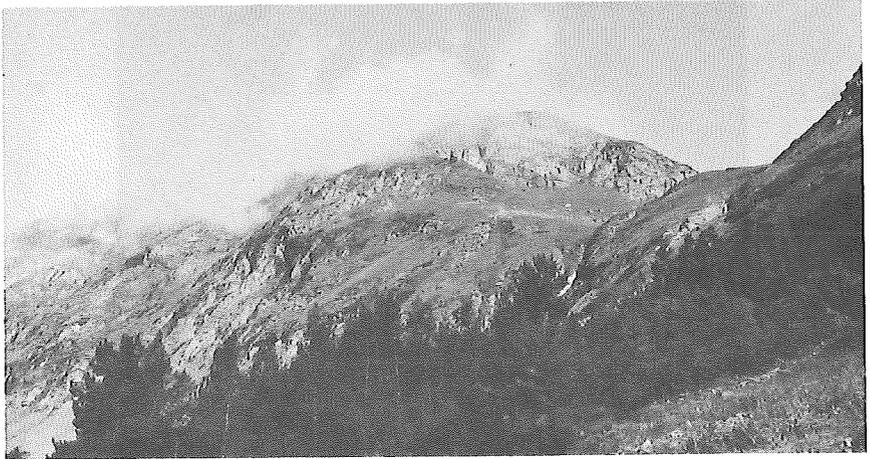


PHOTO 6. - La zone d'hivernage de la colonie récemment réintroduite de Champagny est localisée sur des pentes bien exposées au sud, entre 2 400 et 2 900 m.
(Cliché G.J. WIERSEMA)

pâturages d'été seraient retardés de trois mois. Ce chiffre est en accord avec le modèle actuel de l'habitat en Maurienne, l'étage alpin est utilisé à partir du début de juillet. Le grand nombre de types de végétation et l'ampleur de l'altitude utilisés dans l'habitat d'hiver pourraient indiquer que ces facteurs ne déterminent pas principalement l'habitat en cette saison. La pente et l'exposition pourraient être plus importantes. La combinaison de pentes raides et bien exposées implique une grande irradiation solaire (ENDERS, 1979). De tels habitats offrent un micro-climat chaud, une faible couverture neigeuse et une meilleure disponibilité en fourrage (NIEVERGELT, 1966). La détermination de la qualité de l'habitat du bouquetin dépend des besoins saisonniers, eux-mêmes liés à la physiologie et à la disponibilité qualitative de la végétation. Les facteurs généraux déterminant la qualité de l'habitat du bouquetin sont d'ordre climatique : température, précipitations et couverture neigeuse. La température détermine le démarrage et la longueur de la période de végétation. Les précipitations ont une forte influence sur les succès de reproduction ; de fortes précipitations durant la période de gestation sont inversement corrélées avec le nombre de jeunes observés peu après (NIEVERGELT, 1966 ; LINZI, 1978). Pour cette raison, un chiffre de 700 mm en Maurienne indiquerait de meilleures conditions pour le bouquetin que dans les parties nord et nord-est du Parc. De plus faibles chutes de neige en Maurienne rendent le fourrage d'hiver aisément accessible et permettent, sur des pentes bien exposées, un développement plus précoce de la végétation au printemps.

On peut conclure que la Maurienne, avec son climat chaud et sec, ses faibles chutes de neige et ses grandes surfaces subalpines et alpines constitue un habitat approprié pour le bouquetin dans les Alpes européennes du Sud-Ouest. La présente description à petite échelle de l'habitat et des types de végétation est un premier pas vers la détermination de la qualité de l'environnement du bouquetin. Les étapes suivantes consisteront en une analyse du terrain à l'échelle du 1/25 000 et une analyse socio-écologique de la végétation en combinaison avec celle des sols. Finalement, les habitats du bouquetin devront être interprétés à travers leurs capacités potentielles. Eventuellement cette étude conduira à dresser des cartes de zones favorables au bouquetin.

REMERCIEMENTS

Je remercie la Direction, les Chefs de Secteur et les Gardes-Moniteurs du Parc National de la Vanoise pour leur collaboration substantielle et leur assistance. Cette recherche a été financée par les Programmes de Recherches sur l'Environnement de la Commission Européenne, contrat n° ENV - 336 - 80 - D. Monsieur le Professeur Dr W. SCHRÖDER a aimablement commenté le manuscrit.

BIBLIOGRAPHIE

- AMANDIER (L.) et GASQUEZ (J.), 1978. - Contribution à l'étude phyto-écologique et floristique du Vallon de la Rocheure (Parc National de la Vanoise). *Boisseria* 27, 1-153.
- BACHLER (E.), 1935. - Der Stand der Steinwildkolonien in den Schweizeralpen. St. Gallen, Fehr'sche Buchhandlung.
- BIANCHETTI (J.F.), 1971. - *Le Bouquetin des Alpes dans le massif de la Vanoise*. Alfort, Thèse Doct. Vét., 103 p.
- COUTURIER (M.A.J.), 1962. - *Le Bouquetin des Alpes*. Grenoble, Arthaud, 1 564 p.
- DOBREMEZ (J.F.) et VARTANIAN (M.C.), 1974. - Climatologie des séries de végétation des Alpes du Nord. *Doc. Cartogr. Ecol.*, XIII, 29-48.
- ENDERS (G.), 1979. - Nationalpark Berchtesgaden. Theoretische Topoklimatologie Berchtesgaden, Nationalparkverwaltung, 89 p.
- GENSAC (P.), 1970. - Carte litho-morphologique du Parc National de la Vanoise (feuille de Moûtiers 1/100 000). *Trav. sci. Parc. nation. Vanoise*, I, 13-24.
- GENSAC (P.), 1972. - Notice explicative de la carte écologique Moûtiers, Parc National de la Vanoise, 1/100 000. *Trav. sci. Parc. nation. Vanoise*, II, 49-72.
- GENSAC (P.), 1978. - Observations thermométriques de 1973 à 1976 dans le Parc National de la Vanoise. Conséquences biologiques. *Trav. sci. Parc. nation. Vanoise*, IV, 9-24.
- GEYGER (E.), 1977. - Leaf area and productivity in grasslands. In : Krause (W.) (Ed.) *Handbook of vegetation science*, part 13. Application of vegetation science to grassland husbandry. The Hague, Junk, 499-520.
- GRAF (C.) et SCHRÖDER (W.), 1979. - Der Stand der Wiedereinbürgerung des Alpensteinbockes (*Capra ibex* L.). Mayrhofen, 3. Int. Gamstagungsber, 54-60.
- HOFMANN (A.) et NIEVERGELT (B.), 1972. - Das Jahreszeitliche verteilungsmuster und der Äsungsdruck von Alpensteinbock, Gemse, Rothirsch und Reh in einem begrenzten Gebiet im Oberengadin. *Z. Jagdwiss*, 18, 185-212.
- HOUTE de LANGE (S.M.) ten 1978. Zur Futterwahl des Alpensteinbockes (*Capra ibex* L.). *Z. Jagdwiss*, 24, 113-138.
- KOFLER (H.), 1981. - Ökologisch-vegetationskundliche Untersuchungen zur Nahrungswahl und Konkurrenz von Gams (*Rupicapra rupicapra* L.) und Steinbock (*Capra i. ibex* L.) im Hochlantschstock/Steiermark. Graz, Thèse Doct., 139 p.
- LINZI (M.P.), 1978. - Analisi preliminare dell'ecologia della colonia di stambecchi (*Capra ibex* L., 1758) del Parco Nazionale del Gran Paradiso, Roma, Thèse Univ.
- NIEVERGELT (B.), 1966. - Der Alpensteinbock (*Capra ibex* L.) in seinem Lebensraum. Ein oekologischer Vergleich. Hamburg, Parey, 85 p.
- SCHAERER (O.), 1977. - Standortwahl, Tagesaktivität und Verbandstruktur in einem Bockrudel des Alpensteinbocks (*Capra ibex* L.). Zürich, Thèse, Univ., 49 p.
- ZONNEVELD (I.S.), GILS (H.A.M.J. van) et THALEN (D.C.P.), 1979. - Aspects of the I.T.C. approach to vegetation survey. *Doc. Phytosoc.*, 4, 1 029-1 063.

(Reçu pour publication, mars 1982)

IMPRIMERIE LOUIS-JEAN

Publications scientifiques et littéraires

05002 GAP — Tél. : (92) 51.35.23

Dépôt légal : 570 — Novembre 1983

