

Zeitschrift: Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Herausgeber: Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Band: 81 (1992)
Heft: 1

Artikel: Le Mont-Blanc : de la Montagne Maudite à l'observatoire pour l'environnement
Autor: Keller, Catherine
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-279865>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 17.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Le Mont-Blanc: de la Montagne Maudite à l'observatoire pour l'environnement

par

Catherine KELLER¹

Abstract.—KELLER C., 1992. The Mont-Blanc: from the mountain «Maudite» to an environmental observatory. *Bull. Soc. vaud. Sc. nat.* 81: 181-197.

In this paper we describe, from an historical point of view, the evolution of the growing interest for the Mont-Blanc massif and summit. This interest evolved with time, with increasing knowledge, with needs and with temporary interests.

Further, we'll show, with some examples, the evolution of the scientific knowledge of the Mont-Blanc massif and its biological and abiological components from the first petrographical descriptions until the recent environmental approaches.

Key words: Mont-Blanc, history, geology, soil science, environment, heavy metals, ecosystem.

Résumé.—KELLER C., 1992. Le Mont-Blanc: de la Montagne Maudite à l'observatoire pour l'environnement. *Bull. Soc. vaud. Sc. nat.* 81: 181-197.

On se propose au travers d'un aperçu historique de retracer les différentes phases de l'intérêt toujours plus grand que le Mont-Blanc -massif et sommet- suscita au cours des siècles et qui évolua avec le temps, les connaissances, les besoins et les centres d'intérêt du moment. Puis on s'attachera, au travers d'exemples, à montrer en particulier l'évolution de la connaissance scientifique du massif et de ses diverses composantes biologiques et abiologiques, depuis les premières descriptions pétrographiques, jusqu'aux récentes approches environnementales.

¹IATE-Pédologie, Ecole Polytechnique Fédérale, CH-1015 Lausanne.

1. INTRODUCTION

La connaissance du Mont Blanc, qu'il s'agisse du sommet ou, par extension, de la chaîne montagneuse, s'inscrit dans l'historique d'une expression socio-culturelle et d'un savoir scientifique.

Primitivement «milieu entretenant la vie» pour les habitants des nombreuses vallées qui l'entament, le massif du Mont-Blanc et son sommet sont devenus, petit à petit, la «multipropriété affective» de tout ceux qui, à des titres divers, l'ont aimé, de loin ou de près, par la lecture, l'image, le tourisme ou l'exploit sportif. Le Mont-Blanc est, pour tous ceux-là, une réalité ou un rêve qui les ont un jour interpellés ou qui les interpellent encore.

Les scientifiques, trouvant aussi au Mont-Blanc des justifications diverses à l'étude, en plus de celles qui viennent d'être évoquées, se sont penchés, très tôt, sur cet «objet naturel»; sciences de base et sciences appliquées ont été mobilisées pour mieux connaître l'histoire du milieu minéral, les sciences de la terre étant, à cette étape de l'acquisition du savoir, largement mises à contribution. Privilégiant l'échelle de temps géologique, ces études nous ont maintenu dans le savoir sur des processus lents et, par ce biais, dans la connaissance intuitive d'une certaine éternité planétaire.

Aujourd'hui pourtant, l'étude de la dynamique de la biosphère nous indique que

1.–les pressions anthropogènes sur les écosystèmes naturels ne cessent de s'accroître;

2.–tous les systèmes peuvent être atteints et que les massifs montagneux, aussi «sécurisants» soient-ils, ne sont pas épargnés;

3.–les écosystèmes de montagne, la chaîne du Mont-Blanc en particulier, jouent un rôle essentiel dans l'économie régionale et, plus encore, dans la sauvegarde du vivant ne serait-ce qu'au travers du rôle d'impluvium et de contrôle de la qualité chimique des eaux alimentant les aquifères profonds.

Une réflexion nouvelle a donc pris jour: juxtaposition du concept de «fragilité», de celui de «risque», de celui «d'obligation de conserver voire de protéger», de celui enfin de «prévoir» pour mieux assurer à l'homme, aujourd'hui et à l'avenir, une «planète habitable». A la connaissance des «faits anciens» doit donc se superposer la connaissance des «fonctionnements actuels» qui impliquent, de facto, l'intervention des sciences de la vie et la prise en compte d'une échelle du temps biologique. A la notion de «Mont-Blanc, milieu physique abiologique» se substitue ainsi, progressivement, la notion de «Mont-Blanc, milieu biophysico-chimique». En même temps donc que l'échelle du temps se rétrécit, l'échelle de dimension subit la même évolution. Ausculter des fonctionnements c'est réduire la taille de l'espace jusqu'à ce que les processus impliquant le vivant soient non seulement perceptibles mais également étudiables: de l'atome à la station expérimentale d'une centaine de m² environ, puis au bassin versant. Les études sur le Mont-Blanc sont donc loin d'être terminées. Elles représentent aujourd'hui un système «patchwork» où, morceau par morceau, se reconstituera l'histoire du fonctionnement et des processus de ce «grand corps naturel» qu'est le massif.

Ce qui suit retrace donc, au travers d'une sélection de «morceaux choisis», l'historique des approches socio-culturelles, d'une part, scientifiques, d'autre part. Ces rappels ne sont pas et ne se veulent pas exhaustifs. Ils témoignent à

la fois d'un a priori de l'auteur et, aussi, d'une certaine difficulté à rassembler des connaissances peu abondantes et difficilement accessibles, du moins pour certaines d'entre elles. Afin de mieux se cadrer sur les études à l'échelle du temps biologique, une attention plus particulière sera accordée aux travaux réalisés dans le cadre d'un travail de doctorat à l'EPFL sur les fonctionnements de la biolithosphère et, plus particulièrement, sur celui de couvertures sol-végétation forestière soumises à une «pollution diffuse» par les métaux lourds.

1. BRIBES D'HISTOIRE POUR UNE APPROCHE «AFFECTIVE» DU MONT-BLANC (VALLOT 1938, FINI 1985, ROCH 1987, GUBLER 1987, BALLU 1991, CAROZZI, 1992)

Le massif du Mont-Blanc est avant tout une entité géomorphologique délimitée par les vallées du Rhône, de l'Arve, le Val Ferret, les Val du Bon Nant et Val Veni. Il s'inscrit dans les massifs dits «cristallins externes» situés dans la partie occidentale de l'arc alpin. Le Mont-Blanc, c'est un massif montagneux mais c'est aussi une montagne, et s'il doit sa renommée à l'exceptionnelle densité et beauté de ses sommets et glaciers, il la doit aussi et surtout à la présence en son sein du toit de l'Europe. Ainsi, l'intérêt culturel et touristique qu'il a suscité jusqu'à présent, n'a jamais été démenti; cependant, le monde scientifique et politique ne fut pas toujours aussi enthousiaste, car il fut longtemps peu préoccupé par un massif difficile d'accès et de surcroît situé aux confins des frontières de trois pays, l'Italie, la Suisse et la France.

L'ensemble du massif, appelé tout d'abord «les Glacières», fait très tôt l'objet d'une attention et d'une attirance particulières. Son aspect imposant et l'apparente inaccessibilité de ses sommets impressionnent les premiers observateurs que sont les habitants des vallées avoisinantes –pour la plupart paysans et artisans–, et quelques rares voyageurs et pèlerins de passage. Dans ces temps reculés, le Mont-Blanc, est loin d'être un objet d'intérêt touristique...

Les premiers écrits faisant mention de l'endroit apparaissent au IX^e siècle. Les montagnes sont peu hospitalières aux gens de l'époque et il ne vient à l'esprit de personne de s'aventurer sur leurs sommets. Cet intérêt limité a pour conséquence que les noms sont rares: la «*rupe que vocatur alba*» citée vers 1091 et située près de Chamonix semble être la première référence au Mont-Blanc, sans que cependant l'on sache réellement s'il s'agit du Mont-Blanc lui-même ou d'un ensemble de montagnes. La terminologie actuelle aurait été employée pour la première fois en 1603 par St-François de Sales. Mais pour tous, jusqu'au début du XVIII^e siècle, le Mont-Blanc s'appelle la Montagne Maudite, nom certainement plus en accord avec le sentiment médiéval. Quelques hommes pourtant bravent les dangers que laisse augurer ce nom peu engageant: les cristalliers en quête de cristal de roche et les chasseurs de chamois sont à cette époque les seuls à oser s'aventurer en haute montagne. Il est vrai que «*leur mauvaise physionomie fait croire à quelques paysans superstitieux qu'ils sont sorciers, qu'ils ont dans ces solitudes commerce avec le diable*» note de Saussure dans ses «Premières ascensions au Mont-Blanc». Aujourd'hui, leurs descendants sont guides alpins et regroupés dans la célèbre Compagnie des Guides de Chamonix.

L'aspect esthétique du Mont-Blanc est celui qui attire au premier abord, et il inspira sans conteste de nombreux poètes, écrivains et peintres, avant même d'être gravi. De nombreux peintres (Jean-Antoine Linck dès le XVIII^e siècle, G. Lory, Toepffer, Moitte, Corot...), poètes et écrivains (Dumas, Michelet, Hugo, Daudet, Gauthier, Dickens, Byron...) lui consacrèrent poèmes et récits de voyages. Des photographes (Ferrier, Bisson, Sella au siècle passé) furent également séduits par la beauté du Mont-Blanc. C'est peut-être Chateaubriand qui émit la seule note dissonante en la matière, puisque qu'il écrivit dans son *Voyage au Mont-Blanc* «...on pourrait prendre la Mer de Glace, dans plusieurs endroits pour des carrières de chaux et de plâtre; ses crevasses seules offrent quelques teintes du prisme, et quand les couches de glaces sont appuyées sur le roc, elles ressemblent à de gros verres de bouteille!»! et plus loin: «*Mais les montagnes sont le séjour de la rêverie? J'en doute...*». Plus enthousiaste, Marc Théodore Bourrit, contemporain de de Saussure mais surtout peintre, écrivain et grand chroniqueur (peu objectif!) des tentatives d'escalade du Mont-Blanc –bien qu'il n'ait jamais réussi lui-même l'ascension– est le premier à faire connaître non seulement le Mont-Blanc mais aussi toutes les Alpes au grand public. Il lance ainsi la mode des voyages dans le massif du Mont-Blanc...

L'espace sportif et récréatif que représente aujourd'hui le Mont-Blanc commence à être pris en considération dès les premières ascensions. C'est au XVIII^e siècle et plus précisément à partir de 1760 que débute la vraie conquête du Mont-Blanc: après que Packok et Windhaus, en 1741, eurent ouvert la voie d'accès par St-Gervais, Horace-Bénédict de Saussure, propose en 1760 une récompense à celui qui atteindra le sommet le premier. C'est finalement le Dr Paccard qui y réussit, en compagnie de Jean-Jacques Balmat, le 8 août 1786 au terme de plusieurs tentatives dont la première datait déjà de 1775. Comme, à cette époque, pratiquer l'alpinisme dans un autre but que celui de la science était inconcevable, leur ascension est considérée comme «*absolument inutile*» puisqu'ils «*n'avaient pas d'instruments scientifiques d'aucune sorte*» (selon le révérend Thomas Brand, dans son journal du 13 août 1786). L'aspect péjoratif que représente alors une ascension à but uniquement sportif n'empêche pas l'essor de l'alpinisme: les ascensions «sportives» se succèdent rapidement afin de trouver la meilleure voie vers le sommet. La neuvième tentative (9 juillet 1808) est aussi la première d'une femme de la vallée, Marie Paradis. Mais la plupart des ascensions sont le fait de touristes. Diverses voies sont encore explorées jusqu'à la première de la voie normale actuelle, l'arête des Bosses du Dromadaire, en 1859. Depuis, le massif ne cesse d'être le théâtre d'exploits sportifs et l'histoire du massif est émaillée de grands noms tels que Bonatti, Harlin, Brown... et plus récemment Boivin, Gabarrou ou Profit, sans oublier ceux qui, comme Frison-Roche, ont immortalisé ces ascensions en s'en faisant les narrateurs. Enfin, l'invention des sports d'hiver, vers 1900 et l'essor du ski donnent un nouveau coup de pouce à la vallée et consacre Chamonix, déjà capitale de l'alpinisme, première station de sport d'hiver lors des premiers jeux olympiques d'hiver de 1924. Si les difficultés des sommets n'intéressent aujourd'hui qu'une élite, le tourisme alpin attire des visiteurs aussi nombreux que divers qui se pressent à l'Aiguille du Midi, s'extasient à la Mer de Glace et apprécient de pouvoir skier tout en contemplant le Mont-Blanc.

Bien que cet aspect soit à présent prédominant, rappelons-le, les premières ascensions furent à but essentiellement scientifique. Et, contrairement à l'opi-

nion répandue à l'époque, le Dr Paccard est le premier à rapporter des informations d'ordre géologique, zoologique, minéralogique et botanique du Mont-Blanc.

Les scientifiques sont tout d'abord attirés par son altitude, en tant qu'outil permettant de mener à bien des mesures scientifiques, essentiellement physiques: au XVII^e on sait que le Mont-Blanc est la montagne la plus haute d'Europe et les frères Fatio de Duillier, mathématiciens, tentent la détermination de son altitude; mais c'est Sir George Chuckburgh, à la même époque, qui s'approche le plus de la réalité en mesurant 4775 m. Cependant ce sont les physiciens qui se sont le plus intéressés par le Mont-Blanc: après le docteur Paccard, H.-B. de Saussure fait lui-même l'ascension le 3 août 1787 (la troisième); il reste quatre heures au sommet pour y noter ses observations, en particulier des mesures de pression atmosphérique. Cinquante six ans après la première ascension, les préoccupations sont toujours les mêmes, et les savants français Bravais, Martin et le Pileur y montent pour répéter les observations de de Saussure (ils trouvent une altitude de 4810 m). Plus tard le physicien britannique Tyndall, l'astronome Jules Janssen et le physicien français Joseph Vallot (initiateur de la construction de l'observatoire de l'arête des Bosses) allongèrent la liste des hommes de science de renom qui s'intéressèrent au Mont-Blanc.

2. LE MONT-BLANC À L'ÉCHELLE DU TEMPS GÉOLOGIQUE

Historiquement et scientifiquement, le Mont-Blanc fut d'abord étudié pour sa «structure» dont de Saussure disait que sa compréhension pourrait «accélérer les progrès de la Théorie de ce Globe» (in VALLOT 1938). C'était donc la vision à l'échelle du temps géologique qui prévalait, tout comme pour les premières études pédologiques qui s'attachèrent à décrire la répartition des sols sur ces milieux.

2.1. Recherches dans le domaine des géosciences

Plus précisément, l'histoire de la géologie du Mont-Blanc peut être, selon GUBLER (1987, 1988), regroupée en deux phases: l'une consistant en descriptions et interprétations d'observations directes de terrain puis synthèses structurales, la seconde intéressant une période récente, et s'appuyant sur des mesures indirectes pour l'explication des mouvements des roches en profondeur. En effet, ce massif occupant une position clé entre les domaines intra-alpins et externes, a subi une histoire géologique complexe: en effet, plusieurs phases de métamorphisme et de tectonique superposées ont été reconnues dans le socle cristallin calédono-hercynien qui forme l'ossature du Massif du Mont-Blanc et des Aiguilles Rouges. Et les structures de l'ensemble Mont-Blanc – Zone de Chamonix – Aiguilles Rouges correspondent à trois types de formations: un socle antéalpin de terrains cristallins, des matériaux sédimentaires d'âge secondaire et des formations d'âge quaternaire et récentes. L'explication complète et cohérente de sa formation a donc nécessité les apports conjugués des différentes disciplines de la géologie.

L'histoire de la géologie est étroitement liée à celle de la cartographie, laquelle a précédé les premières recherches géologiques structurales. Si le Mont-Blanc est déjà situé (plus ou moins bien!) sur des cartes dès le début du

XVII^e siècle (carte de Jacopo Goularzio, publiée en 1606, puis celle de Stagioni en 1772), les cartes du massif lui-même n'apparaissent que dans la deuxième moitié du XIX^e siècle, donc après les travaux de de Saussure et de Jurine en 1806. Les premières cartes d'état major du massif du Mont-Blanc datent de 1852 pour la carte Sarde, 1861 pour la carte Dufour (feuille de Martigny) et 1865 pour les cartes Mieulet et Reilly. La première carte d'ensemble est effectuée par FAVRE en 1862 (1:150000): il a le mérite d'attribuer pour la première fois le nom de Mont-Blanc à un sommet bien défini et son travail donne le coup d'envoi de la géologie régionale. Enfin E. Viollet-le-Duc publie «Le massif du Mont-Blanc» et une carte au 1:40000 en 1876, apport majeur pour la connaissance de la géomorphologie et de la glaciologie dans le massif (FREY 1988). La première carte géologique est effectuée en 1898 par Duparc et Mrazec (MARRO 1987). Elle montre déjà clairement une forme amygdalaire, allongée vers le NNE et des limites naturelles qui sont la vallée de l'Arve, les Val Ferret suisse et italien et le Val de Bagnes. La photogrammétrie, au début du siècle, facilite l'exploration cartographique géologique systématique en mettant à disposition des fonds topographiques. Elle permet ainsi à CORBIN et OULIANOFF (de 1927 à 1970) d'effectuer la première cartographie complète du massif, qu'ils publient sous la forme d'un ensemble de 14 cartes géologiques au 1:20000, documents qui font encore référence aujourd'hui. La dernière venue est la feuille de Chamonix au 1:50000 éditée en 1987 et qui tient compte des dernières mises à jour.

Les premières recherches entreprises reviennent bien sûr à H.-B. de Saussure, physicien, qui est aussi le premier géologue à prendre le Mont-Blanc comme «objet d'étude»: il effectue huit voyages dans les Alpes pour comprendre et expliquer la géologie du Massif. Il fut considéré plus tard comme le fondateur de la géologie alpine: ses observations ouvrirent la voie de la géologie moderne; il réfuta la théorie «neptuniste» de l'époque et émit l'hypothèse des «refoulements latéraux antagonistes» responsables de la formation des chaînes de montagnes plissées.

Avant même l'établissement de cartes, JURINE (1806) entreprit le premier d'aborder et d'étudier les roches du massif de manière systématique; c'est à lui que l'on doit le terme «protogine». Car à l'époque, la minéralogie qui disposait déjà de techniques analytiques et microscopiques, était très en avance sur la stratigraphie à laquelle manquaient justement les cartes. OULIANOFF (1937, 1944, 1963), s'appuyant en cela sur sa connaissance des massifs centraux des Alpes acquise lors de ses relevés cartographiques, apporta des éléments décisifs à la compréhension de l'orogénèse du massif: il en mit en évidence les phases successives et, en particulier, la superposition des tectoniques hercynienne (ou varisque) et alpine pour lesquelles il démontra que les directions des plissements étaient différentes. Les recherches structurales sont essentiellement développées ensuite par l'école suisse (VON RAUMER 1976, 1987, 1988, AYRTON 1980, MARRO 1986, BUSSY 1989, BONIN *et al.* 1992). Puis les recherches en géophysique (PERRIER et VIALON 1980) permettent de comprendre l'organisation profonde du massif et aboutissent à une modélisation des relations entre les divers ensembles géologiques de l'arc alpin.

Dans le même temps, aux travaux sur le socle du massif, s'ajoutent les études de la couverture quaternaire -matériaux morainiques et fluvioglaciaires-

(BURRI 1974, BLESS 1984, WETTER 1987, MAHANEY, 1991). De même que pour les produits d'altération des roches en place, ces formations doivent être considérées comme des «roche-mères» et, à ce titre, leur connaissance est indispensable à l'étude des couvertures pédologiques.

2.2. Recherches à l'interface lithosphère-biosphère: les recherches sur le sol

Mais alors que l'étude géologique du massif du Mont-Blanc est déjà bien avancée et a permis l'émergence de nouvelles théories, les pédologues se désintéressent des sols de cette région et du milieu alpin cristallin en général, probablement parce que l'étude pédologique de ces régions économiquement marginales ne paraît pas prioritaire (LEGROS et CABIDOCHÉ 1977); certainement également parce que les difficultés liées au milieu montagnard hostile les rebutent au premier abord. La première raison est cependant historique: la science des sols est plus jeune que la géologie, et ne prend vraiment son essor qu'au début du XXème siècle avec Dokouchaev. Tout d'abord inféodée à l'agronomie, son développement est étroitement lié à celui de la chimie et en particulier de l'analyse minérale quantitative fondée par Klapoth (1743-1817) (BOULAINE 1989).

Le tournant fondamental dans l'histoire des sols, se situe vers 1840 lorsque Liebig écrit sur la formation et la génèse des sols et l'altération des silicates. A la même époque, Boussingault (1802-1887) applique l'analyse chimique quantitative aux sols. Mais c'est un géologue, Elie de Beaumont (1798-1874), qui le premier introduit la notion d'horizons, si essentielle dans la science des sols (BOULAINE 1989). Ainsi lorsqu'en 1845, DE FELLENBERG présente à la Société Vaudoise des Sciences Naturelles sa technique de destruction et d'analyse des silicates, il participe au développement des techniques analytiques qui vont permettre l'essor des études sur l'altération. Mais la caractérisation de l'altération des roches et avec elle l'étude des argiles et les aspects minéralogiques de la pédogénèse ne prennent vraiment leur essor que dans l'après-guerre de 1945 lorsque l'on dispose de techniques adéquates. Il ne reste alors plus qu'à retourner dans les Alpes...

L'intérêt que les pédologues commencent alors à porter aux milieux de haute montagne peut s'expliquer par l'augmentation, d'une part de la pression humaine sur ces surfaces (tourisme et ski en particulier) et d'autre part de l'industrialisation, qui entraînent une volonté de mieux connaître pour mieux protéger cet environnement particulièrement fragile. Mais il apparaît également à la lumière des premiers résultats, que ces milieux longtemps considérés comme peu évolués, constituent en fait des milieux très actifs qui peuvent être utilisés comme modèles pour l'étude des différents facteurs biologiques et biochimiques dans les premiers stades de la pédogénèse (ROBERT *et al.* 1980).

Les premiers travaux sont donc des études systématiques de la couverture pédologique qui permettent de mettre en évidence les grandes lois de répartition des sols développés sur les roches acides des Alpes du Nord et en particulier du massif du Mont-Blanc. Selon LEGROS et CABIDOCHÉ (1977), les premiers sont ceux de KUBIENA (1953) sur la morphologie et la biologie des types d'humus de montagne et de PALLMANN (1947) sur la génèse des sols en relation avec leur milieu. Peu à peu les études se multiplient (BOUMA *et al.* 1969, LEGROS et CABIDOCHÉ 1977, PÉLISSONNIER 1978, PATERNOSTER 1979,

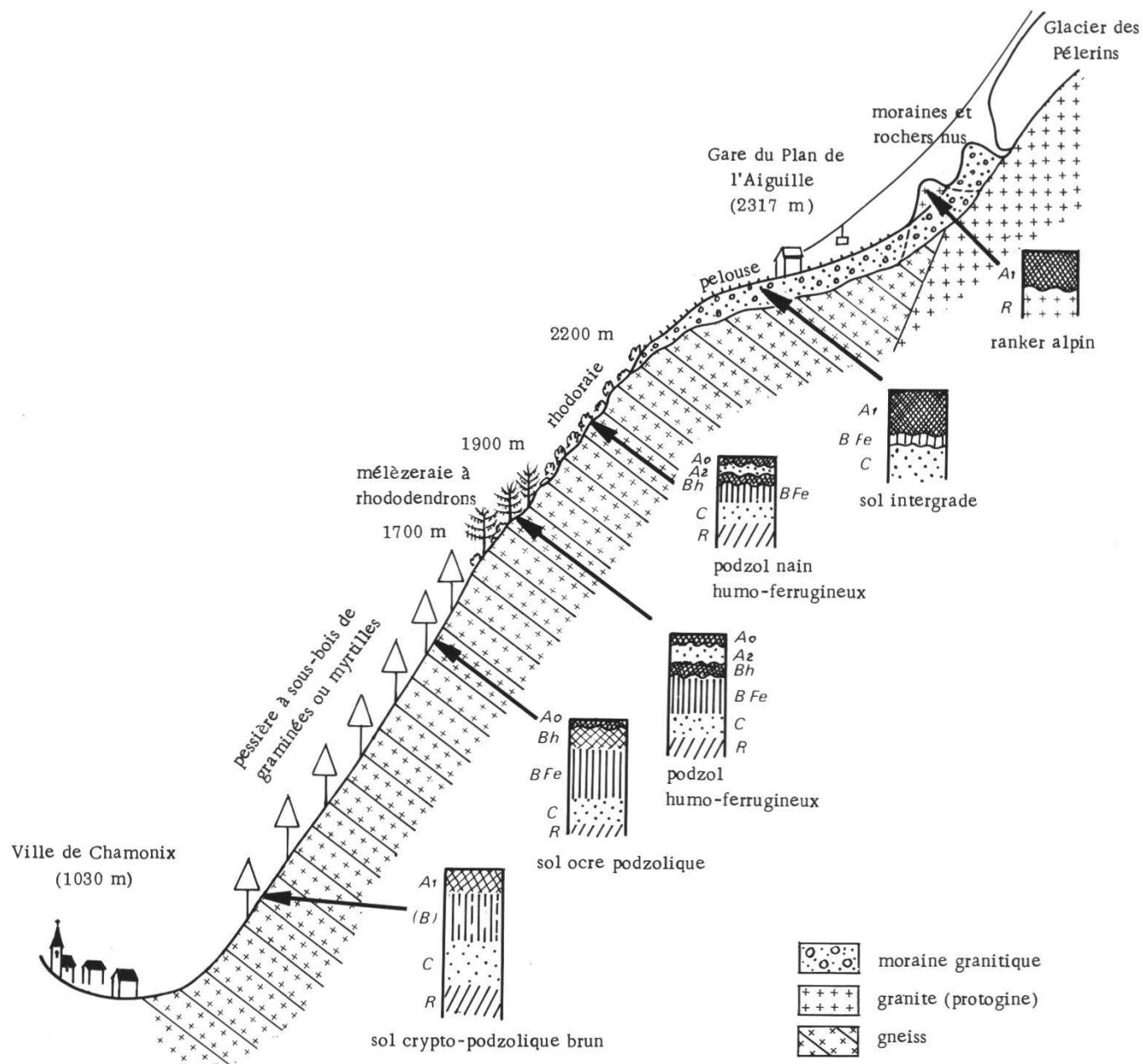
ROBERT *et al.* 1980, TROSSET 1980...) qui permettent de tirer les grands traits des facteurs de formation des sols aux étages montagnard, subalpin et alpin de ces régions depuis la colonisation des moraines jusqu'à l'établissement des sols climaciques, en général des sols assez fortement podzolisés.

Arrivés à ce point, il nous semble important de présenter d'un point de vue descriptif les résultats des travaux accumulés depuis ces 20 dernières années sur les couvertures pédologiques des Alpes cristallines et du massif du Mont-Blanc en particulier, et dont on peut aujourd'hui tirer une synthèse (LEGROS 1992): les sols sont toujours jeunes (moins de 10'000 ans), la pédogénèse n'ayant pu débuter qu'après la fin des glaciations, le dégagement des dépôts morainiques et la stabilisation des colluviums de pente. La tendance générale à la podzolisation ne s'exprime clairement que sur des moraines de 8000 à 10000 ans (PATERNOSTER 1979, DAMBRINE 1985). Dans les massifs de hautes montagnes, on retrouve de la vallée au sommet un étagement altitudinal de la végétation et des processus pédogénétiques dominants (étages montagnard, subalpin, alpin et nival) correspondant globalement à la zonation latitudinale que l'on rencontre entre les régions tempérées et les pôles (ainsi l'étage subalpin correspond à la zone boréale humide). Et c'est dans les sols développés sur roches cristallines que l'on observe la meilleure correspondance entre les sols, la végétation et le climat (figure 1). Ainsi la podzolisation apparaît comme un processus caractéristique de l'étage subalpin (forêt de résineux à Ericacées sur sols podzolisés, appelés selon les auteurs, podzols alpins, «alpiner eisenhumus Podsol» ou «typic cryorthod»). Plus en altitude, à l'étage alpin on trouvera surtout des rankers (Umbric Leptosols) et des sols bruns (Cambisols) (BARTOLI et BURTIN 1979). Dans ces milieux les facteurs de la pédogénèse sont le climat, la végétation, le type de roche-mère, mais également la géomorphologie, le degré d'arénisation du substrat et dans une moindre mesure l'exposition (LEGROS et CABIDOCHÉ 1977). A chaque étage, la topographie introduit des effets microclimatiques qui induisent des changements de végétation qui, à leur tour, conduisent à des degrés variables de podzolisation (BLASER 1980). C'est ainsi que l'on rencontrera soit des sols en équilibre climacique sur de larges surfaces, soit en position de climax stationnel selon la géomorphologie.

3. LE MONT-BLANC À L'ÉCHELLE DU TEMPS BIOLOGIQUE

3.1. Fonctionnement global des écosystèmes sol-végétation

D'un point de vue botanique le massif du Mont-Blanc a été moins étudié que son voisin le massif des Aiguilles Rouges. Mais les travaux de RICHARD (1975), et de HAINARD et JACQUEMOUD (1975) fournissent une somme importante de renseignements dans ce domaine. MONTCOUYOUX (1976), LABROUE et TOSCA (1977) abordent les études microbiologiques dans les sols. L'aspect environnemental prenant aussi de l'importance, on s'intéresse de plus près aux fonctionnements à l'échelle du temps biologique et, alors que l'on avait jusqu'à présent interrogé le passé, on s'intéresse au présent dans le but d'anticiper le futur. Le Mont-Blanc apparaît ainsi sous un autre aspect: il est non seulement considéré pour son enveloppe externe, mais également étudié au travers du fonctionnement de cette enveloppe, qu'elle soit de nature inorganique (manteau neigeux), organo-minérale ou organique. Ce type



3.2. Cycles biogéochimiques des métaux lourds

La maîtrise toujours plus grande des techniques lysimétriques (permettant la récolte des solutions du sol), et de leurs interprétations permettent d'étendre le type d'approche ci-dessus) au domaine des éléments traces. Ceux-ci sont, par définition, présents en très faible quantité dans les écosystèmes sol-végétation dits «naturels», mais leur cycle biogéochimique présente les mêmes voies de transferts et les mêmes lieux d'accumulation que les éléments majeurs (figure 2). Leur étude peut d'une part être considérée comme une phase complémentaire de la compréhension globale des fonctionnements des écosystèmes et, d'autre part, s'intégrer dans une problématique environnementale de la pollution. Cette manière d'appréhender la question permet en effet la caractérisation de milieux peu anthropisés pouvant servir de «référence» pour des systèmes plus anthropisés: de nombreuses études en Europe et aux Etats-Unis portent sur les milieux subissant une pollution déjà importante par les éléments traces, parfois même associée à des pluies acides (BERGKVIST *et al.* 1989).

Ce type d'approche est donc plus particulièrement développé au laboratoire de Pédologie de l'EPFL (KELLER 1991, ATTEIA 1992) dans le cadre d'études dans le massif du Mont-Blanc. L'étude concernant deux métaux lourds dans un écosystème forestier du Val d'Arpette (VS), est présentée ici à titre d'exemple.

Ce travail portant sur les cycles biogéochimiques du cuivre et du cadmium, repose sur une démarche expérimentale abordée à l'échelle de la «station» (environ 400m²) (tableau 1a). Celle-ci devait être représentative d'un ensemble plus vaste afin de permettre une éventuelle extension des résultats (dans ce cas, aux écosystèmes podzol/forêt de résineux de l'étage subalpin du massif du Mont-Blanc).

Trois approches complémentaires ont été appliquées:

—une évaluation des quantités de métaux présents dans les divers compartiments de l'écosystème sol-végétation; il s'agit d'une vision plutôt «statique», intégrant des phénomènes d'accumulation essentiellement passés et dans une moindre mesure actuels. On a ainsi montré que Cu et Cd étaient principalement stockés dans le sol, en particulier dans les horizons A₀A₁ et B_s du podzol;

—une étude dynamique des flux de matière; la volonté d'accéder à l'ensemble des facteurs de transfert (essentiellement les eaux gravitaires et les chutes de litière) a conduit à l'installation d'équipements de récolte des pluies, pluviolessivats, écoulements le long des troncs, solutions de sol et retombées de litière (tableau 1b).

Les résultats ont mis en évidence des concentrations de métaux dans les eaux gravitaires variables dans l'espace et dans le temps: les apports à un compartiment donné sont fonction des épisodes pluvieux récoltés et de la composition de la solution provenant du niveau supérieur. En particulier, le rôle de la couche humifère du sol apparaît comme très important dans la modification du chimisme des solutions.

Globalement, les apports à l'écosystème sont faibles par rapport aux stocks, puisque pour une quantité totale de 33.5 kg/ha (dont 29.6 pour 70 cm de sol) de Cu et 0.69 kg/ha de Cd (dont 0.61 pour le sol), il arrive annuellement à

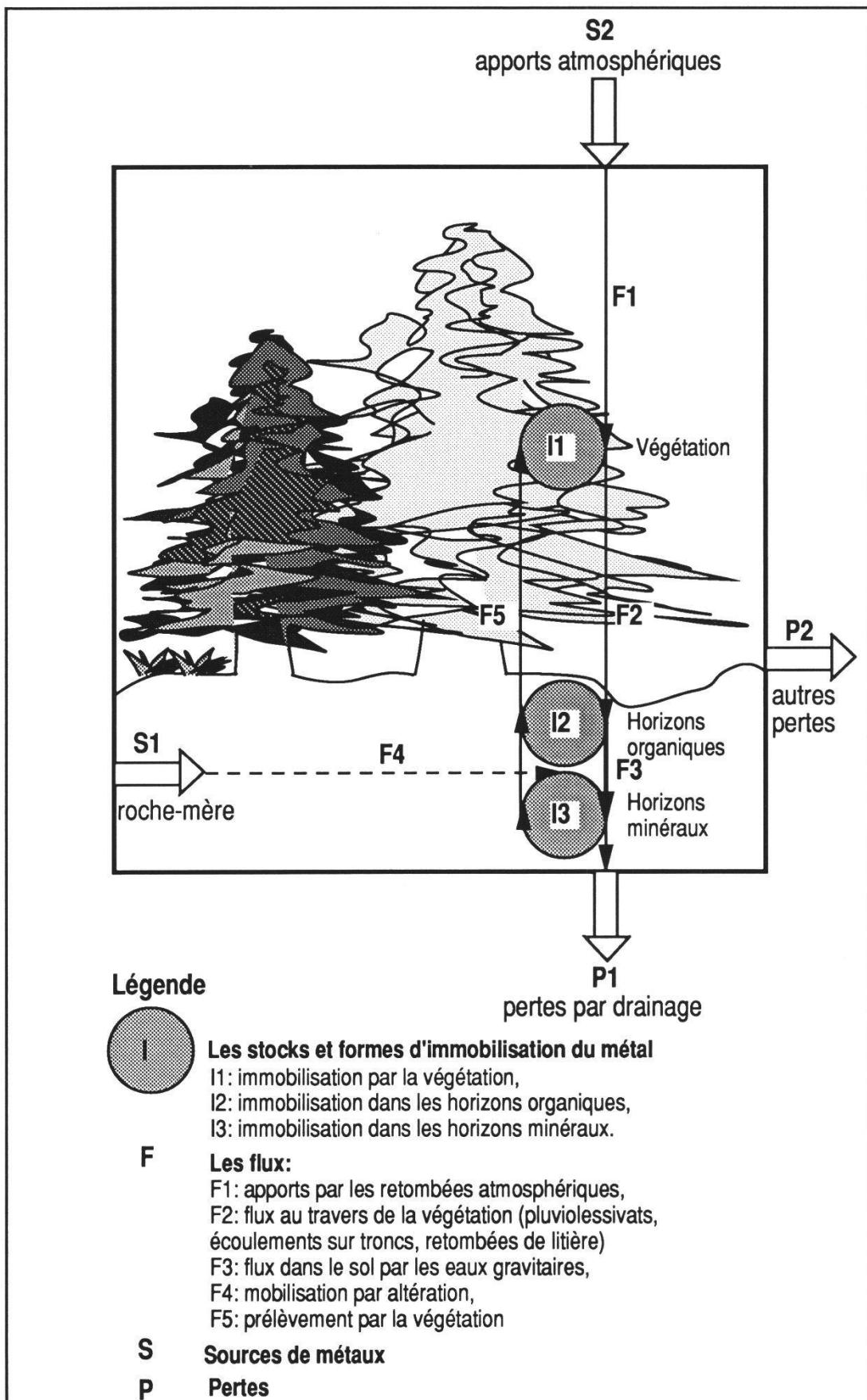


Figure 2.—Schéma simplifié du cycle des métaux dans un écosystème sol-végétation.

l'écosystème 12.6 g/ha de Cu et 1.5 g/ha de Cd sous forme de pluies, tandis qu'à l'arrivée au niveau du sol, on obtient: 22.8 (litière) + 8.5 (pluviolessivats) g/ha de Cu et 0.5 (litière) + 2.2 (pluviolessivats) g/ha de Cd. Mais dans tous les cas, les quantités atteignant le sol chaque année représentent toujours moins de 1% du stock de métaux de la couche humifère A₀A₁ (9.9 kg/ha de Cu et 0.3 kg/ha de Cd). Le cuivre et le cadmium présentent des concentrations et des comportements différents d'une part parce que Cu est naturellement plus abondant que Cd et que, d'autre part, ils ont des affinités différentes pour les constituants du milieu.

Enfin si l'on s'intéresse aux exportations de métaux hors du profil de sol, on note que là aussi les quantités restent très modestes et représentent moins de 2% du cuivre et 15% du cadmium entrant dans le sol. Le podzol n'apparaît donc plus seulement comme un lieu de stockage, mais également comme un lieu d'immobilisation des éléments où, là encore, les horizons A₀A₁ et B_s sont les plus efficaces.

Une étude complémentaire effectuée en laboratoire nécessaire à la reconnaissance des facteurs responsables des comportements différents observés pour Cu et Cd. En effet, ceux-ci peuvent être expliqués par des formes de transfert et de stockage de ces métaux qui conditionnent leur rapidité de diffusion au travers de l'écosystème; on montre qu'un apport important de cadmium va donner lieu à une réponse quasi instantanée aux différents niveaux de l'écosystème car le cadmium en solution se trouve principalement sous forme libre; un apport de cuivre, au contraire, va se répercuter de manière moins immédiate et plus échelonnée dans le temps, puisque la libération du cuivre dépend surtout de la transformation de la matière organique à laquelle il est associé.

L'écosystème podzol/forêt de résineux apparaît globalement comme un milieu «conservateur» des métaux traces, mais son suivi au jour-le-jour montre bien son fonctionnement à l'échelle du temps biologique (on a pu mettre en évidence des phases de drainage correspondant à des «relargages» ponctuels de métaux à l'occasion d'événements tels que la fonte des neiges).

C'est un écosystème en apparence en équilibre, mais il est par nature fragile; son efficacité à immobiliser les métaux est moindre par exemple que celle d'un écosystème sol brun acide/pessière (étudié comparativement, cf. KELLER *et al.* 1992). Cet équilibre peut, à moyen terme, être perturbé puisque des analyses effectuées sur la couverture neigeuse ont mis en évidence une pollution d'origine anthropique du Mont-Blanc déjà non négligeable (PARRIAUX *et al.* 1990, DRAY *et al.* 1990).

4. CONCLUSION

Les systèmes montagneux -et, par analogie, le massif du Mont-Blanc- représentent à la fois des «milieux entretenant la vie» et des milieux «fragiles»; sans oublier, bien évidemment, leur richesse écologique et leur intérêt socio-économique, touristique et culturel.

Milieu entretenant la vie parce que la chaîne du Mont-Blanc, bien que recouverte, pour une part, par une couverture neigeuse permanente, pour une autre part, par des «sols» minéraux (lithosols), comporte toutefois aux étages climatiques alpins, subalpins, montagnards et collinéens des couvertures

Tableau 1a.—Description de la station du Val d'Arpette (Champex).

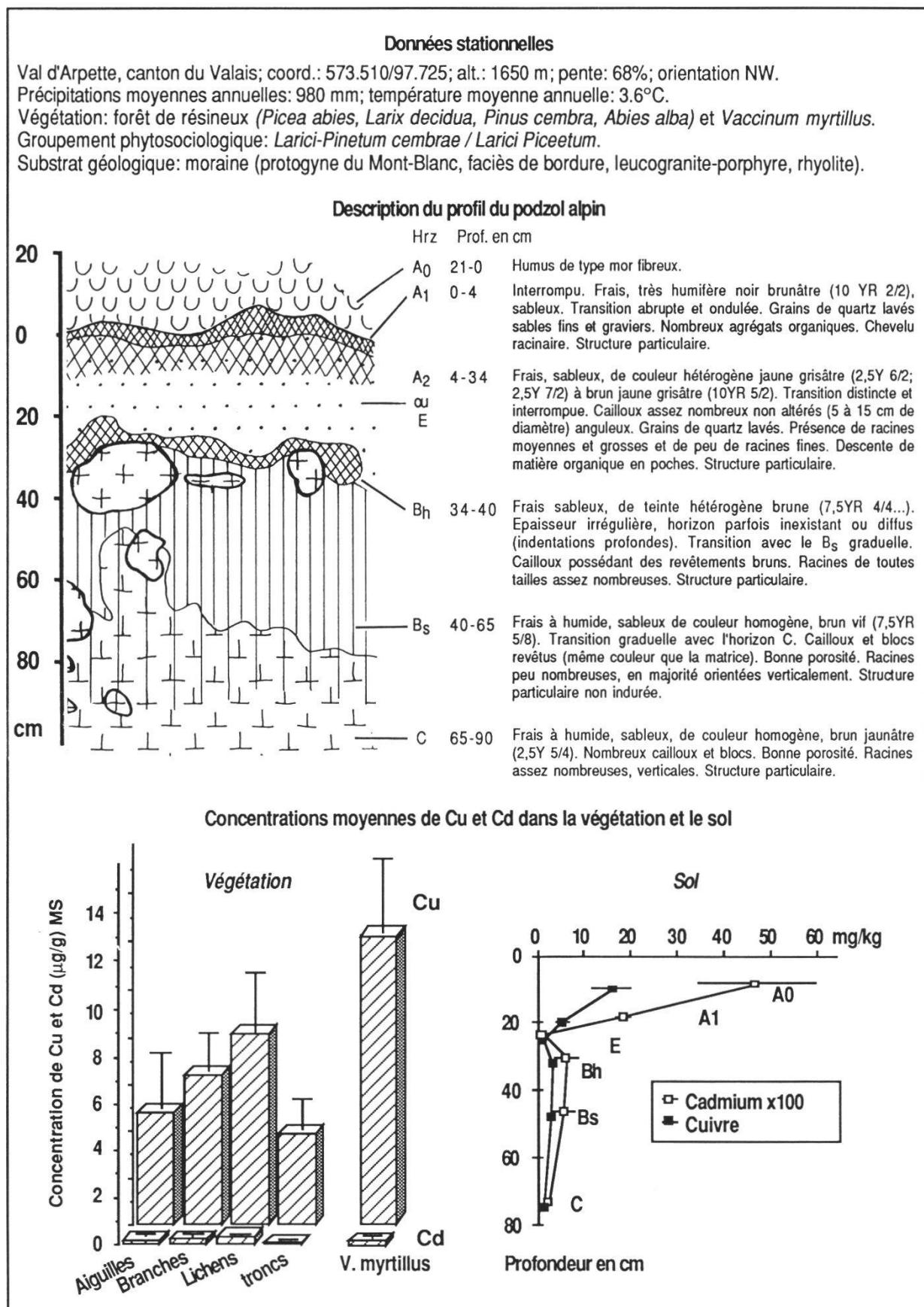


Tableau 1b.—Equipement de la station du Val d'Arpette.

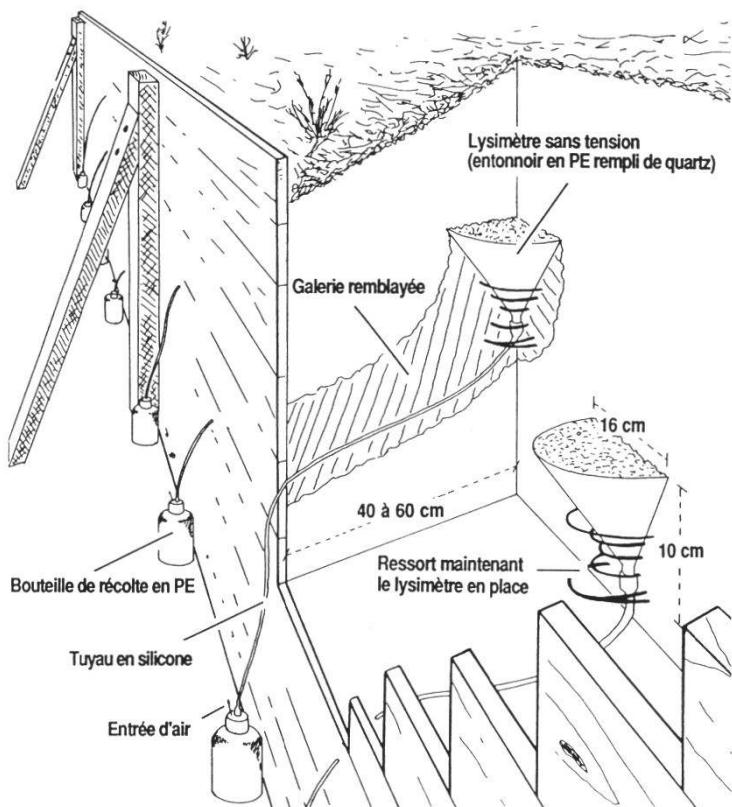
Equipement expérimental

L'ensemble du matériel est choisi et testé dans le but de limiter au maximum les risques de contamination des solutions récoltées

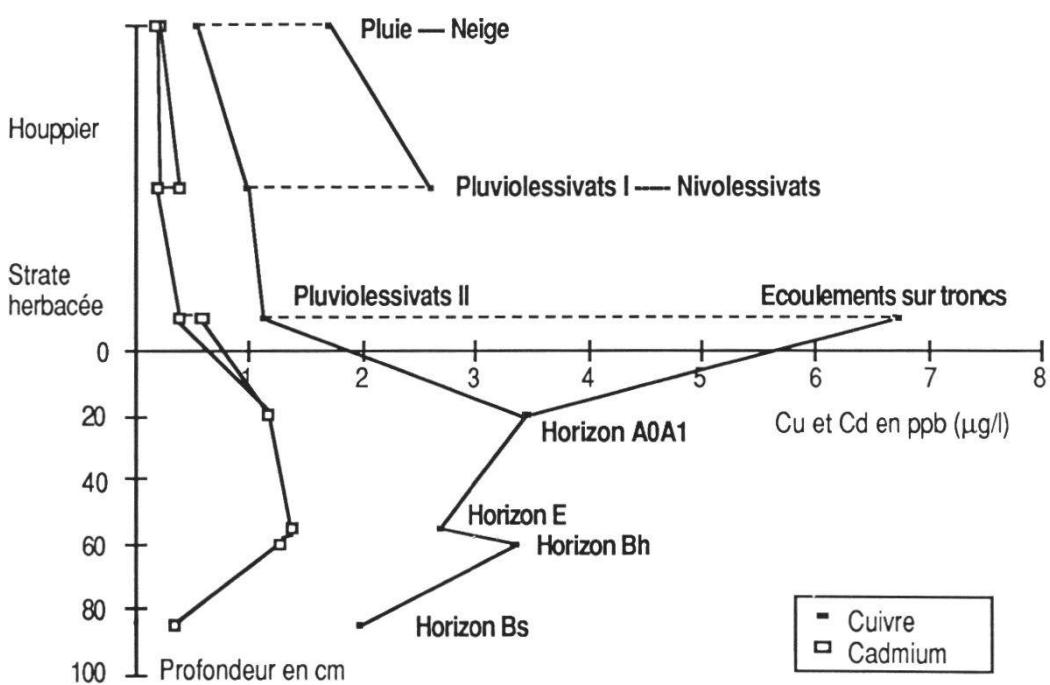
Les flux hydriques: la pluie, les pluviolessivats sous la strate arborescente et sous la strate herbacée sont collectés au moyen de pluviomètres totalisateurs en polyéthylène (PE); les écoulements le long des troncs sont captés par des colliers en silicone fixés en spirale autour des troncs; Les eaux gravitaires du sol sont récoltées au moyen de petits lysimètres ouverts sans tension placés sous les différents horizons du sol. L'ensemble des solutions est récolté après chaque épisode -ou groupe d'épisodes-pluvieux.

Les flux solides: les chutes de litière sont piégées dans des trappes et récoltées 4 fois/an.

Schéma de la mise en place du système lysimétrique



Profils des concentrations moyennes de Cu et Cd mesurées aux différents niveaux de l'écosystème sol-végétation du 1er juillet 1987 au 1er juillet 1989.



pédologiques bien développées dont les fonctions, comparables à celles d'un épiderme, sont essentielles à la régulation des flux de matière et d'énergie entre la lithosphère, l'hydrosphère, l'atmosphère et les couvertures végétales.

Dans ce contexte, l'anthropisation de la planète, qui se traduit par une atteinte «diffuse» ou «concentrée» de tous les écosystèmes naturels, revêt dans ces milieux multifonctionnels et jeunes une importance peut-être encore plus grande que dans les écosystèmes de plaine généralement plus stables en regard des facteurs de leur formation. Si l'étude des écosystèmes terrestres de basse altitude est généralement bien avancée, l'étude des écosystèmes d'altitude, du fait même de ses contraintes physiques propres et d'une certaine réticence intellectuelle à les considérer comme «essentiels» et plus encore «fragiles», présente un retard important dont la communauté scientifique commence à prendre conscience. Ainsi la montagne, y compris la haute-montagne, doit-elle redevenir un «lieu sous surveillance». Les Sciences de la Terre nous ont permis de mieux comprendre ce «corps minéral» qu'est le Mont-Blanc. Aujourd'hui, les Sciences de la Vie et plus encore les «biogéosciences» ouvrent le domaine de l'étude des interfaces entre systèmes: l'écotone tend à supplanter l'écosystème, le biophysico-chimique, le physique ou le chimique par trop monolithique. L'ère des «sciences solitaires» est révolue: l'interdisciplinarité s'impose ici; elle n'est plus une mode mais elle répond bien à une exigence nouvelle, celle de l'environnement.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier tout particulièrement le professeur J.-C. Védy pour les critiques judicieuses qu'il a formulées lors de la rédaction de cet article.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ATTEIA O., 1992. Rôle du sol dans le transfert des éléments traces en solution –application à l'étude de quelques écosystèmes d'altitude (projet AQUISOL). *Thèse EPFL n° 1031*, Lausanne, 253 p.
- AYRTON S., 1980. La géologie de la zone Martigny-Chamonix (versant suisse), un exemple de la subduction continentale. *Eclogae Geol. Helv.*, 73 (1).
- BALLU Y., 1986. A la conquête du Mont-Blanc. Découvertes Gallimard/Aventures, Paris, 176 p.
- BARTOLI F. et BURTIN G., 1979. Etude de quatre séquences sol-végétation à l'étage alpin. *Doc. Cartogr. Grenoble*, XXI: 79-93.
- BERGKVIST B., FOLKESON L. et BERGGREN D., 1989. Fluxes of Cu, Pb, Cd, Cr and Ni in temperate forest ecosystems. *Water Air and Soil Pollution*, 47: 217-286.
- BLASER P., 1980. Der Boden als Standortsfaktor bei Aufforschungen in der sub-alpinen Stufe (Stillberg, Davos-CH). *Mitt. Schweiz. Anst. Forstl. Versuchswes.*, 33: 529-611.
- BLESS R., 1984. Beiträge zur spät- und postglazialen Geschichte der Gletscher im nordöstlichen Mont-Blanc Gebiet. *Zürich-Irchel, Physische Geographie*, 15: 116 p.
- BONIN B., BRÄNDLEIN P., BUSSY F., DESMONS J., EGGENBERGER U., FINGER F., GRAFF K., MARRO C., MERCOLLI I., OBERHÄNSLI R., PLOQUIN A., VON QUADT A., VON RAUMER J., SCHALTEGGER U., STEYRER H. P., VISONA D. et VIVIER G., 1992. Late Variscan magmatic evolution of the Alpine basement. *Sous presse*.
- BOULAINE J., 1989. Histoire des pédologues et de la science des sols. INRA, Paris, 285 p.

- BOUMA J., HOEKS J., VAN DER PLAS L. et VAN SCHERRENBURG, 1969. Genesis and morphology of some alpine podzol profiles. *Journal of Soil Science*, 20: 384-398.
- BURRI M., 1974. Histoire et préhistoire glaciaires des vallées des Drances (Valais). *Eclogae geologicae Helvetiae*, 67 (1): 135-154.
- BUSSY F., 1989. Pétrogénèse des enclaves microgrenues associées aux granitoïdes calco-alcalins: exemple des massifs varisques du Mont-Blanc (Alpes occidentales) et miocène du Monte Capanne (Ile d'Elbe, Italie). *Mémoires de Géologie (Lausanne)*, 7, 309 p.
- CAROZZI A. V., 1992. H.-B. de Saussure, pionnier de la géologie moderne. *La Recherche*, (242): 414-422.
- CORBIN P. et OULIANOFF N.: 14 cartes géologiques au 1:20000 avec notices explicatives de 1927 à 1970 (déposées au C.N.R.S: Paris).
- DAMBRINE E., 1985. Contribution à l'étude de la répartition et du fonctionnement des sols de haute montagne (massifs des Aiguilles rouges et du Mont-Blanc). *Thèse Univ. Paris VII*, 265p.
- DRAY M., PARRIAUX A. et DUBOIS J.-D., 1990. Image synchrone de la composition isotopique de la couverture neigeuse des Alpes de Suisse occidentale *in: IAH memoires volume XXII*, part I water resources in mountainous regions, A. Parriaux Ed. Lausanne, 447-454.
- FELLENBERG DE, 1845. Mémoire sur la décomposition des silicates, et notamment du zircon, par la fusion avec un mélange de bisulfate de potasse et de fluorure de sodium. Séance générale du 19 février 1845 de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles. *Bull. séances Soc. vaud. Sc. nat. 1.9*: 185-186
- FAVRE A., 1861-62. Recherches géologiques dans la partie de la Savoie, du Piémont et de la Suisse voisine du Mont-Blanc, 3 volumes et atlas, Genève.
- FINI F., 1985. Monte Bianco: duecento anni. Zanichelli Ed., Bologna, 224 p.
- FREY P.A., 1988. E. Viollet-le-Duc et le massif du Mont-Blanc, 1868-1879. Payot, Lausanne, 159 p.
- GUBLER Y., 1987. Promenades dans le temps à la découverte de la géologie du pays du Mont-Blanc (1^e partie). *Bull. Arve-Léman Nature*, 52: 15-26.
- GUBLER Y., 1988. Promenades dans le temps à la découverte de la géologie du pays du Mont-Blanc (2^e partie). *Bull. Arve-Léman Nature*, 53/54: 1-34.
- HAINARD P. et JACQUEMOUD F., 1975. Originalités de la région valaisanne. *In Etude écologique des massifs des Aiguilles Rouges, du Haut-Giffre et des Aravis (Haute-Savoie)*, *Annales du Centre Universitaire de Savoie, Sc. nat., tome spécial*:101-106.
- KELLER C., 1991. Etude du cycle biogéochimique du cuivre et du cadmium dans deux écosystèmes forestiers. *Thèse EPFL n°916, Lausanne*, 170 p.
- KELLER C., DOMERGUE F.-L. et VÉDY J.-C., 1992. Biogeochemistry of copper and cadmium in unpolluted forests. *In: Heavy metals in Environment II*, Elsevier. *Sous presse*.
- KUBIENA W.L., 1953. The soils of Europe. T. Murby & Co, Londres.
- LABROUE L. et TOSCA C., 1977. La pédogénèse à l'étage alpin. Relation avec l'évolution des versants. *Bull. Ecol.*, 8.3: 299-316.
- LEGROS J.-P., 1992. Soils of Alpine mountains. *In MARTINI I.P. and CHESWORTH W. ed Weathering, Soils & paleosols, chap. 7, Developments in Earth Surface Processes 2*, Elsevier, Amsterdam: 155-181.
- LEGROS J.-P. et CABIDOCHÉ Y., 1977. Les types de sols et leur répartition dans les Alpes et les Pyrénées cristallines. *Doc. de Cartogr. Ecolog.*, XIX: 1-19.
- MAHANEY W. C., 1991. Holocene glacial sequence and soils of stratigraphic importance, Mer de Glace, Western Alps, *France. Z. Geomorph. N. F.*, 35: 225-237.
- MARRO C., 1986. Les granitoïdes du Mont-Blanc en Suisse. *Thèse n° 909 Univ. Fribourg* (Suisse), 121 p.
- MARRO C., 1987. Histoire des granitoïdes du Mont-Blanc en Suisse. *Bull. Soc. Frib. Sc. Nat.*, 76.1/2: 73-128.

- MONTCOUYOUX A., 1976. Recherches microbiologiques sur quelques sols d'altitude. Application de la méthode des lames enfouies. *Thèse Univ. Scient. et Méd. de Grenoble*, 84 p.
- OULIANOFF N., 1937. Superposition des tectoniques successives. *Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat.*, 59 (243): 429-436.
- OULIANOFF N., 1944. Les anciens massifs du Mont-Blanc et de l'Aar et l'orogénèse alpine. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 37 (1): 31-36.
- OULIANOFF N., 1963. Morphologie du massif du Mont-Blanc dans ses rapports avec les tectoniques superposées de cette région. Livre à la mémoire du Professeur Paul Fallot, tome II, 317 p.
- PALLMANN H., 1947. Pédologie et phytosociologie. Conférence de pédologie méditerranéenne, Association Française pour l'Etude du Sol.
- PARRIAUX A., DUBOIS J.-D., MANDIA Y., DRAY M., 1990. Chemical composition of snow cover on the western Swiss Alps In A. PARRIAUX ed. IAH memoires volume XXII, part I, water resources in mountainous regions, Lausanne: 501-509.
- PATERNOSTER M., 1981. Colonisation par la végétation et pédogénèse initiale sur les moraines latérales historiques du Glacier d'Aletsch. Thèse de spécialisation en agro-éco-pédologie, Université de Nancy I, 99 p.
- PÉLISSONIER C., 1976. Quelques aspects de la pédogénèse à l'étage alpin et subalpin. *Mémoire de DEA fédéral INA, Paris VI et VII*, 63 p.
- PERRIER G. et VIALON P., 1980. Les connaissances géophysiques du Sud-Est de la France, implications géodynamiques. *Géologie alpine*, 56, Grenoble.
- RAUMER J. F. VON, 1976. Le massif du Mont-Blanc, socle prépermien dans un cadre alpin. *Bull. Soc. Frib. Sc. Nat.*, 65.2: 123-155.
- RAUMER J. F. VON, 1987. Les massifs du Mont-Blanc et des Aiguilles Rouges: témoins de la formation de croûte varisque dans les Alpes Occidentales. In Les massifs cristallins externes, *Géologie Alpine*, 63: 5-24.
- RAUMER J. F. VON, 1988. Caledonian-Variscan structures in the Alps –an introduction. *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.*, 68: 291-299.
- RICHARD L., 1975. Le milieu et la végétation in: Etude écologique des massifs des Aiguilles Rouges, du Haut-Giffre et des Aravis (Haute-Savoie) *Annales du Centre Universitaire de Savoie*, 127: 1-100.
- ROBERT M., CABIDOCHÉ Y. et BERRIER J., 1980. Pédogénèse et minéralogie des sols de hautes montagnes cristallines (étages Alpin et Subalpin) - Alpes-Pyrénées. *Science du Sol*, 18.4: 313-336.
- ROCH A., 1987. Exploits au Mont-Blanc. Nuova edizioni trelingue SA, Lugano, 245 p.
- TROSSET L., 1980. Différentiation pédogénétique et organisation des sols sur micaschistes dans les Alpes Nord-occidentales. *Science du Sol*, 18.4: 337-351.
- VALLOT C., 1938. Saussure aux Alpes. Librairie Fischbacher, Paris, 190 p.
- WETTER W., 1987. Spät- und postglaziale Gletscherschwankungen im Mont-Blanc-Gebiet: untere vallée de Chamonix –Val Montjoie– *Geogr. Inst. Univ. Zürich*, 22. 267 p.

Manuscrit reçu le 26 mai 1992

