PROCESSUS D'EVOLUTION DES VERSANTS DANS LES ALPES FRANCAISES

Guy MONJUVENT* et Alain MARNEZY**

RESUME: On présente une classification rationnelle des processus d'évolution des versants selon deux critères: la dimension des éléments mis en jeu et l'influence de l'eau. La pauvreté de la terminologie concernant les processus et les produits engendrés, ainsi que la fréquente confusion des termes servant à les exprimer sont soulignées. Enfin on fournit un certain nombre d'exemples chiffrés dans les Alpes françaises.

ABSTRACT: A rational classification of slope processes is proposed. It rests upon two criteria viz: the size of the elements invol ved, and the role of water. The paucity of suitable terms for describing both the processes and the products thereof, and the frequent confusion of the terms used, are emphasized. Several quantified examples taken from the French Alps are given.

I - CONSIDERATIONS GENERALES

Dans les Alpes françaises, les processus d'évolution des versants n'ont pas fait, jusqu'à une date récente, l'objet d'études détaillées. C'est depuis 1972 seulement qu'un effort considérable de recensement et de méthodologie a été entrepris dans cette voie, sous l'impulsion des Pouvoirs Publics, dans le cadre du plan ZERMOS (Zones Exposées à des Risques liés à des Mouvements du Sol et du Sous-Sol), à la suite notamment de la catastrophe du plateau d'Assy (Haute-Savoie, 1970).

Cependant, l'attention des géologues et géomorphologues alpins avait été attirée grâce aux levés systématiques des cartes géologiques à 1/50000e, et à quelques événements spectaculaires dont certains sont rapportés ici. On s'est ainsi vite aperçu qu'un très grand nombre de versants étaient ou avaient été animés de mouvements sur des surfaces considérables. Mais leur recensement n'en est qu'à ses débuts; la plupart n'ont pas fait l'objet de mesures, ni même d'évaluations, la terminologie et la typologie des mouvements ne sont pas fixées, de même qu'il n'en existe pas encore de classification complète.

Cet article exposera par conséquent un bilan provisoire et incomplet d'un domaine d'étude très vaste et en pleine évolution. Il insistera sur les processus dont on peut citer des exemples, de préférence chiffrés, laissant de côté les autres, moins étudiés sinon moins connus.

L'évolution des versants montagneux, dans les Alpes comme dans les autres montagnes, est régie par une série de processus que l'on nomme communément érosion (ou glyptogenèse). Parmi ceux-ci, il en est de communs à toutes les surfaces exposées, pentues ou non (**ubiquistes**), d'autres **spécifiques** aux versants.

***Guy MONJUVENT**-UNiversité Scientifique, Technologique et Médicale de Grenoble-Unité associée au C.N.R.S. (UA 69)-Géologie Alpine

**** Alain MARNEZY**-Lycée Pablo Neruda - Saint Martin d'Hères

II - PROCESSUS UBIQUISTES

Ce sont essentiellement les actions physico-chimiques que l'on groupe sous le terme d'**altération**, et les actions physiques d'**ameublissement.**

L'altération englobe la dissolution qui agit quelle que soit la pente et tous les phénomènes liés en général à la présence de l'eau (hydrolyse, gonflement des argiles, foisonnement du gypse par exemple) ainsi que la pédogenèse dont l'efficacité est maximale sur les surfaces horizontales. Ces processus ont été peu étudiés en montagne.

Dans l'**ameublissement**, interviennent la **thermoclastie** par dilatation probablement active dans une certaine mesure mais aux effets encore peu connus, **l'expansion** par gonflement des roches à matériel argileux ou de l'anhydrite qui n'ont fait l'objet d'aucune mesure précise in situ, et surtout **l'action du gel** qui est de loin le processus le plus efficace et le plus répandu. Il agit actuellement avec la maximum d'intensité au-dessus de 2000 mètres environ, limite supérieure de la forêt, mais au Quaternaire ses effets se sont faits sentir jusqu'au niveau de la mer. On en connaît donc les résultats, essentiellement sous forme d'éboulis (de gravité et ordonnés), mais ses modalités sont encore incomplètement étudiées. Les essais de gélifraction expérimentale du Laboratoire de Géomorphologie du C.N.R.S. de Caen ont cependant mis en évidence la relation entre la porosité des roches et la gélivité, leur trame de fissuration et la granulométrie des débris. Ils ont confirmé des échelles de gélivité des roches établies à partir de données de terrain, par exemple pour les calcaires de la région d'Aix-en-Provence (GABERT et LAUTRIDOU, 1969) ou pour des échantillons du massif de la Vanoise (KAISER, 1982).

Les autres processus sont **spécifiques** aux versants; ce sont eux qui retiennent ici particulièrement notre attention (fig.1).

III - PROCESSUS SPECIFIQUES

Tous les processus physico- et bio-chimiques étant ubiquistes, les processus spécifiques ne sauraient être que physiques. Dans cette catégorie limitée, ils se ramènent finalement à deux rubriques:

- **l'ameublissement** sur place du matériel considéré initialement cohérent et résistant;
- **le déplacement** des produits de cet ameublissement, quelles que soient leurs dimensions.

1 - Ameublissement

Les processus spécifiques ont pour moteur unique la gravité. Il s'agit donc essentiellement de phénomènes de **traction**, simple ou complexe, sous le propre poids des masses superficielles, dont une variante très répandue est le **fauchage.** On y adjoindra les mécanismes de **décompression**, bien qu'ils ne soient pas absolument particuliers aux versants, du fait qu'ils eurent une importance très grande dans les vallées alpines après chaque recul des glaciers quaternaires, en particulier après celui des derniers glaciers wurmiens.

1.1 - Traction simple - Tous les versants, qu'ils soient constitués de matériaux cohérents ou non (dépôts de pente, placages morainiques, roche en place désagrégée, décomposée ou massive, etc.) sont soumis à une traction vers le bas, sur une tranche superficielle d'épaisseur variable, par le simple effet de la pesanteur. Les forces de traction s'exercent parallèlement à la pente et en fonction de celle-ci. Elles sont généralement équilibrées par la cohésion du matériau ou, pour les matériaux incohérents, par le frottement interne des particules. Si en un point la composante active dépasse les forces de cohésion, il y a rupture d'équi-

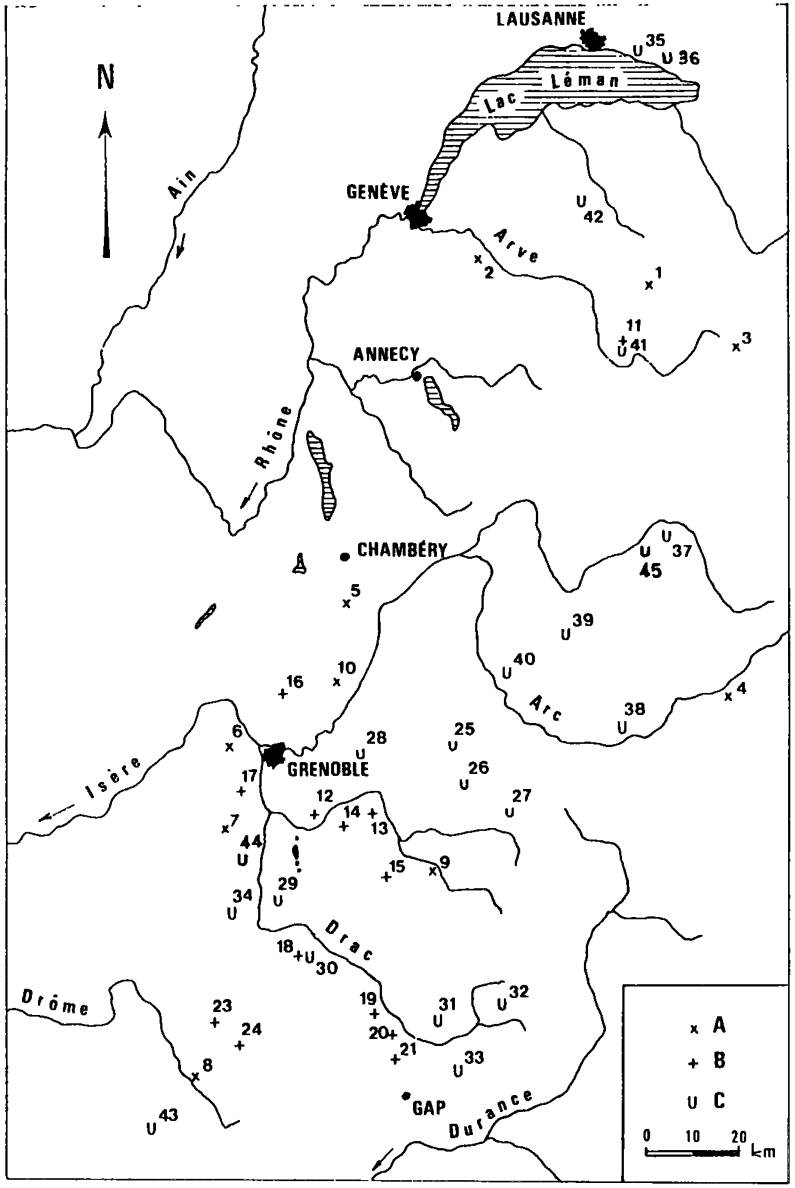

Figure 1 - CARTE DE SITUATION

EBOULEMENTS, ECROULEMENTS, TASSEMENTS ET GLISSEMENTS DE VERSANTS DIVERS DANS LES ALPES FRANCAISES (cités dans le texte)

A- Ecroulements et Eboulements: 1, Sixt; 2, Rocailles; 3, Aiguille du Tour; 4, Col de la Madeleine; 5, Granier; 6, Côtes de Sassenage; 7, Deux-Soeurs; 8, Claps de Luc; 9, Grand-Clapier; 10, Corniche de Chartreuse.

B - Tassements: 11, Dérochoir ·; 12, Mont-Sec; 13, Cornillon; 14, Riouperoux; 15, Petit-Renaud; 16, Sappey; 17, Peuil-de-Claix; 18, Petit-Châtel; 19, Le Noyer; 20, La Fare; 21, Pic-de-Gleizes; 22, Pierre-Brune; 23, Treschenu; 24, Creyers.

C- Glissements: 25, St-Sorlin d'Arves; 26, En-Brunet; 27, Villar-d'Arène; 28, Grand-Colon; 29, Serre de l'Horizon; 30, Chatel Est; 31, St-Julien-en-Champsaur. 32, Orcières; 33, La Bâtie Neuve; 34, Bordure orientale du Vercors; 35, Cornailles-Les-Luges; 36, Yverdon-La-Vilette; 37, Malgovert; 38, Combe-de-l'Ouille; 39, Saint-Laurent de la Côte; 40, Pontamafrey; 41, Plateau d'Assy; 42, Bellevaux; 43, La Motte Chalençon; 44, Sinard; 45, Bourg-St-Maurice.

libre et déformation du versant. Quatre facteurs peuvent entraîner une telle rupture: une surcharge en amont, une suppression de butée en pied (débuttement), une variation de la teneur en eau, une modification des caractéristiques internes du matériau sous l'effet des contraintes permanentes ou des actions physico- ou bio-chimiques. La cohésion détruite, le versant est prêt à se mettre en mouvement.

1.2 - Fauchage - Le fauchage, ou balancement des têtes de couches, est un processus caractéristique des roches stratifiées ou feuilletées peu ou moyennement résistantes (schistes sédimentaires ou cristallins, marnes, calcaires argileux, etc.). C'est une déformation progressive des bancs au voisinage de la surface, sur une profondeur variable (décamétrique à hectométrique), qui se rebroussent quel que soit leur pendage et prennent finalement une inclinaison voisine de la pente du versant "faux pendage"). Ce phénomène atteint une ampleur maximale lorsque la direction des couches est parallèle aux courbes de niveau. Le fauchage est à l'origine de fragmentations et de mouvements par traction. Les exemples les plus importants ont été observés dans les schistes cristallins des versants de Tarentaise et de Maurienne, à la faveur des travaux d'aménagement hydro-électrique. Ils intéressent une tranche de versant pouvant atteindre 300 m d'épaisseur (BORDET C., 1955-1957; BORDET P., 1963).

1.3 - Décompression - De nombreux auteurs pensent que les grands mouvements de versants alpins sont consécutifs à la détente résultant de la fusion des grands glaciers, en particulier würmiens. De fait, la mise en compression lors de l'englacement des vallées puis la décompression suivant la déglaciation ont soumis les versants à des contraintes qui ont pu provoquer des déséquilibres, aggravés par les phénomènes de surcreusement.

La décrue du "Petit Age Glaciaire" depuis le dernier siècle a montré l'instabilité des versants qui suit la disparition des grandes langues glaciaires; de multiples éboulements ont été notés sur les flancs des auges à peine déglacées: glaciers des Sources de l'Arc, de la Mer de Glace (1965), d'Argentière. Mais on ne dispose d'aucune donnée chiffrée relative à ce processus. Nous ignorons encore largement son efficacité le long d'une paroi naturelle; cependant il est certain qu'il favorise l'ouverture de toutes les fissures préexistantes et de toutes les discontinuités - joints de schistosité ou de stratification, fractures tectoniques, diaclases - comme autant de plans de faiblesse qu'exploitent la macro et la micro-gélifraction, la dissolution et l'altération pédologique.

En fait, le seul exemple pour lequel des données géologiques existent est plutôt contraire à la théorie de la décompression. Il s'agit du plateau du Peuil de Claix, près de Grenoble, qui résulte de l'affaissement local d'une partie du rebord oriental du Vercors. L'épaisse couche des calcaires urgoniens massifs de la Grande Roche de St-Michel s'est tassée sur les marnes valanginiennes sous-jacentes entre le Moucherotte et le Grand Cheval où la niche d'arrachement est parfaitement visible, de telle sorte qu'il semble y avoir localement dédoublement de la corniche urgonienne (cf. tableau 2). Or ce plateau est recouvert par deux moraines latérales droites du glacier würmien de l'Isère, continues et apparemment non déformées. Il ne semble donc pas que l'ensemble ait bougé à la suite de l'englaciation et de la déglaciation de Würm, il y a plus de 20 000 ans. Cette particularité morphologique a permis d'avancer une datation probable quant au tassement du Peuil de Claix, l'Interglaciaire Riss-Würm (MONJUVENT, 1977). Par contre le même versant, au Nord du Moucherotte, est presque partout affecté de glissements récents dont certains actifs, dans les dépôts morainiques superficiels et le substrat. Les niches d'arrachement se situent entre ce sommet et les Trois-Pucelles sur une largeur voisine de 2 km, avec un faible tassement de la corniche urgonienne (hectométrique, voir carte géologique à 1/50 000 VIF).

2 - **Transport**

Les processus d'évolution des versants se résolvent en fin de compte au transport des éléments ameublis. La classification tentée ici, fondée sur des données géométriques, doit être considérée comme un essai destiné surtout à situer le problème dans son ensemble.

Nous distinguerons trois catégories de phénomènes, le critère retenu étant l'intervention de l'eau. Par ordre d'influence croissante, ce sont la chute libre et assistée, les mouvements de masse et assimilés, le ruissellement et le ravinement (cf. Tableau 4).

2.1 - Chute libre - Elle s'applique à un matériel "sec", c'est-à-dire sans liant interstitiel.

2.1.1 - Eboulisation - C'est un des processus les plus communs dans les Alpes. Il a pour origine la fragmentation de roches susceptibles de fournir des débris de la taille des arénites et des rudites, à l'exception des particules plus fines. Il dépend donc de facteurs lithologiques et géométriques:

- un matériau apte, tel que les calcaires, dolomies, grès et roches cristallines diverses, etc...
- une pente égale ou supérieure à la pente limite du talus d'éboulis de l'ordre de 34-35° pour les éboulis de gravité.

Les produits de l'éboulisation, éboulis de gravité qui drapent la base des versants en nappes continues ou en cônes pouvant être jointifs, sont un des éléments principaux du paysage de montagne par leur effet de régularisation des bas de pentes. A la limite le versant entier, du pied à la crête, peut être régularisé par ce processus. On parle alors de **versant réglé** (ou de **Richter**). Ces versants ont été particulièrement étudiés en basse Provence calcaire, où ils sont nombreux (NICOD, 1967).

Les principales phases d'élaboration des versants d'éboulis ont été les périodes froides, dont la dernière est le Würm. C'est pourquoi de nombreux éboulis, notamment à basse altitude, sont actuellement fossiles et fixés par la végétation. Cependant, certains sont encore actifs, notamment dans les massifs de Marseilleveyre d'Allauch, de l'Etoile, de la Ste-Victoire, ou réactivés à la suite de la destruction des forêts comme sur le versant ouest du plateau de Thèmes. Généralement l'éboulisation est actuellement active au-dessus de 2000-2500 m, localement et temporairement à partir de 1 000 m, parfois moins.

Une variante de l'éboulisation: les éboulis ordonnés (ou lités, ou grèzes) résultent du même processus, assisté par l'eau ou la neige. La structure est spécifique (litage très net des éléments, granoclassement), la texture généralement plus fine que les éboulis banaux et le pendage des couches plus faible (inférieur à 30°). Souvent le matériau est plus gélif ou plus meuble. Ils ont été surtout étudiés dans les Alpes du Sud (NICOD, 1967) où ils sont très fréquents dans les calcaires en plaquettes du Jurassique supérieur et les calcaires argileux du Malm, (Allauch, Ste Victoire, Ste Beaume, Gorges du Grand-Vallat au N de Rians, Ste-Anne-d'Evenos, amont des gorges de l'Argens). Leur pente, régulière, est comprise entre 13 et 23° et ils passent vers l'aval des cônes de déjection et à des glacis.

Dans les Alpes du Nord, ils ont été étudiés dans le bassin du Drac (MONJUVENT, 1971) où ils sont très fréquents, le plus souvent sous forme de nappes isolées et peu étendues, affectant les faciès calcaires les plus variés, parfois des roches cristallines (Roizonne), et même des alluvions qu'ils remanient (Grande Combe de Champagnier au Sud de Grenoble). Ils se présentent dans les orientation les plus diverses, avec une fréquence supérieure vers l'Ouest. Mais ils peuvent occuper

TABLEAU 1 - PRINCIPAUX EBOULEMENTS ET ECROULEMENTS DE VERSANTS DANS LES ALPES FRANCAISES

SITE	SIXT	ROCAILLES	AIGUILLE DU TOUR	LA MADELEINE	GRANIER	COTES DE SASSENAGE	DEUX SOEURS	CLAPS DE LUC	GRAND CLAPIER
	21/2/1602	Würm	13/8/1905	?	24/11/1248	?	?	1442	?
LOCALISATION	Vallée du Giffre	Vallée de l'Arve	Pointe sud des Aiguilles du Tour	Haute-Maurienne	Versant nord de la Chartreuse	Versant nord du Vercors	Versant est du Vercors	Vallée de la Drôme	Vallée du Vénéon
TERRAIN	Grès du Flysch sur schistes	Calcaires urgoniens	Protogine du Mont-Blanc	Schistes lustrés	Calcaires et Marnes du Crétacé inf.	Calcaires du Crétacé	Calcaires urgoniens	Calcaires tithoniques	Cristallin du Pelvoux
TYPE	Simple	Simple	Simple (secousse sismique)	Simple	Complexe	Simple	Simple	Simple	Simple
LARGEUR (m)				700	4000	2000	1000	300	1000
LONGUEUR (m)				3500	7000	1800	1500	400	600
EPAISSEUR (m)				100	20	150	200	20	200
SURFACE (m2)				$2,45.10^6$	25.10^6	$3,5.10^6$	$0,37.10^6$	$0,06.10^6$	$0,4.10^6$
VOLUME (m3)				245.10^6	500.10^6	500.10^6	70.10^6	$1,2.10^6$	40.10^6
ALTITUDE SOMMET (m)				3059	1898	1418	2105	1000	2118
DENIVELLATION (m)				1800	1600	1000	1100	450	1000
PENTE (d°)				30°	7°	26°	17°	34°	30°
DEPLACEMENT HORIZONTAL (m)				4000	7000	2000	2000	800	1500
FORME	Chaos	Trainée de blocs sur moraine		Chaos	Chaos et coulées boueuses	Chaos	Langue en spatule	Chaos	Cône
CONSEQUENCES	Barrage de la vallée			Barrage de la vallée	2000 à 5000 morts			Barrage de la vallée	id.

une surface très étendue et régulariser totalement un versant, comme c'est le cas sur les pentes ouest du Génépi (Ouest de La Mure) où ils ont donné lieu à une estimation chronologique (Würm III) relativement au remplissage quaternaire de la vallée du Drac.

2.1.2 - Eboulement - (Tableau 1). Le processus d'éboulement se distingue de l'éboulisation par les dimensions de la masse impliquée et des débris, généralement des gros blocs. Ceux-ci forment, dans la plupart des cas, des cônes d'éboulement au pied des reliefs escarpés, plus rarement des trainées de blocs lorsque la pente du substratum est faible. Les chutes isolées de rochers peuvent leur être assimilées.

Les éboulements sont moins nombreux et étendus que les éboulis. Ils sont plus étroitement localisés et n'entrent en réalité que pour une petite part dans le volume impliqué par les processus de versants. Mais ils sont beaucoup plus spectaculaires. On connaît surtout les éboulements récents qui ont été étudiés pour leurs caractères catastrophiques ou comme obstacles aux aménagements. Citons ainsi ceux des Alpes Maritimes (Gorge de la Mescla en 1973, 1000 m3; Plan du Var le 30 mars 1963, avec chute de blocs de 10 à 70 tonnes; Clue de Chabrières entre Digne et Barrême en 1946 ..). Dans les Alpes du Nord, on peut rappeler les chutes de blocs et éboulements du Mont Jalla (1935), Lumbin (1948), Bernin (1952), concernant la corniche des calcaires tithoniques de Chartreuse dominant le Grésivaudan, celui de la rive droite du Vénéon entre le Plan du Lac et Bourg-d'Arud en 1946, provoquant un petit lac temporaire, La Muzelle, en Octobre-Novembre 1926, entraînant 3 à 4 Mm3 de micaschistes pourris. Chaque année, la circulation de telle route alpine est interrompue par les phénomènes de ce type (St-Laurent-du-Pont, 1982; Notre-Dame de Briançon, 1983..).

Le Grand Clapier de Bourg-d'Arud est célèbre dans la littérature alpine parcequ'il ferme à l'aval la petite plaine alluviale du Plan-du-Lac, choisie par ALLIX (1929) pour y situer son **"stade glaciaire"** du même nom, équivalent présumé du Daun de PENCK. L'auteur y situe un verrou entamé par l'érosion régressive du Vénéon. Ce site avait été choisi à cause du rétrécissement de la vallée pour la construction d'un barrage. L'étude, notamment géophysique, a montré que le talweg rocheux se situait plus de 100 m au-dessous du cours actuel qui cascade entre les blocs (GIGNOUX et BARBIER, 1955) et le projet a été abandonné. Le Grand Clapier résulte de l'éboulement de la face nord du Cloutet (2118 m) en gneiss de l'Oisans, dans la vallée du Vénéon plus de 1000 m en contrebas. Les blocs, énormes, constituent un vaste cône irrégulier, formant le barrage qui est à l'origine du colmatage, en amont, de la petite plaine alluviale du Plan-du-Lac, simulant un élargissement de la vallée pouvant donner l'illusion d'un petit ombilic. Ainsi il n'y a pas plus de verrou à Bourg-d'Arud que de stade du Plan-du-Lac.

2.1.3 - Ecroulement - L'écroulement, qui peut être considéré comme un éboulement de grandes dimensions produit en une seule fois, s'en distingue par le déplacement généralement plus considérable des débris et par leur taille supérieure. Il est beaucoup plus souvent catastrophique du fait des masses mises en jeu et surtout des distances qu'elles peuvent franchir. C'est par conséquent un facteur beaucoup plus important de modification du paysage.

Souvent aussi le processus est plus complexe que celui de l'éboulement quant à ses causes, son mécanisme et ses effets. Il peut intéresser un ensemble de couches lithologiques de nature et de propriétés mécaniques différentes (par exemple calcaires et marnes sous-jacentes), de sorte que les matériaux écroulés peuvent ne pas suivre la simple loi de la chute des corps comme dans le cas des éboulements, mais constituer une masse plus ou moins fluente susceptible de s'étaler largement et de parcourir une grande distance en un temps très court, comme ce fut le cas pour l'écroulement du Granier. Cependant, ce processus intéresse un espace étroitement circonscrit et sa fréquence est faible. Il n'est donc pas facteur principal de l'évolution des versants. La notoriété des écroulements tient surtout à leur caractère spectaculaire et aux implications humaines qui en résultent.

Plusieurs écroulements notables sont historiques ou ont été récemment reconnus dans les Alpes. Le tablèau 1 recense les plus importants, avec leurs caractéristiques principales. Mais nous donnerons des détails sur ceux du Granier et de Luc qui ont fait l'objet d'études spéciales, et mentionnerons celui des Côtes de Sassenage, bien visible de Grenoble.

L'écroulement du Granier (1248) est célèbre à plusieurs titres: son caractère catastrophique -il ensevellit plusieurs villages et la petite ville de St-André- faisant selon diverses estimations de 2 à 5000 victimes; la modification importante du relief de l'extrémité nord de la Chartreuse et de la cluse de Chambéry, où les masses écroulées comprenant d'énormes blocs de calcaire ont engendré un paysage chaotique de creux et de bosses parsemé de petits étangs et marécages connu sous le nom d'"Abymes de Myans", sîte d'un vignoble réputé (fig.2). Sa dynamique a donné lieu à une étude détaillée (GOGUEL et PACHOUD, 1972).

L'origine de l'écroulement vient probablement de l'existence d'un promontoire de calcaires épais, diaclasés et faillés formant l'extrémité nord de la carapace urgonienne de la Chartreuse, et plus ou moins séparé tectoniquement du reste. Le pendage général, de 10-15° en direction du versant, dotait cette masse d'une énergie potentielle considérable. Les marnes valanginiennes sous-jacentes ont servi de surface de rupture. Le glissement une fois amorcé, l'élévation de température au contact du substrat en place aurait provoqué la vaporisation de l'eau et la pression de vapeur serait parvenue à équilibrer la masse en mouvement. Dès lors, toute résistance supprimée, celle-ci aurait glissé librement et se serait effondrée sur le versant marneux, entraînant la fracturation des calcaires et la mise en mouvement des marnes ébranlées, probablement déjà imprégnées d'eau. C'est alors que le phénomène serait devenu complexe, les plus gros blocs, notamment de calcaire urgonien, roulant sur la pente jusqu'aux Marches, 7 km plus loin, bientôt suivis d'une masse à caractère de lave plus ou moins fluide. Quoi qu'il en soit, l'évènement a été quasi instantané et aucun des habitants des villages détruits n'a pu s'échapper. Un autre éboulement important a affecté la face nord en 1953, mais sans faire de victimes.

Le Claps de Luc résulte de l'écroulement, en 1442, d'un pan du versant sud du Pic de Luc-en-Diois, constitué de calcaires tithoniques massifs à fort pendage conforme. La masse calcaire s'est décollée le long d'un joint plus marneux et a glissé sur la surface structurale sensiblement parallèle à la pente topographique. Le déséquilibre est venu principalement du déchaussement du pied des couches sapé par la Drôme, qui a ainsi réalisé un débuttement naturel. La masse des blocs s'est étalée au pied du versant et un gros cône obstruant la flèche d'un méandre entre deux promontoires, de sorte que deux lacs se sont formés en amont, dont l'un atteignait une dizaine de kilomètres de longueur. Les travaux des Chartreux de Durbon, notamment l'ouverture à la fin du 18ème siècle d'un tunnel dans le barrage, en accélérèrent les processus naturels de colmatage et d'assèchement.

2.2 - Mouvements de masse - Nous grouperons sous cette rubrique les processus qui donnent lieu à des mouvements de versants généralement lents, où interviennent soit des actions de freinage inhérent aux caractéristiques géométriques ou mécaniques du matériel impliqué (chute entravée), soit des composants extérieurs favorisant le mouvement que sont l'eau, la neige ou la glace (chute assistée).

2.2.1 - Chute entravée: Tassement (Tabl.2).- Contrairement aux écroulements les tassements de versants n'ont pas d'effets catastrophiques ni spectaculaires; c'est pourquoi ils sont restés longtemps méconnus. Il s'agit de l'abaissement sur place d'une portion de versant bien individualisée, voire d'un versant entier, avec ou sans déformation de la structure du panneau déplacé. Généralement les couches sont plus ou moins disloquées, selon l'ampleur du déplacement, mais il peut se faire qu'elles restent exceptionnellement intactes, comme dans le cas d'une faille. Nous appellerons cette forme tassement simple, les autres tassements complexes. Le tassement se faisant toujours le long d'une surface de rupture et de glissement qui recoupe le plus souvent la structure, il y a passage progressif entre tassement complexe et glissement de versant, selon la nature plus ou moins meuble des matériaux impliqués.

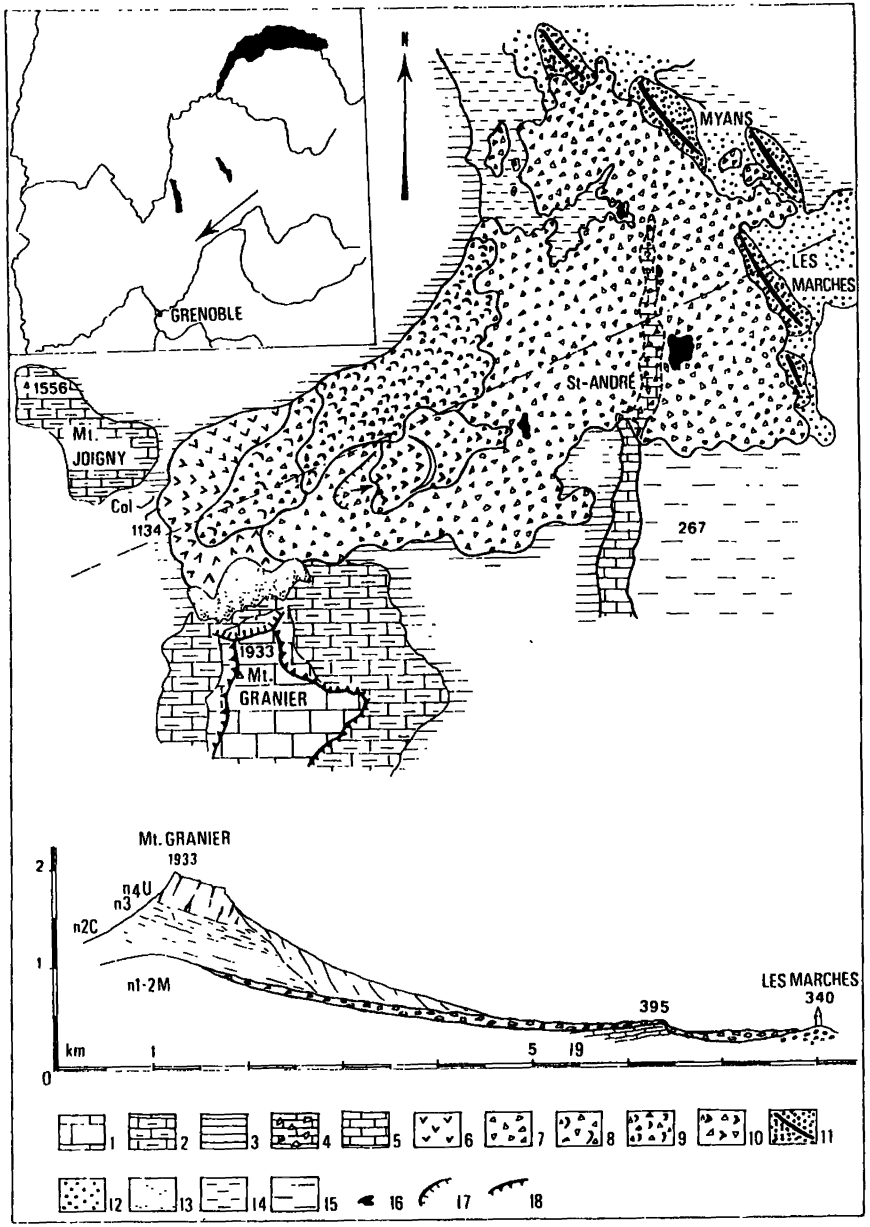

Figure 2 - ECROULEMENT DU GRANIER (CHARTREUSE), D'APRES LA CARTE GEOLOGIQUE DE LA FRANCE A 1/50.000, FEUILLE MONTMELIAN, et GOGUEL J. & PACHOUD (1972), MODIFIES.

1. Calcaires massifs urgoniens (n4U)
2. Calcaires plus ou moins argileux et sableux néocomiens (n3 + n2C)
3. Marnes valanginiennes (n1-2M) et berriasiennes
4. Calcaires du Jurassique supérieur formant un talus masqué par les blocs écroulés
5. Calcaires du Jurassique supérieur affleurant
6. Masse tassée
7. Masse écroulée à gros blocs calcaires (plurimétriques)
8. Masse écroulée reprise par un premier glissement
9. Masse écroulée reprise par un deuxième glissement
10. Masse écroulée reprise par un tassement, avec niche d'arrachement et bourrelet d'étalement
11. Moraine würmienne façonnée en drumlin
12. Moraine würmienne sans morphologie
13. Eboulis calcaire récent
14. Alluvions récentes de fond de dépression
15. Alluvions récentes de l'Isère
16. Petits lacs et dépressions marécageuses
17. Niche d'arrachement
18. Corniche des calcaires urgoniens

Il s'agit de l'un des processus d'évolution des versants les plus répandus et les plus importants en volume et surface dans les Alpes. Les tassements intéressent des versants entiers jusqu'aux sommets, notamment en terrains sédimentaires, provoquant souvent le dédoublement des crêtes (massifs de Flysch par exemple). Les plus caractéristiques concernent d'épaisses couches de calcaire massif affaisées en bloc sur des couches marneuses sous-jacentes, mais tous les types de terrains sont impliqués par ce processus.

2.2.2 - Chute assistée

2.2.2.1 - Glissement (tab.3). C'est à la suite de catastrophes particulièrement meurtrières (Mont Toc en Italie, 1963; Roc des Fiz, 1970) que l'attention s'est portée sur les processus de glissements de terrains. Une typologie de ces mouvements fait appel à différents critères de classification (géométrique, génétique, cinématique, etc.), mais est encore loin d'être au point: c'est pourquoi nous nous sommes bornés, dans les exemples cités, à distinguer les glissements simples (une seule masse) des glissements complexes (plusieurs masses avec ou sans passage aux coulées boueuses).

Tous les terrains des Alpes, même les roches les plus massives (granites, gneiss, amphibolites, calcaires et grès massifs notamment) sont susceptibles d'être affectés de glissements de versants superficiels ou profonds. Mais ce sont surtout les roches finement litées ou schisteuses (marnes, calcaires argileux, micaschistes, etc.), aptes à s'altérer profondément et à s'imbiber d'eau, qui sont le siège ou le départ des glissements les plus importants, quel que soit le pendage. Les versants des vallées creusées dans ces types de matériaux sont particulièrement exposés à ces processus, d'autant plus actifs que les affleurements sont plus étendus, les dénivellées plus grandes, les pentes plus fortes et le climat plus humide. C'est pourquoi les Alpes du Nord en sont presque partout affectées (Tarentaise, Maurienne, bassin du Drac) alors que les Alpes du Sud, à l'exception de la Haute-Durance et de l'Ubaye, en comptent relativement peu.

Certains glissements sont intéressants par leurs caractéristiques, leurs conséquences ou le fait qu'ils sont particulièrement connus et même datés:

- **Villar-d'Arène** (Oisans); ce glissement intéresse le versant sud de la montagne des Trois Evêchés (3 118 m), dans la Haute Romanche, constitué de marnes schisteuses et calcaires argileux jurassiques de pendage contraire à la pente du versant, sous la crête des grès du Flysch des Aiguilles d'Arves. Il n'était pas connu lorsque le site fut choisi pour la construction d'un barrage. Un sondage implanté près du talweg rencontra à la profondeur de 63 m des alluvions de la Romanche après avoir traversé une série marneuse stratifiée et apparemment cohérente. Les masses glissées, sans trop de perturbation de leur structure, ont donc comblé un talweg beaucoup plus creusé que l'actuel. D'âge probablement récent, post-würmien, il est apparemment stabilisé et a barré localement le torrent dont il a relevé le lit d'environ 40 m, déterminant en amont une petite plaine de remblaiement alluviale. Bien entendu le projet fut abandonné (GIGNOUX et BARBIER, 1955).

- **Bordure orientale du Vercors**; la presque totalité du versant oriental du Vercors, constitué de marnes et calcaires argileux jurassiques sous la corniche tithonique, est le siège entre Grenoble et le Col de la Croix Haute de glissements de terrains complexes, apparemment stabilisés, affectant les marnes et calcaires argileux jurassiques à pendage également contraire à la pente superficielle. Lors de la rectification de la route N 75, on découvrit au lieu-dit "Les Blancs", 15 mètres sous la surface du versant, des souches de chênes contenues dans une bouillie marneuses à blocs calcaires. L'âge des bois est 3550 BP (Subboréal). C'est actuellement un des seuls glissements de terrain daté avec précision dans les Alpes françaises (MONJUVENT, 1969).

- **En Tarentaise**, plusieurs glissements ont donné lieu à des mesures chiffrées mais partielles (KAISER, 1975).

. Le versant de la forêt de Malgovert, constitué de Houiller disloqué, glisse sur une largeur de 1 450 m et une dénivellée de 700 m sur une épaisseur minimale de 30 m avec une vitesse maximale de 7 cm/an.

. Le glissement de St-Laurent du la Côte (Val d'Enfer, vallée des Bellevilles), survenu brutalement en 1969, d'ampleur kilométrique, est en évolution rapide (jusqu'à 1 m de déplacement par jour) et est attaqué par des ravinements pouvant s'approfondir de 10 m en 1 mois.

- **En Maurienne**, le versant de la Combe de l'Ouille, au-dessus de Modane, s'est déplacé de 80 cm en 5 ans (16 cm/an).

- **Dans le Trièves**, à proximité de Sinard, **le glissement d'Harmalières** s'est produit brutalement le 7 mars 1981 en rive gauche de la retenue du barrage de Monteynard. Il affecte sur une superficie d'une cinquantaine d'ha un puissant ensemble d'argiles litées glacio-lacustres d'âge würmien . Dans sa partie haute le mouvement, de type rotationnel, a créé une succession de banquettes délimitées par des niches d'arrachement donnant une morphologie en marches d'escalier; en aval de la niche principale, de plus de 30 m de hauteur, le corps du glissement montre un chaos de blocs argileux effondrés ou basculés, tandis que le remaniement devient de plus en plus important vers la base du mouvement et évolue en coulée de boue qui atteint le plan d'eau de Monteynard. Sur une dénivellation totale de 240 m, la pente moyenne est faible (13%). Le déclenchement du phénomène a été favorisé par un hiver 1980-1981 exceptionnellement enneigé dans cette région suivi d'une fonte brutale du manteau neigeux. Les dégâts sont restés relativement modestes étant donné la faible emprise humaine dans ce secteur particulièrement sensible aux mouvements de versants: destruction d'une forêt de pins, coupure de chemins agricoles, crevasses dans les champs, menaces de détérioration d'un chalet. Des travaux de drainage et de détournement des eaux ont été immédiatement entrepris pour tenter de bloquer l'aggravation éventuelle du mouvement.

2.2.2.2 - Solifluxion (et gélifluxion). Mouvement de matériaux plastiques, la solifluxion requiert la présence d'une matrice à éléments fins abondants pouvant se déformer sans rupture. Ramollis par l'augmentation de la teneur en eau, les matériaux s'écoulent lentement et le processus est à l'origine de formes variées, en langues ou loupes plus ou moins épaisses, ou bien en nappes affectant de vastes étendues de versants peu inclinés. Dans le domaine périglaciaire, des lobes de plusieurs mètres de hauteur et de plusieurs dizaines de mètres de longueur peuvent fractionner ainsi des nappes d'éboulis. Des études détaillées avec mesures chiffrées ont été faites ou sont en cours, en Vanoise notamment (KAISER, 1982). Des déplacements de 40 cm/an à 2 800 m d'altitude, sur pente de 15-20°,ont été enregistrés sur les versants de Lanserlia (commune de Termignon).

Glaciers rocheux et coulées de pierres peuvent être regroupés sous cette rubrique. Ces phénomènes sont fréquents dans les Alpes Occidentales où ils ont été souvent décrits (Briançonnais, Dévoluy, Mercantour, Vanoise ..). Actifs ou subactifs, ils occupent l'étage périglaciaire au-dessus de la limite des forêts, mais ils en existe aussi de fossiles dont la forêt a envahi au moins les parties basses. Ils disparaissent généralement à l'étage des glaciers, la limite entre les deux paraissant coïncider avec celle des neiges permanentes. Ils se rencontrent spécialement sur et sous les versants de roches massives aptes à la fourniture de blocs et dont la structure fissurée est favorable à l'action du gel, donc potentiellement riches en débris grossiers.

La présence de glace sous-jacente ou interstitielle, souvent mise en évidence lors de travaux d'aménagement ou par mesures de résistivité, facilite la mobilisation lente et massive des débris dont le comportement rappelle celui d'un corps visqueux. Des bourrelets transversaux et longitudinaux traduisent en

TABLEAU 2 - EXEMPLES DE TASSEMENTS DE VERSANTS DANS LES ALPES FRANCAISES

SITE	DEROCHOIR	MONT SEC	CORNILLON	RIOUPEROUX	PETIT RENAUD	PEUIL DE CLAIX	PETIT CHATEL	LE NOYER	LA FARE	PIC DE GLEIZES	PIERRE BRUNE	TRESCHENU	CREYERS
LOCALISATION	Arve (Adret)	Belledonne Sud	Taillefer vers.est	Taillefer	Taillefer	Vercors vers.est	Dévoluy vers.ouest	Dévoluy vers.est	Dévoluy vers.est	Dévoluy vers.est	Vercors sud	Vercors sud	Diois
TERRAIN	Lias à Tertiaire	Mica-schistes	Amphi-bolites	Mica-schistes	Calcaires et marnes du Lias	Calcaires et marnes du Crét. Inférieur	Calcaires et marnes du Juras. supérieur	Calcaires crétacés sur marnes jurassiques	id.	Calcaires et marnes du Crétacé jurassique	Calcaires et marnes du Crétacé inférieur	id.	Calcaires du Crétacé inférieur
TYPE	Complexe: tassement et écrou-lement	Complexe	Simple	Simple	Simple	Simple	Simple	Simple	Complexe	Complexe	Complexe	Complexe	Complexe
LARGEUR (m)	4000	3000	1500	2000	1500	3000	600	3000	4000	1000	2000	1700	2000
LONGUEUR (m)	5000	1000	1200	2000	1500	2000	600	1000	1000	600	1300	500	500
EPAISSEUR (m)	500	200	250	250	100	350	300	200	200	300	200	500	200
SURFACE (m2)	20.10^6	3.10^6	$1,8.10^6$	4.10^6	$2,25.10^6$	6.10^6	360.10^3	2.10^6	4.10^6	500.10^3	2.10^6	850.10^3	1.10^6
VOLUME (m3)	10.10^9	600.10^6	450.10^6	1.10^9	225.10^6	2.10^9	100.10^6	400.10^6	800.10^6	150.10^6	400.10^6	425.10^6	200.10^6
ALTITUDE SOMMET(m)	2553	1183	2475	1950	2600	1768	1798	1650	1781	2159	1640	1881	1542
DENIVEL-LATION (m)	500	Faible	500	400	150	800	800	400	400	Faible	500	300	300
PENTE (d°)	21°	42°	42°	35°	35°	32°	31°	39°		35°	33°	37°	22°
DEPLACE-MENT HOR.	700	Faible	500	500	200	1000	500	1000	800	Faible	500	Faible	600
DATE	Post-Wurm Ecroule-ments en 1471 et 1750	Post-Wurm	Post-Würm	Post-Würm	Post-Würm	Riss-Wurm	Post-Würm	Riss-Würm	id.	Actuel	?	?	?

TABLEAU 3 - EXEMPLES DE GLISSEMENTS DE VERSANTS DANS LES ALPES FRANCAISES

SITE	ST-SORLIN D'ARVES	ENBRUNET	VILLAR-D'ARENE	GRAND-COLON	SERRE DE L'HORIZON	CHATEL	ST-JULIEN EN CHAMPSAUR	ORCIERES	LA BATIE NEUVE	SINARD 7.3.1981
LOCALISATION	Maurienne	Maurienne	Oisans	Belledonne	Génépi	Dévoluy	Champsaur	Champsaur	Gapençais	Triéves
TERRAIN	Schistes du Lias	Schistes et calcaires jurassiques	Marnes et calcaires jurassiques	Micaschistes	Trias, Houiller, Micaschistes	Marnes et calcaires jurassiques	Marnes jurassiques	Flysch marneux	Marnes jurassiques	Argiles litées würmiennes
TYPE	Simple	Complexe	Complexe	Complexe	Complexe	Complexe	Complexe	Complexe	Complexe	Simple
LARGEUR (m)	3000	1300	2400	3500	4000	2000	6000	4000	2000	500
LONGUEUR (m)	1600	4500	2450	2500	1200	1500	5000	4250	3200	1000
EPAISSEUR (m)	150	50 ?	100 ?	100 ?	100 ?	50 ?	30 ?	50 ?	50	50 ?
SURFACE (m2)	$3,5.10^6$	6.10^6	5.10^6	6.10^6	4.10^6	3.10^6	30.10^6	15.10^6	5.10^6	5.15^5
VOLUME (m3)	500.10^6	300.10^6	500.10^6	600.10^6	400.10^6	150.10^6	900.10^6	750.10^6	250.10^6	25.10^6
ALTITUDE SOMMET (m)	2237	2500	2550	2150	1617	1750	1700	2655	1709	740
DENIVELLATION (m)	Faible	Faible	400	500	120	200	Faible	100	850	240
PENTE (d°)	21°	10°	14°	24°	14°	16°	8°	17°	13°	13°

surface ce mouvement de masse actuel ou passé. Les vitesses de déplacement demeurent modestes: 8 cm/3 ans au Plan du Lac en Vanoise (KAISER, 1982), 36 cm/an à Ste-Anne-en-Queyras (EVIN et ASSIER, 1983), 65 cm/an au Combeynot (MICHAUD et CAILLEUX, 1950). La glace trouve parfois son origine dans l'ennoyage d'un glacier sous les débris rocheux, protégé de la fusion et peut-être entretenu par des eaux de fonte regelant en profondeur; c'est le cas de ceux de la face sud du Thabor (Briançonnais), de Ténibres et de Corborant (Alpes-Maritimes) que l'on a vus se transformer par enfouissement au cours des 30 dernières années à partir de glaciers blancs. Ou bien l'alimentation est assurée par la neige, notamment d'avalanches, transformée par fusion-regel en glace interstitielle qui lie les blocs entre eux. Localement une filiation génétique entre éboulis et glaciers rocheux a pu être établie, un éboulis fluant formant la transition entre l'éboulis proprement dit et le glacier rocheux (FRANCOU, 1981).

2.2.2.3 - Ecoulement - Déplacement de matériaux ayant atteint la limite de liquidité, c'est un processus intermédiaire entre le glissement de terrain et le ruissellement qui intéresse aussi des formations à fortes proportions d'éléments fins de la classe des lutites et pouvant inclure des éléments de très grande taille, métrique et plus. Deux types de mouvements peuvent être distingués dans le sens d'un rôle croissant de l'eau, la coulée boueuse et la lave torentielle, sans que la limite entre les deux soit nettement établie. Nous avons aussi rangé sous cette rubrique le façonnement des glacis dont la genèse est controversée.

. **Les coulées** prennent souvent naissance à partir de glissements, plus rarement par épaississement d'un écoulement liquide se chargeant de matériaux meubles généralement argileux, à la suite de longues pluies ou à la fonte des neiges. Elles sont étroitement localisées, de volume relativement faible, linéaires (largeur et épaisseur faibles par rapport à la longueur), rapides (vitesse perceptible à l'oeil), souvent catastrophiques. Fort heureusement leur fréquence et leur extension sont beaucoup plus réduites que dans le cas des autres processus de versants, notamment les glissements; mais leur caractère spectaculaire fait qu'elles ont été reconnues et étudiées depuis longtemps.

Dans les Alpes françaises les coulées boueuses intéressent, comme les glissements, tous les versants dont le substrat est fortement argileux et anisotrope, mais surtout la tranche superficielle soit altérée et imbibée, soit de couverture le plus souvent morainique. Elles se produisent rarement sur un versant régulier (Les Prads), plus souvent dans des bassins torrentiels déjà affectés de glissements. Le phénomène le plus catastrophique, malgré son ampleur limitée, a été celui du plateau d'Assy (Haute-Savoie).

Plateau d'Assy - le 16 avril 1970 à 0 h 30, une coulée terreuse relativement peu fluide incluant arbres et blocs recouvre et détruit partiellement un bâtiment du sanatorium, faisant plus de 70 victimes. Le volume des matériaux est estimé à 30 - 50 000 m3 (JAIL et VIVIAN, 1971). La coulée a suivi un couloir creusé dans le versant de pente 39° et à couvert forestier discontinu. Les terrains déplacés consistaient essentiellement en schistes altérés du substrat (Crétacé inférieur) mêlés de moraine superficielle. Quelques jours auparavant, le 5 avril, une avalanche de neige avait emprunté le même couloir et s'était arrêtée contre le bâtiment, sans faire de dégâts. La même année, le printemps très frais et enneigé avait été marqué par de nombreuses avalanches, glissements de terrains et éboulements généralement de faible ampleur.

Les Prads (Alpes de Haute-Provence) - début novembre 1968, un glissement de terrain suivi de coulées boueuses se déclare rive droite de la Haute Bléone au-dessus de la Frache, commune des Prads, après de longues pluies. Le substrat impliqué est constitué par des marnes et calcaires du Crétacé inférieur à pendage conforme égal à la pente du versant, ici de l'ordre de 20° en moyenne. Le glissement et les deux coulées qui en dérivent sont d'ampleur relativement réduite: longueur totale 6 à 800 m, largeur maximale 200 m, épaisseur quelques dizaines de mètres. Son intérêt réside dans l'étude très détaillée qui en a été faite (JORDA, 1970).

Avec **les laves torrentielles** la fluidité augmente, liée à la plus forte porportion d'eau dans la masse en mouvement. Celles de Pontamafrey dans la vallée de la Maurienne sont particulièrement célèbres car elles ont interrompu les liaisons routière et ferrée entre la France et l'Italie une trentaine de fois en l'espace de deux siècles. Les deux tiers des évènements se sont produits en Juillet-Août.

Ici, il s'agit de "laves" torrentielles relativement fluides, à teneur en matériaux solides de l'ordre de 50%, charriant de petits blocs et cheminant dans le talweg de la Ravoire sur environ 6 km avant d'atteindre la vallée de l'Arc. Ces laves, issues du haut bassin torrentiel, sont alimentées par des glissements du versant du Coin du Châtel constitué de flyschs de la zone dauphinoise reposant sur des schistes rouges permiens et des couches de gypse à stratification contraire à la pente d'environ 30°. Le dernier glissement, en 1965, particulièrement important, a emporté le versant boisé de Bon Attrait sur une surface de 35 ha et un volume estimé à 35.10^6 m3 (GOGUEL, 1968). Son effet a été plutôt bénéfique car les éboulements qui en sont issus ont barré le cours du torrent, provoquant une filtration des eaux boueuses. Mais en dépit de nombreux travaux de correction, surtout depuis 1933, le processus de formation de laves du torrent de la Ravoire n'a pas été arrêté.

Celles du torrent du même nom, à Bourg-St-Maurice, plus récentes, ont été aussi plus destructrices. Après qu'une série de coulées modestes se soient répétées depuis 1970 en relation avec la fonte des neiges ou de longues séquences pluvieuses, la crue du printemps 1981 a été désastreuse. Une lave fluide de boue noirâtre emballant blocs de plusieurs dizaines de m3 et troncs d'arbres s'est déclenchée vers 1 200 m d'altitude; des phénomènes d'embâcle-débâcle à fort pouvoir érosif se sont multipliés dans la gorge étroite du torrent, affouillant vigoureusement le talweg (jusqu'à plus de 20 m de profondeur au pont de la route des Bérards) et déstabilisant les berges. Dans la vallée de l'Isère, un cône de déjection de quelque 5 ha s'est ainsi construit avec les 300 000 m3 de matériaux arrachés au versant. Le débit de la lave a été estimé à 6 m3/s à la confluence Ravoire-Isère. La pente moyenne du bassin versant est de 39%, les terrains concernés sont des schistes houillers déjà altérés sur une grande profondeur (50 à 60 m) et comportant des traces de glissements et de tassements anciens. Ponts détruits, route des Arcs emportée en plusieurs points, voie ferrée coupée, canalisations d'eaux et maisons d'habitations détériorées , zone industrielle envasée. la facture a été lourde pour la Savoie. Le réveil de ce torrent, au début des années 1970, coïncide avec l'aménagement de la station des Arcs dans la partie supérieure du bassin versant; en réduisant la superficie forestière , remaniant le versant par des travaux divers (compactage, imperméabilisation) et en détournant vers la Ravoire une partie des écoulements torrentiels voisins, on aboutit à augmenter et à concentrer le ruissellement superficiel dont les débits de crue sont devenus catastrophiques.

Dans la formation des **glacis** forme de bas de versant très répandue dans les Alpes du Sud, ces processus semblent intervenir, mais leur génèse est controversée: empilement de coulées boueuses ou ruissellement d'eaux de fonte de neige qui en feraient des dépôts "intermédiaires entre les éboulis ordonnés et les cônes de déjection auxquels ils se raccordent parfois latéralement" (NICOD, 1967). Si l'accord était général quand au caractère périglaciaire de la couverture grossière des versants (cailloutis anguleux ou gélifracts), les processus d'élaboration de la forme elle-même, caractérisée par sa régularité notamment longitudinale, et les conditions climatiques de ces processus, ne sont pas éclaircis. Or on sait aujourd'hui par des datations C14 de troncs fossiles en place que les bas glacis du Buech sont holocènes, donc de climat tempéré (carte géologique à 1/50 000 Laragne, n°893, sous presse)...

2.3 - Ruissellement, ravinement - L'ablation par ruissellement sur les versant est bien connue qualitativement. Elle aboutit au paysage de bad-lands et est à l'origine de la formation de ravins par les torrents dont l'action érosive se situe essentiellement en amont, dans les bassins de réception. Tous les versants sont atteints par le ruissellement et le ravinement torrentiel, mais il existe

peu de données chiffrées sur l'ablation faute de mesures directes, sinon par l'évaluation de la sédimentation dans les barrages. Par contre, le ravinement a été étudié en détail au siècle dernier (SURREL, 1841) à propos des torrents des Hautes-Alpes et de leurs effets.

La Durance où affleurent sur de vastes surfaces des sédiments fragiles du Trias, du Jurassique (Terres Noires), du Tertiaire (Flyschs) et du Quaternaire notamment (moraines), est un pays fortement marqué par les bads lands et le ravinement torrentiel, en particulier dans l'amont où le relief est plus vigoureux (VEYRET, 1944). Mais ces phénomènes sont aussi très actifs en Basse-Provence, surtout après incendie. Le ruissellement est le plus spectaculaire sur les marnes et les formations meubles de versant. Il y a succession de lessivage, érosion en nappe puis en rills et enfin ravinement aboutissant aux bad-lands. Sur les calcaires, lessivage et érosion en nappe exhument les lapiés qui, par gélivation, sont ensuite transformés en clapiers (champ de pierres). Les terres érodées sont transportées et accumulées dans les fonds où la déflation sur les surfaces nues (champs labourés, vignes) se fait partout sentir, surtout l'hiver. Ces processus sont mis en relation avec la dégradation du tapis végétal, notamment l'abandon des protections culturales (oliviers par exemple) et la destruction, volontaire ou non, des murettes des restanques (NICOD, 1967).

En ce qui concerne les mesures indirectes, déduites des bilans de la sédimentation dans les barrages, GIGNOUX et BARBIER (1955) citent les taux d'ablation globaux suivants, en mm/an:

. Verdon 0,147 (bassin-versant presqu'entièrement calcaire)
. Durance à Serre-Ponçon: 0,805
. Drac au Sautet: 0,6 à 0,85
. Arve à Genève: 0,502 à 1,214
. Rhône au Léman: 0,568

Pour le barrrage du Sautet, l'épaisseur des sédiments au droit de l'ouvrage était de 30 m en 1948 et de 60 m en 1967, 13 et 32 ans après la mise en eau (rapports EDF). Ces chiffrent donnent seulement une idée de l'ablation par ruissellement, dont la valeur est uniquement locale et dépend de beaucoup de facteurs, notamment de la lithologie des bassins-versants.

Ce type d'ablation dépend aussi fortement des conditions atmosphériques. Nous en avons eu un exemple avec la trombe d'eau du 5 juillet 1971 dans la basse vallée de l'Isère (JAIL et MARTIN, 1971). Toute la bordure nord-ouest du Vercors, de Chabeuil à Voreppe, a été atteinte par des pluies diluviennes dont le taux maximum s'est situé entre 30 et 50 mm/h et qui, pour une durée de 8 à 9 heures, ont donné les totaux suivants: 223 mm à Saint-Gervais, 204 à Saint-Quentin, 200 à l'Albenc, 157 à Saint-Marcellin, 150 à Chateaudouble, 140 à Montaud. Les phénomènes de ravinement quasi instantanés, avec transport et dépôt de cônes de déjections, glissements de terrains et coulées boueuses localisées ont été nombreux sur les versants du Vercors et du plateau de Chambaran, mais d'ampleur limitée. Les dégâts furent importants (routes coupées, cultures anéanties, bâtiments détruits). C'était, jusqu'alors, un secteur où l'on pouvait considérer l'action morphogénétique comme très ralentie sinon nulle.

TABLEAU 4 - ESSAI DE CLASSIFICATION DES PROCESSUS DE VERSANTS EN FONCTION DES DIMENSIONS DES PARTICULES MISES EN JEU ET DE L'INFLUENCE DE L'EAU

MAJUSCULES = Désignation des processus
Minuscules () = Formations liées aux processus considérés
(?)= Absence de terme de formation

-Les tiretés séparent des processus soit dont les domaines se recouvrent (horizontaux), soit dont les frontières sont indécisent (verticaux) car tous les termes de passage existent

Dimensions des particules \ Influence de l'eau		Nulle	Faible	Faible à Moyenne	Moyenne	Moyenne à Forte	Forte	Très forte	Maximale
LUTITES	Argile								
	0,002		FLUAGE (?)				SOLIFLUXION	ECOULEMENT	
	Silt						(coulée boueuse)		
	0,50								SUFFOSION (alluvion)
ARENITES	Sable	TRACTION			REPTATION (?)		(Coulée de terre)	(Glacis)	
	2,00			(Colluvion)					
RUDITES	Gravier	DECOMPRESSION (?)					GELIFLUXION (langues et loupes) (glacier rocheux)		
	16,00		EBOULEMENT (éboulement)	EBOULISATION (éboulis) (grèze)		GLISSEMENT (glissement de terrain)		(lave torrentielle)	RUISSELLEMENT (alluvion)
	Caillou								
	256,00 mm								
	Bloc		ECROULEMENT (écroulement)				(coulée de blocs)		
	dam	FAUCHAGE							
	Pan	(?)	TASSEMENT (tassement)						
GROUPES DE PROCESSUS		MOUVEMENTS D'ENSEMBLE	CHUTE LIBRE OU NON		MOUVEMENTS DE MASSE				TRANSPORTS PARTICULAIRES

IV - CONCLUSION

Au terme de ce bilan provisoire, une présentation schématique des processus spécifiques d'évolution des versants (tableau 4) fait apparaître leur individualisation en quatre groupes dont le critère de séparation net est l'influence de l'eau et, pour les formations correspondantes, la présence ou l'absence de matrice fine interstitielle. On remarquera:

. l'absence de termes spécifiques pour désigner le produit de certains processus (fluage, décompression, fauchage, reptation);

. l'identité de terminologie concernant certains processus et la formation correspondante (éboulement, glissement, etc..), source de confusion.

V - BIBLIOGRAPHIE

ALIX A. (1929).- Un pays de haute montagne : l'Oisans, 1 vol. Imp. A. Collin, Paris.

ANTOINE P. et al. (1971).- Les problèmes posés par la stabilité des pentes dans les régions montagneuses. Géol. Alp., 47, p.5-25

ANTOINE P. et LETOURNEUR J. (1973).- Aperçu et réflexions sur les cartes géotechniques. Rev. Géog.Alp., LXI, 2, p.231-246.

BIROT P. (1970).- Etude quantitative des processus érosifs agissant sur les versants. Zeit.für Geomorph., p. 11-44.

BOMBARD J.P. (1968).- Une approche des problèmes posés par l'étude des mouvements de terrain. Essai méthodologique. Thèse 3è Cycle, Géologie Appliquée, Grenoble.

BORDET P. (1963).- Déformations anciennes, récentes et actuelles dans les massifs cristallins externes des Alpes françaises. Trav. Lab. Géol. Univ. Grenoble, 39, p. 173-198.

COLAS G. et PILOT G. (1976).- Description et classification des mouvements de terrain. Bull. Liais. Lab. Ponts et Chaussées, special II, I, p.21-30.

DESVARREUX P. (1970).- Recherche d'une méthode d'étude des mouvements des terrains et applications pratiques. Thèse Doct. Ing., Grenoble, USMG.

EVIN M. et ASSIER A. (1983).- Mise en évidence de mouvements sur la moraine et le glacier rocheux de Ste-Anne (Queyras, Alpes du Sud); le rôle du pergélisol alpin. Rev. Geog. Alp., LXXI, 2, p.165-178.

FRANCOU B. (1981).- Etude géodynamique des éboulis et formes associées dans la Combe de Laurichard (Hautes-Alpes), Thèse de 3e cycle, Inst. Geog. Alp. de Grenoble.

GABERT P. et LAUTRIDOU J.P. (1969).- Gélifraction artificielle et gélifraction au cours du Quaternaire. Méditerranée, 3, p.293-312.

GIGNOUX M. et BARBIER R.(1965).- Géologie des barrages. Masson éd., Paris.

GOGUEL J. (1968).- Les enseignements du glissement de Pontamafrey. Bull. B.R.G.M., 2, II, 3, p.58-62.

GOGUEL J. et PACHOUD A. (1972).- Géologie et dynamique de l'écroulement du Mont-Granier, dans le Massif de la Chartreuse, en novembre 1248. Bull. B.R.G.M., III, 1, p. 29-38.

HUMBERT M. (1972).- Les mouvements de terrain. Principes de réalisation de la carte prévisionnelle dans les Alpes. Bull. B.R.G.M., III, 1, p.19-28.

JAIL M. et VIVIAN R. (1971).- Les glissements de terrain et les éboulements dans les Alpes françaises du Nord en 1970. Etude physique et problèmes posés par ces phénomènes. Rev. Géog.Alp., LIX, 4, p.473-502.

JAIL M. et MARTIN N. (1971).- La trombe d'eau du 5 juillet 1971 dans la basse vallée de l' Isère. Rev. Géog.Alp., LIX, 4, p.593-600.

JORDA M. (1970).- Le glissement de terrain de Prads (Novembre 1968) et ses enseignements morphologiques. Rev. Géog. Alp., 1, p. 193-210.

KAISER B. (1982).- Morphodynamique périglaciaire et morphodynamique globale: le cas de quelques éboulis de Tarentaise et de Maurienne. Comité National Français de Géographie, fasc. VII, 1982.

MALATRAIT A.M. (1975).- Analyse et classement des mouvements gravitaires. Feuille St-Jean-de-Maurienne à 1/50.000e. Thèse 3e cycle, Géol. Appl. Grenoble, USMG.

MARNEZY A. et JAIL M. (1980).- Phénomènes naturels brutaux et problèmes de circulation en Maurienne. Congrès Interpraevent 1980, Bad Ischl, Autriche.

MONJUVENT G. (1978).- Le Drac. Morphologie, stratigraphie et chronologie quaternaires d'un bassin alpin. Thèse, 1 vol., 431 p., Institut Dolomieu, USTMG, Grenoble.

MONTANDON F. (1933).- Chronologie des grands éboulements alpins. Matériaux pour l'étude des calamités, Genève, n°32, 1933, IV.

MORET L. (1946).- Les éboulements de terrains en montagnes. Revue des Alpes, Grenoble.

MOUGIN J.P. (1973).- Les mouvements de terrain. Recherches sur les apports mutuels des études géologiques et mécaniques à l'estimation de la stabilité des pentes. Thèse Docteur Ingénieur, USTMG, Grenoble.

NICOD J. (1971).- Recherches géomorphologiques en Basse Provence calcaire. Etude et Travaux de Méditerranée, éd. Orphrys, Gap.

VEYRET P. (1944).- Les pays de la moyenne Durance alpestre. Arthaud ed., Grenoble.