

*Kazimierz Krzemień, Krzysztof Sobiecki*

## LE ROLE DES PROCESSUS MORPHOGENIQUES CONTEMPORAINS DANS LE MODELAGE DE MASSIF VOLCANIQUE DES MONTS DORE (MASSIF CENTRAL)

*Résumé:* Le massif des monts Dore est situé dans la partie centrale du Massif central et il en constitue son point culminant. Ce massif est une zone typique de haute montagne avec un relief nival dominant au dessus de la limite supérieure de la forêt. Les processus nivaux, cryogéniques et la déflation y jouent un rôle considérable. En raison du climat océanique, un rôle non moins important revient au ravinement, ceci en particulier sur les versants couverts par la végétation

*Mots-clés:* Massif central, relief nival, processus cryo-nivaux.

### 1. Introduction

Tout au long des dix dernières années, un intérêt croissant a été porté aux terrains de montagne, et en particulier, à la haute montagne. Le plus grand intérêt est toutefois attribué aux zones de montagne englacées. Ceci nous est confirmé par les différentes productions scientifiques ainsi que par les thèmes abordés à l'occasion des nombreuses conférences. On ne consacre pas autant d'attention en revanche aux zones de haute montagne non englacées. Grâce à une excellente coopération entre l'Institut de Géographie et d'Aménagement du Territoire de l'Université Jagellonne et l'Université Blaise-Pascal de Clermont-Ferrand, il a été possible de réaliser des études géomorphologiques dans le massif volcanique des monts Dore, massif situé dans les parties les plus élevées du Massif central (Fig. 1). Ce massif constitue un système géomorphologique typique de haute montagne. Il s'élève à une altitude de 1 886 m et répond aux critères de montagne alpine définis par C. Troll en 1973, c'est-à-dire qu'il s'élève au-dessus de la limite supérieure de la forêt, au-dessus de la limite des neiges pluriannuelles du pléistocène et que l'on y observe d'actifs processus périnivaux.

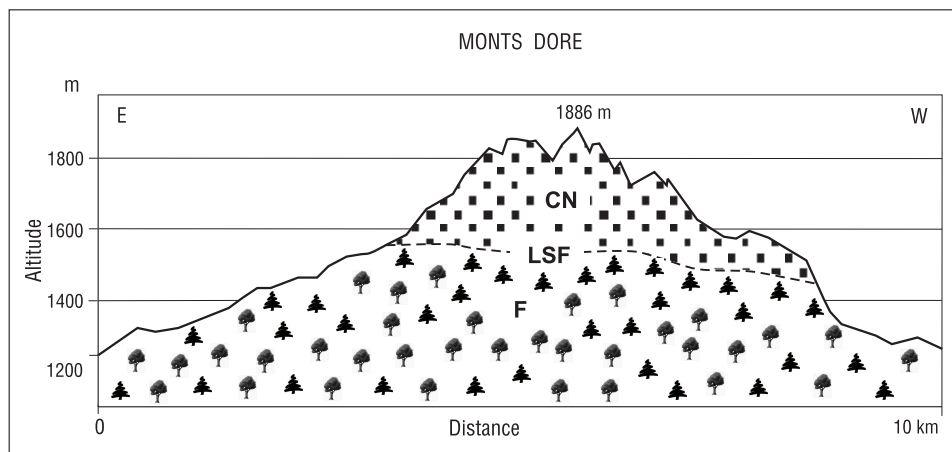
L'article présent vise à déterminer le rôle des processus morphogéniques actuels dans le modelage de ce massif non-englacé de haute montagne situé dans une zone de climat océanique typique.

## 2. Les méthodes de recherche

Ce travail est basé sur les résultats de recherches menées sur le terrain à partir de 1984. Les études ont été réalisées essentiellement par des équipes composées de deux à trois personnes, au printemps ou en été, par étapes qui s'étalaient sur deux à trois semaines. Outre les auteurs du présent article, ont participé aux travaux: L. Kaszowski, P. Libelt, J. Świąchowicz, W. Chelwicki, S. Skiba, et R. Szmuc. Les études géomorphologiques menées sur le terrain consistaient à dresser une cartographie des formes géomorphologiques, des couvertures et des conséquences des processus géomorphologiques, ceci à l'échelle de 1:10000 (agrandissement des cartes au 1:25000). En dehors des aspects susmentionnés, nous avons attaché une importance plus particulière aux niches nivales, aux chenaux formés dans des dépôts de coulées de laves torrentielles, aux lits de quelques torrents et aux formes anthropiques. Pour ce qui concerne les formes les plus caractéristiques, ont été établis des plans détaillés, des profils longitudinaux et transversaux. Ces travaux ont été complétés par des esquisses et par de nombreuses photographies. Dans ces études on a exploité d'autre part les photographies aériennes réalisées à une échelle de 1:25000 à différentes dates par l'Institut Géographique National français (IGN) ainsi que des documents, non publiés, de l'Institut de Géographie de l'Université Blaise-Pascal.

## 3. Le terrain de recherche

Le massif des monts Dore est situé dans la partie centrale du Massif central dont il constitue le point culminant avec 1886 m (Fig. 1). Il s'agit d'un strato-volcan plioquaternaire construit par accumulation de différents types de laves (basaltes, sancytes, doréites, phonolites, trachytes) et de formations pyroclastiques (cinérites) (Peterlongo 1978). Au Pléistocène, ce terrain était englacé. Les glaciers descendaient alors radialement



CN – étage cryo-nival, F – étage de la forêt, LSF- limite supérieure de la forêt

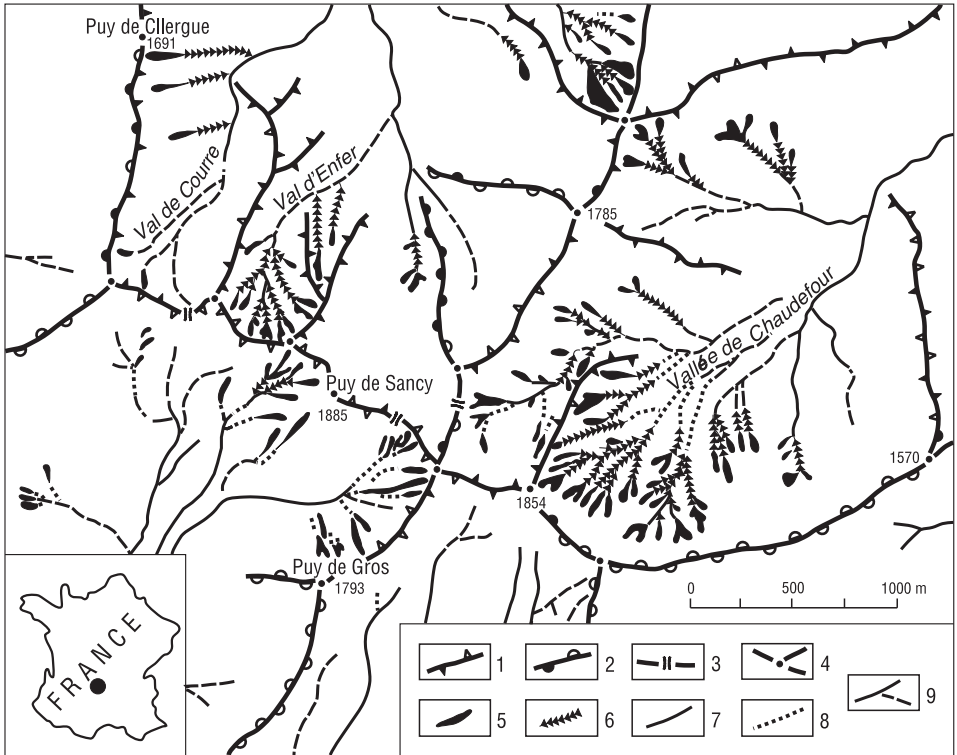
Fig. 1. Profil dessiné par le massif les Monts Dore

du centre du massif et atteignaient 12 f 19 km de long (Veyret 1981). A l'Holocène eut lieu, d'autre part, une forte activité volcanique sur sa périphérie.

Le massif des monts Dore est un système géomorphologique de haute montagne. On y observe des formes typiques pour la haute montagne, f savoir des crêtes, des parois rocheuses, des versants torrentiels. Toutefois, pour la plupart, les versants sont couverts de couches d'éboulis et de couches organiques relativement épaisses. La limite de la forêt se situe f une altitude de 1550 m (1450-1550), et divise ces montagnes en deux systèmes morphodynamiques: cryo-nival supérieur et érosif-dénudatif dans l'étage de la forêt (Kaszowski, Krzemień 1989, Fig. 1).

La région étudiée est située dans un espace de climat océanique humide. Les données météorologiques disponibles pour le massif des monts Dore sont assez incomplètes, notamment parce que les sites de mesure les plus élevés se situent f une altitude de 1000 f 1100 m seulement. Des mesures météorologiques sont aussi effectuées dans les stations de sports d'hiver, comme par exemple f Super-Besse (1350 m d'altitude) ou au Mont-Dore (1050 m d'altitude), mais ces stations d'hiver ne disposent pas de données qui auraient été recensées pendant des périodes suffisamment longues pour que l'on puisse les traiter sérieusement du point de vue statistique (Valadas 1984, Lageat, Neboit-Guilhot 1989). Dans les parties les plus élevées du Massif central, les précipitations atmosphériques annuelles sont supérieures f 1500 mm (moyenne pour les années 1980-1985). D'après P. Estienne (1989), les précipitations annuelles sont même de 1700 f 2000 mm (moyenne 1980-85). Elles peuvent aller jusqu'f 2098 mm f Super-Besse (valeur 1982). A la station météorologique de Besse f 1060 m d'altitude, le volume des précipitations annuelles était de 940 mm en 1957 et de 1811 mm en 1965. Au cours de l'année, les précipitations les plus fortes ont lieu en hiver (XII-I), et les plus faibles en été (VI-VII) (Krzemień 2004). Cependant, c'est en été que le massif reçoit de fortes précipitations d'orage qui provoquent une intense érosion torrentielle. Les valeurs maximales de précipitations par tranche de 24 heures atteignent ainsi 71,7 mm f Besse, alors que dans les parties supérieures du massif, ces précipitations sont probablement supérieures f 100 mm. De manière générale, ces valeurs ne sont pas excessivement élevées, mais une activité géomorphologique importante a lieu quand de fortes précipitations atmosphériques s'étalent sur plusieurs jours, comme par exemple en 1999, lorsque, en l'espace de trois jours, il tomba 181 mm, de plus, f une période où le sol était déjà couvert de plaques de neige. De telles conditions apparaissent en moyenne tous les 6 f 10 ans, et c'est f ce moment-là que peuvent intervenir sur les versants les transformations les plus perceptibles, ainsi que les crues les plus importantes dans les lits des rivières. Toutefois, les plus fortes transformations des versants ne sont pas forcément liés aux crues les plus intenses. Cela a notamment été le cas le 5 novembre 1994, lorsque la partie supérieure de la vallée de Chaudfour subit d'importantes transformations en raison de coulées torrentielles et de la crue des torrents (Fig. 2).

La hauteur de neige varie d'une année f l'autre et au cours de l'hiver f cause de la forte sensibilité f la fonte de la neige. Le nombre de jours avec de la neige au sol augmente en fonction de l'altitude. A Super-Besse il fut de 138 pendant l'hiver 1977/78 et de 132 pendant l'hiver 1978/79. La forte variabilité des précipitations et des températures est f l'origine de l'existence de plusieurs périodes de neige au sol qui se succèdent pendant l'hiver. Les précipitations neigeuses commencent en général dans la deuxième moitié du mois de novembre et les dernières tempêtes de neige surviennent encore parfois f la fin du mois de mai (Valadas 1984). La neige se maintient sous forme de plaques jusqu'f la fin juin et même jusqu'en juillet, ce qui est important du point de vue des processus morphogénétiques. Les écarts, en ce qui concerne l'épaisseur de la couche, sont considérables

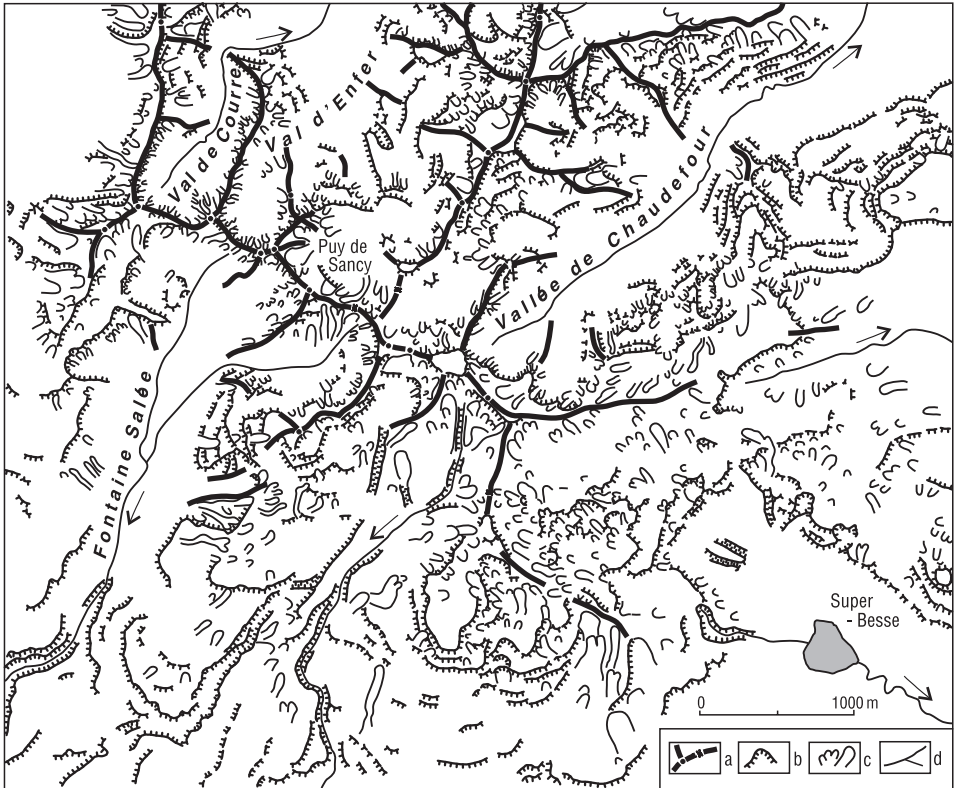


1 - crêtes étroites, 2 - crêtes larges, 3 - défilés, 4 - sommets, 5 - niches des coulées torrentielles, 6 - ravins, 7 - chenaux des coulées torrentielles, 8 - langues des coulées torrentielles, 9 - lits des torrents périodiques et permanents

Fig. 2. Carte des systèmes de coulées torrentielles dans les Monts Dore

et celle-ci atteint 150 cm dans les parties proches des sommets et 90 cm à la station du Mont-Dore. A la hauteur du col de la Croix Saint Robert (1450 m), la couche de neige est telle que les routes sont généralement inutilisables du début du mois de janvier jusqu'à la fin mars, mais il arrive que pendant cette période la neige fonde presque entièrement (Lageat, Neboit-Guilhot 1989). Pour les processus morphogénétiques, le nombre de jours avec une température négative est également un phénomène important. Ce nombre dépasse en général 150 et la température moyenne dans les parties supérieures du massif est de moins de 5 degrés (Tort 1989).

Malgré le manque de données météorologiques précises, il semble évident que les différences d'altitude, atteignant 1000 m dans la zone du massif des monts Dore, conditionnent l'apparition de strates de phénomènes climatiques. Ce caractère se retrouve dans la diversification verticale de l'intensité des différents processus morphogénétiques et dans leur rôle dans le modelage du massif. En tenant compte du volume important des précipitations atmosphériques hivernales, de la longue présence de plaques de neige et, d'autre part, de la présence fréquente de phases d'alternance gel/dégel, on constate que



a - crêtes, b - arêtes et niches nivales dans leur zone, c - niches nivales, d - lits des rivières

Fig. 3. Cartes des niches nivales et des arêtes

les processus nivaux et l'activité de la glace fibreuse jouent un rôle particulier et spécifique dans le modelage du massif (Fig. 3 et 5). L'exposition de celui-ci à des vents violents indique que, dans le cas d'exposition des éboulis situés en dessous de la couverture végétale, un rôle important pourrait revenir à la déflation (Fig 4 et 5).

On peut distinguer trois principales saisons morphogénétiques dans le modelage du terrain étudié: la période hivernale (XI-III), la période nivale liée au fonctionnement de la neige et des plaques de neige et intervenant essentiellement entre les mois d'avril et de juin, et enfin la période pluviale liée à l'activité des eaux de pluie ayant lieu du mois de juillet jusqu'en octobre.

D'après M. Tort (1989), l'étage montagnard (entre 900 et 1500 m), comporte essentiellement des hêtres et des sapins dans la partie occidentale du massif. L'étage subalpin est occupé par des pelouses naturelles et artificielles, où la forêt n'a pas poussé en raison des conditions pédoclimatiques qui y règnent actuellement.

La structure et le type de couverture des versants dépendent des roches et de leur transformation post-glaciaire. Ces couvertures sont très diversifiées (Libelt 1995). Sur les

versants en pente douce (essentiellement dans la partie sud et sud-est de cette zone), on observe des couches de tourbe d'une épaisseur de 0,5 à 0,7 m. Sur les versants plus accidentés (près du Puy de Sancy et de la Vallée de Chaudefour) apparaissent des couvertures constituées d'argile, de tourbe et de pierres ainsi que des couches argilo-pierreuses. Sur une base de tranchyandésites, les couvertures sont des éboulis déplacés souvent par solifluction alors que sur les matières pyroclastiques, elles sont constituées d'argile ou sont argilo-pierreuses. Dans les zones où la couche végétale a été détruite, les couvertures sont dégradées et sont donc à caractère plus pierreux.

#### 4. Les formes et les processus prédominants

En se basant sur les études effectuées sur le terrain et sur l'analyse de la carte géomorphologique, on peut présenter les principales caractéristiques du relief et de sa dynamique. Dans le profil longitudinal des versants et des lits des vallées, on peut distinguer trois types de séquences de formes (Fig. 2 et 3, Kaszowski 1995):

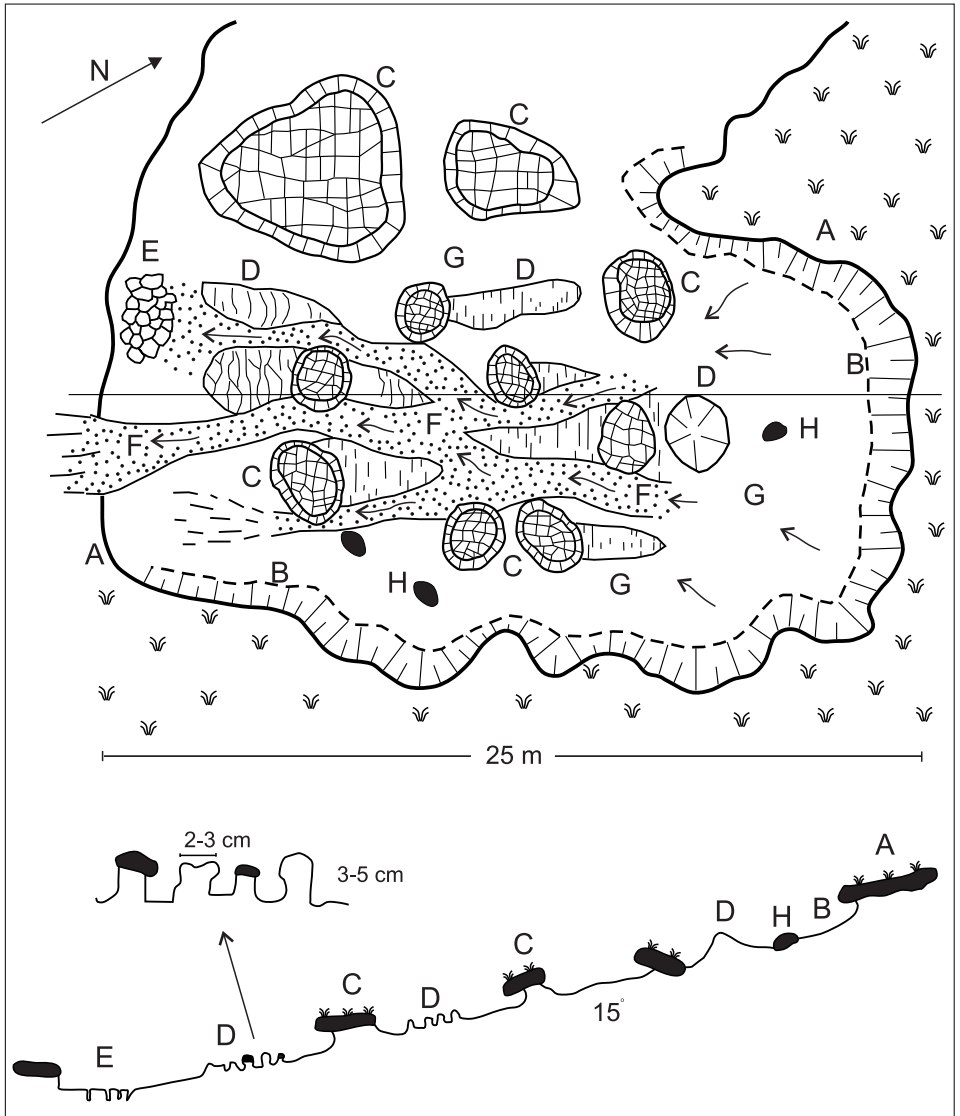
1. niches nivales – petites vallées nivales – lits des torrents – cônes de déjection,
2. niches nivales – cônes proluviaux – niches nivales - (vallées nivales),
3. niches nivales ou niches de systèmes torrentiels – cônes de coulées torrentielles – plaines alluviales.

Les méso-et les micro-formes du terrain étudié indiquent la morphodynamique contemporaine. Parmi les méso-formes et les micro-formes recensées pendant les études de terrain, on doit distinguer notamment: a) les systèmes de niches de nivation sur les versants situés au-dessus de la limite de la forêt, en général stabilisés par la végétation et créant un micro-relief caractéristique des processus de nivation, b) les systèmes de crêtes et de niches de gélidéflation (Fig. 3), c) les pavages de blocs de déflation apparaissant dans la zone des hauts défilés et ceux, générés par les routes et les sentiers touristiques, d) les sections érosives et les systèmes de cônes proluviaux, e) les chenaux et cônes des coulées torrentielles formant un système morphodynamique vertical, commençant par des niches et des entonnoirs à la base des crêtes et descendant jusqu'à l'étage de la forêt (Fig. 2), f) les champs et les flux d'éboulis apparaissant uniquement localement et étant liés au type d'altération des rochers par blocs.

Les principaux ensembles de formes observés ont été créés pendant l'Holocène et se créent encore de nos jours; cependant, le rôle morphodynamique de certains de ces processus est devenu plus important en raison de l'activité humaine (Kaszowski 1995, Krzemień 1995). Ainsi, dans l'étage morphogénétique cryo-nival des monts Dore, il faudrait mentionner, en premier lieu, les processus de nivation liés à la présence prolongée des plaques de neige. (Fig. 3, 4, 5, 6 et 7, Phot. 1 et 2). En second lieu, il faut mentionner les processus cryo-géniques et la déflation (Phot. 3, 4 et 5). Une importance particulière doit être attribuée aux pipkrakes (Fig. 4 et 5). Ces processus ont été encore intensifiés par l'activité de l'homme, en ceci en particulier le long des pistes de ski, des sentiers de randonnée et le long des routes (Phot. 6). Enfin, un rôle considérable revient à l'activité des précipitations, au creusement de rigoles et de coulées torrentielles (Fig. 2). Le rôle érosif de l'eau se manifeste essentiellement dans les zones où l'on observe une dégradation de la couverture végétale (Phot. 3).

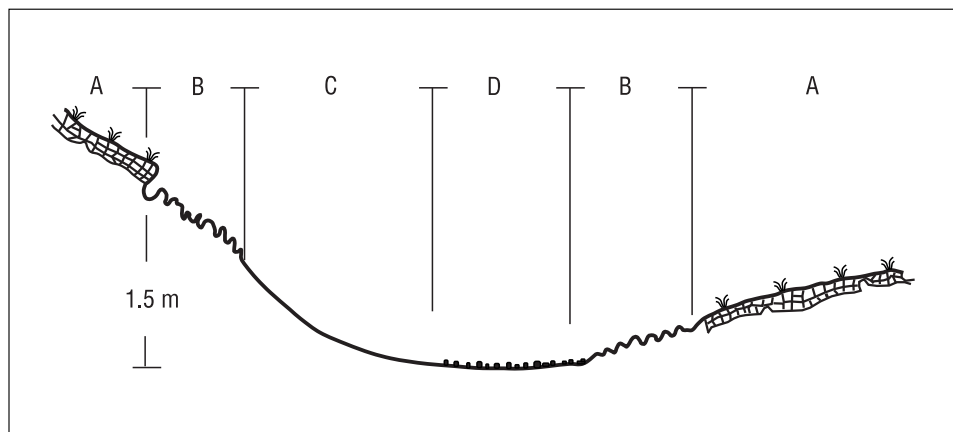
Parmi les formes nivales, deux générations peuvent être distinguées:

1. Les niches, cuvettes et petites vallées consolidées par la couverture de végétation herbacée.
2. Les niches de forme irrégulière, dépourvues de couverture végétale avec une couche de sol dégradée, subissant actuellement un remodelage très intensif (Fig. 3).



A- surfaces consolidées par les couvertures herbacées, B- zone formée par la déflation et par les pipekrakes, C – buttes avec couverture d’herbe, D – zone formée par splash avec pyramides de terre, E – zone couverte de débris résiduels, F – zone formée essentiellement par le ruissellement concentré, G – zone formée essentiellement par le ruissellement dispersé et par la déflation, H – buttes avec forte teneur en humus sans couverture d’herbe

Fig. 4. Niche nivale en 1989



A- zone consolidée par les couvertures herbacées, B- zone formée par les pipekrakes et, pendant les périodes sèches, par la déflation, C- zone formée par le ruissellement dispersé et, pendant les périodes sèches, par la déflation, D- zone formée essentiellement par le ruissellement concentré et successivement renforcée par les débris

Fig. 5. Profil longitudinal passant par la niche nivale

*Les premières des formes susmentionnées* sont stables et plus anciennes. Leur origine pourrait être expliquée comme suit. Il s'agirait du résultat d'un long développement post-glaciaire dans des conditions de climat océanique humide et de destruction accélérée pendant les périodes anciennes d'intense activité anthropique.

*Les formes nivales de la deuxième génération* sont apparues lors des deux dernières décennies. Il s'agit du résultat de l'activité contemporaine de l'homme, en particulier dans le domaine du tourisme et des sports d'hiver. Les nouveaux sentiers touristiques, pistes, téléphériques et remonte-pentes, bref l'ensemble des installations matérielles de la station constituent les lieux privilégiés d'érosion accélérée. Au-dessus de la limite supérieure de la forêt, les plaques de neige demeurent en revanche le facteur géomorphologique le plus important des transformations érosives.

Les niches de déflation et de gélidéflation sont largement présentes dans les parties planes des versants, des crêtes et des défilés. Il s'agit de formes de un à une dizaine de mètres de côté (Phot. 5). De telles formes apparaissent séparément ou bien se composent de plusieurs niches. Leurs traits sont irréguliers, avec un nombre important de baies, de péninsules caractéristiques pour les arêtes de gélidéflation. Dans la section des niches, on observe jusqu'à plusieurs dizaines de buttes de gélidéflation à divers degrés de transformation. Entre les buttes de gélidéflation s'étendent des champs modelés par les pipekrakes, des zones remodelées par le ruissellement ou l'activité éolienne, des zones d'accumulation du matériel de ravinement (Fig. 4). La destruction de la couverture végétale a pu avoir lieu en lien avec des raisons naturelles ou artificielles.

Les pavages de blocs de déflation sont présents dans la zone des défilés situés dans les parties supérieures du massif et restent liés d'autre part aux routes et aux sentiers touristiques, en occupant une surface d'environ un mètre carré (Phot. 5).

Les sections érosives se situent le long des routes, des pistes de descente, des sentiers touristiques, sous les anciens téléskis. Il s'agit de long chenaux (jusqu'à 700 m), d'une



largeur de 0,5 à 5 mètres (Krzemień 1995) qui peuvent se former pendant un seul épisode de précipitations ou se développer pendant une dizaine d'années, par exemple sur les versants sud du Puy Ferrand. Lors de phases de précipitations atmosphériques intenses, dans les zones de forte concentration de l'évacuation des eaux, par exemple à la sortie des traversées des routes, des chenaux érosifs profonds (jusqu'à 1,8 m) peuvent se former sur les versants avec un système de seuils et de cuvettes qui incisent la couverture des versants jusqu'à la roche. Les incisions érosives peuvent aussi se développer systématiquement, pendant une longue période, en particulier dans les zones de végétation dégradée, par exemple sous l'effet de l'action des skieurs ou par celle des bulldozers et des équipements destinés à la préparation des pistes de ski.

Les coulées de laves torrentielles du massif des monts Dore et les coulées de laves torrentielles apparaissent essentiellement sur les versants des cirques glaciaires. Dans la zone étudiée, on peut aussi distinguer trois types de coulées torrentielles (Krzemień 1991) composées de:

- a. niche, chenal et langue,
- b. longue niche, chenal court et langue découpée par le lit du torrent,
- c. une ou plusieurs niches, ravin rocheux se transformant en lit du torrent.

Le second et le troisième type indiquent que le matériel transporté grâce aux processus torrentiels parvient jusqu'aux lits des torrents et peut alors être évacué jusqu'au piémont. Un nombre considérable de niches, de chenaux et de langues peu consolidés et distincts semblent indiquer que ce massif était, dans le passé, plus fortement modelé par les coulées torrentielles. Cela est d'autre part confirmé par les systèmes de digues longitudinales observées sur les langues consolidées des coulées torrentielles. On manque malheureusement d'informations précises relatives à la fréquence d'apparition des coulées torrentielles sur ce terrain. Les dernières coulées torrentielles importantes se sont formées en novembre 1994 dans la vallée Chaudefour.

Les formes anthropiques sont liées à la dégradation des versants lors de la construction des pistes de descente, des routes, des téléskis et des téléphériques ainsi qu'à l'exploitation de ces installations. Seuls la construction de routes goudronnées et le drainage souterrain des versants limitent de manière efficace une transformation plus forte des versants. Le long des caniveaux routiers, des pistes de descente ou le long des téléskis, se produit une intense érosion linéaire (Krzemień 1995).

## 5. L'évolution du relief dans le massif des monts Dore

La structure et l'évolution du relief d'un massif de montagne dépendent de la séquence des systèmes morphodynamiques, des types de relief et des étages morphogéniques concernés. Le système morphodynamique se compose des éléments suivants de type "facteur – processus". Le fonctionnement des systèmes morphodynamiques se traduit par des ensembles de formes qui créent des types déterminés de reliefs de montagne. Les étages morphogénétiques, quant à eux, constituent des entités limitées spatialement au sein desquelles, dans des conditions géologiques données, fonctionne un ensemble caractéristique morphodynamique et se forme un relief de montagne déterminé (Kaszowski 1985). Dans le massif des monts Dore, on peut distinguer deux étages morphogénétiques: l'étage cryo-nival et l'étage de dénudation-fluvial, séparés par la limite supérieure de la forêt située à une altitude d'environ 1500 m (Fig. 1 et 7).

### 5.1. L'étage cryo-nival

Cet étage n'occupe que 12% de la superficie du massif étudié (Kacprzak 1996). L'intensité des processus morphogénétiques y est considérable. Le processus principal qui intervient ici est le processus nival, lié à la présence prolongée de plaques de neige (Varlet 1976, Kaszowski, Krzemień 1989, Kaszowski 1995). Leur répartition et leur étendue diffèrent en fonction de la direction et de l'exposition au vent (Fig. 6). L'épaisseur de ces plaques de neige est plus importante dans les parties protégées du vent ainsi que dans les vallées profondes et ombragées exposées au Nord (Varlet 1976). Pour cette raison, le processus nival joue dans ces zones un rôle significatif. Il intervient essentiellement au printemps et au début de l'été, lorsque les plaques de neige fondent. Dans la zone étudiée, ce processus intervient aussi en hiver, en raison des fréquents dégels.

Par la suite des nombreuses alternances gel-dégel, nous avons affaire à des processus de gélifraction qui sont activés par les dégels hivernaux mais dont la plus forte intensité

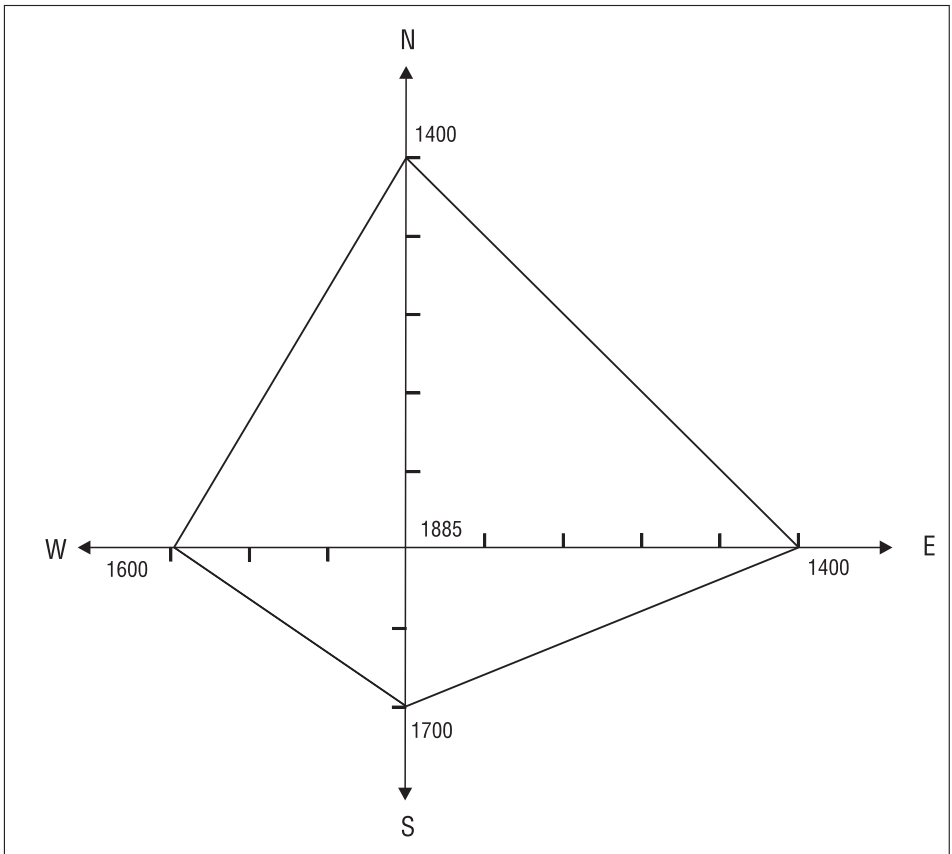


Fig. 6. La limite inférieure de la présence prolongée des plaques de neige sur les différentes faces des Monts Dore

morphogénétique a lieu au tournant des mois de mars et d'avril. A ces cycles de gel et de dégel est lié d'autre part l'activité des pipkrakes (glace fibreuse) (Valadas 1984, 1991).

Parmi les processus morphogénétiques importants qui interviennent à cet étage, on doit aussi mentionner les processus éoliens (Phot. 4). Les formes éoliennes se composent ici de systèmes de niches de gélidéflation formés à l'aide des processus gélifs (Phot. 5, Kaszowski, Krzemień 1989). Les processus de déflation interviennent, eux aussi, de manière très intense dans la zone des niches nivales, des routes, des sentiers touristiques et des pistes de descente (Fig. 4). Des conditions particulièrement favorables à la déflation existent en été lorsque l'on observe une prédominance de l'évaporation sur les précipitations et lorsque les couvertures végétales sont asséchées.

Un rôle important revient d'autre part au ruissellement sur les terrains où la couverture végétale est détruite, notamment le long des sentiers touristiques, des routes et des pistes de descente où la végétation a été dégradée ou affaiblie. Il se crée alors de nombreuses sections et des chenaux profonds (Kaszowski, Krzemień 1989, Krzemień 1995).

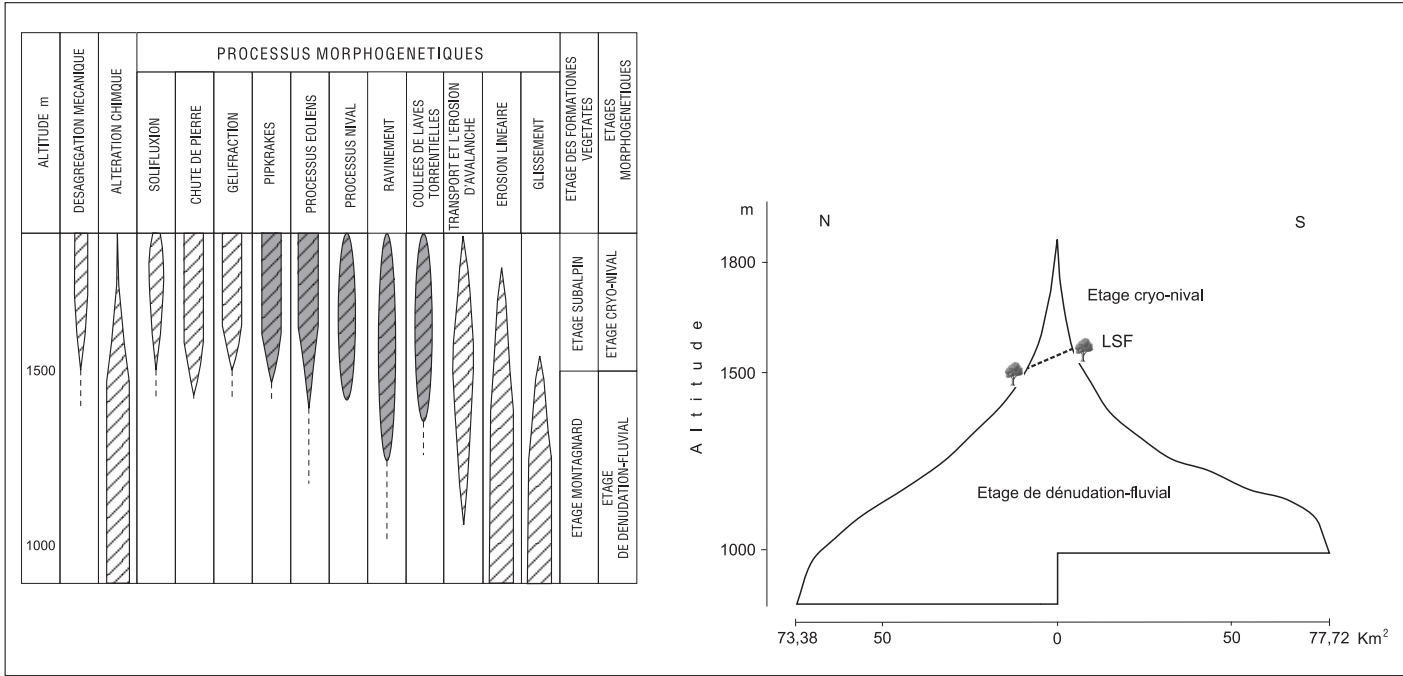
Du côté des parois rocheuses à forte pente, interviennent des processus de gravitation tels que le décollement et l'arrachement (Kaszowski, Krzemień 1989). Le décollement est amplifié par le vent, notamment sur les parois exposées à ce phénomène (Izmailow 1984). A la suite de tels processus se forment, au pied des versants, des champs de pierres et de blocs (Kaszowski, Krzemień 1989).

Pendant la période des dégels mi-hivernaux et printaniers, la solifluxion peut se déclencher bien que son rôle soit limité en raison de sa faible ampleur spatiale (Valadas 1984).

En raison de l'activité de l'homme, la végétation naturelle du massif a été fortement dégradée et c'est pourquoi la limite des étages morphogénétiques a été perturbée et est particulièrement complexe. Il est cependant possible de déterminer une certaine diversité altitudinale quant à l'intensité de l'action des différents processus morphogénétiques dans la zone du massif des monts Dore (Fig. 7).

## 5.2. L'étage de dénudation-fluvial

Il occupe 88 % de la surface du massif et l'intensité des processus morphogénétiques y est, de manière générale, assez restreinte, à l'exception toutefois des coulées torrentielles qui, à l'échelle locale, peuvent devenir actives, à l'échelle de plusieurs dizaines d'années. Dans des conditions spécifiques, les versants se trouvent dans un état d'équilibre (Valadas 1984, 1991). En raison d'une forte teneur de CO<sub>2</sub> d'origine organique, on observe alors, à l'étage de la forêt, une intense dénudation d'origine chimique (Kotarba et al., 1987). Son volume est proportionnel à la quantité d'eau qui entre en réaction avec le rocher (Kotarba 1972). Dans le massif des monts Dore, elle sera plus intense pendant l'hiver et au printemps lorsque les dégels et les précipitations atmosphériques sont plus fréquents. Dans l'étage fluvial de dénudation prédomine l'érosion linéaire et des mouvements lents de masse. Les versants hétérogènes sont ceux qui sont le plus exposés aux glissements et notamment ceux où les roches volcaniques reposent sur des composés pyroclastiques (Valadas 1984). A cet étage, peuvent intervenir des processus allochtones tels que les avalanches et les coulées torrentielles. De tels processus ont essentiellement lieu dans la vallée de Chaudefour. Les coulées torrentielles se forment alors dans trois sections morphodynamiques. La première d'entre elles est une zone d'une ou de plusieurs niches, la seconde est celle de l'évacuation du matériel humide où les coulées se voient remplies de matériel et acquièrent la plus forte puissance érosive. La troisième section est celle du dépôt du matériel d'éboulis. Ce système morphodynamique vertical commence dans le secteur des crêtes et descend jusqu'à l'étage de la forêt (Krzemień 1991).



LSF- limite supérieure de la forêt

Fig. 7. Diversification par altitude de l'intensité des processus morphogénétiques et les étages morphogénétiques du massif les Monts Dore d'après les courbes hypsographiques relatives N et S de la pente

## 6. Conclusions

Dans la topographie des versants du massif des monts Dore, on peut distinguer différentes générations d'anciennes formes entièrement consolidées par la végétation ainsi que d'autres formes, tout à fait récentes, telles que les niches, les chenaux et les langues des coulées de laves torrentielles.

Ces principaux ensembles de formes ont été créés tout au long de l'Holocène et ils se poursuivent actuellement. Cependant, le rôle morphodynamique de certains processus a été accru récemment en raison de l'activité de l'homme. Ainsi, dans l'étage morphodynamique cryo-nival des monts Dore, il faudrait mentionner, en premier lieu, les processus nivaux liés à la longue présence des plaques de neige (Fig. 7). En second lieu, il faut parler des processus cryogéniques et de la déflation. Un rôle considérable doit aussi être attribué à la glace fibreuse (pipkrakes). Enfin, une place importante doit être réservée à l'activité des précipitations, et en particulier au ruissellement et aux coulées torrentielles. Lors des dernières années, le rôle de ces processus naturels a été amplifié en raison de la dégradation de la couverture végétale.

Sur la base des cartes géomorphologiques des parties les plus élevées du massif des monts Dore, on peut constater que la morphogénèse périglaciaire de cette zone était plus efficace vers la fin de la période glaciaire tardive. À l'époque de l'Holocène, cette zone était la proie des processus nivaux et de l'activité de l'eau des précipitations. Tout au long des trente dernières années, ce massif a été transformé de manière intensive en raison de l'activité de l'homme et par des processus d'érosion et de déposition. Du point de vue de l'ampleur des transformations, cette période pourrait être comparée à celle de la phase de la morphogénèse périglaciaire.

Dans la formation du relief du massif étudié nous pouvons constater que les formes prédominantes des différentes générations sont les niches nivales (Fig. 3). Ces formes prennent des volumes différents. Il en résulte que les processus nivaux jouaient et jouent encore un rôle considérable dans le modelage du relief local. Nous pouvons en conclure que le massif des monts Dore est une zone typique de haute montagne dotée d'un relief nival prédominant au-dessus de la limite supérieure de la forêt. Ce type de relief pourrait être appelé "Mont Dore" et permettrait de compléter la liste des différents types de reliefs de haute montagne établie par G. Galibert (1960), M. Chardon (1984) et L. Kaszowski (1985). Un tel relief de haute montagne du type "Monts Dore" apparaît dans d'autres montagnes du Massif central, par exemple dans les monts du Cantal, le Mézenc, ainsi que dans d'autres montagnes d'Ecosse (Cairngorm).

## Remerciements

Les auteurs remercient sincèrement le professeur Daniel Ricard qui a bien voulu vérifier la traduction française de cet article.

## Bibliographie

- Chardon M., 1984, *L'étagement des paysages et les processus géomorphologiques actuels dans les Alpes occidentales*, Studia Geomorph. Carpatho-Balcan., 18.
- Estienne P., 1989, *Le climat du Puy-de-Dôme*, cartes sur table, Le Puy en Velay.
- Galibert G., 1960, *L'évolution actuelle des "faces Nord" de la haute montagne alpine dans le massif de Zermatt*, Rev. Géogr. des Pyrénées et du Sud-Ouest, 31.
- Izmailow B., 1984, *Eolian deposition above the upper timberline in the Gąsienicowa Valley in the Tatra Mts*, Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geogr., 61.

- Kacprzak L., 1996, *Główne rysy rzeźby masywu le Puy de Sancy (Francuski Masyw Centralny)*, Archiwum IG i GP UJ, Kraków.
- Kaszowski L., 1985, *Rzeźba i modelowanie gór wysokich strefy suchej na przykładzie Hindukuszu Munjan*, Rozpr. Habil., UJ, 94.
- Kaszowski L., 1995, *Carte géomorphologique du Puy de Sancy (Massif central français)*, Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geogr., 99.
- Kaszowski L., Krzemień K., 1989, *Quelques aspects du modelé actuel des monts Dore et des Tatras*, Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geogr., 76.
- Kotarba A., 1972, *Powierzchniowa denudacja chemiczna w wapienno-dolomitowych Tatrach Zachodnich*, Prace Geogr., IG PAN, 96.
- Kotarba A., Kaszowski L., Krzemień K., 1987, *High-mountain denudational system of the Polish Tatra Mountains*, Geographical Studies, Special Issue, 3.
- Krzemień K., 1991, *Le rôle morphogénique des coulées de laves torrentielles dans les monts Dore et les Tatras occidentales, Développement régional en moyenne montagne, Carpates et Massif Central*, CERAMAC, Clermont-Ferrand.
- Krzemień K., 1995, *Le rôle du tourisme dans la transformation des versants du massif des monts Dore*, Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geogr., 99.
- Krzemień K., 2004, *Les transformations contemporaines du lit de la rivière Couze Pavin en Auvergne*, Prace Geogr., IG i GP UJ, 113.
- Lageat Y., Neboit-Guilhot R., 1989, *Les contraintes physiques en moyenne montagne, L'exemple de l'Auvergne et de ses abords*, Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geogr., 76.
- Libelt P., 1995, *Caractérisation des formations superficielles quaternaires dans les monts Dore*, Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geogr., 99.
- Peterlongo J.M., 1978, *Massif Central, Guides géologiques régionaux*, Masson, Paris, New York, Barcelone, Milan.
- Tort M., 1989, *Végétation potentielle, Puy-de-Dôme*, cartes sur table, Le Puy-en-Velay.
- Troll C., 1973, *High mountain belts between the polar caps and the equator, their definition and lower limit*, Arc. Alp. Res. 5, 3, part 2.
- Valadas B., 1984, *Les hautes terres du Massif central français. Contribution à l'étude des morphodynamiques récentes sur versants cristallins et volcaniques*, Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Paris I - Sorbonne.
- Valadas B., 1991, *Sur quelques limites altitudinales dans le Massif central français: héritages et dynamiques actuelles, Développement régional en moyenne montagne, Carpates et Massif central*, CERAMAC, Clermont-Ferrand.
- Varlet J., 1976, *Le modèle d'origine froide sur le flanc oriental des monts Dore*, Mémoire de maîtrise, Clermont-Ferrand.
- Veyret Y., 1981, *Modelés et formations d'origine glaciaire dans le Massif central français*, Atelier de reproduction des thèses, Université de Lille III, 2 t.

## The role of contemporary morphogenetic processes in shaping of the Monts Dore volcanic massif in the Massif Central, France

### Summary

The paper presents results of the research on contemporary morphogenetic processes in the Monts Dore massif in the French Massif Central. Materials on the topic have been gradually collected and processed since 1985, thanks to direct cooperation between the Jagiellonian University's Institute of Geography and Spatial Economy and the Institute of Geography of the University Blaise Pascal of Clermont- Ferrand.

The research area is a typical high-mountain geomorphologic system reaching the altitude of 1886 m and meeting the criteria of Alpine type mountains by C. Troll (1973). This paper aims to define the role of contemporary morphogenetic processes in shaping of high-mountain glacier-free les Monts Dore massif, located in the temperate zone and marine climate.

Along a number of subsequent generations of old relief forms discerned in the topography of the Monts Dore, made stable by vegetation, there are some fresh ones, such as niches, chutes and rubble-flow spouts.

The main groups of those forms originated at some stage of the Holocene age and have continued to develop until the present time. The morphodynamic role of certain processes may, however, increased as a result of human activity. At the cryo-nival stage of the Monts Dore, the principal process is that of nivation processes linked to long-lasting patches of snow. Secondary are cryogenic processes and deflation. Piprakes (ice-fibres) plays a particularly important role. And finally, runoff in the form of rill-wash and rouble-wash plays a part too. In recent years, the role of all these natural processes increased due to a deterioration of the vegetation cover.

Following geomorphologic mapping of the summit part of the massif it can be ascertained that the periglacial morphogenesis of the area during late Glacial Age was the most effective. Later, during the Holocene Age, the area was shaped by nivation and runoff. During the last 30 years, the area experienced a period of extensive transformation as a result of human activity, as well as erosion and deposition. This period is comparable in terms of scale to the periglacial morphogenetic stage.

Nival niches were found to be the dominant land feature of various relief generations. Since these forms are of varied size, the nivation processes seem to have played a very important role in the shaping of the local morphology. It can therefore be said that the Monts Dore is a typical high-mountain area with nival morphology dominant above the tree line. This morphology type could be named after the massif the Monts Dore Type. This type could complement the various high-mountain morphology classifications proposed by other geomorphologists. The "Monts Dore" land relief can also be found elsewhere in the other parts of Massif Central, e.g. at Cantal and Mezanc, as well as in Scotland (Cairngorm).

*Kazimierz Krzemiński, Krzysztof Sobiecki*  
*Institut de Géographie et d' Aménagement du Territoire*  
*Université Jagellonne*  
*Cracovie*  
*Pologne*