

B. VAN VLIET-LANOË*, J. C. FLAGEOLLET**

Vandoeuvre

TRACES D'ACTIVITÉ PÉRIGLACIAIRE DANS LES VOSGES MOYENNES

Abstract

In the middle region of the French Vosges, a compact formation is commonly observed preferentially on south facing slopes. It is a till, usually called the *crassin* which frequently shows a well developed platy structure.

From our observations the structure, and in part the compaction result from the growth of segregated ice lenses. It was formed probably under a melting ice sheet or in a periglacial environment.

Résumé

Dans les Vosges Moyennes, une formation compacte est fréquemment observée sur les pentes exposées au sud. C'est un dépôt morainique qui est ordinairement appelé *crassin* et qui montre très souvent une structure lamellaire bien développée.

D'après nos observations, la structure et aussi, en partie, la compaction résultent de la croissance de lentilles de glace de ségrégation. Celles-ci sont apparues soit sous un glacier en voie de disparition, soit dans un environnement périglaciaire.

INTRODUCTION

En ce qui concerne l'évolution quaternaire des Vosges, les publications traitent essentiellement des effets de l'englacement du massif en faisant accessoirement référence à quelques traces périglaciaires.

L'objet de la présente publication est mettre l'accent sur un phénomène très fréquent dans le bassin de Gérardmer; il s'agit d'une compaction très intense de formation glaciaires ou dérivées, très fréquemment associée à une structure lamellaire. Les gens du pays appellent cela le *crassin*.

Ce phénomène est particulièrement bien observable dans les formations de versant des vallées de la Cleurie, du Chajoux et de la Moselotte (fig. 1). Reste à savoir si ce phénomène est imputable à une action périglaciaire, post-glaciaire, précoce ou tardive, à une action périglaciaire contemporaine de la dernière glaciation, ou simplement à une action proprement glaciaire.

LE CRASSIN ET LES FORMATIONS QUATERNAIRES VOSGIENNES

LE CRASSIN

Comme nous l'avons dit précédemment, le *crassin* est caractérisé par:

1° une compaction de la formation, très prononcée en cas de dessiccation du matériel, ce qui en rend l'extraction pénible même à la pelle mécanique;

* Centre de Pédologie biologique du CNRS, 54500 Vandoeuvre, France.

** Université de Nancy, Laboratoire de Géologie sédimentaire et structurale, Faculté des Sciences, 54500 Vandoeuvre, France.

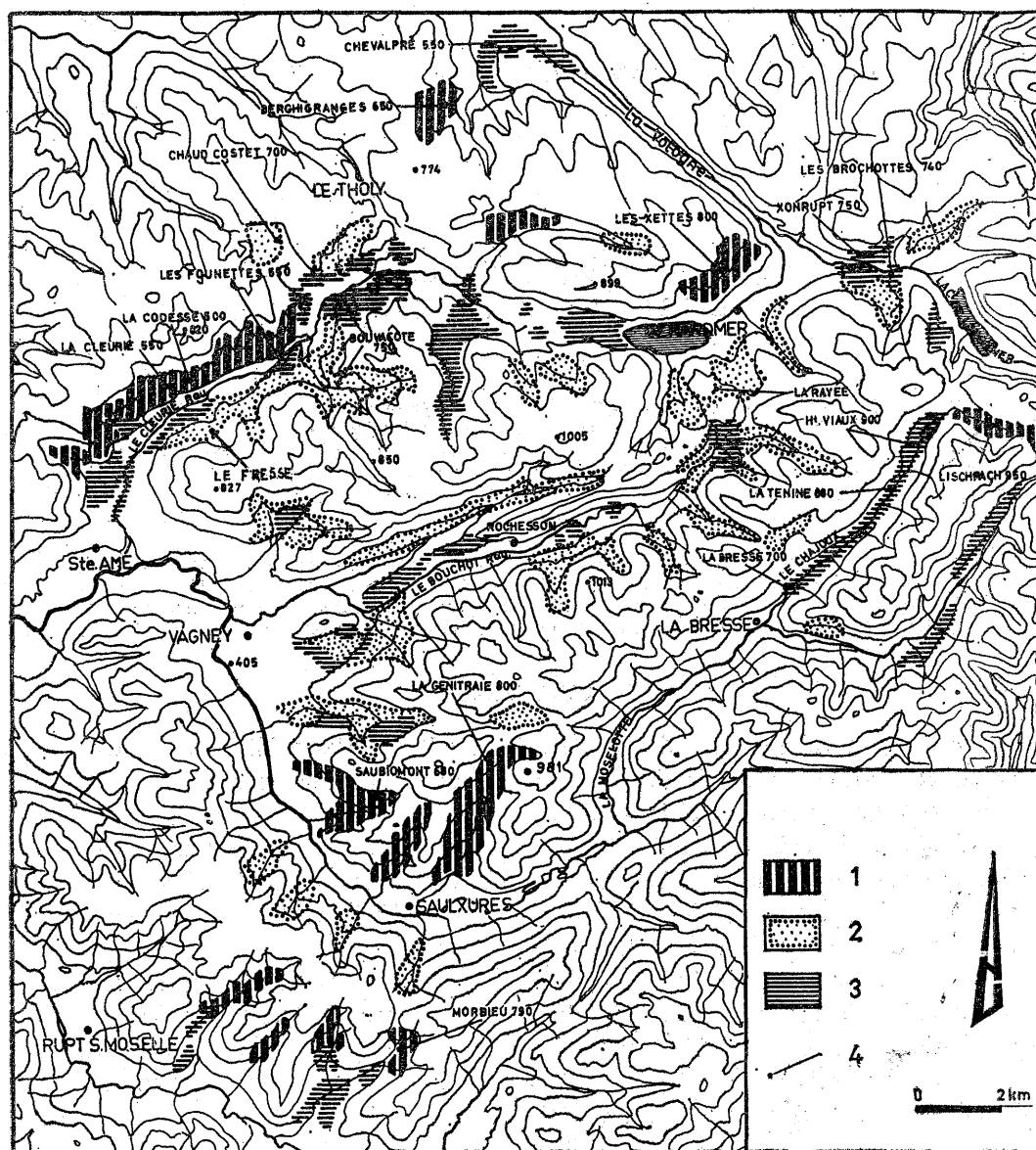


Fig. 1. Etat des formations de versants et de vallées dans la région de Gérardmer (Vosges, France)

1. superposition fréquente d'une formation meuble (moraine) sur une formation compactée; 2. formation meuble dominante; 3. moraines et dépôts fluvio-glaciaires meubles des vallées (moraines frontales, kame ridges, kame terraces); 4. points de prélèvement des échantillons

2° une structure lamellaire vraie, simple ou triée (B. VAN VLIET, 1976) parallèle à la surface topographique (fig. 2), parfois remplacée par un aspect lité ou "en doublet" ou encore en "B en bandes" suite à une illuviation argileuse dans des formations assez sableuses ou arénacées (fig. 3). De toute façon, dans le cas de structure lamellaire triée comme dans celui des doublets, il y a alternance de lits lavés, meubles

et clairs, et de lits compacts, enrichis ou non en argile et limon, nettement plus foncés.

Une caractéristique annexe des structures lamellaires vraies en texture limono-sableuse est la persistance de pores à parois lisses, de taille millimétrique, associés soit à des plans lamellaires soit à la surface de préférence basale de blocs et de graviers;

3° la présence fréquente de coiffes argilo-limoneuses à la surface supérieure des blocs, galets et graviers inclus dans toutes les formations, assez semblables aux accumulations de matériaux fins que l'on observe en cas de structure lamellaire triée.

Ces caractères sont rarement tous réunis sur une même coupe et certaines informations ont pu être obtenues à partir de leur répartitions et de leurs associations. La présence sporadique de figures périglaciaires authentiques et non glacio-tectoniques permet d'affirmer qu'il y a eu sur certaines formations une action importante du gel, postérieure à leur mise en place.

La question est de savoir si cette action peut également rendre compte de la compaction et de la structuration du *crassin* et ceci mérite d'être examiné avec d'autant plus de soin que d'autres interprétations sont à priori possible.

LES FORMATIONS QUATERNAIRES

Les formations étudiées dans le secteur de Gérardmer se présentent en gros selon deux faciès principaux:

- des formations meubles, lavées, composées d'un matériel sablo-graveleux, localement limoneux, riche en gros blocs et dont l'origine est dans la majorité des cas nettement glaciaire;

- des formations compactées de type "crassin", composées d'un matériel sablo-limoneux plus ou moins riche en argiles et en blocs, et dont l'origine sera discutée plus loin.

Il y a fréquemment superposition de la formation meuble sur la formation compactée, mais une des deux formations peut manquer.

Différentes hypothèses sont à priori possibles en ce qui concerne leurs origines:

(1) Il s'agirait de deux formations morainiques d'âge et d'origine distincts, par exemples deux glaciations différentes.

(2) Ce seraient deux formations distinctes, mais de même âge; la formation meuble serait une moraine "d'ablation" ou "moraine lavée" (accumulation de débris intra- et supra-glaciaires après fonte du glacier) et la formation compactée serait une moraine de fond compactée par pression mécanique (M. F. ANDRÉ, 1976).

(3) Il s'agirait d'une seule moraine, compactée à l'origine, mais dont la partie supérieure serait ameublie par l'action de la pédogenèse actuelle.

(4) La compaction et la structure lamellaire résulteraient de phénomènes impliquant la ségrégation de lentilles de glaces en milieu périglaciaire, avec ou sans permafrost ou encore en milieu sous-glaciaire, ceci soit sur formation unique, soit sur deux formations distinctes.

La troisième hypothèse est infirmée par les travaux de M. F. ANDRÉ (1976) qui a étudié ce problème dans la région de Saulxures sur Moselotte: elle a montré que la formation meuble et la formation compactée différaient par la nature pétrographique et l'émousé des blocs, et non pas par une altération plus poussée de l'une ou de l'autre, altération très peu prononcée en tout état de cause; elle a retenu la deuxième hypothèse, c'est-à-dire qu'il s'agirait d'une moraine d'ablation déposée sur une moraine de fond, en référence notamment aux auteurs américains (Till: A symposium, 1971). La compaction est attribuée à une compression mécanique par le glacier ("le glacier était relativement actif lorsqu'il a compacté la moraine de fond" — M. F. ANDRÉ, 1976, p. 56).

Cependant, L. DRAKE (1971) a observé aux U.S.A. une moraine de fond massive et compacte au moment de son décapage, mais dans laquelle une structure lamellaire s'est développée en l'espace de 5 années, progressant graduellement vers le bas; la moraine meuble sus-jacente est également structurée. Il attribue le phénomène au gel post-glaciaire.

D'après nos observations, il semble bien que la structure et vraisemblablement une part de la compaction qui lui est associée soit due à la ségrégation de lentilles de glace dans le sédiment.

Reste à savoir si nous avons affaire à un doublet moraine d'ablation sur moraine de fond comme M. F. ANDRÉ (1976) le propose ou si nous avons affaire à deux formations d'origine et d'âge différents.

LOCALISATION ET TYPES DE DÉPÔTS

LES DÉPÔTS DE FONDS DE VALLÉES

Par dépôts de fonds de vallées nous désignons les moraines terminales *sensu stricto*, les kame ridges, les kame terrasses. Ces deux dernières formations sont presque toujours fortement sableuses et meubles; des niveaux ou lentilles compactes voire structurées, peuvent y apparaître. Néanmoins la compaction est nettement moins importante et moins fréquente que dans les formations de versant.

La moraine terminale des Brochottes d'âge récent probablement Fini-Würm est constituée de blocs, sables, limons et argiles sans stratification ni classement; elle présente une compaction en quelques points plus limoneux, associée à des esquisses de structures lamellaires grossières, plus particulièrement dans la partie amont du rempart. Des coiffes argilo-limoneuses sont observées sur les blocs.

Dans la terrasses de kame de Xonrupt le matériel est très sableux, très meuble; les coiffes sur blocs sont plus rares et peu développées sauf au sommet de la terrasse où des sables limoneux stratifiés sont un peu compactés et structurés; une structure lamellaire assez irrégulière pénètre le dépôt depuis sa surface et est influencée par la stratification du sédiment.

Tout le fond de la vallée du Chajoux est encombré de dépôts assez épais en forme de rides ou de terrasses, qui sont autant de moraines frontales ou de kame ridges (Haut Viaux) et dans lesquels la compaction est peu marquée et peu fréquente; les formations sableuses dominant. Néanmoins, en deux endroits, nous avons pu

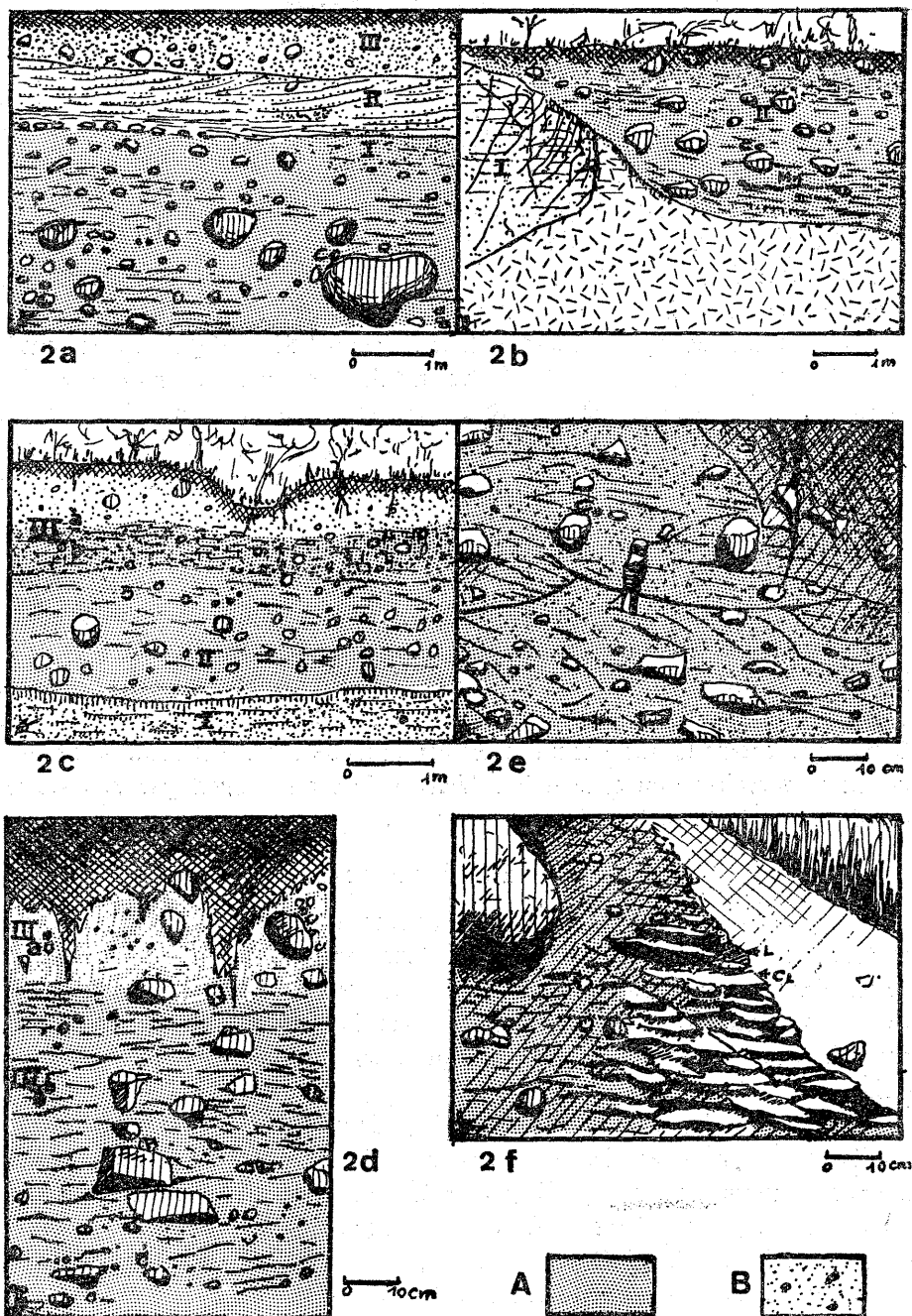


Fig. 2. Crassin (A) et formation meuble lavée (B)

2a: Les Founettes: I — formation compacte rougeâtre et structurée, II — fluvio-glaciaire sableux, III — moraine meuble

2b: Les Xettes: I — granite arénisé *in situ*, II — formation compactée et structurée

2c, d, e; Berchiranges: I — arène avec illuviation argileuse en bande, II — formation compacte à gros blocs, légèrement fluée et très structurée, III — formation superficielle, (a) horizon lavé et bioturbé, (b) horizon illuvial, compact et structuré; 2c. ensemble de la coupe; 2d. détail de III-b; 2e. détail de II; 2f. Cleurie; formation compactée structurée

L — agrégat lamellaire compact, Cl — revêtement limono-argileux, Co — coiffe limono-argileuse, Mn — précipitations d'hydroxydes de fer et manganèse

observer une compaction et une structure lamellaire plus ou moins exprimée : à Laspach dès la surface de l'affleurement et à la Tenine dans une ride avec passées limono-argileuses, jusqu'à 1,50 m de profondeur.

A l'extrémité aval de cette même vallée, un verrou de microgranite est surmonté d'un dépôt épais de plusieurs mètres, hétérométrique, sableux mais mal lavé ; il est disposé en bancs et lits subhorizontaux alternativement fins et grossiers à la base du dépôt et passant progressivement à une formation peu structurée, plus semblable à une moraine s.s. au sommet de la coupe. La compaction s'observe en deux endroits, à la base sur 1 à 2 m de longueur et à 1,50 m d'épaisseur et dans les bancs sablo-graveleux ; l'eau suinte et sort au toit de ces passées compactées. C'est l'exemple d'une compaction qui est, d'une part sans structuration et indépendante de la structure sédimentaire et qui est, d'autre part, en profondeur (5 m sous la surface) en apparence indépendante de la topographie du dépôt dans un niveau riche en fines.

Formant un léger promontoire accroché au bas du versant de la vallée de Cleurie, le dépôt des Founettes est constitué par trois dépôts successifs (fig. 2a) : à la base apparaît une formation très compacte, rougeâtre, assez épaisse, à structure lamellaire simple et grossière plus ou moins accentuée selon la texture du dépôt. Des coiffes minces s'observent à la face supérieure des blocs. Cette formation est surmontée par une formation fluvioglaciale sableuse et blanchâtre, épaisse d'environ 1,50 à 2 m et présentant localement un mince cailloutis de base. Elle inclut des passées limoneuses varvaires non structurées. L'ensemble est recouvert par une seconde formation meuble, manifestement une moraine.

LES FORMATIONS DE VERSANTS

Le long des versants s'observe assez fréquemment la superposition d'une formation meuble, sableuse, riche en blocs, et d'une formation basale, rougeâtre, plus riche en fines, fréquemment compactée et structurée. Ceci est surtout observé sur les versants ou vallons exposés au Sud. Le degré de compaction et de structuration est variable ; une nappe phréatique est fréquemment perchée sur la formation compactée.

Aux Xettes (lotissement des Dryades, Gérardmer ; fig. 2b) une formation irrégulièrement compactée, riche en limons et argiles rougeâtres et pouvant atteindre 5 à 6 m d'épaisseur, comble les irrégularités du socle granitique plus ou moins arénisé. Ici il n'y a pas vraiment de formation meuble en superposition. Cependant, latéralement, à l'extrémité Ouest de la coupe, une moraine très hétérométrique recouvre directement le granite arénisé.

La formation compactée se caractérise par des poches ou des niveaux discontinus plus compacts, montrant une structure lamellaire assez fréquemment triée et discontinue ; cette structure est parfois proche de la surface et les agrégats s'épaississent progressivement vers le bas pour atteindre 2—3 cm d'épaisseur ; leur limite supérieure est nette et régulière, leur base est irrégulière et progressive. Notons également à la base de la formation la présence de coiffes limono-argileuses sur les blocs ainsi que la présence d'hydroxydes de Fe et Mn en revêtements sur certains agrégats ou en lits centimétriques noirs à très forte cohésion.

Par contre, de l'autre côté de Gérardmer, à La Rayée, nous avons à faire à une moraine beaucoup moins compactée avec des passées de matériaux sablo-limoneux rougeâtres ou grisâtres selon la position topographique, compactés et structurés à partir de, et parallèlement à la surface actuelle.

Dans la vallée de la Vologne, à Berchigranges (fig. 2 c, d, e) deux formations ou deux niveaux dans la même formation peuvent être distinguées; une formation supérieure (III) où les gros blocs sont peu abondants. On y observe un profil pédologique avec un horizon épais et homogène enrichi en argiles brun rougeâtre (III B). Un horizon supérieur lavé sur environ 70 cm, perturbé par l'activité de la pédofaune actuelle. Cette formation présente une structure feuilletée triée parallèle à la surface topographique actuelle et s'épaississant progressivement vers le bas. L'horizon enrichi en argile est moyennement compact. Sous cette formation apparaît un matériel de même type (II), quoique plus sableux et plus riche en gros blocs émoussés, très compacté.

La structure lamellaire y est simple, bien développée mais plus grossière que dans la partie supérieure de la coupe et, de plus, oblique. De nombreux pores béants de dimensions centimétriques s'observent soit de manière discontinue le long des plans lamellaires, soit associés à la surface basale des blocs; à la surface supérieure des blocs se trouvent des coiffes argilo-limoneuses très épaisses, tandis qu'à leur base, le sédiment est lavé.

La partie inférieure de la coupe est occupée par une arène "litée" (FLAGEOLLET, 1977) pénétrée par une illuviation argileuse en "B en bandes".

A Cleurie, une formation meuble d'épaisseur variable, manifestement une moraine à gros blocs recouvre une formation rougeâtre compactée et extrêmement structurée contenant des blocs très émoussés, elle-même reposant sur le granite *in situ* plus ou moins altéré. La moraine meuble est très sableuse et massive quoique localement une fine structure lamellaire se manifeste parallèlement à la surface et depuis cette dernière. La formation inférieure est d'autant plus compactée que le matériel morainique est mince. En période humide la cohésion diminue.

La structure lamellaire est extrêmement développée et présente un parallélisme certain avec la pente. L'épaisseur des lamelles augmente progressivement vers le bas où elles peuvent atteindre 3 à 4 cm d'épaisseur, mais leur écartement est de plus en plus prononcé et elles deviennent plus irrégulières et moins compactes. Elles sont recouvertes de revêtements limono-argileux beige-clair, de 2 à 5 mm d'épaisseur et de plus en plus argileux en profondeur; ces revêtements sont associés à d'épaisses coiffes de même nature sur les blocs.

Les observations sur la formation compacte sont valables pour l'ensemble du versant Nord de la vallée de Cleurie quoique dans les creux topographiques la formation soit grisâtre et apparemment déferriée (cf. La Rayée).

Cet aspect se retrouve dans le vallon qui descend au Sud du col de Morbieux.

Dans la vallée de la Cleurie, sur l'autre versant, à Bouvacôte, il y a aussi des dépôts morainiques épais, mais ils sont meubles et sableux; néanmoins ils présentent systématiquement des coiffes limoneuses à limons argileux sur les blocs.

Un cas plus rare de compaction, de surcroît plus modérée s'observe dans certaines formations riches en arène comme à la Carrière de Fresse (fig. 3) en face de Cleurie;

l'arène litée a subi un enrichissement en argiles rougeâtres soulignant une ébauche de stratification ou de structuration en micro "B en bandes" qui imite une structure lamellaire vraie.

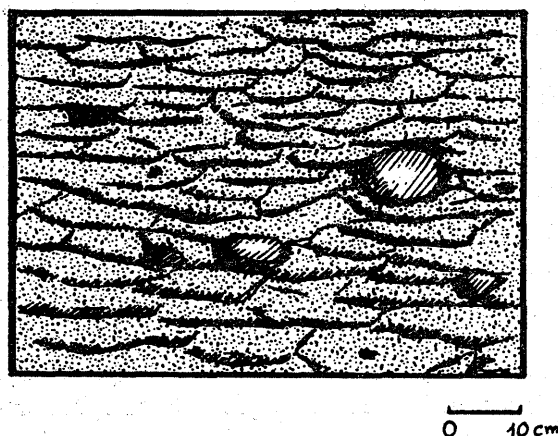


Fig. 3. Schéma de l'illuviation en micro-"B en bandes", Carrière de Fresse

PREMIERS RÉSULTATS ANALYTIQUES

Afin de saisir le mécanisme de formation du *crassin*, divers modes d'investigation ont été mis en oeuvre.

STABILITÉ STRUCTURALE

La composition des matériaux en provenance des agrégats lamellaires compacts rougeâtres n'est pas due à une cimentation par la silice ou des hydroxydes métalliques; en effet, les agrégats séchés se déstabilisent presque instantanément à l'eau; seuls ceux en provenance de Cleurie résistent à l'immersion et présentent une cimentation par hydroxydes amorphes d'Al. Par contre, les agrégats prélevés humides ne se déstabilisent pas à l'eau; cette caractéristique correspond à celle des fragipan (U.S.D.A., Soil taxonomy 1975) et à celle des matériaux ayant subi une ségrégation de glace en lentilles (A. PISSART, 1970).

GRANULOMÉTRIE

(pipette de Robinson, sans dispersant, vallée de Cleurie)

Le tableau ci-dessous indique les pourcentages des diverses fractions, respectivement dans le *crassin* global à Cleurie (1) et aux Founettes (2), dans un niveau de sable compact (3) et dans un niveau de sable (4) aux Founettes et, dans des coiffes et revêtements fins à Cleurie (5).

La texture globale des formations compactées-structurées (1) et (2) est assez voisine à Cleurie et aux Founettes, surtout en ce qui concerne les limons et sables fins; la teneur en particules comprises entre 200 microns et 2 microns avoisine 40 %, alors que le sable compact (3) a une teneur plus faible (33 %) et que le sable lavé (4) a une teneur insignifiante (11,5 %).

	Sables > 200 microns	Sables 200—50 microns	Limons 50—20 microns	Limons 20—2 microns	Argile < 2 microns
(1)	54	20,5	7	12,5	6
(2)	51	18	8	14	9
(3)	62	16	5	12	5
(4)	88	10,5	0,5	0,5	0,5
(5)	8	36	22	33	9

Cette teneur élevée en éléments de la taille des limons et sables fins situe la composition granulométrique des deux dépôts dans la classe des matériaux particulièrement sensibles au gel en mécanique de sols (L. LLIBOUTRY, 1965); en effet la dimension théorique optimale des pores intergranulaires pour la nucléation de glace de ségrégation se situe autour de 50 microns (SHUMSKII, 1964); c'est également ces fractions qui sont les plus mobiles en cas de gel—dégel et elles se retrouvent préférentiellement sur les coiffes et revêtements à Cleurie.

MINÉRALOGIE

(R X sur poudre et microscope électronique à balayage)

La couleur rouge des *crassins* pourrait laisser supposer une "rubéfaction" ancienne des dépôts; il n'en est apparemment rien car la minéralogie de ces formations montre, à Cleurie comme aux Founettes, un héritage d'hématite en provenance du grès vosgien; cette coloration se retrouve ailleurs, par exemple dans les argiles de la moraine fini-Würm des Brochottes; l'héritage du grès vosgien est également très important dans la fraction sableuse (P. VASKOU, 1978). Enfin, la minéralogie des argiles démontre une quasi-absence d'évolution géochimique au sein du dépôt; il y a une nette dominance du quartz, du feldspath, de la muscovite, secondairement quelques minéraux gonflants et des traces de kaolinite; la présence de quartz et de feldspath dans la fraction < 2 microns des poudres différencie nettement ces formations des arènes d'altérations granitiques *in situ* (J. C. FLAGEOLLET, 1976), dans lesquelles le quartz et le feldspath, encore présents dans la fraction limon (2—50 microns) disparaissent dans la fraction inférieure à deux microns; on peut penser qu'il y a eu une microdivision très poussée des minéraux par l'action glaciaire à la suite d'un phénomène d'abrasion par exemple; l'action glaciaire est confirmée par l'observation sur les quartz de traces d'actions mécaniques imputables au glacier telles que figures de broyages, stries, etc. ... (P. VASKOU, 1978); et ces résultats sont en faveur de la nature "moraine de fond" du crassin. Des examens sur la composition minéralogique de la fraction < 2 microns des arènes *in situ* des versants pourraient indiquer s'il y a eu, non pas, ou pas seulement, abrasion, mais microdivision préalable par gel—dégel des minéraux du substrat granitique, avant le transport et le dépôt du matériel.

MICROMORPHOLOGIE

L'étude de quelques lames provenant d'agrégats lamellaires à Cleurie a permis de mettre en évidence l'action du gel; en effet, ces agrégats se caractérisent par une porosité interne extrêmement réduite, et il y a absence de traces d'illuviations classi-

ques des sols (ferri-argilanes — R. BREWER, 1964) *in situ* ou remaniés. Les agrégats sont, par contre, délimités par un réseau de fentes plus ou moins parallèles et sub-horizontales, à parois lisses et non complémentaires; ces fentes présentent parfois un épais revêtement granoclassé et orienté composé de limons et argiles déferriifiés, associés à la face supérieure des agrégats (structure lamellaire triée, B. VAN VLIET, 1976); certains revêtements sont tellement épais qu'ils apparaissent comme stratifiés et peuvent présenter 2 ou 3 couches granoclassées superposées (Morbieu, Cleurie).

Enfin, dans le dépôt de Saubiomont, la présence de vésicules de dégazage (C. B. CRAMPTON, 1965) associée à la structure lamellaire, confirme l'activité de ségrégation de glace en lentilles au sein du matériel.

Sur ces fentes, et postérieurement à la formation de revêtements granoclassés, une illuviation d'argile rouge-sang, bien orientée, fine sur micro- et mésopores, plus grossière sur macropores, obture une part importante des pores interagrégats. Cette illuviation s'observe également dans les micro B en bandes où elle s'accumule sur des discontinuités peu marquées; elle est parfois accompagnée de véritables stratifications entrecroisées dans les macropores-chenaux (carrière d'arènes du Fresse). Ces discontinuités pourraient être dues également à la ségrégation de glace.

CONCLUSION

Ces premières observations permettent de mettre en évidence dans les agrégats lamellaires provenant de Cleurie et de Morbieu une compaction interne qui leur confère une très faible porosité et le caractère granoclassé des revêtements argilo-limoneux. Il n'y a pas d'évidence de cimentation chimique par la silice ou les hydroxydes d'Al, sauf peut-être, de manière modérée, à Cleurie.

Ce granoclassement des revêtements et la présence de pores béants entre les agrégats sont pour l'un d'entre nous (B. VAN VLIET, 1976) la conséquence de l'action répétée de ségrégation de glace en lentilles au sein de la formation; ce qui semble bien corroboré par la régularité des lamelles, par leur parallélisme au versant, par l'accroissement progressif de leurs dimensions et de leur espacement et de la diminution concomitante de leur compacité en profondeur puisque tous ces caractères peuvent s'expliquer par l'amortissement graduel de l'onde de gel lors de sa pénétration dans une formation.

La fréquence de ces agrégats lamellaires sur les versants exposés au Sud, là où le gel—dégel était susceptible d'être le plus actif en milieu périglaciaire, par rapport aux versants exposés au Nord où le gel pouvait subsister plus longtemps dans le sol (fig. 1), voire même y être permanent, sous forme d'un permafrost superficiel (J. KOLASINSKA, 1976), appuie encore cette interprétation de la structuration et, pour partie, de la compaction.

D'autre part, dans des stations comme celle de Cleurie, où la formation meuble qui surmonte le *crassin* est mince, il est possible que le gel—dégel ait atteint celui-ci à travers la formation meuble, rarement structurée et compactée, sans doute parce que trop sableuse; l'hypothèse, avancée par certains auteurs, selon laquelle la forma-

tion meuble serait une moraine "d'ablation", lavée, et selon laquelle le *crassin* serait une moraine de fond, toutes deux appartenant à la même glaciation, ne serait donc pas nécessairement remise en question.

Par contre, si dans une station comme celle des Founettes, les observations ultérieures confirment le rôle essentiel, quoique non exclusif, du gel—dégel en profondeur dans le *crassin*, l'hypothèse ci-dessus devra être reconsidérée. En effet, aux Founettes, les deux formations meubles (moraine sableuse et fluvio-glaciaire) qui surmontent le *crassin*, sont trop épaisses pour que le gel—dégel ait pu s'exercer jusque dans celui-ci; de plus, les lits ou passées argileuses du fluvio-glaciaire ne sont pas structurés par le gel; la structuration du *crassin* par le gel—dégel impliquerait donc, dans cette station, l'absence des formations meubles. Dès lors, deux hypothèses resteraient plausibles: l'une consisterait à envisager l'action du gel—dégel dans le *crassin* sous un glacier en voie de disparition, avant le dépôt des moraines superficielles; l'autre consisterait à envisager un gel—dégel périglaciaire entre deux phases glaciaires, c'est-à-dire une structuration-compaction acquise préalablement à un réenglacement responsable du dépôt de la moraine meuble sus-jacente, et à condition que ce réenglacement n'ait pas détruit la structuration-compaction.

Bibliographie

- ANDRÉ, M. F., 1976 — L'efficacité du travail des glaciers quaternaires dans les vallées supérieures de la Moselle et de la Moselotte. *Mém. Géographie* (Paris I); 97 p.
- BREWER, R., 1964 — Fabric and mineral analysis of soils. New York; 470 p.
- CRAMPTON, C. B., 1965 — An indurated horizon in soils of South Wales. *Jour. Soil Sci.*, 16; p. 230 — 241.
- DRAKE, L. D., 1971 — Evidence for ablation and basal till in east-central New-Hampshire. In: R. P. Goldthwait (ed.): Till, a Symposium.
- FLAGEOLLET, J. C., 1977 — Formations superficielles et relief d'érosion différentielle dans les massifs anciens cristallins: l'exemple du Limousin et de la Vendée du Nord-Ouest. *Sciences de la Terre — Nancy*, 35, Thèse d'état; 461 p.
- KOLASIŃSKA, J., 1976 — Periglacial phenomena in southern zone of permafrost illustrated by example of Transbaikalia. *Acta Geogr. Lodziensia*, 37; p. 125—126 (summary).
- LLIBOUTRY, L., 1965 — Traité de glaciologie. Paris; 1040 p.
- PISSART, A., 1970 — Les phénomènes physiques essentiels liés au gel, les structures périglaciaires qui en résultent et leur signification climatique. *Ann. Soc. Géol. Belgique*, 93; p. 7—49.
- SHUMSKII, P. A., 1964 — Principles of structural glaciology. Trad. Krauss, Dover Publ. Inc.
- U.S.D.A. Soil Survey Staff, 1975 — Soil Taxonomy, a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Washington; 754 p.
- VASKOU, P., 1978 — Etude morphoscopique et exoscopique des quartz de moraines des Vosges Moyennes — Contribution à la classification génétique des moraines. *Mém. D.E.S. Géologie — Nancy*; 60 p.
- VAN VLIET-LANOË, B., 1976 — Traces de ségrégation de glace en lentilles associées aux sols et phénomènes périglaciaires fossiles. *Biuletyn Peryglacjalny*, 26; p. 42—55.