

J. P. LAUTRIDOU \*

Caen

## LA FRACTION FINE DES DÉBRIS DE GÉLIFRACTION EXPERIMENTALE

### Abstract

The amount of fine fraction given by frost shattering depends on the facies: chalk, marls, clayey limestones, argillites and weathered rocks yield a large volume; massive limestones, sandstones, schists and slightly weathered granites furnish little silt. The granulometric curve of the fine fraction is logarithmic or parabolic; only weathered rocks, certain soft schists, argillites and marls give a noteworthy amount of particles smaller than 0.2 micron.

### Résumé de l'auteur

La quantité de fraction fine obtenus par gélifraction varie selon les faciès: les craies, marnes et calcaires argileux, les molasses, les argillites et les roches altérées donnent beaucoup de fines; par contre les calcaires lithographiques, les grès, les schistes, les granites peu altérés libèrent peu de poudres. La répartition des éléments à l'intérieur de cette fraction fine (moins de 50 microns) est logarithmique à parabolique (peu marquée); seules les roches altérées, certains schistes tendres, les argillites, les marnes peuvent fournir une quantité notable de particules au-dessous de 0.2 micron.

Depuis 1965 nous effectuons des expériences de gélifraction au laboratoire de cryoclastie du Centre de Géomorphologie dans deux grandes chambres froides et dans une enceinte thermique Secasi. Dans les deux chambres froides on oppose des gels, respectivement jusqu'à  $-8^{\circ}\text{C}$  et jusqu'à  $-28^{\circ}\text{C}$ , la vitesse de refroidissement et de dégel étant assez lente. Environ 600 échantillons sont traités dans les trois enceintes; ceux-ci proviennent en grande partie de France, mais aussi d'Europe et d'autres régions du monde. Nous n'établirons pas dans cet article un bilan des expériences effectuées depuis quinze ans (LAUTRIDOU, 1976; LAUTRIDOU et OZOUF, 1978) qui ont fait l'objet de nombreuses publications dans les *Bulletins* 5, 6, 9, 10, 13, 19, 21 du Centre de Géomorphologie, dans les rapports internes du laboratoire, et dans des revues françaises (LAUTRIDOU, 1980 a, 1980 b). Nous insisterons plutôt sur les caractéristiques de la fraction fine obtenue par gélifraction en faisant une mise au point regroupant des résultats dispersés dans diverses publications et présentant les recherches en cours, ce thème étant devenu pour nous prioritaire vu son intérêt pour la détermination de l'origine des fines dans les dépôts périglaciaires et dans les loess.

---

\* Centre de Géomorphologie du CNRS, Caen, France.

# IMPORTANCE DE LA FRACTION FINE FOURNIE PAR LA GÉLIFRACTION

Elle dépend avant tout du faciès: dans les roches saines ce sont les craies et les calcaires crayeux, marneux, les molasses qui libèrent le plus de poudres, ainsi que certaines argillites très tendres. La craie peut être réduite en grande partie à l'état de poudres de moins de 50 microns de diamètre (LAUTRIDOU, 1970, 1971, 1976, 1977) alors qu'à l'opposé les calcaires lithographiques en libèrent très peu (moins de 3%; fig. 1: 1—3). Les schistes sains, même s'ils sont gélifs, eux aussi donnent peu de débris fins (fig. 1): en général moins de 2%, excepté les schistes lustrés de Corse (LAUTRIDOU, 1971, 1977; CONCHON, LAUTRIDOU, à paraître), ce que confirment les expériences de POTTS (1970), WIMAN (1963), BROCKIE (1973) et VOISIN (1978). Par contre le gel des schistes altérés peut dégager plus de poudres (fig. 1: 7). De même les granites altérés sont susceptibles de produire par gélifraction des particules de la taille des limons et des argiles, mais uniquement lorsque leur état d'altération est très poussé et que leur cohérence est presque complètement détruite (échelle 4—5 d'OLLIER); sinon on observe des granites à feldspaths jaunis, microfi ssurés, devenus poreux (5 à 10% de porosité), apparemment fragiles (échelle 2 d'OLLIER), qui résistent au gel et qui donnent par écaillage superficiel des grains et granules de quartz et de polyminéraux (LAUTRIDOU, 1977; COUDE, E-GAUSSSEN, 1981; COUDE et LAUTRIDOU à paraître, MARTINI, 1967).

Les grès à ciment argileux ou feldspathique sont capables aussi de donner des fines, mais là encore c'est une fraction minoritaire.

On peut donc dire que la fraction fine obtenue par le gel est très variable et qu'à exception des craies, des marnes et de certaines argillites, elle reste faible dans le cas des roches saines, mais non négligeable. Nous voyons bien sur la figure 1, donnant des exemples de courbes granulométriques globales des gélifractions, qu'à exception de l'argillite (3), des schistes lustrés (5) et de la craie (6) qui fournissent par le gel des débris de toute taille en égale proportion, (courbe logarithmique plus ou moins parfaite), la fraction inférieure à 50 microns se situe à l'extrémité d'une branche de courbe en pente douce; la branche redressée, exprimant la production préférentielle de débris, se situe en général au-delà de 1 mm (excepté les roches altérées): 1 à 5 mm pour le calcaire crayeux de Caen, 0,5 à 2 cm pour les calcaires lithographiques, 0,3 à 2 cm pour les schistes bien que certains faciès schisteux élaborent un matériel non classé (courbe logarithmique: ech. 5, fig. 1; VOISIN, 1978).

La vitesse et l'intensité du gel sont des facteurs qui ne jouent pas un rôle essentiel: un gel intense à  $-28^{\circ}\text{C}$  d'une craie donnera 60% de poudres (moins de 50 microns) contre 50% avec un gel à  $-5^{\circ}\text{C}$ <sup>1</sup> — un schiste précambrien de Lengronne (Basse-Normandie) libère par le gel à  $-28^{\circ}\text{C}$  1 à 3% de poudres contre moins de 1% à  $-8^{\circ}\text{C}$  (fig. 1).

La quantité et la granulométrie de la fraction fine dépend aussi du nombre

<sup>1</sup> Craie sénonienne de Tancarville (Normandie).

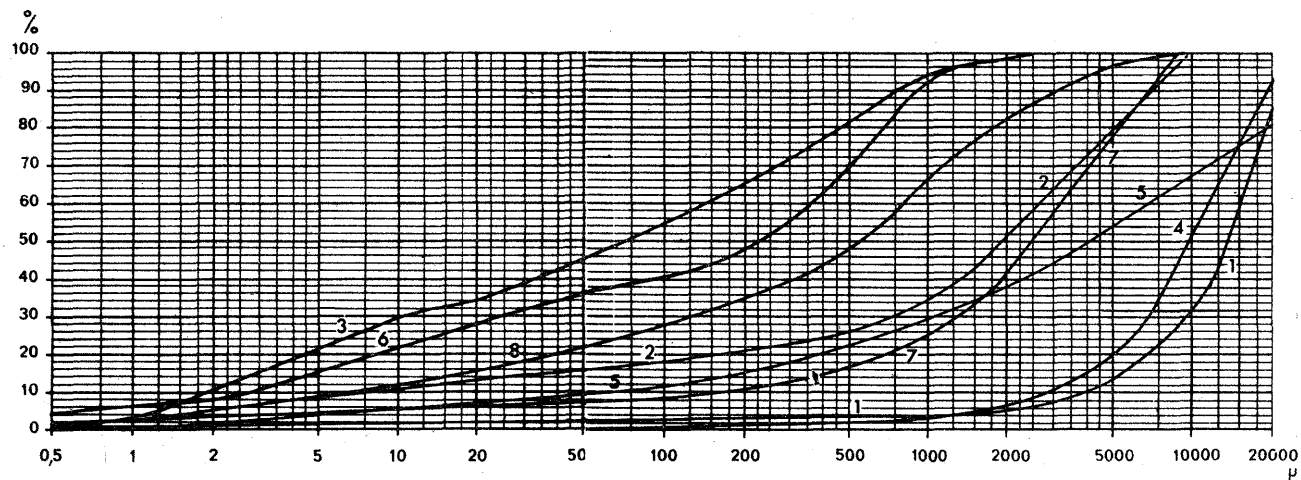


Fig. 1. Courbe granulométrique globale du débris de gélifraction (essais de gel jusqu'à  $-8^{\circ}\text{C}$ )

1. calcaire lithographique de Sonnevill (Charentes) après 500 cycles gel-dégel; 2. calcaire crayeux de Caen (Pierre de Caen, Normandie) après 500 cycles; 3. craie de Tancarville (Normandie) après 500 cycles; 4. schiste-siltstone précambrien de Lengronne (X3) après 1000 cycles, Basse-Normandie; 5. schiste lustré de Corse après 920 cycles; 6. argillite rouge dévonienne de Hyenville (Basse-Normandie) après 1320 cycles; 7. schiste altéré de Mesnil-Herman (Normandie) après 1320 cycles; 8. granite Cadomien très altéré de Grand-Celland (Basse-Normandie) après 1320 cycles

de cycles gel—dégel: en effet l'amenuisement des particules par le gel (commi-nution) est d'autant plus important que le nombre d'alternances augmente. Nous avons écrit (LAUTRIDOU, 1975, 1976) qu'après 300 cycles gel—dégel la commi-nution était pratiquement stoppée. En fait elle se poursuit, mais très lentement, lorsque le froid s'avère suffisant pour geler complètement toute l'eau nécessaire pour imbibier les débris, ce qui n'était pas le cas avec notre précédent protocole de refroidissement jusqu'à  $-5^{\circ}\text{C}$  seulement. Avec les calcaires gélifs la commi-nution est rapide: l'essentiel des débris s'amenuise en 100 à 200 cycles (dans des conditions de saturation et de recharge en eau satisfaisantes); ensuite la commi-nution devient très lente. Avec les schistes qui attendent souvent 200 ou 300 cycles pour se fragmenter (effet de fatigue) l'évolution est moins rapide, et ralentit plutôt après 800 alternances (fig. 2).

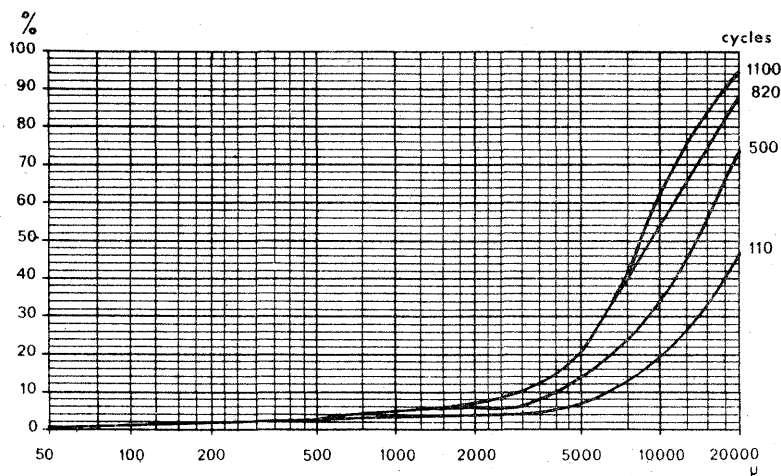


Fig. 2. Evolution de la granulométrie des débris de gélifraction du schiste précambrien de Lençón (gel jusqu'à  $-8^{\circ}\text{C}$ )

#### GRANULOMETRIE DES DEBRIS FINS (MOINS DE 50 MICRONS)

Elle est déjà visible dans la figure 1 où elle est intégrée à la granulométrie globale des débris; mais si on considère uniquement la fraction inférieure à 50 microns (fig. 3) les caractéristiques apparaissent plus nettement. En général la courbe granulométrique est proche de la ligne droite (type logarithmique), en particulier les calcaires (fig. 3:B) dont la courbe dessine parfois une légère inflexion vers la gauche dans la partie inférieure (fig. 3:B, 1 et 3). Par contre la fraction fine des débris de certains schistes (1, 3, 8), de granites altérés (7), est plus calibrée: la courbe se rapproche plus ou moins nettement d'une parabole (fig. 3:A).

Dans le cas des roches siliceuses — excepté pour les granites très altérés (fig. 3:A, 6), ainsi que pour des argillites (8), des schistes lustrés (4) et dans une

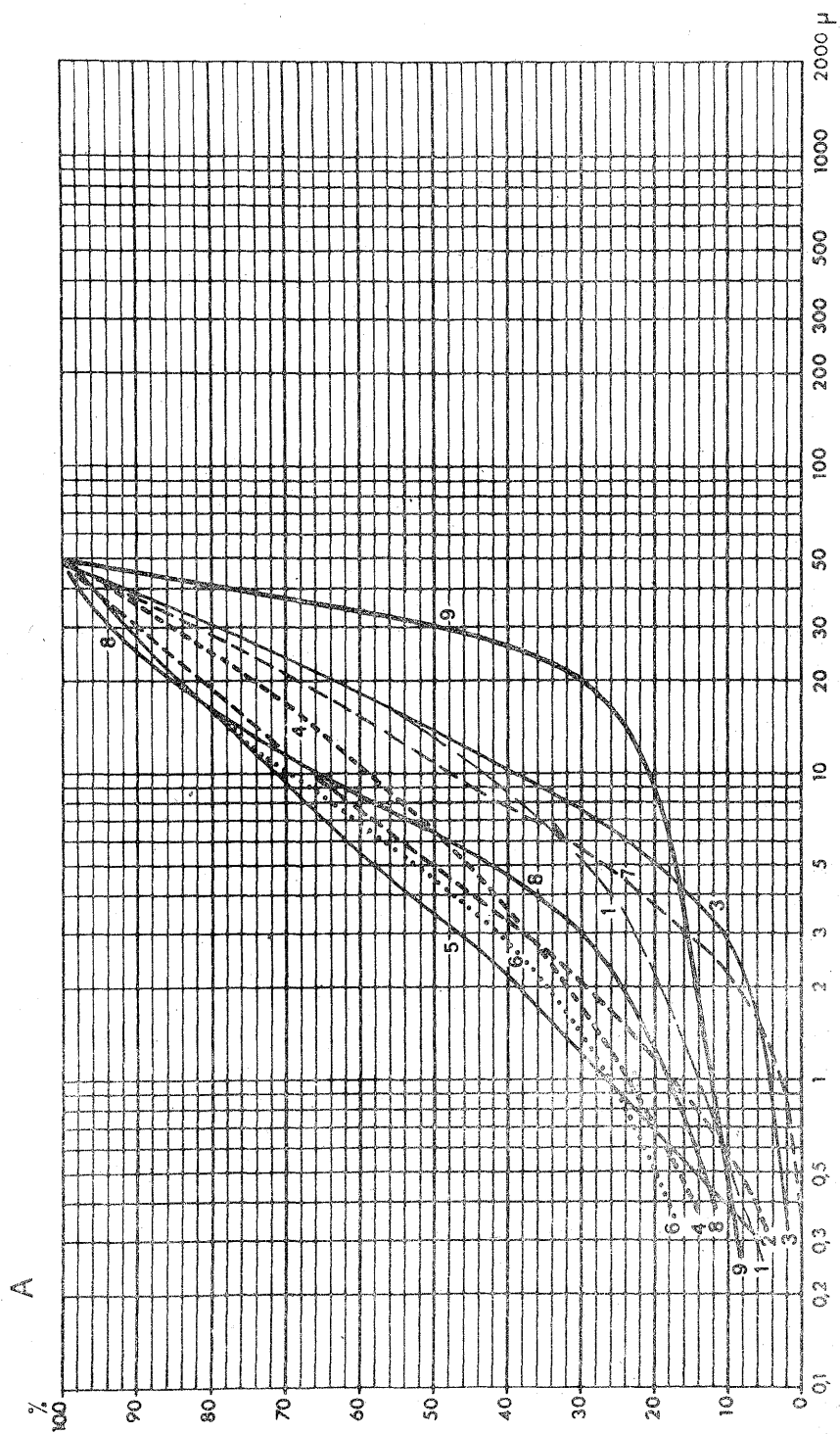
moindre mesure pour les schistes ayant subi auparavant une altération de type chimique nette (5), ou faible (2) — on obtient très peu de particules au-dessous de 0,5 micron (ech. 3, 7, fig. 3:A), ce qui constitue donc en général la taille limite de comminution. Cette limite est valable aussi pour les calcaires (fig. 3:B), excepté pour les roches argileuses (marnes 5 et calcaire crayeux de Caen à fraction argileuse 2).

Nos résultats diffèrent un peu de ceux obtenus par DÜCKER (1937) TROLL (1944), DYLIK, KLATKA (1952), BROCKIE (1963), qui définissent la limite de comminution à 10 (DÜCKER, TROLL, BROCKIE) ou à 6 microns (DYLIK).

Cette taille limite de comminution, c'est-à-dire la taille la plus petite de débris qu'on obtient par le gel, ne doit pas être confondue avec la taille limite de gélifraction: taille limite de fragmentation d'un débris par le gel. Cette dernière est bien plus élevée que la première: par exemple pour le calcaire crayeux de Caen (Pierre de Caen, Normandie) la taille limite de comminution se situe au-dessous de 0,2 micron (fig. 3:B, 2), mais la taille limite de gélifraction se localise selon les expériences actuellement en cours entre 1 et 5 mm (OZOUF, LAUTRIDOU, 1980). Ainsi dans le cas d'une simple alimentation en eau par la base, la taille limite de gélifraction est située entre 5 et 10 mm, les petits parallélipèdes de 5 mm de côté résistant au gel; par contre avec immersion dans l'eau ces derniers éclatent et la taille limite, qui n'est pas encore précisément connue, avoisine 1 mm. De même le calcaire stampien dur d'Etampes (Bassin Parisien) se fragmente assez peu au-dessous d'une longueur de 6 mm et pratiquement plus au-dessous de 1,6 mm: taille limite de gélifraction vers 1 mm 6 (dans un essai avec immersion dans l'eau); par contre une expérience de gel sur un bloc de ce calcaire bien alimenté en eau donnera une courbe granulométrique de débris du type calcaire lithographique (fig. 1, 1 et fig. 3:B, 1) avec des particules jusqu'à 0,5 micron: taille limite de comminution.

Autrement dit les particules de 1 micron ne proviennent pas de l'éclatement d'un débris de 2 micron: en même temps que la roche éclate ou s'écaille pour donner des gros éclats ou des écailles il y a libération, au niveau du plan d'arrachement, de sables et d'éléments de la taille du limon et même de l'argile. Si la limite de comminution est bien connue, la définition de la taille limite de gélifraction nécessite encore des recherches, actuellement en cours, en fonction des faciès et des protocoles de gel. Il en va de même pour les quartz et pour les feldspaths où les résultats des essais sont moins spectaculaires (LAUTRIDOU, LE-GROS, ROBERT, à paraître), mais non négligeables (ST.-ARNAUD, WHITESIDE, 1963).

Par comparaison avec la courbe granulométrique d'un loess on remarquera une différence essentielle: l'importance dans le limon éolien de l'argile fine (moins de 0,2 micron), par rapport à l'argile totale (ce qui donne une pente faible à la courbe, fig. 3:A, 9) alors que c'est l'inverse dans les débris de gélifraction (fig. 3). Dans les loess normands, le rapport argile fine/argile totale dépasse 0,5 (surtout les loess non carbonatés), alors qu'il demeure en deçà dans les produits de gélifraction (LAUTRIDOU, 1979).



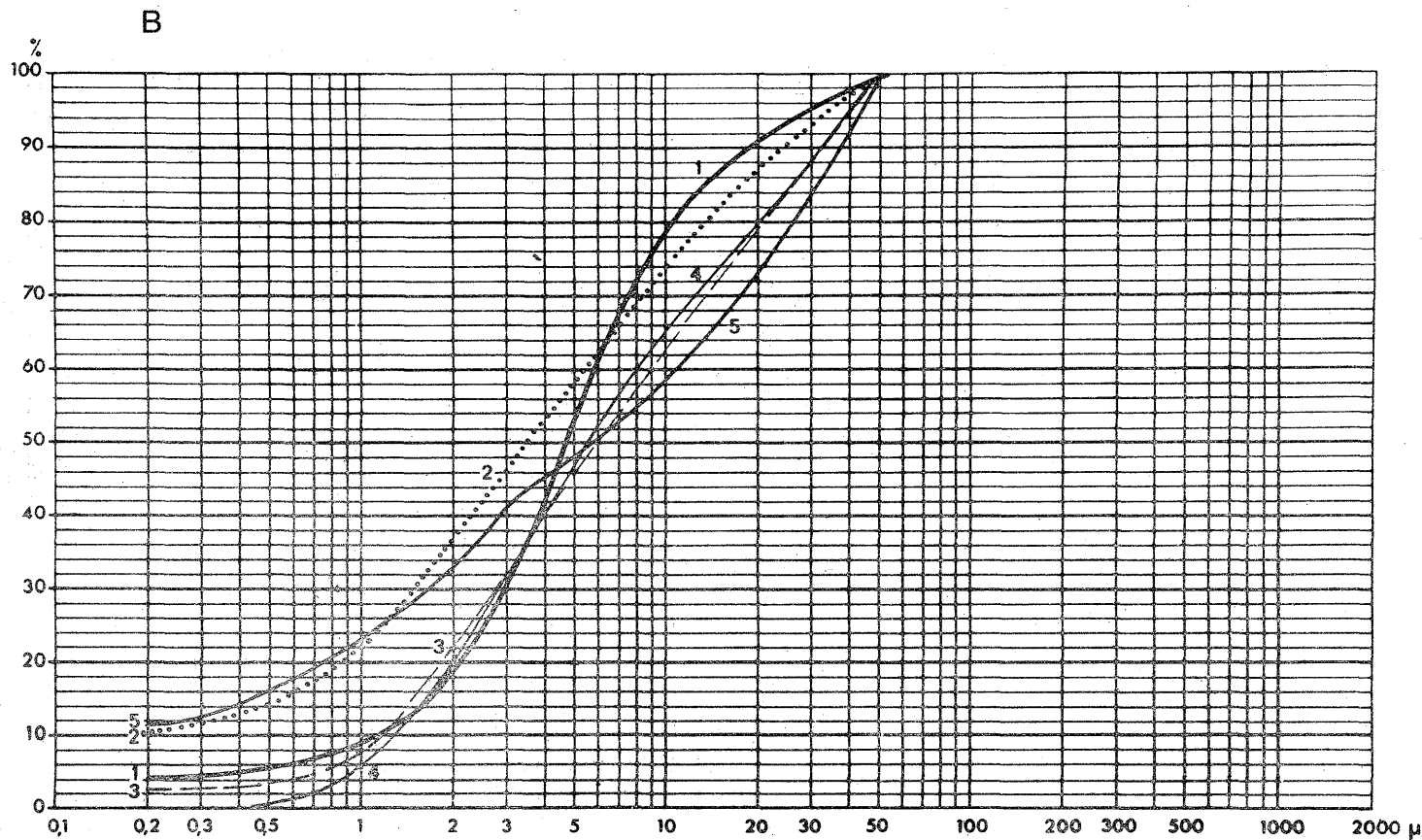


Fig. 3. Granulométrie comparée de la fraction fine (inférieure à 50 microns) des produits de gélifraction (gel jusqu'à  $-10^{\circ}\text{C}$ ) et du loess de Normandie

A — roches siliceuses : 1. schiste de Lengronne après 820 cycles; 2. schiste légèrement altéré du Pays de Galles (Morfa Bycham) après 1130 cycles (ech. WATSON); 3. schiste lustré de Corse après 920 cycles (ech. CONCHON); 4. schiste lustré de Corse après 920 cycles (ech. CONCHON); 5. schiste altéré de Mesnil Herman après 1320 cycles; 6. granite très altéré de Grand-Celland après 1320 cycles; 7. granite très altéré de Hamelin (Basse-Normandie) après 1320 cycles; 8. argillite de Hyenville, après 1320 cycles; 9. comparaison avec la courbe d'un loess normand (St. Romain) non carbonaté

B — roches carbonatées après 500 cycles: 1. calcaire lithographique de Sonnevill (Charentes); 2. marne de Coursac (Charentes); 3. craie du Petit-Nontbron (Charentes); 4. craie de Tancarville (Normandie); 5. calcaire crayeux de Caen (Normandie)

## FORME ET MINÉRALOGIE DE LA FRACTION FINE

Les limons obtenus par gélifraction sont anguleux (comme les sables) et aplatis dans le cas des calcaires. Mais il reste à faire encore des progrès dans l'étude morphoscopique et exoscopique, en particulier des quartz.

Au point de vue minéralogique il est intéressant de signaler que la gélifraction des schistes et des granites (altérés) fournit du quartz et du feldspath fins. Par exemple les analyses diffractométriques montrent une production de quartz essentiellement avec un peu de feldspath pour les schistes de Normandie, du Pays de Galles (échantillons WATSON) et de Corse (échantillons CONCHON). Les granites altérés donnent non seulement du feldspath et du mica comme nous le pensions, mais aussi du quartz. Avec les granites de Normandie et du Portugal (COUDE-GAUSSÉN, 1981; COUDE, LAUTRIDOU, à paraître) il y a presque autant de quartz que de feldspaths dégagés par le gel; certes, par rapport à la composition initiale du granite il y a une libération plus importante de feldspath, mais le fait majeur nous paraît être la production de petits quartz par exploitation de microfissures. Non seulement on observe du quartz de la taille du limon, mais dans le granite gélivé du Portugal il s'en trouve aussi audessous de 2 microns, dans une proportion évidemment beaucoup plus faible que dans la classe des silts; de plus de l'argile d'altération, libérée par le gel, se retrouve dans la fraction inférieure à 2 microns des produits de gélivation des granites normands et portugais.

On peut conclure en insistant sur l'intérêt de ces expériences de gélifraction pour la connaissance de la fraction fine fournie par le gel. Dans le cadre des discussions actuelles sur l'origine des limons (en particulier dans les revues anglo-saxonnes), il est possible d'affirmer que le gel de roches saines peut, dans des bonnes conditions d'humidification, donner de la fraction fine en quantité non négligeable, mais cependant faible, excepté les faciès crayeux et argileux tendres qui libèrent beaucoup des particules dans la taille des silts et des argiles grossières. De plus les roches siliceuses altérées peuvent apporter par gélifraction beaucoup de fines. On expliquera ainsi l'abondance des poudres dans les dépôts de solifluxion (type *head*) du début Saalien et Vistulien en Normandie, le gel ayant désintégré une roche altérée pendant l'interglaciaire précédent. De plus la gélifraction peut avoir alimenté les loess en limon et même en argile grossière, mais pas en argile fine, excepté le cas des argillites, des marnes et des roches altérées.

## Bibliographie

- BROCKIE, W. S., 1973 — Experimental frost shattering. *Proc. 7 th New Zeal. Geogr. Conf., New Zeal. Geogr. Soc., Hamilton, 1972, Conf. Ser., 7*; p. 177—186.
- COUDE-GAUSSÉN, G., 1981 — Les enseignements de la cryoclastie expérimentale. In : *Les Serras da Peneda et do Geres (Minho Portugal). Formes et formations d'origine froide en milieu granitique*. Mem. Centro estudos Geogr., Univ. Lisboa; p. 145—153.



- CONCHON, O. 1975 — Expériences de gélifractions sur des schistes de Corse. *In* : Les formations quaternaires de type continental en Corse. Th. Sci. Nat., Paris, vol. I, p. 302—306, vol. II, p. 201—209.
- DÜCKER, A., 1937 — Über Strukturböden im Riesengebirge. Ein Beitrag zum Bodenfrost- und Lössproblem. *Ztschr. Dtsch. Geol. Ges.*, 89; p. 113—129.
- DYLIK, J., KLATKA, T., 1952 — Recherches microscopiques sur la désintégration périglaciaire. *Bull. Soc. Sci. Lettr. de Łódź*, 3; 12 p.
- LAUTRIDOU, J. P., 1970 — Gélivité de la craie de Tancarville: le head de l'estuaire de la Seine. *Bull. Centre de Géomorph.*, 6; p. 45—62.
- LAUTRIDOU, J. P. 1971 — Le comportement au gel des schistes, des grès et des roches métamorphiques de l'Avranchin; le head de Saint-Jean-le-Thomas. *Bull. Centre de Géomorph.*, 10; p. 43—62.
- LAUTRIDOU, J. P., 1976 — Les expériences de cryoclastie. *Bull. Centre de Géomorph.*, 26; p. 21—28.
- LAUTRIDOU, J. P., 1977a — Intérêt des expériences de cryoclastie sur les craies, les calcaires lithographiques et les silex de l'estuaire de la Seine. *Bull. Soc. Géol. Norm.*, 64; p. 97—102.
- LAUTRIDOU, J. P., 1977b — Recherches de gélifraction expérimentale sur des faciès variés de l'Avranchin, du Sud-Coutançais et du Mortainais. *Bull. Soc. Linn. Norm.*, 105; p. 57—68.
- LAUTRIDOU, J. P., 1978 — La cryoclastie. *Bull. Centre de Géomorph.* 23; p. 47—56 (version réduite), et en version complète, 41 p., Centre de Géomorph.
- LAUTRIDOU, J. P., 1980a — Les recherches de gélifraction expérimentale du Centre de Géomorphologie du C.N.R.S. VIe. *Congrès de la Fond. Fr. Et Nord., Le Havre 1975*, Aguirre—Puente edit., Mendon; p. 103—110.
- LAUTRIDOU, J. P., 1980b — Liste des publications du laboratoire de cryoclastie. *Centre de Géomorph.*; 6 p. ronéo.
- LAUTRIDOU, J. P., et OZOUF, J. C., 1978 — Relations entre la gélivité et les propriétés physiques (porosité, ascension capillaire) des roches calcaire. *Coll. internat. UNESCO-RILEM. Altération et protection des monuments en pierre, Paris 5—9 juin, 1978*; 15 p.
- MARTINI, A., 1967 — Preliminary experimental studies on frost weathering of certain rock types from the West Sudetes. *Biul. Peryglacjalny*. 16; p. 147—194.
- MC DOWALL, I. C., 1960 — Particle size reduction of clay minerals by freezing and thawing. *New. Zeal. Journ. Geol. Geophys.*, 3; p. 337—343.
- OZOUF, J. C. et LAUTRIDOU, J. P., 1980 — Deux expériences de gélifraction: détermination de la taille limite de gélifraction des débris et formation de galets craquelés. *Rapport interne lab. cryoclastie, Centre de Géomorph.*, 10.
- PANCZA, A. et LAUTRIDOU, J. P. 1974 — Gélifraction artificielle sur quelques molasses en Moyen Pays Suisse. *Bull. Soc. Neuch.*, 44; p. 89—99.
- PANCZA, A., 1979 — La gélifraction de quelques roches jurassiennes. *In* : Contribution à l'étude des formations périglaciaires dans le Jura. Thèse, 1975, Neuchâtel, Fac. Sci; p. 59—99.
- POTTS, A. S. 1970 — Frost action in rocks. Some experimental data. *Trans. Inst. Geogr.*, 49; p. 109—124.
- ST.-ARNAUD, R. J. et WHITESIDE, E. P., 1963 — Physical breakdown in relation to soil development. *Jour. Soil. Sci.*, 14; p. 267—281.
- TRICART, J., 1956 — Etude expérimentale du problème de la gélivation. *Biul. Peryglacjalny*, 4; p. 285—313.
- TROLL, C., 1944 — Strukturböden, Solifluktion und Frostklimate der Erde. *Geol. Rundschau*, 34; p. 545—694.
- VOISIN, L., 1978 — Les expériences de gélifraction artificielle. *In* : Le modelé schisteux en zones froides et tempérées. Thèse, p. 120—197.
- WIMAN, S., 1963 — A preliminary study of experimental frost weathering. *Geogr. Ann.*, 45; p. 113—121.