

Les recherches expérimentales au Centre de Géomorphologie du CNRS a Caen

par A. JOURNAUX *

I. HISTORIQUE

Le Centre de Géomorphologie a été construit à Caen en 1964 par le Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS). Depuis 10 ans qu'il est en fonctionnement, quelques modifications ont été apportées à l'organigramme, mais le buts définis lors de sa création demeurent les mêmes :

1.º) étude des processus de désagrégation mécanique et de décomposition chimique des roches sous les différents climats, reconstitués en milieu artificiel et contrôlé;

2.º) recherches sur les produits d'altération constituant les formations superficielles;

3.º) construction de modèles réduits en vue de l'analyse des processus de transport et d'érosion par le gel, les eaux courantes, etc.

D'où l'organisation du Centre en deux parties : les laboratoires d'analyses, et les halls et salles d'expérimentation.

Sous la direction de ANDRÉ JOURNAUX, 40 Chercheurs et Techniciens à temps complet conduisent les travaux suivant des programmes établis par un Comité de Direction au profit de Chercheurs regroupés en Commissions par thèmes, parfois au profit de Chercheurs isolés qui n'ont ni les moyens matériels, ni le personnel suffisants pour atteindre les résultats escomptés. Ces recherches font l'objet d'une publication de "Bulletins", sans périodicité fixe, mais dont chaque numéro traite d'un seul sujet : résultats d'expériences, recherches sur le terrain (en liaison avec le programme du Centre : en Normandie d'abord, mais étendu au Brésil tropical à partir de 1970, et à l'Arctique américain ultérieurement), cartes des formations superficielles, etc. On en trouvera la liste en annexe.

II. LES LABORATOIRES D'ANALYSES ET DE MESURES

Jusqu'à une date récente, le Centre de Géomorphologie a joué en France et dans quelques pays

étrangers un rôle pilote pour les laboratoires d'Université. C'est ainsi que des Chercheurs et des Techniciens supérieurs sont venus confronter leurs méthodes et compléter leur expérience au cours de stages. Des moyens techniques, de méthodes d'analyses ont été ainsi homogénéisés, le Centre de Géomorphologie ayant lui-même préalablement bénéficié d'une telle formation dans des laboratoires scientifiques, sous le contrôle de Chercheurs éprouvés.

Actuellement, en raison du grand nombre de petits laboratoires créés en France, ce rôle tend à diminuer ; de même celui de "service" pour des Chercheurs isolés. Il reste cependant le centre pour géomorphologues le mieux équipé en matériel lourd et coûteux, et, pour les analyses spécialisées, le plus apte à répondre aux nombreuses demandes.

Les laboratoires d'analyses physiques et chimiques sont du même type que ceux qui peuvent exister dans d'autres lieux de recherches, mais ils sont rassemblés ici sous un même toit pour répondre à la demande des géomorphologues français ou étrangers, et également à celle des géologues quaternaristes, des pédologues, etc.

1.º) *Le laboratoire de granulométrie et d'analyses physiques des eaux* effectue tous les travaux sur les sols et les produits d'altération des roches, sur les roches elles-mêmes, ainsi que sur les produits en suspension dans les eaux. L'équipement y est classique : pipettes Robinson en chambre homotherme, pipettes Andreasen à bain-maire, balance de sédimentation Martin, compteur électronique de particules, etc.

Pour les analyses de charge solide dans les eaux, on utilise une centrifugeuse Christ à rotor continu.

A ce laboratoire est rattaché un service de fabrication de plaques minces et de porosimétrie des roches.

2.º) *Le laboratoire d'analyses des argiles* comprend un ensemble d'appareils d'analyses thermiques et de diffractométrie par rayons X.

L'appareil d'analyses thermiques différentielles et la thermobalance sont de fabrication française, tandis que le diffractomètre est de la marque Philipps.

* Professeur à l'Université de Caen, Directeur du Centre de Géomorphologie.

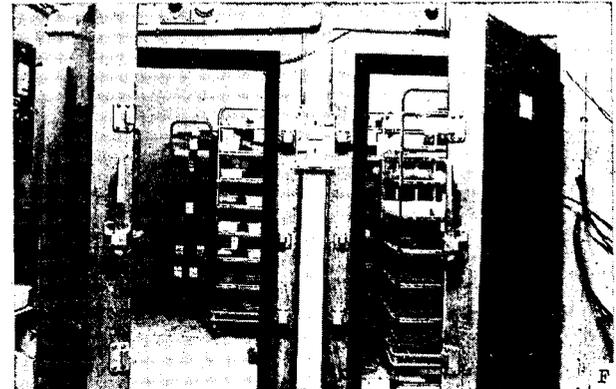
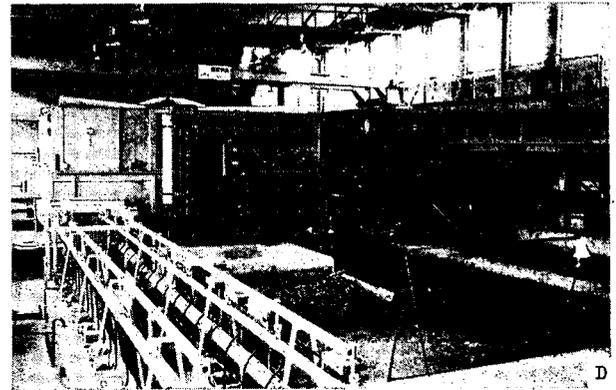
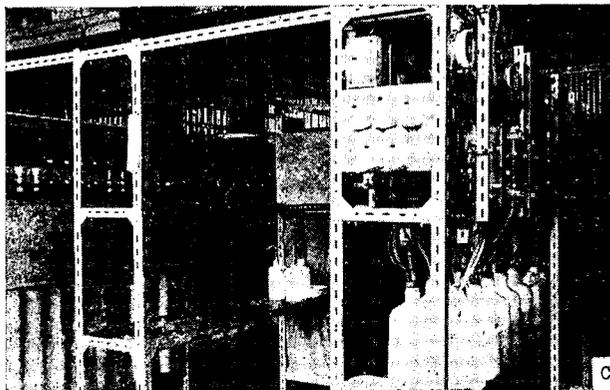
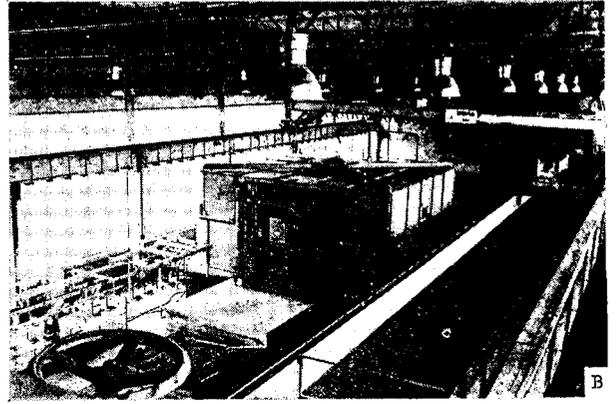
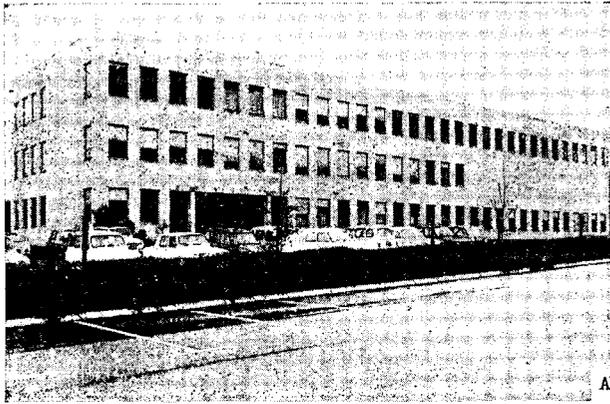


FIG. 1. — A) Le Centre de Géomorphologie du CNRS à Caen. B) Hall d'expériences: à droite: chenal hydraulique; au fond: sols gelés; à gauche: thermoclastie. C) Expériences de percolations. D) Hall d'expériences: à gauche: thermoclastie; au fond à gauche: sols gelés; au fond à droite: chenal hydraulique. E) Expériences de cryoclastie. F) Chambres froides de cryoclastie.

3.) *Le laboratoire d'analyses chimiques* est doté d'un appareillage moderne et fonctionnel, permettant d'effectuer le maximum de travail avec un personnel réduit. L'originalité réside dans l'utilisation permanente de l'Auto-analyseur Technicon pour tous les do-

sages pouvant être effectués par colorimétrie et photométrie de flamme (soit une quinzaine d'éléments parmi les plus courants), à la cadence de 40 à 60 échantillons par heure.

4.) *Le laboratoire de palynologie* a été créé il y

a deux ans et commence à être fonctionnel. Il est spécialisé actuellement dans le Quaternaire de l'Europe du Nord-Ouest.

5.) Il faut noter qu'un *laboratoire de minéraux lourds* équipé, est actuellement hors service, faute de Technicien.

6.) *Le service de mesures électroniques* complète enfin ces laboratoires. Un central de mesures Solartron a été installé depuis quelques années; on en augmente progressivement les possibilités: actuellement à 100 voies de mesures, il atteindra prochainement 1.000 voies. Il permet de suivre automatiquement et en continu des expériences dans tout le bâtiment, et d'enregistrer simultanément sur machine à écrire, sur bande perforée et sur bande magnétique. Cette dernière peut à son tour être introduite dans un petit calculateur Wang, couplé avec une table traçante (qui traduit ainsi les mesures directement en courbes).

III. LES HALLS ET SALLES D'EXPÉRIMENTATION

La partie la plus originale du Centre de Géomorphologie concerne l'expérimentation.

En géomorphologie, il y a, semble-t-il deux façons d'aborder ces problèmes:

1.) Soit en cherchant à recréer un phénomène observé dans la nature, mais dont la rapidité d'évolution est inconnue. On doit alors reconstituer la totalité des facteurs mis en cause, et, pour cela, connaître ceux-ci avec la plus grande précision. Ce n'est donc pas le résultat qui compte, puisqu'on peut l'observer plus commodément dans la nature, mais vérifier le comportement d'un matériel par des mesures et des observations continues: par exemple la migration de l'eau dans les sols gelés, ou la rapidité de la gélifraction de certaines roches prises en un site donné.

2.) Soit en isolant un paramètre parmi d'autres, et dans ce cas cerner le processus déterminant: par exemple définir le rôle des températures dans la mise en solution de certaines bases par percolation continue, ou préciser le rôle de la porosité dans la gélifraction de différents types de roches.

Par ces quelques exemples, on voit quelles sont les difficultés à résoudre avant d'entreprendre une série d'expériences: soit que les données exactes du milieu à reconstituer manquent, soit que la durée trop longue de l'expérience limite considérablement l'intérêt de l'entreprise.

A notre connaissance, rares sont les laboratoires orientés vers de telles préoccupations. Lorsqu'ils existent, ils ne concernent qu'un seul type d'expérimentation, et la plupart du temps dans un but appliqué, ce qui élimine les recherches fondamentales peu rentables dans l'immédiat: on citera, par exemple, les essais de gélivité des roches dans les centres d'essais de matériaux de construction, l'étude de la résistance des matériaux pour les routes, les stations créées pour

l'étude hydrologique des cours d'eau ou les modèles réduits pour l'étude de l'alluvionnement. C'est, par contre, auprès des pédologues que les recherches sur les altérations ont été menées le plus loin, et c'est à eux que furent empruntés les premiers protocoles de percolation.

Actuellement six séries d'expérimentation sont menées à Caen. Les résultats ne seront pas détaillés ici, car ils font l'objet du Bulletin n.° 21 (sous presse) intitulé: "Dix années d'expériences au Centre de Géomorphologie (1964-1974)".

1.) *Les expériences de cryoclastie*: deux chambres froides de 30 m³ et 20 m³ et plusieurs enceintes thermiques sont susceptibles de recevoir 2.000 échantillons de 1 à 2 kg chacun, portés par lots de 100 sur des chariots. Les températures peuvent descendre jusqu'à -35 °C en 24 heures.

Les roches traitées sont très diverses: calcaires, grès, schistes, granites, basaltes. Avant l'expérimentation, on en mesure la porosité, le poids sec, le volume, le poids spécifique apparent, de poids après immersion dans l'eau, le poids après immersion progressive sous vide, le volume total des pores et leur granulométrie. Pour éliminer les cas anormaux, le principe est de toujours traiter 10 échantillons de la même roche.

Les températures oscillent, suivant les protocoles de -35 °C à +20 °C ou de -5 °C à +15 °C. Toutes les 10, 20, 50 alternances, les débris sont recueillis, analysés, mesurés, tandis que les échantillons sont séchés, pesés et comparés. On a pu ainsi mettre en évidence l'influence des types de gel.

La texture et la microstructure de la roche interviennent dans la cryoclastie, et des essais de classification ont été entrepris afin d'établir une échelle de gélivité des roches et un classement granulométrique des gélifracés (J. P. LAUTRIDOU).

Au cours d'une première phase de recherches, on a surtout porté l'attention sur l'étude des migrations de l'eau pendant le gel et le dégel, d'après la taille et le nombre des pores, l'extrusion de l'eau et de la glace pendant le gel, la cryosuccion, l'ascension capillaire, la perméabilité, la teneur en eau.

Des essais ont été réalisés sur différentes roches à des températures variées. Les cycles sont nombreux (200 au moins) pour aboutir à une fragmentation. On peut donc mesurer la vitesse d'amenuisement par gélifraction et la broyabilité des roches (proportion plus ou moins grande des poudres de 20 à 100 µ).

Actuellement, le laboratoire de cryoclastie s'oriente vers l'étude des mécanismes du gel: résistances mécaniques, fissurations observées sur lames minces, forme des pores vus au microscope électronique, étude des contractions et dilatations au-dessous de 0 °C.

2.) *Les études de propagation du gel dans différents milieux*: trois types d'expérimentation ont été poursuivis depuis dix ans.

a) Grâce à une enceinte thermique de grande dimension et mobile en deux parties, on a pu soumettre un bloc de granite de 4 Tonnes à l'action d'un air refroidi à -35°C . On a ainsi vérifié les lois mathématiques de la propagation des ondes thermiques jusqu'au coeur de la roche, exposée d'abord sur 5 faces, puis sur une seule face, en milieu sec, puis humide. Mais la solidité du bloc n'a pas été ébranlée, la porosité de ce granite sain étant presque nulle.

b) Sur deux modèles de sols reconstitués (limons et sables) dans des bacs imperméables et isothermes de 25 m^3 chacun ($5\text{ m} \times 5\text{ m} \times 1\text{ m}$ d'épaisseur), et soumis à des températures de -35°C soit en surface (par air pulsé), soit par le fond (serpentin), on a pu réaliser de nombreuses expériences (A. JOURNAUX et J. P. COUTARD).

En conservant une bonne alimentation en eau libre à la base des modèles, on a contrôlé et mesuré la migration capillaire de l'eau vers le front de gel et suivi la rapidité de formation des lentilles de glace de ségrégation, en liaison avec la progression saccadée du front de gel.

Grâce au serpentin, on a pu maintenir le "permafrost" ainsi obtenu, et observer certains phénomènes lors de la fonte superficielle du sol: le mollisol libère une quantité d'eau considérable (évaluée à une tranche d'eau équivalant à 40 mm précipitations), occasionnant un ruissellement actif en surface, puisque cette eau ne peut s'infiltrer dans le sous-sol gelé imperméable.

De nombreuses fentes ont été observées: certaines proviennent de la dessiccation des limons, d'autres sont dues au retrait du milieu minéral sous l'action des basses températures (fentes de gel).

Enfin des phénomènes de plications et d'involutions ont pu être notés, surtout lorsque le gel affectait des couches de sol de granulométrie et de teneur en eau différentes.

c) Un tunnel de 20 m de longueur sur 8 m de large a été construit par le Centre de Géomorphologie et mis à la disposition du Laboratoire National des Ponts-et-Chaussées. Il a les mêmes caractéristiques techniques que les modèles de sols décrits précédemment. Les Ponts-et-Chaussées y ont poursuivi des études de structures routières résistant au gel, et y ont testé des capteurs de pression et d'humidité nouveaux.

Ces travaux de recherche doivent se terminer en 1975. A partir de 1976, ce tunnel sera équipé pour de nouvelles expérimentations sur les phénomènes de glissement en masse et de solifluction sur sols gelés.

3°) *Les expériences de thermoclastie*: longtemps discutés, voire niés, les phénomènes de thermoclastie sont étudiés à Caen sur 60 échantillons à la fois; ils sont portés par des petites nacelles d'un téléphérique, qui les plonge alternativement dans de l'eau chaude à $+75^{\circ}\text{C}$ et dans de l'eau froide à $+15^{\circ}\text{C}$ (1ère expérience), ou bien les soumet à un rayonnement d'infra-

rouges avant de les refroidir brusquement sous l'effet d'une petite pluie (2ème expérience en cours).

La première expérience a permis de tester le comportement de grès quartzites, de granite et de silex, soumis à de brusques variations de températures, alternativement des chocs "chaud-froid" et des chocs "froid-chaud". Tandis que les grès quartzites sont restés intacts au-delà de 40 000 chocs, les granites ont fourni de petites écailles; mais les silex apparemment intacts jusqu'à 25 000 chocs, se sont mis brusquement à se fragmenter, illustrant ainsi la "notion de seuil" dans la fatigue de la roche. (A. JOURNAUX et J. P. COUTARD).

La deuxième expérience devrait permettre de déceler si les échantillons, prélevés sur un reg au Sahara, sont encore susceptibles de fragmentation.

4°) *Les expériences de percolation*: afin d'étudier et de mesurer la perte de substance d'une roche ou d'un sol sous l'effet de la percolation des eaux de pluie, on a soumis dans des tubes de plexiglas des petits fragments de roches variées (granites, grès basaltiques, schistes, micaschistes, roches vertes) à des protocoles différents. Les températures sont fixes pour chaque enceinte: $+30^{\circ}\text{C}$, $+50^{\circ}\text{C}$ ou $+70^{\circ}\text{C}$. L'action de l'eau sur la roche est tantôt une percolation continue (en cycle fermé), tantôt une percolation goutte à goutte, tantôt des périodes d'imbibition et d'assèchement de 22 heures — 2 heures, ou 5 jours — 2 jours. Toutes les eaux recueillies sont régulièrement analysées.

On a pu mettre en évidence et comparer l'extraction de la silice et des cations basiques (P. BIROT). Spécialement pour les basses températures, l'extraction des cations basiques est relativement supérieure à celle de la silice, ainsi qu'il apparaît dans les rivières des zones tempérées et froides. Mais si le calcium vient nettement en tête dans l'extraction au début de l'expérience, cela montre que les feldspaths calciques sont les plus sensibles à l'altération. Par contre, jusqu'à présent, aucune néogenèse argileuse n'a été révélée aux rayons X.

Actuellement, d'autres protocoles sont essayés (J. VERAGUE) pour préciser les notions de désagrégation d'une roche, de temps de contact nécessaire, d'altérations suivant les faciès et d'altérabilité des minéraux.

5°) *Étude de la formation des croûtes et des encroûtements*: dans cette expérimentation, on a voulu apprécier la rapidité de formation des croûtes en milieu semi-aride et chaud (J. L. DUMONT). Pour cela, on a procédé, dans une première étape, à l'évaporation d'eau chargée de carbonates et introduite à la base de bacs à faces de verre, remplis de sable siliceux; une forte évaporation en surface accélérerait le processus. On a remarqué la formation en surface de nodules concernant la migration des sels à travers le modèle, mais non pas de cristallisations.

Dans une deuxième étape, il a été procédé à la

même expérience, mais en tubes plus étroits, plus faciles à observer et à contrôler; l'eau chargée de carbonates a formé en quelques semaines des cristaux de calcite formant des ponts entre les grains de silice, et même de véritables encroûtements calcaires. Le dépouillement des premiers résultats est en cours; il demande des moyens techniques très élaborés que nous ne possédons pas (imprégnation du contenu des tubes par des résines, établissement de lames minces, observations au microscope électronique à balayage et enregistrement des résultats quantitatifs grâce à l'analyseur d'images).

6°) *Expérience d'hydrologie fluviale fondamentale*: Les travaux d'hydrologie fluviale sont nombreux, et ont été menés depuis de longues années par des organismes puissants aux Etats-Unis (Université du Colorado, de Californie, de Pennsylvanie), aux Pays-Bas (Delft) et en France (notamment Electricité de France à Chatou, Sogreah et l'Ecole d'Ingénieurs Hydrauliciens à Grenoble, l'Institut de Mécanique des Fluides à Toulouse et le Laboratoire Central d'Hydraulique de France à Maisons-Alfort). Cependant certaines recherches, en particulier le transport de fond de graviers de 2 cm (charriage de fond), n'ont été entreprises nulle part.

A Caen, un canal de 25 m de long sur 1,20 m de large a été construit et repose sur un seul pilier central, permettant de lui donner toutes les valeurs de pente souhaitées. Trois pompes de 100 et 150 litres/seconde autorisent des variations de débit de 80 à 400 litres/seconde. La circulation d'eau se fait en circuit fermé grâce à quatre cuves totalisant 230 m³.

Les recherches actuelles (P. BIROT, R. MUSSOT et M. HELLUIN) portent sur l'établissement de profils d'équilibre de creusement, les berges étant constituées dans une première étape par les parois du canal, et actuellement par des berges d'alluvions consolidées. Ces travaux intéressent non seulement les géographes, mais les ingénieurs de l'Equipement chargés de l'aménagement des rivières torrentielles confrontés au problème de l'évolution des chenaux, au rythme des crues, et de la consolidation des berges.

On essaie également de définir l'influence d'une variation de débit liquide sur la pente. Cette recherche a notamment pour but de mieux comprendre l'incidence sur la valeur de la pente du talweg d'une rivière principale, d'une augmentation de débit par apport d'un affluent, problème morphologique fondamental.

Il est prévu qu'ultérieurement seront réalisées des mesures de capacité de transport en régime d'équilibre, données scientifiques encore trop rarement établies.

IV. CONCLUSION

Ainsi le Centre de Géomorphologie a vocation pour entreprendre des travaux de recherche dans un domaine qui, jusqu'à présent, n'était exploré que par des Chercheurs individuels, lorsque l'observation personnelle ne dépassait pas le stade de l'estimation qualitative des phénomènes. Aujourd'hui, le *quantitatif* est entré sans les méthodes de la géomorphologie, et c'est pourquoi, avec ses moyens d'investigation et de mesures automatiques, le Centre de Géomorphologie ouvre la voie à des recherches à base statistique.

Cependant les géographes qui animent ce Centre sont aussi hommes de terrain. S'ils étudient avec toute la précision possible certains phénomènes, c'est qu'ils en observent les effets, cumulés au cours des siècles, dans la nature. Ils cherchent donc, par un renvoi continu aux sources, à confronter l'expérimentation et le terrain.

Les aires de recherches personnelles sont souvent choisies en fonction des possibilités de déplacement, et se concentrent en Normandie, tout au plus dans les pays d'Europe de l'Ouest. Une base d'études en milieu périglaciaire montagnard fonctionne à partir de 1975 dans les Alpes du Sud.

Mais depuis 1970, une voie nouvelle a été ouverte par des travaux entrepris par A. JOURNAUX, suivis par J. PELLERIN et J. P. COUTARD, au Brésil, particulièrement dans les Etats de Sao Paulo, de Bahia et en Amazone. Des accords entre le Centre de Géomorphologie et les Universités de Sao Paulo, de Salvador et l'Institut de recherches de Belem (IPEAN) ont favorisé les échanges de Chercheurs, et un enseignement portant sur l'étude des Formations Superficielles (analyses et cartographie). A l'image des Cartes des Formations Superficielles au 1:50 000 e publiées par le Centre (3 feuilles parues), les premières cartes sur l'Etat de Sao Paulo sont en cours de publication. Deux autres projets de coopération sont envisagés pour étendre le champ d'expérience et faciliter les comparaisons. L'un a pour objectif l'étude des milieux périglaciaires dans l'Arctique Canadien: un accord, valable pour trois ans, a été passé avec le Geological Survey of Canada. La première mission a lieu en été 1975.

L'autre a commencé de recevoir une application depuis 1973: elle concerne l'Espagne, notamment les Universités de Salamanque, Madrid et Barcelone. Puissent ces accords se développer rapidement et offrir aux Chercheurs de ces Universités et du Centre les moyens nécessaires à la progression d'une meilleure connaissance des processus géomorphologiques actuels, c'est-à-dire des facteurs qui modèlent le paysage et influencent le plus directement notre environnement.