

Les études géomorphologiques pour la conservation des terres et des eaux

Tricart J.

L'environnement

Paris : CIHEAM
Options Méditerranéennes; n. 9

1971
pages 94-99

Article available on line / Article disponible en ligne à l'adresse :

<http://om.ciheam.org/article.php?IDPDF=CI01.0437>

To cite this article / Pour citer cet article

Tricart J. Les études géomorphologiques pour la conservation des terres et des eaux. *L'environnement*. Paris : CIHEAM, 1971. p. 94-99 (Options Méditerranéennes; n. 9)



<http://www.ciheam.org/>
<http://om.ciheam.org/>

Professeur J. TRICART,

Université
Louis-Pasteur,
Strasbourg

Les études géomorphologiques pour la conservation des terres et des eaux

La conservation des terres et des eaux offre un exemple d'un phénomène peu fréquent dans l'histoire des sciences. Un corps de techniques a été mis au point par des spécialistes avant que la recherche fondamentale soit capable de dominer les problèmes posés. En effet, c'est au cours de la décennie 1930-1940 que fut systématisée, aux États-Unis, une série de pratiques empiriques traditionnelles, apparues spontanément dans diverses régions du Globe fort éloignées les unes des autres, parfois il y a fort longtemps. Les cultures en terrasses, par exemple, sont largement répandues depuis des siècles dans le Monde méditerranéen, en Asie des Moussons, dans l'ancien empire inca, où, désignées par le terme de « anden » (pluriel « andenes »), elles ont donné leur nom aux Andes. Les rideaux et les haies en courbe de niveau qui leur sont parfois associées, sont un type d'aménagement des terroirs qui a été réalisé pendant des siècles dans l'Europe du Nord-Ouest et certaines parties de l'Europe centrale. On le retrouve sous des formes un peu différentes (cordons de pierres) dans diverses montagnes d'Afrique noire (Nord-Cameroun, pays Kabré au Togo, pays Dogon au Mali).

La systématisation de ces pratiques, principalement l'édification de banquettes, est devenue l'élément essentiel de la doctrine de conservation élaborée par l'école de Bennett. Elle bénéficie de la mise au point d'engins comme les bull-dozers qui permettent le recours à la mécanisation. Malheureusement, ce type d'aménagement n'est pas sans danger. Il bouleverse trop souvent le sol qui perd ainsi une grande partie de sa valeur. Il gêne les paysans, qui, généralement, le voient d'un mauvais œil et lui sont hostiles. Or, il ne remplit ses fonctions qu'à la condition d'être bien entretenu. Les banquettes ébréchées par les sentiers d'animaux et de piétons, par les chemins, concentrent l'eau qui incise vite un ravin là où elle s'échappe. De plus, les banquettes répondent à une seule préoccupation : lutter contre le ruissellement sur les pentes. Or, le ruissellement n'est qu'un processus parmi d'autres. L'infiltration accrue du fait des banquettes peut faire franchir aux formations argileuses superficielles la limite de liquidité et déclencher alors des mouvements de masse. Ce fut le cas, il y a une dizaine d'années, dans le Rif (Maroc). Un important programme d'édification de banquettes avait été réalisé au lendemain de l'indépendance dans des régions argilo-schisteuses. Au bout de quelques années, des

niches de décollement sont apparues et des coulées boueuses se sont formées. La Route de l'Unité, toute neuve, a été endommagée. Certaines coulées ont menacé des villages. Des catastrophes auraient pu se produire.

Le corps de doctrine des conservateurs nord-américains a constitué un progrès en son temps du fait qu'il a rassemblé des pratiques empiriques fort anciennes et proposé un cheminement technique pour les appliquer (système de classification des terres). Mais il date de 40 ans. Et, surtout, pendant ces 40 ans, de manière largement indépendante, la recherche scientifique s'est beaucoup développée. La géomorphologie, dont l'objet est l'étude du façonnement du modelé terrestre, a franchi une étape décisive de son évolution. Elle a élaboré des conceptions directement applicables à ce problème pratique d'une grande importance. Le moment est venu, depuis déjà une quinzaine d'années, d'appliquer d'autres conceptions, de procéder d'une autre manière (1).

A. — L'APPORT DES CONCEPTIONS MODERNES DE LA GÉOMORPHOLOGIE

Du temps de Bennett, la géomorphologie était encore paralysée par les conceptions pré-scientifiques formulées, à la fin du XIX^e siècle par le nord-américain W. M. Davis, conceptions qui étaient fort en retrait sur les vues exprimées un demi-siècle auparavant par Surret et appliquées

(1) Ces méthodes et ces conceptions ont été élaborées dans le cadre du Centre de Géographie Appliquée (Université Louis Pasteur, Strasbourg), Laboratoire Associé n° 95 du C.N.R.S., en grande partie à l'occasion de recherches appliquées dont nous avons assumé la responsabilité. Ces recherches ont été réalisées à partir de 1957 dans divers pays étrangers (Mali, Brésil, Vénézuéla, Colombie, etc.) dans le cadre de la coopération technique bilatérale et, à partir de 1958, dans diverses régions françaises pour le compte du Ministère de l'Agriculture, Direction Générale du Génie Rural (aménagement des eaux). Le Ministère de l'Agriculture s'est beaucoup intéressé aux aspects méthodologiques des recherches qu'il nous a demandées. Les échanges de vues avec ses responsables techniques ont été toujours fructueux et ont fortement influencé nos travaux. Nous tenons à remercier particulièrement MM. l'Inspecteur Général QUESNEL, les Ingénieurs en Chef DARLOT et DARVES-BORNOZ, et pour nos travaux en Afrique, l'ancien Directeur Fédéral de l'Hydraulique d'A.O.F., M. l'Ingénieur MERLIN.

au cours de la seconde moitié du XIX^e siècle par les forestiers qui ont restauré nos montagnes par le reboisement et l'engazonnement. Les conceptions de Davis, comme lui-même l'a écrit, devaient faire la plus large place à l'imagination... Elles négligeaient totalement l'étude des processus. Or, c'est sur eux que l'Homme peut agir et non pas sur les forces très puissantes comme les mouvements tectoniques. Davis avait construit sa doctrine autour de la notion du « cycle d'érosion » et de « l'érosion normale », qui, selon lui, agissait de la même manière dans toutes les régions du Globe. Il est vrai que Davis n'a jamais accordé la moindre attention à la végétation. Pour lui, le relief se modelait de la même manière dans les déserts de l'Arizona et dans les forêts du Maine. Aucun de ses schémas — et ils sont nombreux et bien dessinés — ne montre le moindre buisson, la moindre touffe d'herbe. Par tout, l'agent responsable du modelé était le ruissellement. Davis transposait aux climats humides ce qui avait été observé par les explorateurs de l'Ouest américain. La géomorphologie, en retrait sur les idées couramment admises antérieurement en Europe, s'isolait dans une théorie fautive qui entravait l'observation, empêchait toute application pratique et toute coopération interdisciplinaire, notamment avec les écologistes et les pédologues. Malheureusement, Davis était un brillant conférencier et un chef d'école autoritaire, un mandarin de forte trempe... Il fit régner ses idées aux États-Unis, en Grande-Bretagne et, avec quelques aménagements de détail, en France. Ce n'est qu'en Allemagne qu'il rencontra une résistance, de la part de gens ayant une formation de naturalistes. Les travaux de certains d'entre eux ont été l'un des points de départ de la rénovation récente de la discipline.

On retrouve la trace très nette des conceptions davisienne dans la doctrine de Bennett. En effet :

— L'attention est portée unilatéralement sur l'« érosion » comme le montre l'expression usuelle d'« érosion des sols ». Le cycle d'érosion davisien commence par un soulèvement tectonique et ne s'applique qu'aux régions disséquées. Certes, l'incision, par un ravin, par exemple, est un aspect important de la dégradation du milieu édapho-écologique. Le sol est localement lacéré, l'écoulement plus rapide des eaux diminue le stockage dans le sol, à portée des racines. Mais ce n'est qu'un aspect de cette dégradation. Le matériel, arraché d'ici, s'accumule là. Le sol initial est recouvert de matériaux de faible valeur, lavés, appauvris chimiquement, dont la texture a été modifiée par le transport et qui doivent subir une nouvelle pédagénèse avant de donner un sol. Les accumulations peuvent barrer des ruisseaux, isoler des cuvettes. Le drainage externe en est modifié. Des étendues marécageuses apparaissent. Un engorgement superficiel plus ou moins durable péjore les conditions édapho-écologiques. Tout cela est négligé par l'expression « érosion des sols », comme toutes les formes de relief d'accumulation étaient laissées de côté par le « cycle d'érosion » davisien.

— L'expression « érosion des sols » traduit aussi une autre insuffisance concep-

tuelle, par l'intermédiaire du terme « sols ». Cela vient du fait de ce que ses auteurs étaient pédologues et, aussi, de l'isolement inéluctable de la géomorphologie davisienne. En réalité, les sols ne sont pas seuls en cause. Certes, leur dégradation a des conséquences particulièrement graves sur le milieu écologique. Elle mérite, de ce fait, une attention particulière. Mais, dans bien des régions, notamment dans le monde méditerranéen, ce ne sont plus les sols que l'on cultive, mais les formations superficielles, voire la roche en place, car les sols ont disparu depuis fort longtemps. C'est pourquoi l'expression, plus vague, de « terres », utilisée par divers organismes, dont la F.A.O., est bien préférable. Elle implique que la recherche et les actions pratiques de conservation sortent du cadre trop étroit des sols et s'intéressent à un ensemble plus étendu, que nous avons appelé ailleurs « épiderme de la Terre ». Il comprend, en plus des sols, les formations superficielles, issues de la météorisation des roches et, souvent, affectées par des processus de transport, et le substratum. La connaissance des formations superficielles et du substratum sont indispensables pour comprendre la genèse des sols et pour étudier leur répartition. La cartographie des sols s'appuie maintenant sur les études géomorphologiques, voire sur une carte géomorphologique. Les pédologues, comme le montre le concept de solum, ont élargi le champ de leurs observations. Les processus qui interviennent dans la dégradation sont des processus morphogénétiques. Ils sont influencés, certes, par les propriétés des sols (et nous avons largement insisté sur ce point (2)), mais ils dépendent autant des formations superficielles et du substratum. Un ravin s'incise tant qu'il rencontre des matériaux meubles, que ceux-ci appartiennent au sol, aux formations superficielles ou au substratum. Lorsqu'il rencontre une formation cohérente, l'entaille devient très lente. Le processus de dégradation est profondément modifié. C'est un fait qui revêt une importance pratique primordiale car les mesures de réhabilitation à adopter sont différentes.

— Enfin, implicitement, dans l'étude de l'« érosion des sols » et dans la classification des terres, c'est toujours l'action des eaux courantes, du ruissellement, qui est prise en considération. Les classes sont fonction de la pente. Or, la pente ne favorise pas systématiquement l'action du vent, qui est cependant un agent de dégradation fort dangereux dans l'Ouest des États-Unis et dont l'étude retient aussi l'attention du service de conservation. Le vent est laissé de côté, étudié à part. L'attitude est strictement la même que celle de Davis, dont les conceptions restent encore largement la base de l'enseignement aux États-Unis. Le rôle du ruissellement est à la base de la théorie de l'« érosion

normale ». Le vent, introduit beaucoup plus tard dans la théorie, est considéré comme le résultat d'un « accident climatique », échappant à cette « norme ». Quant aux autres processus comme les mouvements de masse, qui revêtent cependant une grande importance pratique, ils sont négligés.

Les conceptions modernes de la géomorphologie, telles qu'elles se sont élaborées principalement en Europe, sont beaucoup plus larges. Elles permettent, de la sorte, une intégration avec les autres sciences de la Terre et débouchent sur des préoccupations écologiques. Elles sont aussi, du même coup, susceptibles d'applications pratiques. Elles attachent une importance particulière à la connaissance des processus (géomorphologie dynamique), qui sont étudiés sur le terrain, mesurés sur des parcelles expérimentales, reproduits partiellement au laboratoire. Les études, conduites avec des méthodes en partie communes avec la sédimentologie et la pédologie, qui sont faites sur les formations superficielles, permettent d'identifier, les processus et apportent un contrôle et des précisions aux observations de terrain. Enfin, les propriétés physico-chimiques du matériel sont définies à l'aide d'essais de laboratoire. C'est le cas, par exemple, du comportement vis-à-vis du gel, de la cristallisation du sel, de certains mécanismes d'altération, de la détermination de la porosité, de la perméabilité, des limites de liquidité et de plasticité, de la résistance au cisaillement. Une différence avec d'autres disciplines utilisant parfois les mêmes techniques est la préoccupation d'étudier les phénomènes en fonction du milieu naturel et non en eux-mêmes. Cela aboutit parfois à modifier les conditions de certains essais. Par exemple, dans notre laboratoire, les limites de plasticité et de liquidité sont déterminées d'une part en utilisant de l'eau distillée, pour obtenir des valeurs susceptibles de comparaisons générales, et d'autre part, en recourant à des eaux naturelles prélevées dans le site à étudier. C'est ainsi, par exemple, que nous avons pu préciser le mécanisme de glissements lents affectant un village des Hautes-Alpes, le Pasquier. A l'eau distillée, les essais indiquaient que la limite de plasticité des formations en cause ne pouvait être franchie. Il n'y aurait pas dû y avoir de glissements. Mais la pente en amont de ce village est irriguée avec des eaux calcaires, prélevées dans un bassin voisin. Le carbonate qu'elles contiennent, en flocculant l'argile, accroît sa porosité et font que celle-ci permet alors l'incorporation dans le matériel d'une quantité d'eau supérieure à la limite de plasticité. Celle-ci peut donc être franchie, d'où les mouvements du terrain.

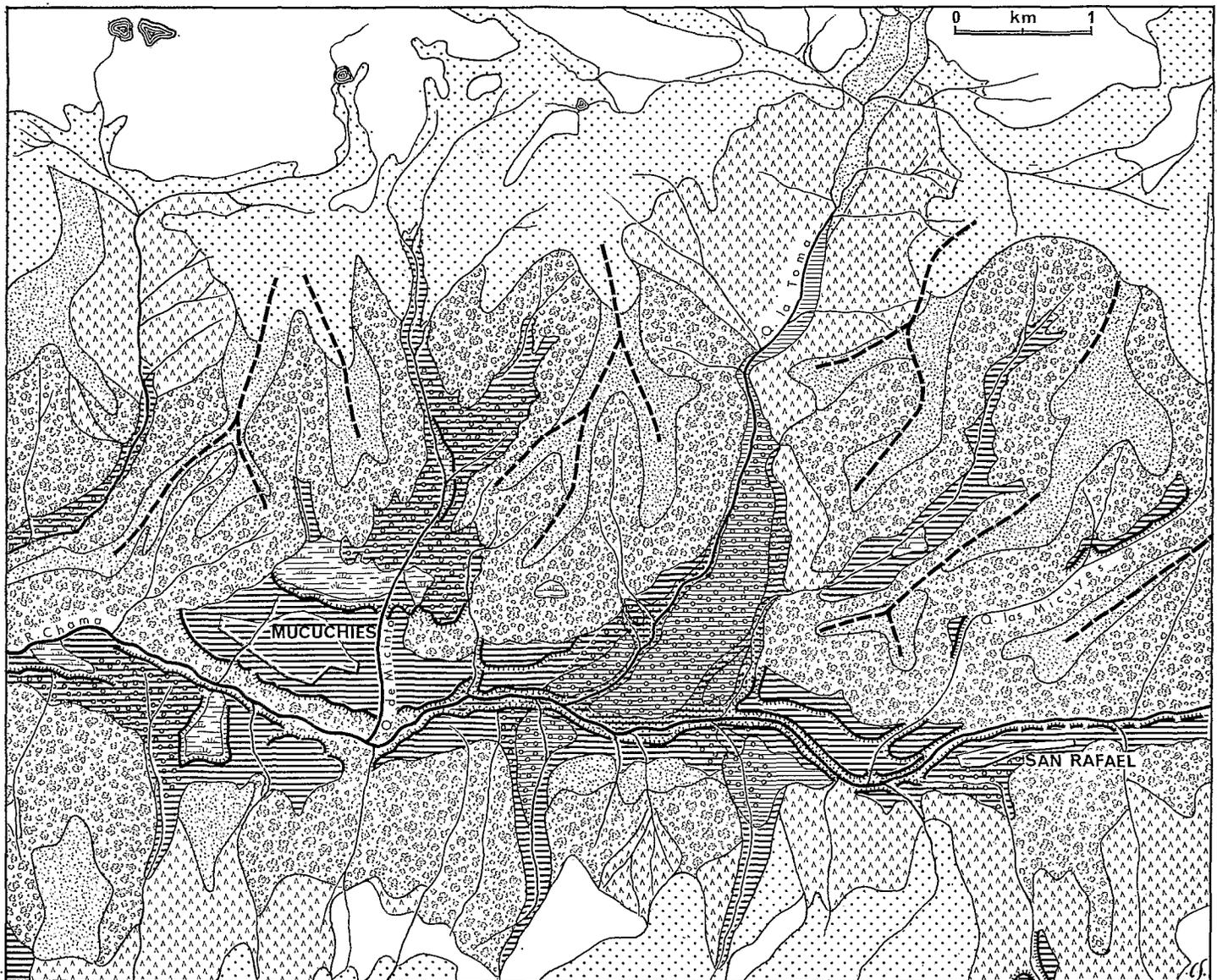
L'étude des processus aboutit, tout naturellement, à accorder aux propriétés des sols l'importance qu'elles méritent. C'est ainsi, par exemple, que nous recourons fréquemment à la détermination de l'indice de stabilité structurale. Elle nous incite aussi à tenir compte de la végétation et de son influence soit directement sur certains processus (par exemple, dispersion de l'énergie cinétique des gouttes de pluie, formation de gouttières sous les arbres, qui modifient les modalités de l'érosion

(2) TRICART (J.), 19... — L'épiderme de la Terre, esquisse d'une géomorphologie appliquée. Coll. Évolution des Sciences, Masson, Paris.

TRICART (J.), 1971. — La Terre, Planète Vivante. Collection Sup., P.U.F., Paris.

TRICART (J.), 1965. — Introduction à la géomorphologie climatique. Traité de Géomorphologie de J. TRICART et A. CAILLEUX, tome I, SEDES, Paris, 00 p., 00 fig.

MUCUCHIES (Venezuela) : Limitations géomorphologiques à l'utilisation des terres



1. Rebords de terrasses, abrupts. A protéger contre la formation de ravins. — 2. Ligne de crête. — 3. Affleurements rocheux pratiquement inutilisables.
4. Formations meubles, moraines, matériel d'altération, au relief varié, avec têtes de rochers, au-dessus de 3 500-3 700 m. d'altitude, utilisables seulement comme pâturages de montagne, avec les précautions habituelles. — 5. Versants raides, semi-rocheux, fortement érodés. En fonction des exigences prioritaires de la conservation, utilisables pour la sylviculture, exceptionnellement pour des pâturages de montagne. — 6. Versants raides, en formations meubles, très érodés, à soumettre en priorité aux exigences de la conservation. A maintenir végétalisés (forêt ou pâturage). — 7. Sommets de croupes ou pieds de versants en formations meubles, érosion modérée. Possibilités d'exploitation agro-pastorale, avec mesures de conservation des sols. — 8. Accumulations détritiques, essentiellement terrasses, parfois moraines, modelé de détail très irrégulier, gênant la culture; nombreux blocs de grande taille en surface. Impraticable pour la culture moderne, motorisée. Utilisable pour la culture à la main ou l'arboriculture. — 9. Accumulations détritiques, essentiellement terrasses, parfois moraines, matériel pas trop grossier, topographie assez unie. Bonnes conditions pour la culture. — 10. Même type, zones inondables. — 11. Même type, matériel très poreux, percolation importante, nappes souterraines, possibilités d'irrigation à partir de puits. — 12. Zones marécageuses, à drainer.

pluviale), soit indirectement, comme c'est le cas pour les conditions hydriques du sol. Nous étudions aussi les effets des caractéristiques du climat, en principe à la surface du sol et dans le sol (intensité des averses, variations de température, force du vent, régime hydrique, etc...). Nos préoccupations en la matière rejoignent celles des pédologues et des écologistes et diffèrent passablement de celles des météorologistes. La géomorphologie climatique insiste sur cet aspect des choses et fait la part des influences directes du climat (intensité des averses, force du vent, régime thermique au sol, etc...) et des influences indirectes,

passant par l'intermédiaire des sols et de la végétation, qui dépendent, eux aussi, du climat. Il s'avère que les influences indirectes sont plus grandes que les influences directes sauf dans les régions désertiques. Les relations avec l'écologie sont ainsi de plus en plus étroites. La géomorphologie contribue à définir le milieu écologique. Elle peut utiliser avec profit certains concepts écologiques, comme celui de climat. A un climat végétal et pédologique correspond une certaine combinaison de processus morphogénétiques que nous appelons système morphogénétique climatique. Par un cheminement dialectique que

nous impose la Nature, d'un côté, nous poussons l'analyse des processus afin de mieux les connaître, et, de l'autre, nous remplaçons ces processus dans un ensemble plus vaste, celui du système morphogénétique. Le système morphogénétique se définit par les interférences mutuelles entre processus. C'est une résultante complexe, dans laquelle peuvent jouer, jusqu'à un certain point, des compensations entre facteurs. L'analyse multifactorielle fournit un instrument de recherche pour ces problèmes. La notion du système morphogénétique doit être remplacée dans le cadre lithologique, la nature des formations géo-

logiques intervenant dans l'action des processus, voire dans leur nature. Elle doit aussi tenir le plus grand compte de la couverture végétale et des sols. Elle rejoint ainsi l'écologie. C'est pourquoi elle constitue un cadre conceptuel adéquat pour faire progresser l'analyse des mécanismes de dégradation et pour contribuer à la recherche des moyens à mettre en œuvre pour les freiner. La dégradation, en effet, commence par la couverture végétale, se poursuit par les sols et fait intervenir ensuite les processus morphogénétiques. C'est alors que les matériaux superficiels sont mis en mouvement, non seulement par les eaux courantes, mais aussi par d'autres processus. C'est alors aussi que la dégradation affecte les ressources en eau.

Ce renouvellement profond de la géomorphologie s'est accompagné, au cours des vingt dernières années, de la mise au point d'un instrument de travail nouveau. A vrai dire, il avait été déjà conçu dès 1917 par le grand géomorphologue allemand Passarge, mais n'avait alors pas retenu l'attention. Il s'agit des cartes géomorphologiques détaillées. Celles-ci, levées sur le terrain (3) avec l'aide éventuelle des photographies aériennes, doivent figurer les caractéristiques du substratum qui influencent les processus morphogénétiques, les formations superficielles (notamment leur granulométrie, ou texture des pédologues), les divers éléments du modelé avec indication de leur dynamique et de leur âge relatif. Les légendes diffèrent d'un groupe de chercheurs à l'autre, mais ceci n'a qu'une importance très secondaire. L'essentiel est que les conceptions soient les mêmes et que la nature des informations fournies par la carte soit semblable. Peu importe qu'un cône de déjections soit en vert sur une carte, et en bleu sur une autre si nous savons qu'il s'agit d'un cône de déjection, si nous pouvons connaître la nature de son matériel (blocs, pierraille avec ou sans éléments fins), si nous sommes renseignés sur son activité (forme continuant de s'édifier ou forme ancienne, ne fonctionnant plus).

La carte géomorphologique est nécessairement un document complexe, pour la mise au point duquel il a fallu résoudre des problèmes techniques délicats de cartographie. C'est avant tout un document scientifique de base, comme les cartes géologiques ou pédologiques. Son intérêt est de plus en plus largement reconnu et un nombre croissant de pays en ont entrepris l'établissement (4). Il fournit des données importantes pour la conservation des terres et des eaux, mais ne répond pas directement à ses préoccupations. De plus, son utilisation exige un certain niveau de connaissances spécialisées, qui sont d'autant

moins répandues que la géomorphologie s'est profondément transformée au cours des dernières années et qu'elle n'entre pas encore dans les programmes d'études de bien des techniciens auxquels elle serait utile (pédologues, agronomes en particulier). C'est pourquoi nous avons mis au point une méthode d'approche plus immédiatement adaptée aux besoins.

B. — MÉTHODE D'APPROCHE

Depuis 1958, nous avons visé à élaborer un type de cartes qui réponde aux besoins des ingénieurs responsables des problèmes de conservation et de réhabilitation des terres et des eaux. Notre objet est de leur fournir un document qui leur permette de tenir compte de mieux possible de leur composante géomorphologique.

Une première notion, essentielle, est celle du danger potentiel, de la susceptibilité vis-à-vis de la dégradation, d'une aire déterminée. Définir ce danger est l'objet de la classification américaine des terres. La démarche qui consiste à faire apparaître les limitations qu'il impose à leur utilisation est excellente. Il n'est donc pas question de l'abandonner. Il s'agit seulement de tenir compte des progrès qu'a fait la géomorphologie depuis la mise au point de cette classification pour l'améliorer. Quelle compagnie d'aviation recourrait aujourd'hui à un parc d'avions composé des modèles fabriqués dans les années trente?

Les levés géomorphologiques détaillés fournissent toute une série de données aidant à mieux résoudre ce problème.

— Ils indiquent la nature des formations superficielles et de la roche en place. Tous les matériaux meubles sont définis en fonction de leur granulométrie, toutes les roches cohérentes en fonction de leur comportement vis-à-vis des processus de météorisation. Les informations fournies sont différentes de celles que portent les cartes géologiques, dont l'orientation est surtout stratigraphique et qui mettent de la sorte l'accent sur l'âge des couches. Pour comprendre les processus, il importe peu qu'un calcaire soit lutétien ou cénomani, mais il est essentiel de savoir s'il est formé de bancs minces ou épais, s'il se délite facilement ou non aux intempéries, s'il contient beaucoup d'impuretés ou peu. Un granite peut, sous l'influence de la météorisation, être transformé en un matériel meuble, se coupant au canif ou à la bêche. Inutile d'insister sur l'importance de ce fait... Il est, en effet, susceptible alors de se raviner ou d'être le siège de mouvements de masse. Or, la carte géologique ne le distingue habituellement pas d'un granite sain, roche compacte, rebelle tant à l'incision par les eaux courantes qu'aux glissements et décollements.

— Ils mettent aussi en évidence la nature des processus qui s'exercent actuellement sur la surface terrestre. Quand ils sont suffisamment détaillés, ils peuvent même indiquer leur intensité relative. Sont ainsi figurés, entre autres, les manifestations de ruissellement diffus et concentré, les actions éoliennes de déflation ou d'accumulation, l'incision des cours d'eau, le sape-

ment des berges de leurs lits, les zones d'accumulation d'alluvions ou de colluvions, la reptation, les glissements de terrain, les éboulements, les mouvements de masse de diverses natures, etc... Il est possible de délimiter non seulement des classes qui sont implicitement fonction de l'activité du seul ruissellement, mais encore des aires caractérisées par l'activité des divers processus avec indication de leur nature et de leur intensité.

— L'enchaînement entre les divers processus constituant un système morphogénétique étant l'une des préoccupations de la géomorphologie, peut aussi être mis en évidence. Rappelons qu'il est à l'origine du concept de système morphogénétique. Par exemple, il est possible de déterminer si les glissements qui affectent un versant sont dus à l'incision ou au sapement d'un cours d'eau qui coule à son pied ou s'ils résultent d'un déséquilibre potentiel du versant lui-même, déséquilibre qui peut être accentué par certaines pratiques, comme l'irrigation. Le cheminement des matériaux issus d'un bassin-versant peut être mis en évidence. Or, il est loin, d'être simple et continu. De nombreuses discontinuités dans le temps et dans l'espace l'affectent. Une partie de ces débris s'arrête en route, sous la forme de colluvions au pied des versants, de cônes de déjections, de bancs alluviaux, de matériel de décantation sur les plaines inondables. Tout ce qui est enlevé aux versants n'arrive pas à l'issue du bassin. D'autre part, les sapements de berges, l'incision des lits mettent en marche des débris qui ne proviennent pas des versants. Or, ces phénomènes sont importants. Ils jouent sur un pourcentage élevé des matériaux franchissant un point déterminé des cours d'eau. C'est pourquoi il n'y a pas correspondance entre les données fournies par les mesures d'ablation sur les versants et celles de la charge solide du cours d'eau en un point déterminé situé en aval. En général, comme l'ont montré certaines de nos études, même en montagne, une très forte proportion de la charge solide provient d'une faible partie du bassin-versant. Il est évidemment d'un intérêt pratique considérable de le déterminer car l'efficacité des mesures de protection prises dans ce secteur est très grande.

Une autre question qui se pose est celle de déterminer si cela vaut la peine de se lancer dans des travaux destinés à freiner les processus morphogénétiques, travaux qui sont nécessairement onéreux et souvent gênants pour les populations rurales. Nous venons déjà de répondre, en partie, à cette question. Cependant, d'autres aspects doivent être pris en considération.

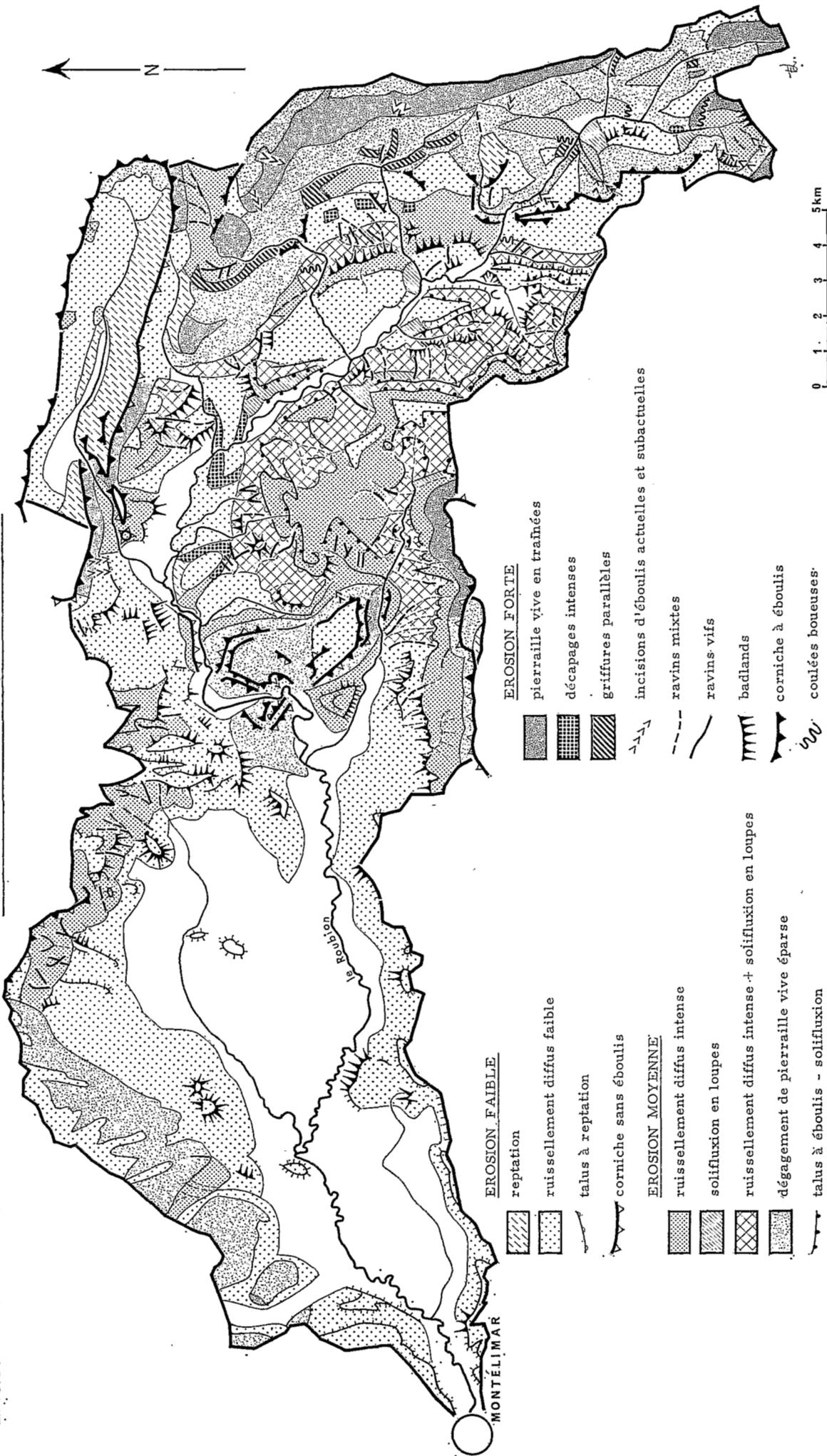
— Il faut tout d'abord apprécier si l'état de dégradation atteint est réversible ou non. Bref, si, techniquement et économiquement, on peut espérer obtenir un résultat valable. Cela dépend des processus, des conditions lithologiques, du système morphogénétique dans lequel s'insèrent ces processus. Il faut surtout essayer d'apprécier la tendance propre du phénomène, déterminer s'il est appelé à s'accroître de lui-même ou, au contraire, à diminuer d'intensité. Les interactions entre processus jouent un grand rôle en la matière. Certains d'entre eux se contrecarrent. Tel est le cas,

(3) La Commission de Géomorphologie Appliquée de l'Union Géographique Internationale (1956-1968), dont nous fûmes président, a organisé un groupe de travail, dirigé par M. KLIMAZEWSKI, qui, avec l'aide de l'UNESCO, a défini la conception et le contenu des cartes géomorphologiques et a montré leur intérêt pratique. Nous repreneons ici ses conclusions.

(4) En France, le levé de la carte géomorphologique détaillée a été organisé dans le cadre du C.N.R.S. (R.C.P., n° 77, responsable, J. TRI-CART).

BASSIN DU ROUBION

CARTE DE LA DYNAMIQUE DES VERSANTS



EROSION FAIBLE

- reptation
- ruissellement diffus faible
- talus à reptation
- corniche sans éboulis

EROSION MOYENNE

- ruissellement diffus intense
- solifluxion en loupes
- ruissellement diffus intense + solifluxion en loupes
- dégagement de pierreaille vive éparsé
- talus à éboulis - solifluxion
- talus à ruissellement diffus intense
- ravins boisés

EROSION FORTE

- pierraille vive en traînées
- décapages intenses
- griffures parallèles
- incisions d'éboulis actuelles et subactuelles
- ravins mixtes
- ravins vifs
- badlands
- corniche à éboulis
- coulées boueuses

par exemple, du ruissellement et des mouvements de masse. L'eau qui s'écoule en surface n'alimente pas les mouvements de masse. Si on facilite l'infiltration, on peut, au contraire, les favoriser (par exemple, par l'édification de banquettes). Lorsque des raisons impératives s'imposent de diminuer la charge solide d'un cours d'eau, par exemple, pour sauvegarder la capacité de stockage des retenues, et que la dégradation du bassin-versant est irréversible, il faut envisager des petites retenues ayant pour effet de provoquer l'accumulation de la plus grande partie possible du matériel. Certains processus naturels peuvent être favorisés, comme, par l'exemple, l'alluvionnement sur des cônes de déjections ou sur certains lits majeurs.

— Il faut aussi déterminer le type de mesures qui est susceptible d'être efficace, ce qui implique que l'on connaisse avec précision la structure du système morphogénétique, les interactions entre ses divers éléments. Par exemple, si c'est l'incision d'un cours d'eau qui déclenche l'instabilité d'un versant, la correction de son lit est susceptible d'apporter une solution. Si, au contraire, ce sont des venues d'eau latérales qui font franchir la limite de liquidité, il faut envisager un drainage, ce qui est généralement difficile et onéreux. On peut aussi chercher une solution biologique, sous la forme de plantes fortes consommatrices d'eau, à condition que celles-ci ne provoquent pas une surcharge susceptible d'accroître le mouvement de masse (ce qui peut arriver avec des arbres). La connaissance des formations superficielles (épaisseur, propriétés physiques) et l'examen de certains indices géomorphologiques peuvent permettre de déterminer dans quelle mesure un traitement en banquettes risque de provoquer des mouvements de masse, plus difficiles encore à contrôler que le ruissellement et plus dangereux.

La variété des problèmes qui se posent est bien plus grande que ne peuvent le laisser croire ces quelques exemples. Leur objet est d'aider à une prise de conscience de la nature des phénomènes et des conditions d'une plus grande efficacité des solutions techniques.

A partir des levés géomorphologiques, deux types de documents répondant aux préoccupations des ingénieurs peuvent être établis.

Les cartes de la dynamique actuelle, à condition d'être à une échelle suffisante (1/50 000 ou davantage), permettent de faire apparaître la nature des processus qui fonctionnent de nos jours et leur répartition dans l'espace. Elles comportent aussi la figuration de certaines données connexes, comme la lithologie et les types de couverture végétale. Pour ces derniers, il ne s'agit pas d'une étude botanique. Les critères retenus sont ceux qui importent pour la dynamique : terres labourées, prairies à végétation fermée ou ouverte, forêt avec ou sans strate herbacée, etc... Pour faciliter la lecture, la couverture végétale peut être portée sur un calque superposable à la carte sur laquelle sont figurées les autres données. Une carte écologique peut fort utilement compléter celle de la dynamique actuelle. Elle permet de déterminer les solutions fondées sur les

plantes que l'on peut adopter et, notamment, de choisir les espèces adéquates.

Les cartes de limitations reposent sur un principe issu de celui des cartes américaines de classification des terres. Elles prennent en considération un éventail plus large de phénomènes, en principe tous ceux qui revêtent une importance, quelle que soit leur nature. Elles résultent d'une interprétation des levés géomorphologiques. Une partie seulement des informations que ceux-ci comportent est retenue et elle est l'objet d'une évaluation spécifique en fonction des préoccupations de la conservation. Par exemple, on fait apparaître les aires sur lesquelles un traitement en banquettes aurait pour effet de créer un danger de mouvements de masses.

Dans l'état actuel des choses, ces cartes sont essentiellement qualitatives. Mais leur intérêt ne se limite pas à l'aménagement agro-pastoral. Elles fournissent aussi des indications pour la construction des voies de communications et l'implantation des constructions. Nous avons d'ailleurs mis au point des cartes répondant aux préoccupations des urbanistes et indiquant les limitations géomorphologiques à l'urbanisation. Les problèmes techniques étant différents, bien entendu, elles sont construites avec une autre légende, mais la démarche méthodologique repose sur les mêmes principes.

L'établissement de ces cartes de limitations est avantageux au premier stade de préparation d'un programme d'aménagement. Elles sont en effet moins onéreuses à établir que les cartes pédologiques ou géotechniques de même échelle. Faisant apparaître certaines unités où les limitations géomorphologiques sont déterminantes, elles permettent d'éviter de faire des dépenses inutiles en leur consacrant d'autres études. Par ailleurs, le levé géomorphologique régulier sur lequel s'appuient nos cartes de limitations apporte une aide précieuse à la cartographie pédologique et à l'étude des sols. Celles-ci sont facilitées là où elles présentent un intérêt. Le coût du levé géomorphologique est rapidement amorti rien que par cette utilisation indirecte.

Pour compléter le jeu des documents utiles pour un aménagement, il est bon de disposer d'une carte des valeurs de pentes, qui n'exige aucune recherche scientifique particulière, mais qui offre un intérêt pratique indéniable. Elle peut commodément être établie sur papier calque pour pouvoir être superposée à n'importe quelle autre carte. Cette solution est bien préférable à celle de classification américaine des terres qui incorpore la valeur des pentes à une appréciation globale. Enfin, il est bon, aussi, de dresser une carte hydromorphologique, qui est précieuse pour l'étude des ressources en eau. Cette carte repose en partie sur les levés géomorphologiques de sorte que son coût diminue dans le cadre d'études intégrées.

La carte hydromorphologique a pour objet de représenter la manière dont se présente l'eau dans le milieu physico-géographique.

— Elle distingue trois régimes hydrologiques de base, dont l'extension est figurée sur la carte : un régime superficiel, où domine le ruissellement, un régime hypo-

dermique et un régime phréatique. Des subdivisions sont introduites dans ces régimes. Par exemple, entre régime phréatique karstique et régime d'écoulement rapide dans une formation caillouteuse alluviale par exemple, ou entre ruissellement diffus et ruissellement concentré. Les sols battants sont figurés, comme facteur influant sur le ruissellement, etc... Chaque régime de base est représenté par une couleur (bleu pour le superficiel, rouge pour le pratique, violet pour l'hypodermique). Des signes différents sont utilisés pour les subdivisions. Ils peuvent éventuellement permettre une figuration quantitative.

— Le réseau hydrographique est également porté sur la carte, avec indication des types d'écoulement : pérenne, saisonnier, sporadique. Ce levé, effectué sur le terrain avec enquêtes auprès des habitants permet des calculs corrects de morphométrie (densités de drainage, etc...).

— Diverses données hydrologiques sont aussi cartographiées : sources, suintements, surfaces inondables, marais, lacs, etc... Les communications entre les cours d'eau et les nappes phréatiques alluviales sont aussi représentées.

La carte hydromorphologique offre une bonne base pour l'établissement d'un réseau rationnel d'observations hydrométriques (implantation de pluviomètres et de limnigraphes). Grâce à des données plus représentatives, la dispersion statistique des valeurs obtenues est moindre. Cela aide à réduire la durée des observations nécessaires. La carte permet aussi d'extrapoler les caractéristiques hydrologiques d'un petit bassin à un autre, pour lequel on ne dispose pas de données. Elle fait ressortir les similitudes et les différences qui existent entre eux. Enfin, elle aide aux études hydrogéologiques en faisant apparaître les secteurs d'alimentation des nappes souterraines. Par là-même, elle montre aussi, sans qu'il soit besoin d'une étude hydrogéologique détaillée préalable, les surfaces sur lesquelles des mesures de protection contre la pollution des eaux souterraines doivent être prises.

Grâce à une nouvelle orientation méthodologique, grâce à l'adoption de nouvelles techniques de recherche, la géomorphologie est maintenant capable d'apporter une contribution à la connaissance du milieu écologique. Elle aide à mieux résoudre les problèmes de conservation des terres et des eaux. Les données qu'elle fournit sont utiles dès la phase initiale des études et servent de support à d'autres disciplines, notamment à la pédologie. C'est pourquoi elle doit être introduite au niveau des avant-projets. Le coût comparativement modeste des recherches géomorphologiques est d'ailleurs compatible avec une telle programmation.