

PROBLÈMES DE CARTOGRAPHIE EN GÉOLOGIE DE L'INGÉNIEUR (CARTOGRAPHIE GÉOTECHNIQUE)

M. ARNOULD (*)

RÉSUMÉ

Une analogie avec la cartographie géologique montre la difficulté de trouver des caractères majeurs hiérarchisés permettant une cartographie géotechnique de type fondamental.

Les différents facteurs : géologie, propriétés géotechniques, hydrogéologie, géomorphologie, phénomènes géodynamiques externes et internes, ressources en matériaux, paysages, archéologie et préhistoire, pédologie, hydrologie, climatologie, qui ensemble constituent le cadre géologique ou environnement physique naturel d'un site, sont examinés. Leur cartographie conduit à autant de *cartes de facteurs* analytiques.

Des synthèses partielles en sont faites, mais seulement sous forme de *cartes d'aptitudes* à divers usages : fondations, urbanisation.

Les effets des travaux sur les sites doivent faire l'objet de cartes de prévision des modifications anthropiques.

L'aide de l'informatique en cartographie géotechnique est examinée sous son triple aspect : banques de données, traitements statistiques, cartographie automatique.

L'expression *Cartographie géotechnique* est utilisée en français, avec des sens très différents. Cela tient à la fois à l'impossibilité sémantique de construire un adjectif correspondant à l'expression *Géologie de l'Ingénieur* et aux divers sens attribués au terme *Géotechnique* ⁽¹⁾.

Au sens large, la *Cartographie géotechnique* recouvre toutes les expressions cartographiques de Géologie de l'Ingénieur, aussi bien pour des problèmes fondamentaux que pour des applications. Ces dernières recouvrant l'Aménagement des territoires, l'Urbanisme, la Construction, les Travaux publics et les Matériaux non métalliques de construction et industriels, on conçoit que les représentations cartographiques correspondantes puissent être extrêmement variées.

On peut toutefois les classer :

— selon l'objectif : recherche fondamentale ou applications ;

(*) Professeur à l'Ecole Nationale Supérieure des Mines, Président de l'Association internationale de Géologie de l'Ingénieur, 60, boulevard Saint-Michel, 75272 Paris, Cedex 06.

(1) *Géotechnique* est le plus souvent utilisé dans un sens indéfini correspondant à l'étymologie : tout ce qui, se rapportant aux Sciences de la Terre, a un caractère plus ou moins technique. Il est parfois pris comme synonyme de Mécanique des Sols. Enfin, une tendance se fait jour pour revenir à la définition initiale de Terzaghi (complétée par L. Muller) : discipline de synthèse de la Géologie de l'Ingénieur, de la Mécanique des Sols et de la Mécanique des Roches.

- selon les facteurs en lesquels on peut analytiquement décomposer la géologie d'un site ;
- selon l'aptitude d'un site à diverses utilisations : urbanisation, fondations...;
- dans tous les cas, selon l'échelle.

I. CARTOGRAPHIE GÉOTECHNIQUE ET CARTOGRAPHIE GÉOLOGIQUE

La cartographie géotechnique est prônée par les géologues, par analogie toute naturelle avec la cartographie géologique. Celle-ci, au-delà d'une méthode synthétique de représentation, est une méthode scientifique en elle-même. Elle est créatrice. Elle permet en effet des corrélations stratigraphiques, des reconstitutions tectoniques, paléogéographiques, etc., avec d'incalculables retombées dans de nombreux domaines d'applications. La transposition est donc tentante.

Le succès de la cartographie géologique est dû à une sélection des caractères principaux à représenter et surtout à leur *hiérarchie*. Le caractère majeur est *l'âge*. Je considère comme génial autant qu'inattendu d'avoir envisagé de cartographier l'âge des formations. Cette idée s'est avérée particulièrement fructueuse. C'est elle qui a permis les corrélations stratigraphiques à l'échelle des continents et du globe, tandis que, du fait des variations de faciès, la lithologie — caractère qui apparaît majeur en première analyse, et plus objectif que l'âge — ne s'y serait pas prêtée. On sait bien que le critère chronologique ne s'applique intégralement qu'aux séries sédimentaires. Les séries volcaniques et éruptives sont plus souvent représentées selon leur nature pétrographique, les séries métamorphiques également — ou encore selon l'intensité des transformations. Or, les corrélations que permet leur cartographie sont moins fructueuses que pour les séries sédimentaires.

Je soulignerai l'intérêt de la cartographie géologique des *formations superficielles* qui a fait l'objet de quelques publications récentes en France (Vincent, P. L. et Vogt, J., 1969, *a* et *b*). A la différence des séries marines, bases de la cartographie classique des formations sédimentaires, les formations superficielles essentiellement continentales sont très discontinues et hétérogènes. Et ce sont précisément celles qui intéressent le plus la Géologie de l'Ingénieur.

La conception des cartes géologiques de formations superficielles repose sur la définition d'*unités cartographiques hiérarchisées* avec des unités de base classées à partir des *processus génétiques*, puis de la lithologie.

La classification des processus génétiques est délicate. On retient selon les cas des processus uniques, ou dominants ou multiples. Ainsi, sur l'exemple de la carte Saint-Bonnet-de-Joux (Vincent et Vogt, 1969*b*), les processus gravitaires (formations de pente) étant nettement subordonnés à l'altération et aux formations alluvionnaires, ils n'apparaissent que comme une coupure subordonnée.

Si les unités sont identifiables, par définition, elles ne sont pas toujours cartographiables, selon leur complexité et l'échelle de la carte. Leur représentation cartographique impose parfois de les grouper en complexes. Ainsi, sur la feuille Creil (Vincent et Vogt, 1969*a*), les « limons des plateaux » regroupent des lèss des cailloutis, des paléosols. *L'épaisseur* est indiquée en rouge en chaque point où elle est connue ainsi que la profondeur et la nature du substratum.

Si l'on définit maintenant la cartographie géotechnique fondamentale comme étant l'identification et la représentation de volumes de terrain non plus de même âge, de même nature, etc., mais de même *comportement*, c'est-à-dire de mêmes propriétés, on s'aperçoit qu'aucun des caractères majeurs utilisés en cartographie géologique, âge, nature, intensité du métamorphisme, faciès, processus génétique, ne peut servir également de caractère majeur dans une cartographie géotechnique ainsi définie.

Malgré des essais intéressants (Ghiste, 1970 ; Gigan, 1973), on ne connaît d'ailleurs pas encore de cartes répondant véritablement à cette définition. La cause principale de cette situation me paraît être l'absence d'une hiérarchie des caractères d'identification et de comportement géotechniques. Le manque d'études préalables de corrélations entre ces caractéristiques et la nature lithologique est un lourd handicap.

On peut espérer une évolution de cette situation grâce au développement des essais *in situ* — pressiométriques en particulier — et au développement de corrélations rigoureuses entre études lithologiques et mesures géotechniques, études encore rares et, en tout cas, insuffisantes pour de véritables traitements statistiques. En effet, elles correspondent, la plupart du temps, à la réutilisation à des fins scientifiques de résultats obtenus à l'occasion de travaux, et non à des programmes rationnels établis à des fins de recherche fondamentale.

En conclusion, la recherche d'une hiérarchie de caractères spécifiques de la cartographie géotechnique apparaît comme un problème scientifique d'une brûlante actualité.

II. ANALYSE DES SITES.

LES FACTEURS QUI LES DÉFINISSENT. LES CARTES DE FACTEURS

Il est possible de disséquer les données géologiques d'un site, à quelque échelle que ce soit, en facteurs constitutifs. Ceux-ci peuvent être étudiés en eux-mêmes, indépendamment d'une éventuelle utilisation.

Les principaux sont :

— Les *données géologiques classiques*, notamment stratigraphie, tectonique et nature des sols et des roches, telles que les fournissent les cartes géologiques traditionnelles, avec toutefois une plus grande importance attachée à la Pétrographie et à la Lithostratigraphie, avec également une distinction entre le substratum et les formations superficielles, ces dernières faisant toujours l'objet d'une étude détaillée ;

— Les *propriétés géotechniques* de ces formations. On retrouve là le problème fondamental évoqué précédemment ;

— L'*Hydrogéologie*, considérée sous ses différents aspects : ressources en eau ; influence sur les propriétés géotechniques ; risques de pollutions ; composition chimique ; éventuelles dissolutions souterraines ;

— *Géomorphologie* : même lorsque ce facteur ne fait pas l'objet d'une cartographie géomorphologique rigoureuse, quelques éléments au moins sont représentés, tels que les zones exposées au nord dans les régions sujettes à gel et verglas et carte des pentes (Humbert 1972) :

— *Ressources en matériaux* ;

— *Phénomènes géodynamiques externes et internes* : érosion sous ses diverses formes, notamment gravitaire : éboulements et glissements ; sismicité.

Des cartes de zonage et microzonage sismique, sans être normalisées, sont cependant de réalisation fréquente, dans les régions sismiques du globe. La représentation des autres phénomènes géodynamiques intéressant l'ingénieur est beaucoup moins avancée. Le désir d'éviter le renouvellement de catastrophes, le besoin général de sécurité et de garanties contre les risques quels qu'ils soient, y compris les risques naturels, conduisent à une évolution dans ce domaine y compris dans les législations. Le premier pas consiste à répertorier les zones dangereuses ou douteuses ; couloirs d'avalanches, zones glissées ou susceptibles de glisser, menaces d'éboulements, zones instables diverses. D'une large confrontation récente ⁽²⁾, est ressortie la conclusion que les documents de base devaient être cartographiques et fournir une analyse objective — descriptive — de la situation existante (exemple Antoine, P. *et al.*, 1973). Celle-ci devrait être suivie d'une estimation des risques de type probabiliste. Là encore, un domaine de recherche est ouvert ;

— Régionalement ou localement, certains traits particuliers peuvent représenter des facteurs importants. Ainsi en est-il des cavités souterraines naturelles ou artificielles, exemple, les cartes des carrières souterraines à Paris.

Outre ces facteurs qui sont, en propre, du domaine de la Géologie de l'Ingénieur, on peut ajouter pour une plus complète définition de l'*environnement physique naturel* les rubriques suivantes :

— *L'analyse des paysages*. Ce point se relie à la géomorphologie, mais s'en distingue car il comporte une appréciation esthétique. Bien qu'apparemment pas technique, cet aspect représente maintenant un volet important de l'étude de nombreux sites. Jusqu'à une date récente, l'exploitation d'un gisement (d'une richesse naturelle) ne soulevait aucune contestation relative à une éventuelle dégradation du paysage. Il n'en va plus de même. En France, le projet d'exploitation d'un gisement de bauxite dans les Alpilles et d'un autre de fluorine dans le site de l'Abbaye de Vézelay, l'exploitation de carrières en de nombreuses régions, soulèvent, du fait de l'altération du paysage, des protestations telles que certaines autorisations d'exploitation sont ou seront refusées. Le paysage devient donc un élément non seulement esthétique, mais technique et économique. Or, s'il existe des cours (aussi fluctuants soient-ils) pour les œuvres d'art, il n'existe encore aucune méthode d'estimation de la valeur d'un paysage. On commence toutefois, par des photomontages, à tenter d'apprécier *qualitativement* l'influence d'une exploitation ou d'une construction sur le paysage ;

— *Archéologie, Préhistoire* (sites classés) ;

— *Pédologie* : la cartographie pédologique dispose d'ailleurs de méthodes propres éprouvées ;

— *Hydrologie*, en relation avec l'hydrogéologie et avec les processus d'érosion ;

— *Climatologie et Météorologie* ;

⁽²⁾ Symposium *Sol et sous-sol et sécurité des constructions*, Cannes, octobre 1973, t. I, 390 p. Publication Service géologique national.

— Enfin, dans un but d'étude écologique et non plus seulement physique des sites, il serait nécessaire d'ajouter des cartographies botaniques, dendrologiques et phytosociologiques.

III. CARTES DE FACTEURS

Chacun des facteurs ci-dessus peut faire l'objet d'une représentation cartographique analytique. Il existe déjà des couvertures régulières de régions entières en cartes géologiques, géomorphologiques, pédologiques, sismologiques, de ressources en matériaux, etc.

D'autres facteurs : propriétés géotechniques (cartographie géotechnique s.s.) paysage, stabilité de versants... demandent des recherches pour parvenir à une certaine systématisation, mais ont déjà fait l'objet d'expériences plus ou moins nombreuses.

Si l'analyse est possible, une véritable synthèse entre ces éléments de nature fort différente est extrêmement difficile. Nous avons d'ailleurs vu qu'une cartographie géotechnique, synthétique, scientifique, fondamentale, comme peut l'être la cartographie géologique reste un idéal non encore atteint. A défaut, sous le nom de cartes de Géologie de l'Ingénieur ou cartes géotechniques (*sensu lato*), on réalise des regroupements de plusieurs cartes de facteurs soit sous forme d'atlas de cartes, soit en dessinant plusieurs facteurs sur une même feuille.

Le premier exemple de tels atlas est celui de la « Carte des Carrières » de la Ville de Paris. Dès 1849, toute la ville de Paris était couverte par des cartes régulières, au 1/1 000, donnant séparément la géologie, l'hydrogéologie et le relevé des carrières souterraines. Les effondrements au-dessus de ces dernières (fontis) représentent en effet un processus géodynamique (d'origine anthropique) qui a provoqué de nombreuses catastrophes. Ces cartes originales ont malheureusement disparu dans l'incendie de l'Hôtel de Ville, en 1871. Depuis, la couverture a été reconstituée sans l'hydrogéologie, au 1/1 000 pour les carrières et au 1/5 000 pour la géologie.

Plus souvent, pour des raisons à la fois de synthèse et d'économie, plusieurs facteurs sont regroupés sur une même feuille. Ainsi, selon une normalisation du COMECON (Institut Géologique de l'Académie des Sciences, Prague, 1968), la carte lithologique des formations superficielles et du substratum comporte également en bleu les données hydrogéologiques et en rouge celles relatives à la géomorphologie et aux phénomènes géodynamiques.

Notons qu'à ces divers documents doit toujours s'ajouter une *carte de documentation* sur laquelle sont reportés les points d'implantation des forages de différents types, les puits, les fouilles, les essais mécaniques *in situ*... Ce document, qui renvoie aux observations détaillées correspondantes (cahiers de sondages, etc.) est indispensable pour apprécier la fiabilité des cartes précédentes.

En conclusion, si l'analyse d'un site en ses principaux facteurs constitutifs est possible, avec diverses représentations cartographiques correspondantes, la synthèse est beaucoup plus malaisée. Là encore, des progrès sont subordonnés à une recherche de corrélations entre les différents facteurs afin de tenter d'abord des synthèses étagées : géomorphologie avec formations superficielles, puis l'ensemble précédent avec géodynamique externe ; géologie (substratum et formation superficielles) avec propriétés géotechniques ; hydrogéologie et météorologie ; géotechnique et hydrogéologie, etc.

En définitive, à l'heure actuelle, les synthèses sont ou bien laissées aux soins des utilisateurs, ou bien préparées à leur intention en fonction de certains objectifs : urbanisation, fondations, etc. Ce sont les *cartes d'aptitude*.

IV. CARTES D'APTITUDE

Les différents facteurs précédemment définis peuvent être utilisés, toujours sous forme cartographique, à une prévision rationnelle de diverses utilisations et à une prévision de l'évolution de ces facteurs eux-mêmes, en fonction des diverses utilisations.

Les principales utilisations actuelles du sol sont :

— l'Aménagement et l'Urbanisme, auxquels correspondent des plans d'utilisation des sols : en France, la législation foncière définit essentiellement les Schémas Directeurs d'Aménagement et d'Urbanisme (S.D.A.U.), à une échelle allant du 1/10 000 au 1/25 000, et à vocation régionale, et les Plans d'Occupation des Sols (P.O.S.) à une échelle de l'ordre du 1/5 000 à vocation communale. Ces derniers, en particulier, doivent obligatoirement comporter des références aux qualités géotechniques du sol, aux ressources en matériaux et aux risques naturels ;

— La construction proprement dite avec, eu égard au sol, les problèmes de fondation. Les *cartes d'aptitude aux fondations* sont d'ailleurs parmi les documents géotechniques les plus fréquemment réalisés. Elles posent un problème fondamental intéressant et délicat. A ce stade de leur réalisation, en effet, le sol n'est qu'un élément — réputé connu — à associer à des inconnues : types d'ouvrage à réaliser, méthodes d'exécution de ces ouvrages ; matériels utilisés ; aspect économique. On peut donc soutenir qu'une étude des fondations ne peut être entreprise tant que ces derniers éléments ne sont pas définis. Au point de vue des constructeurs et des mécaniciens considèrent que de telles cartes reposent sur un concept intellectuellement faux et qu'elles sont d'utilisation dangereuse. Cette position serait soutenable si les éléments en question étaient vraiment des inconnues. Ce n'est pas le cas dans la mesure où on peut définir des types de fondations : superficielles, profondes, etc... A la condition expresse qu'elle ne dispense pas d'une étude spécifique par ouvrage, au moment de la construction effective, une carte d'aptitude aux fondations permet une conception plus rationnelle des plans masses, pour les grands ensembles, les villes nouvelles, les rénovations. De telles cartes, couramment réalisées, représentent d'ailleurs actuellement l'exemple type de cartes géotechniques d'applications ;

— Curieusement, les *cartes d'aptitude aux terrassements* sont beaucoup plus rares, voire inexistantes, alors que, pour les besoins de la construction proprement dite, la voirie et les tranchées pour « réseaux divers » (V.R.D.) imposent des contraintes différentes de celles relatives aux fondations. Pour les tranchées, ce sont même des critères opposés, les meilleurs sols de fondation — le rocher — étant les plus difficiles et les plus onéreux à terrasser ;

— De nombreuses *cartes particulières* pour stockages souterrains, pour implantation et construction de barrages, d'aérodromes, pour exploitations de matériaux, voire pour tracés routiers ou ferroviaires, entrent aussi dans la catégorie des cartes d'aptitude.

V. CARTES DE PRÉVISION DES MODIFICATIONS ANTHROPIQUES

La prévision des modifications apportées durablement aux sites par des travaux est une tâche aussi impérieuse que délicate. Les plus importantes modifications ont trait aux facteurs hydrogéologiques et, par voie de conséquence, géotechniques.

Des ouvrages souterrains (parkings, caves...) affectent l'écoulement des nappes. Surtout, l'urbanisation, par imperméabilisation de la surface du sol, modifie le coefficient d'infiltration. Elle est réputée le réduire de 80 à 90 %. Il y a donc baisse du niveau de la nappe phréatique avec tassements possibles du sol ainsi déjaugé.

De véritables affaissements atteignant plusieurs mètres d'amplitude sont célèbres dans des villes construites sur des sols compressibles et aquifères dans lesquels sont pratiqués des pompages artificiels qui entraînent également un abaissement du niveau piézométrique : Tokyo, Osaka, Mexico, Venise. Il en va de même dans certains cas de pompages de gaz naturel ou de pétrole (International Symposium, 1969). L'augmentation du ruissellement superficiel a une répercussion directe sur le dimensionnement des réseaux de collecte des eaux pluviales et, en définitive, sur l'Hydrologie avec risques de crues inhabituelles.

Des ouvertures de tranchées, et tous terrassements dans les zones en pente, même de faible hauteur, contribuent à drainer de petites nappes perchées superficielles et entraînent la disparition — à terme de la dizaine d'années — de certains îlots boisés, que les urbanistes souhaiteraient au contraire conserver, voire même auxquels ils font jouer un rôle paysager.

De légères modifications du relief telles que redressement de talus naturels pour des tranchées, en position de versants notamment, suffisent à entraîner des reprises d'érosion gravitaire qui, en montagne notamment, peuvent avoir des effets considérables, voire catastrophiques.

En bref, si l'homme est en mesure, par ses travaux, de corriger les contraintes naturelles, il rompt, ce faisant, un équilibre, et c'est à lui de prévoir quel sera le nouvel état d'équilibre, sans jouer l'apprenti sorcier.

VI. L'AIDE DE L'INFORMATIQUE

L'informatique commence à intervenir de triple manière en cartographie géotechnique :

- pour le stockage de l'information. Ce sont les banques de données ;
- pour des traitements statistiques, en particulier pour des recherches de corrélation et analyse de correspondances ;
- pour des traitements cartographiques automatiques.

L'abondance croissante de la documentation géologique et géotechnique dans les régions urbanisées et industrialisées, pose le problème de son stockage et de sa gestion. En effet, les coupes de sondage et les résultats d'essais de laboratoire et *in situ*, sont contenus dans des dossiers volumineux d'avant-projets, de projets,

de projets d'exécution et rapports divers. Cette masse de documents, propre à chaque ouvrage, à chaque maître d'œuvre, bureau d'études, entreprise, est en général classée en archives peu accessibles. On a ainsi constaté que des travaux de prospection identiques sont parfois repris, dans les mêmes zones, à peu de temps d'intervalle, par des organismes différents, ou même pour un même maître d'œuvre, à peu d'années de distance.

La nécessité de stocker et de classer cette documentation, qui s'enrichit sans cesse, est une évidence. Parmi les diverses solutions possibles : fiches mécanographiques, microfilms, etc., seul le stockage sur mémoire d'ordinateur, sous forme de fichiers groupés en *banque de données*, présente l'avantage de permettre en outre des traitements.

Banque de données géotechniques

Les informations à entrer en mémoire correspondent aux différents facteurs examinés précédemment et sont donc de nature très variée. En pratique, les expériences faites non seulement dans un but de recherche, mais aussi pour que ces banques soient vraiment opérationnelles, et dans un cadre local (Buisson, 1971 ; De Ragueneil, 1973) montrent que les informations traitées sont essentiellement : géologiques (surtout sous forme de coupes de sondages) ; géotechniques ; résultats d'essais de laboratoire et *in situ* ; hydrogéologiques, et relatives à des gisements de matériaux.

La répartition de la documentation dans l'espace est donc surtout linéaire (coupes de forages) et ponctuelle : essais sur échantillons ; niveaux piézométriques en forages, etc. Les cas où elle est sous forme de surfaces (fouilles, talus, surface du sol...) ont généralement été ramenés à des semis de points ou à des lignes.

L'introduction en mémoire se fait par l'intermédiaire du remplissage de bordereaux analytiques auxquels correspondent des cartes perforées (localisation géographique ; descriptions lithologiques et stratigraphiques ; identifications géotechniques, types de forages, types de travaux ; données techniques et économiques relatives aux matériaux, etc.) Elles sont de deux types principaux : sémantique et numérique. Les données sémantiques (descriptives) sont entrées moyennant une écriture grammaticalement logique et des abréviations, mais sans véritable codage, ce dernier étant source d'erreurs. Normalisation, mais pas codage.

Interrogation de la banque

La première utilisation est la reproduction des informations introduites dans la banque. Reproduction qui peut être littérale ou graphique pour des sondages (avec liste de figurés lithologiques) des courbes pénétrométriques, granulométriques... voire cartographique ; localisation des points d'implantation des sondages situés à l'intérieur d'un périmètre déterminé. L'interrogation de la banque peut, par un système de mots-clés, être très analytique.

Traitements statistiques : recherche de corrélations

On connaît un certain nombre de résultats de recherche de corrélations entre caractéristiques d'identification (granulométrie, limites d'Atterberg...), entre propriétés géotechniques et entre caractères d'identification et propriétés.

Le progrès essentiel qui est attendu porte sur les corrélations entre nature pétrographique et minéralogique, caractéristiques d'identification et propriétés. On constate malheureusement que rares sont les cas où l'identification pétrographique est faite simultanément aux identifications géotechniques. Trop rares, en tout cas, pour prêter à de véritables traitements statistiques. Là se trouve l'un des blocages des études géotechniques fondamentales. D'autres traitements tels que le calcul des mouvements de terre, dans différentes hypothèses climatiques, pour des chantiers de terrassements routiers (Gros, 1972), peuvent également être effectués.

Cartographie automatique

Le problème est ici de faire exécuter automatiquement le travail d'interpolation entre points connus habituellement pratiqué par le géologue. L'exemple le plus simple est le tracé de cartes en courbes de niveau du toit d'une formation, de la surface d'une nappe, etc. La difficulté réside à la fois dans la présence de discontinuités géologiques (failles, biseaux, variations latérales de faciès, etc.) et dans la répartition de l'information, souvent très hétérogène : des lignes de forages le long d'axes routiers, des concentrations de forages dans les zones urbanisées, des informations isolées ailleurs. Des méthodes mathématiques (géostatiques) d'interpolation, plus ou moins raffinées ont fait l'objet de différents essais rarement publiés (Arnould, Vantroys, 1970). Il existe d'ailleurs des programmes de traitement en vente sur le marché.

Une amélioration est apportée, en cas d'insuffisance des données dans certaines zones, ou en cas de discontinuités connues, par la possibilité d'affiner sur écran cathodique les interprétations de la machine, en coupe comme en plan. A l'heure actuelle, ces méthodes donnent de bons résultats, mais qui doivent toujours être soigneusement revus par un interpréteur. Il faut considérer de tels programmes comme une aide (une aide considérable) à la cartographie manuelle.

CONCLUSIONS

La cartographie géotechnique joue d'ores et déjà un grand rôle en géologie de l'ingénieur. Les exemples de réalisations se multiplient dans le monde entier. Par leur développement même, ils démontrent l'utilité de la méthode. Par leur diversité, ils font ressortir le manque de normalisation, sinon dans les modes de représentation, du moins dans leur méthodologie d'établissement (Matula et *al.*, 1973).

En définitive, le problème fondamental actuel consiste à fonder la cartographie géotechnique sur des bases théoriques et scientifiques qui lui font encore cruellement défaut. On en est, en somme, en cartographie géotechnique, au stade où en était la cartographie géologique à ses débuts.

Bibliographie

- ANTOINE, P. *et al.* (1973). — Cartographie systématique des mouvements de terrain sur la feuille La Grave à 1/50 000. In : *Symposium sol et sous-sol et sécurité des constructions*, Sc. géol. Natl., p. 11-26.
- ARNOULD, M. (1969). — Aspects géologiques des problèmes d'urbanisme. *Annales des Ponts et Chaussées*, Paris, sept-oct. 1969, p. 261-268.
- ARNOULD, M. et VANTROYS, M. (1970). — Essai de cartographie géotechnique automatique sur la Ville nouvelle d'Evry (région parisienne). *Proc. 1st Congr. Int. Ass. Eng. Geol.*, Paris, p. 1069-1080.
- BUISSON, J. L. (1971). — Contribution à la cartographie géotechnique automatique. Mise en mémoire des données. Programme de traitement. Essais de corrélations. Inédit ; rapport Armines-LCPC.
- GAZEL, J. et PETER, A. (1969). — Essais de cartographie géotechnique. *Ann. des Mines*, Paris, déc. 1969, p. 41 à 60.
- Geological Society Engineering Group Working Party (1972). — The preparation of maps and plans in terms of engineering geology. *Q. Jl. Eng. Geol., London*, Vol. 5, p. 293-381.
- GHIESTE, S. (1970). — La carte d'interprétation géotechnique de la région de Mons (Belgique). Problème et solutions. *Proc. 1st Congr. Int. Ass. Eng. Geol.*, Paris, p. 904-915.
- GIGAN, J. P. (1973). — *Essai de cartographie géotechnique. Région de La Défense et Boucle de Gennevilliers (Hauts-de-Seine)*. Thèse Paris, 230 p. ronéo. Cartes.
- GROS, G. (1972). — Système d'obtention d'une image numérique de la géologie routière. *Proc. 24th I.G.C.*, Montréal, sect. 13, p. 235-240.
- HUMBERT, M. (1972). — *Carte géotechnique de Clermont-Ferrand*. Aptitude des terrains à l'aménagement régional. B.R.G.M.
- Institut de Géologie. Académie des Sciences, Prague (1968). — *Examples of Engineering Geological Maps*, 1 broch. ronéo., 3 p.
- International Symposium on Land Subsidence, Tokyo (1969). — *Proceedings*, Unesco ed.
- MATULA, M. *et al.* (1973). — *Guide to the Preparation of Engineering Geological Maps*. Commission on Engineering Geological Maps of the Int. Ass. of Eng. Geol. To be published by Unesco.
- RAGUENEL, A. DE (1973). — Une expérience de fichier géotechnique sur ordinateur. *Bull. Lab. Ponts et Chaussées*, Paris, n° 67, p. 71-84.
- SANEJOUAND, R. (1972). — *La cartographie géotechnique de la France*, 1 vol. Lab. cent. Ponts et Chaussées et Armines, Paris, 93 p.
- SIMARD, R. (1973). — *Essai de cartographie géotechnique. Ville de Cergy-Pontoise (Val-d'Oise)*. Thèse, Paris, 197 p., ronéo., cartes.
- VINCENT, P. L. et VOGT, J. (1969a). — Carte géologique des formations superficielles, feuille Creil au 1/50 000. B.R.G.M.
- VINCENT, P. L. et VOGT, J., avec le concours de BOUILLER, R. et LAJOINIE, J. P. (1969b). — Carte géologique des formations superficielles, feuille Saint-Bonnet-de-Joux à 1/25 000. B.R.G.M.